

Б-54

**БЕТОНЫ И РАСТВОРЫ  
ДЛЯ ПОДЗЕМНОГО  
ШАХТНОГО  
СТРОИТЕЛЬСТВА**

**СПРАВОЧНОЕ ПОСОБИЕ**



22025 622.92118 Б-54

# БЕТОНЫ И РАСТВОРЫ ДЛЯ ПОДЗЕМНОГО ШАХТНОГО СТРОИТЕЛЬСТВА

СПРАВОЧНОЕ ПОСОБИЕ

ТЕХНИЧЕСКАЯ  
БИБЛИОТЕКА  
Шифр З.З.  
Инв. № 47581

1



МОСКВА "НЕДРА" 1989

ББК 33.141

Б 54

УДК 622.281.4:691.32(036)

Авторы: *О. С. Докукин, И. Г. Косков, В. П. Друцко, С. А. Бернштейн*

Б  $\frac{2502010000-351}{043(01)-89}$  208-89

ISBN 5-247-00519-8

2

© Издательство «Недра», 1989

## ПРЕДИСЛОВИЕ

В решениях XXVII съезда КПСС и последующих Пленумов ЦК КПСС поставлена задача всемерной экономии материально-технических ресурсов. Особо важное значение это приобретает для горнодобывающих отраслей промышленности, так как строительство и техническое перевооружение шахт и рудников требуют значительного количества металла, вяжущих, заполнителей, химических добавок. Только при строительстве капитальных горных выработок в угольной промышленности ежегодно расходуется металла около 4,5 млн. т, цемента — 15,9 млн. т, заполнителей — 23,8 млн. м<sup>3</sup>.

При строительстве современной шахты все стволы, окопоствольные двory и другие горные выработки сооружаются с использованием бетона, железобетона и различных растворов. За последние десятилетия отечественная практика подземного бетонирования значительно усовершенствовалась в части расширения физико-механических свойств применяемых бетонов и растворов для крепления горных выработок, тампонажа и упрочнения породного массива, технологии и средств механизации укладки бетона.

Увеличение глубины горных работ и сечений капитальных выработок, освоение месторождений со сложными горно-геологическими и гидрогеологическими условиями предъявляют более высокие требования к конструкциям крепи горных выработок и соответственно к бетонам и растворам. Об этом свидетельствуют многочисленные случаи разрушения монолитных бетонных и железобетонных крепей вертикальных стволов, горизонтальных и наклонных выработок. Так, в Донецком бассейне до 25% стволов и 28—32% горизонтальных горных выработок, закрепленных монолитным бетоном и железобетоном, ежегодно перекрепляются и, как установлено анализом, 27% случаев деформации крепи происходят из-за некачественного бетона. Подземные сооружения имеют существенные особенности среды и режима работы, что обуславливает ряд специфических требований к бетонам и растворам. Отсутствие справочной литературы по бетонам и растворам для подземного шахтного строительства, проектированию составов, технологии их приготовления, транспортированию и укладке затрудняет использование многих важных научных и практических результатов, а также приводит к принятию технически не обоснованных решений.

Основная цель данного справочного пособия — дать инженерам-шахтостроителям достаточно полное и доступное изложение основных результатов современного состояния передового опыта и научных разработок по бетонам и растворам для подземного строительства.



# 1. БЕТОННЫЕ И ЖЕЛЕЗОБЕТОННЫЕ КРЕПИ ГОРНЫХ ВЫРАБОТОК

## 1.1. ТРЕБОВАНИЯ К БЕТОНАМ ПОДЗЕМНЫХ КОНСТРУКЦИЙ

Строительство и эксплуатация подземных конструкций отличаются в значительной степени от надземных конструкций. Крепь возводится в ограниченном пространстве, что осложняет проведение дополнительных мероприятий по повышению качества бетонов, например, вибрирования, трамбования. Приготовление бетона в шахтных подземных условиях не позволяет всегда точно дозировать компоненты и тщательно перемешивать их. Спуск бетонной смеси по трубам при креплении стволов приводит к ее расслоению, вследствие чего в крепи снижаются прочность и плотность бетона. Непосредственно в зоне крепления могут быть притоки воды, которая, попадая в бетонную смесь, вызывает вымывание цемента и увеличивает водоцементное отношение. В условиях агрессивных шахтных вод происходят коррозия обычного бетона и его разрушение. Длительное воздействие на бетон гидростатического напора шахтной воды, особенно в стволах, вызывает снижение его прочности и в отдельных случаях даже разрушение. Набор прочности бетона может происходить в период интенсивного роста нагрузок на него со стороны породного массива. Требование раннего набора прочности и ускоренной разопалубки бетона, особенно в стволах, обуславливает применение специальных добавок — ускорителей твердения. При креплении в замороженных породах набор прочности происходит при отрицательных температурах. В шахтных стволах бетон может находиться в условиях знакопеременных температур, что при обводненности может приводить к многофазовому обмерзанию и размораживанию бетона и в конечном счете к его разрушению, особенно при недостаточной плотности бетона.

На участках закрепления расстрелов армировки при движении по стволу подъемных сосудов бетон может испытывать длительное динамическое воздействие, которое при недостаточной прочности бетона приводит к его разрушению.

Многообразие негативных факторов при возведении крепи и сложность условий ее эксплуатации требуют систематического контроля состояния монолитного бетона, так как его разрушение может происходить с внезапными вывалами отделившихся кусков.

Отмеченные особенности предъявляют к бетонам, применяемым для крепления подземных горных выработок. Ряд требований, выполнение которых должно обеспечивать проектные параметры бетона, предусматривают: соблюдение стандартов и технических условий при подборе и использовании исходных компонентов для бетона и технологии приготовления бетонной смеси;

применение специальных цементов и добавок при работе бетона в агрессивных средах; обеспечение набора прочности при отрицательных температурах; набор необходимой прочности бетона в условиях интенсивного роста нагрузок на него; совмещение работы арматуры и бетона в течение всего срока службы крепи; правильность выбора бетонной или железобетонной крепи для конкретных условий; применение технологии, обеспечивающей проектные параметры бетонной и железобетонной крепей и др.

В соответствии с требованиями СНиП II-94—80 «Подземные горные выработки» выбор конструкции и параметров крепи должен производиться с учетом назначения горной выработки, устойчивости пород, возможности комплексной механизации процессов изготовления и возведения крепи, обеспечения надежности и безопасности работ в течение всего срока службы выработки.

При проектировании крепи следует учитывать значимость выработок в обеспечении нормального функционирования горного предприятия и отдельных его звеньев (табл. 1.1).

Для оценки состояния устойчивости пород приняты четыре категории устойчивости: I — устойчивое; II — среднеустойчивое; III — неустойчивое; IV — очень устойчивое.

Критерии устойчивости определяются по абсолютной величине максимальных смещений пород на контуре поперечного сечения выработок.

Крепи на основе бетона применяются во всех четырех классах выработок с породами всех категорий устойчивости. Так, в породах I категории устойчивости выработок возможна набрызгбетонная крепь, II категории — набрызгбетонная, железобетонная анкерная, III категории — монолитная бетонная, сборная железобетонная, анкерная железобетонная и набрызгбетонная крепи, IV категории — сборная бетонная и железобетонная, металлобетонная, анкерная железобетонная в сочетании с другими видами

Таблица 1.1

Классификация горных выработок

Категория устойчивости	Выработки	Последствия нарушения нормальной эксплуатации выработок
I	Главные вскрывающие (вертикальный и наклонный стволы, штольни)	Остановка работы всего предприятия
II	Главные околотовольные и магистральные (штрек, квершлаг)	Остановка работы горизонта
III	Магистральные, участковые и панельные (участковые квершлаг, уклоны, полевые выработки, рудоспуски и др.)	Остановка работы панели, участка
IV	Вспомогательные околотовольные и участковые	Ухудшение технико-экономических показателей, безопасности работ, остановка забоев

крепи, растворы для тампонажа закрепного пространства и упрочнения породного массива.

Правильный выбор крепи и обеспечение ее проектных параметров при строительстве являются главным условием устойчивости горной выработки и гарантией работоспособности крепи.

## 1.2. КРЕПЬ ВЕРТИКАЛЬНЫХ СТВОЛОВ

### 1.2.1. Монолитная бетонная крепь

Для крепления протяженной части вертикальных шахтных стволов наибольшее распространение получил монолитный бетон (рис. 1.1). Бетон преимущественно марки М200 обычно готовят на сульфатостойком портландцементе М400 по ГОСТ 22266—76 «Цементы сульфатостойкие. Технические условия». Монолитным бетоном крепят, как правило, стволы с круглой формой поперечного сечения и диаметром от 4,5 до 8,5 м. Минимальная толщина бетонной крепи в породах I категории устойчивости принимается без расчета до глубины 500 м при углах залегания пород до 35° и более 35° соответственно 200 и 250 мм, а более глубины 500 м при тех же углах залегания соответственно 250 и 300 мм. В породах II и III категорий устойчивости толщину бетонной крепи устанавливают расчетом. При расчетной толщине монолитной бетонной крепи более 500 мм следует применять бетон более высокой марки или другие типы крепи с более высокой несущей способностью.

Наиболее распространенной схемой крепления монолитным бетоном является следующая.

Бетонная смесь, приготовленная на поверхности, транспортируется по ставу труб внутренним диаметром 150 мм, оканчивающимся гибким горшковым металлическим хоботом. В стволах диаметром 5,5 м и более применяют два трубопровода для подачи бетонной смеси за опалубку.

Во избежание расслаивания бетонной смеси и гашения скорости ее подачи должны устанавливаться гасители скорости.

Для возведения крепи шахтных стволов распространение получили металлические самоотрывающиеся секционные опалубки конструкции треста «Донецкшахтопроходка», позволяющие исключить затраты ручного труда на их перестановку.

При проходке стволов комбайнами типа СК-1У, СК-1Д применяют металлические самоотрывающиеся опалубки со спиральным поддоном.

В условиях повышенных водопритоков по стволу для улучшения качества и долговечности крепи, а следовательно, снижения затрат на ее поддержание в период эксплуатации необходимо предусматривать специальные мероприятия, исключающие попадание воды в бетонную смесь во время ее укладки за опалубку.

Для предотвращения попадания воды за опалубку могут при-

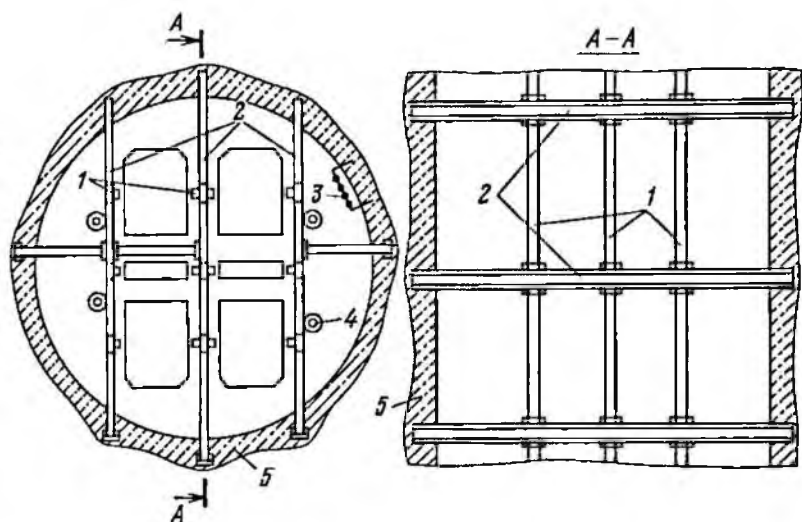


Рис. 1.1. Бетонная крепь шахтного ствола:

1 — проводники; 2 — расстрелы; 3 — кабели; 4 — трубопроводы, 5 — монолитный бетон

менять водоуплаивающие кольца, устанавливаемые над опалубкой, а также герметизирующие прокладки, помещенные между верхней частью опалубки и нижним срезом бетонной крепи, и другие способы.

При проходке шахтных стволов скоростными методами с помощью комплексов ПД, СК-1У и СК-1Д конструкции ЦНИИподземмаша и ДШП треста «Донецкшахтопроходка» для возведения монолитной бетонной крепи рекомендуется применять быстротвердеющие бетоны повышенной прочности М350—М400. Эти бетоны имеют раннюю распалубочную прочность не менее 0,8 МПа уже через 2,5—3 ч, что сокращает непроизводительное время несомещенного бетонирования и тем самым обеспечивает повышение скорости проходки и производительности труда проходчиков.

### 1.2.2. Железобетонная крепь

Монолитная железобетонная крепь применяется на участках стволов в породах IV категории устойчивости, зонах геологических нарушений, а также над сопряжениями стволов с прилегающими выработками, на участках самих сопряжений и под сопряжениями. Наличие стальной арматуры в бетоне обеспечивает работоспособность крепи в условиях ее неравномерного нагружения и возникновения в крепи растягивающих напряжений.

В качестве арматуры применяют горячекатаную сталь класса А-III периодического профиля. Арматурный каркас может

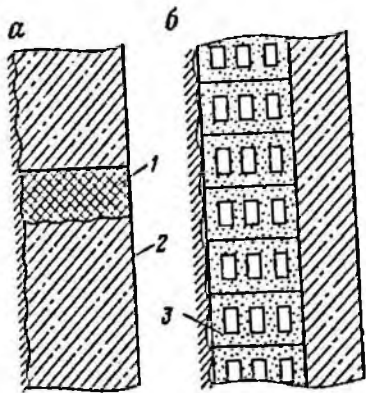


Рис. 1.2. Крепь с вертикальной (а) и радиальной (б) податливостью: 1 — податливый пояс; 2 — монолитный бетон; 3 — податливые штучные материалы

быть одно- и двухрядным, состоит из отдельных сеток, изготавливаемых на поверхности и соединяемых непосредственно в кольцо в забое ствола. Укладку бетона выполняют обычным способом, однако высота свободного падения бетонной смеси при подаче за опалубку не должна превышать 4 м.

### 1.2.3. Податливые крепи

В породах IV категории устойчивости и в условиях влияния очистных работ деформирование окружающего шахтный ствол породного массива характеризуется повышенной интенсивностью. Безопасный уровень напряжений в крепи ствола может быть обеспечен конструктивными мерами защиты крепи (рис. 1.2).

При совместном с породой осевом сжатии участка ствола вертикальная податливость крепи достигается устройством по всей ее толщине сплошных горизонтальных податливых поясов из сжимаемого материала, например поризованного бетона.

Снижение радиального давления на крепь или более равномерное его распределение по периметру возможно вследствие радиальной податливости крепи. Податливость в радиальном направлении обеспечивается применением податливой внешней оболочки из штучного податливого материала, например пустотелых блоков из пористого бетона или бетона низких марок, а также монолитного податливого материала, например крупнопористого бетона.

Приведенные схемы податливости крепи шахтных стволов предусматривают использование податливых материалов на основе бетонов. При сооружении шахтных стволов монолитные податливые материалы подаются к месту крепления аналогично монолитному бетону. Укладка штучных податливых материалов практически осуществляется по технологии возведения крепи из штучного камня (бетонных блоков).

### 1.2.4. Комбинированные крепи стволов в сложных гидрогеологических условиях

В сложных гидрогеологических условиях, когда нагрузки на крепь соизмеримы с гидростатическими напорами и необходима водонепроницаемость крепи, применяют комбинирован-

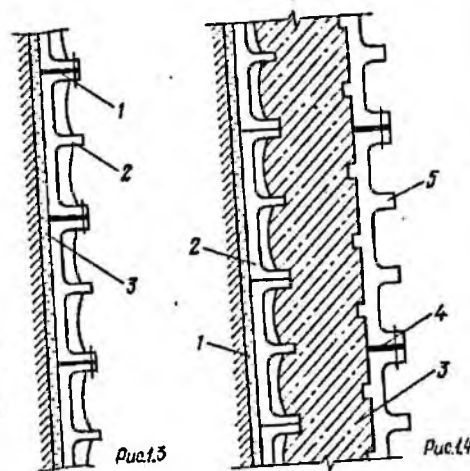


Рис. 1.3. Чугунно-бетонная крепь: 1 — заполнение (шпатель) швов между тубингами; 2 — чугунные тубинги; 3 — закрепный бетон (раствор)

Рис. 1.4. Усиленная крепь в зоне повышенных нагрузок: 1 — затубинговый бетон (раствор); 2 — внешняя тубинговая колонна; 3 — бетон между тубинговыми колоннами; 4 — шпатель между тубингами, уплотненный свинцом; 5 — внутренняя тубинговая колонна

ные конструкции. Такие конструкции обеспечивают надежную гидроизоляцию ствола, обладая также и высоким сопротивлением благодаря совместной работе всех элементов крепи.

В отечественной практике в шахтных породах, полученных по замороженным водоносным неустойчивым породам, получили распространение крепи из чугунных тубингов с заполнением закрепного пространства бетоном или песчано-цементным раствором (рис. 1.3). При возведении тубинговой колонны между тубингами укладывают свинцовые листы, которые затем расчеканивают для гидроизоляции швов. Пространство за чугунной крепью тщательно заполняют бетоном или раствором не ниже марки 100. Крепь обладает высокой несущей способностью и достаточной водонепроницаемостью при напорах подземных вод до 0,5—0,6 МПа.

В сложных условиях могут применяться многослойные конструкции. Так, для крепления стволов Яковлевского рудника (Курская магнитная аномалия), проходимых в замороженных породах, применена двойная тубинговая колонна (рис. 1.4). Внешнюю и внутреннюю колонны возводили сверху вниз, вслед за продвижением забоя. В связи с большой скоростью смещения породного обнажения в ствол величина заходки по выемке не превышала 1 м, что позволяло сразу же устанавливать однометровое по высоте тубинговое кольцо внешней колонны. После установки кольца тампонируют закрепное пространство через специальные отверстия в тубингах. Отставание внутренней колонны из полутубинговых тубингов не превышало 2 м. Пространство между колоннами пикетировали внизу со стороны забоя и заполняли бетоном через отверстия в тубингах.

При больших напорах подземные воды просачиваются через бетон и передают гидростатическое давление на внутреннюю герметичную тубинговую колонну, что может вызвать ее нару-

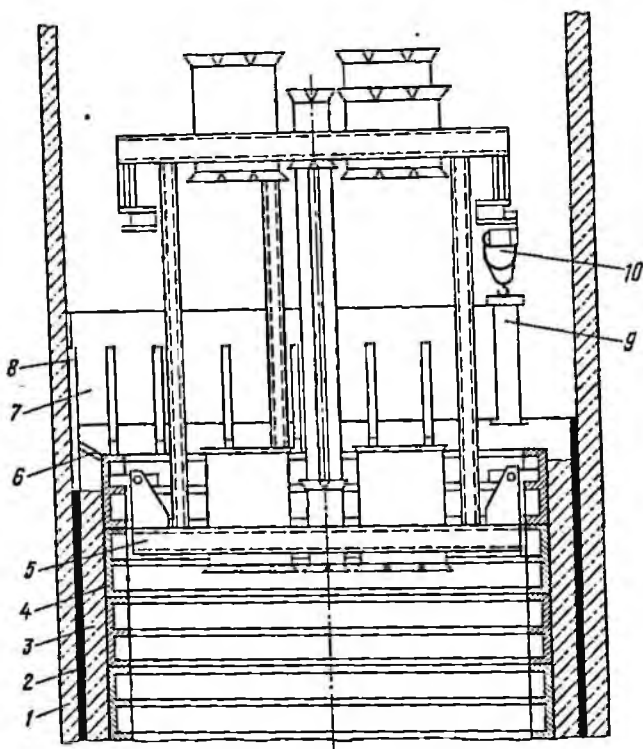


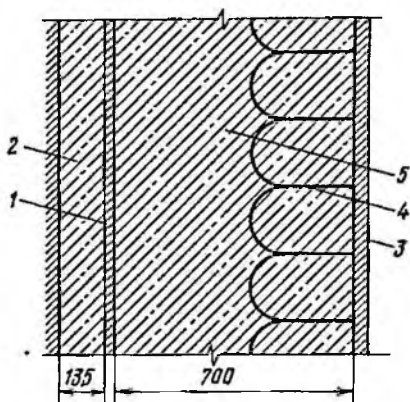
Рис. 1.5. Крепь с полимерным водопреграждающим экраном и схема ее возведения:  
 1 — передняя бетонная крепь; 2 — полимерный экран; 3 — постоянная бетонная крепь; 4 — тубинговая колонна; 5 — подвесной проходческий полук; 6 — распорная планка; 7 — полиэтиленовый лист; 8 — прижимная доска; 9 — контейнер с рулоном полиэтилена; 10 — тельфер

шение или потерю устойчивости. Кроме того, при большом гидростатическом давлении нарушается чеканка свинцом швов между тубингами и вода попадает в ствол.

Для изоляции шахтных стволов от притоков подземных вод ВНИИОМШС разработал конструкцию водонепроницаемой комбинированной крепи с полимерным экраном (рис. 1.5). Эта крепь успешно применяется трестом «Шахтспецстрой» при проходке стволов в замороженных породах на калийных шахтах. Стволы проходят с временным креплением сверху вниз бетоном с помощью передвижной металлической опалубки. От опорного венца в направлении снизу вверх устанавливают полосы из полиэтилена, свариваемые в сплошной цилиндр, собирают кольца внутренней чугунной тубинговой крепи, и затубинговое пространство заполняют бетоном.

Толщину бетонной крепи определяют на прочность из условия восприятия горного давления и теплотехническим расчетом при условии обеспечения необходимой прочности до его замер-

Рис. 1.6. Многослойная крепь:  
 1 — стальной внешний цилиндр; 2 — бестол между  
 внешним стальным цилиндром и породным обна-  
 жением; 3 — внутренний стальной цилиндр; 4 —  
 анкера для усиления связи стальной оболочки  
 с бетоном; 5 — высокопрочный бетон между  
 стальными цилиндрами



зания. В теплотехническом расчете постоянной бетонной крепи учитывают наличие экрана из листового полиэтилена.

Передовая бетонная крепь не должна иметь уступов между заходками по креплению и между смежными звеньями опалубки более 10 мм, в противном случае установка полимерного экрана будет затруднена.

Работы по устройству водопреграждающего полимерного экрана выполняют с подвешного проходческого полка. На поверхности временной бетонной крепи закрепляют полиэтиленовые листы толщиной не менее 1,5 мм, и затем сваривают горизонтальные и вертикальные стыки между ними. Устанавливают тюбинговое кольцо и бетонизируют затюбинговое пространство. Бетонную смесь укладывают таким образом, чтобы она не попадала непосредственно на полимерный экран. При этом бетонную смесь равномерно распределяют по всему бетонируемому сечению и уплотняют глубинными вибраторами.

Между чугунными тюбингами укладывают листовой свинец, и расчеканивают его для придания водонепроницаемости тюбинговой колонне.

После оттаивания замороженных пород выполняют тампонаж затюбингового пространства цементным раствором под давлением через скважины, пробуренные в крепи. Давление нагнетания должно превышать на 30% естественное гидростатическое давление подземных вод.

Водонепроницаемость полимерных экранов, заключенных между слоями бетона, сохраняется при гидростатическом давлении, превышающем 10 МПа, с учетом длительного срока службы, измеряемого десятилетиями.

За рубежом при проходке стволов специальными способами применяются многослойные конструкции крепи (рис. 1.6), включающие в различных сочетаниях бетон, сварные стальные оболочки, а при влиянии очистных работ и асфальтовый податливый слой. Несущая крепь возводится в направлении снизу

вверх после проходки замороженных пород на всю глубину с креплением их временно бетоном или бетонитами. Стальные оболочки имеют увеличивающуюся с глубиной ствола толщину, соответствующую возрастающим нагрузкам, толщина рабочего бетона постоянная.

В СССР сталебетонная крепь получила распространение при креплении стволов и скважин большого диаметра, проходимых бурением.

### 1.2.5. Крепь сопряжений стволов

Сопряжения стволов с выработками околоствольных дворов имеют срок службы, равный сроку службы шахты, горизонта. Крепь сопряжения должна быть долговечной, из негорючих материалов, обладать высокой устойчивостью и не подвергаться нарушениям. В условиях современного горного предприятия или его отдельного горизонта, эксплуатируемого длительный период, как правило, в сложной горно-геологической и горнотехнической обстановке крепи сопряжений выполняют из железобетона с гибкой или жесткой арматурой. Деревянная крепь сопряжений может применяться при крайне ограниченном сроке службы, например в разведочной шахте.

Горизонтальная часть сопряжения может иметь как плоскую, так и сводчатую перекрытие постоянного или переменного

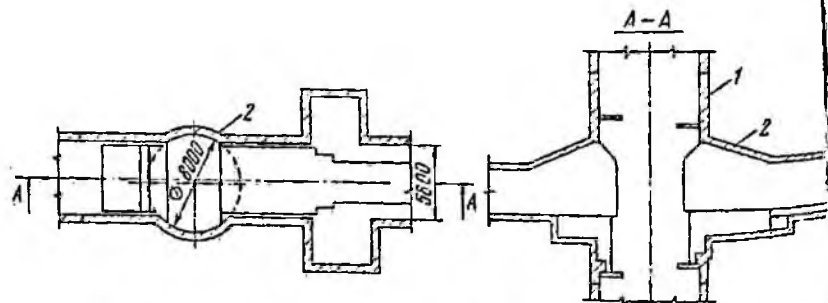


Рис. 1.7. Сопряжение шахтного ствола с выработками околоствольного двора:  
1 — железобетонная крепь ствола на участке примыкания к сопряжению; 2 — железобетонная крепь сопряжения

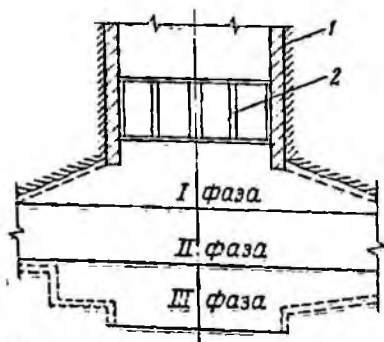


Рис. 1.8. Схема сооружения ствола совместно с сопряжением:  
1 — железобетонная крепь, 2 — опалубка

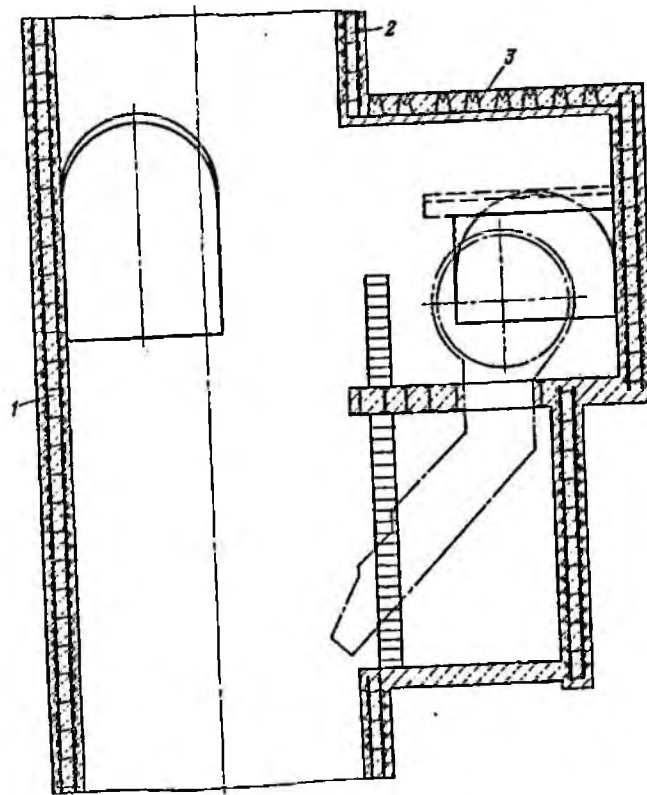


Рис. 1.9. Бункерная камера с железобетонной крепью:  
1 — на участке сопряжения, 2 — ствола; 3 — камеры

сечения. По условию устойчивости и функциональному назначению горизонтальной части сопряжение выполняется преимущественно со сводчатым перекрытием. Наиболее распространена железобетонная крепь (рис. 1.7). В качестве арматуры применяют металлические рамы из двутавровых балок № 18—22, специального профиля (чаще из СВП-27) или сталь периодического профиля. При значительной интенсивности проявлений горного давления в качестве арматуры используют металлические рамы совместно с каркасами из арматуры периодического профиля. Иногда в неустойчивых породах сопряжение крепят чугунными тубингами.

Обычно работы по устройству сопряжения совмещают с проходкой ствола. На участке сопряжения ствол и сопряжение проходят совместно (рис. 1.8). Проходку ведут слоями по вертикали. Число слоев определяется высотой сопряжения. По мере выемки слоев сопряжение и ствол крепят в едином блоке. На период выемки верхних слоев металлическая ствольная опалубка



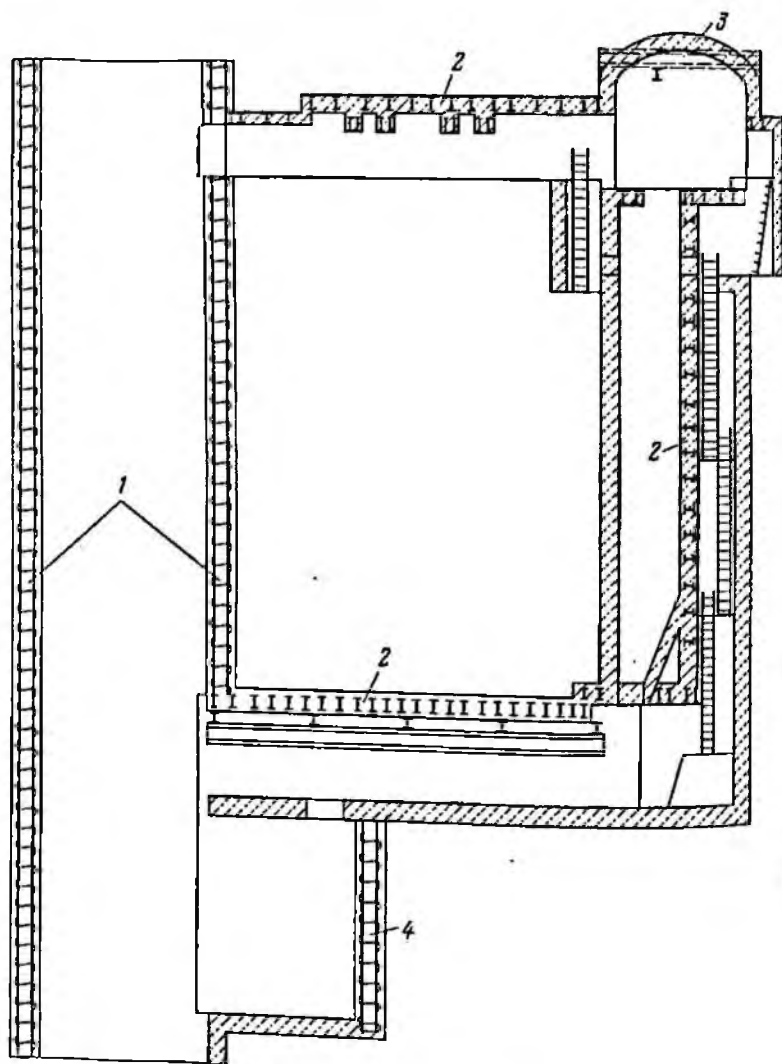


Рис. 1.10. Сопряжение скипового ствола с загрузочным комплексом:  
 1 — железобетонная крестовина ствола на участке загрузки; 2 — металлобетонная крестовина ходов и буферной камеры; 3 — монолитная бетонная (металлобетонная) крестовина камеры опрокидывателя; 4 — железобетонная крестовина камеры

ка оставляется выше свода сопряжения в закрепленной части ствола. Сопряжение и ствол крепят с помощью деревянных, иногда инвентарных металлических элементов наборной опалубки. При выемке последнего, нижнего слоя, сопряжение крепят с помощью деревянной опалубки, а крестовину ствола возводят при помощи металлической ствольной опалубки.

Во время крепления участков сопряжения и ствола в районе сопряжения подача бетона за опалубку производится с помощью гибких бетонопроводов, подвешиваемых ниже гасителей скорости бетона, подаваемого с поверхности по трубам.

При небольшой высоте и устойчивых породах сопряжения могут проходить сразу же на всю высоту с временным креплением породного обнажения анкерами. Затем возводится постоянная крепь.

Бункерные камеры небольшой емкости, непосредственно прилегающие к стволу, обычно проходят одновременно со стволом и крепят преимущественно железобетоном (рис. 1.9). В устойчивых породах для крепления применяют бетон не ниже М150.

Скиповые стволы шахт и рудников большой мощности имеют, как правило, бункерные камеры значительной емкости, включающие в себя камеру опрокидывателя и толкателя, бункер и камеры загрузочного устройства и дозатора (рис. 1.10). Камера опрокидывателя, являющаяся выработкой околоствольного двора, крепится металлобетоном или бетоном.

Проходку и крепление загрузочной и дозаторной камер, которые непосредственно примыкают к стволу, большей частью ведут одновременно с проходкой ствола послойно. По мере выемки слоя устанавливают временную крепь, после полной проходки одного или более слоев возводят постоянную крепь. Крепь ствола возводят с помощью металлической секционной опалубки.

### 1.2.6. Крепь устьев стволов шахт

На устья стволов оказывает силовое воздействие целый ряд факторов, основным из которых является масса станка копра и элементов надшахтного здания. Устье крепят бетоном или железобетоном, верхняя часть устья (воротник) может быть многоступенчатой (рис. 1.11). Крепь верхней части устья имеет толщину до 1,5 м и более, на остальной части — до 0,8 м. Нижняя часть устья может иметь опорный венец, закладываемый

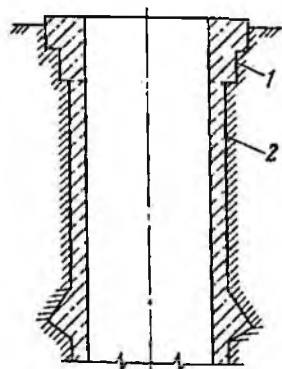


Рис. 1.11. Крепь устья ствола:  
1 — монолитная железобетонная крепь; 2 — монолитная бетонная крепь

в коренных породах. Воротник устья должен выступать над поверхностью земли не менее чем на 0,2 м.

Устье сооружают с использованием кранового оборудования или проходческого копра, бетон укладывают за передвижную металлическую опалубку. При пересечении неустойчивых, водоносных пород и пльвунов применяют специальные способы проходки, из которых наиболее распространен способ сооружения устья в замороженных породах. В этих случаях устья крепят чугунными или железобетонными тубингами.

### 1.3. КРЕПЬ ГОРИЗОНТАЛЬНЫХ ГОРНЫХ ВЫРАБОТОК

#### 1.3.1. Бетонная крепь

Бетонная крепь применяется в выработках со значительным сроком службы, сооружаемых в породах I—II категорий устойчивости вне зоны влияния очистных работ. Бетонная крепь (рис. 1.12) представляет собой сплошную конструкцию, состоящую из свода, стенок и фундамента, а при неустойчивых породах почвы — и обратного, обычно выположенного свода.

Центрогипрошахт разработал для капитальных горизонтальных горных выработок с большим сроком службы и находящихся вне зоны влияния активного горного давления унифицированные сечения горных выработок для трех видов бетонной крепи.

Бетонная крепь с вертикальными стенами и сводчатыми перекрытиями (рис. 1.12, а) применяется при устойчивой почве выработок. Стены, фундаменты и перекрытие выработок возводят из бетона М150. Характеристики крепи для пород II—III категорий устойчивости приведены в табл. 1.2.

Бетонная крепь с вертикальными бетонными стенами и бетонными верхним и обратным сводами (рис. 1.12, б) применяется в слабых пучащих породах. Стены, верхний и обратный своды возводят из бетона М150, путевого бетон — М50. Характеристики крепи для пород II категории устойчивости приведены в табл. 1.3.

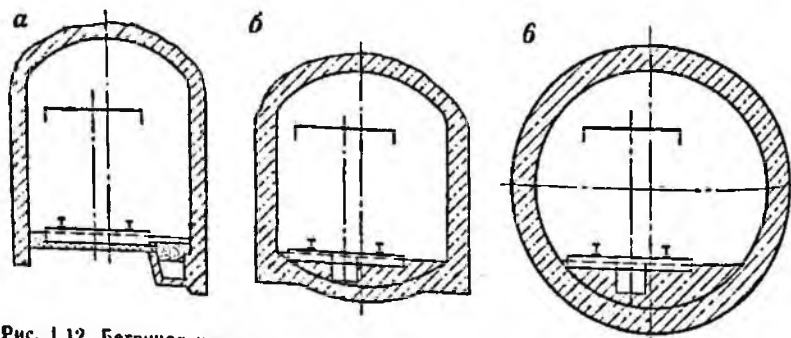


Рис. 1.12. Бетонная крепь:

а — крепь без обратного свода, б — крепь с обратным сводом, в — цилиндрическая крепь

Таблица 1.2

## Характеристики незамкнутой бетонной крепи

Показатели	Типоразмеры сечений выработок							
	1	2	3	4	5	6	7	8
Площадь сечения, м <sup>2</sup> :								
в свету	4,9	6,1	7,5	8,5	10	10,7	11,6	12,8
в проходке	6,7	8,0	9,6	10,8	12,9	13,2	15,0	16,4
Толщина, мм:								
стен	200	200	200	200	250	250	300	300
свода в замке	170	170	170	170	200	200	200	200
Объем бетона М150, м <sup>3</sup>	1,52	1,57	1,67	1,77	2,30	2,35	2,79	2,89
В том числе:								
стен	0,80	0,72	0,84	0,74	0,85	0,82	0,99	0,99
верхнего свода	0,57	0,70	0,68	0,88	1,26	1,30	1,57	1,67
фундамента	0,15	0,15	0,15	0,15	0,19	0,23	0,23	0,23

Таблица 1.3

## Характеристики замкнутой бетонной крепи

Показатели	Типоразмеры сечений выработок							
	1	2	3	4	5	6	7	8
Площадь сечения, м <sup>2</sup> :								
в свету	4,9	6,1	7,5	8,5	10	10,4	11,6	12,8
в проходке	7,7	9,7	11,7	13,3	15,9	16,5	18,3	20,9
Толщина, мм:								
стен	250	300	300	300	350	350	350	400
верхнего свода	200	200	200	200	250	250	250	300
обратного свода	200	200	200	200	250	250	250	300
Объем бетона М150, м <sup>3</sup>	2,29	2,77	3,01	3,53	4,17	4,23	4,46	5,53
В том числе:								
стен	1,11	1,21	1,15	1,27	1,38	1,34	1,34	1,59
верхнего свода	0,70	0,97	1,15	1,34	1,71	1,77	1,91	2,39
обратного свода	0,48	0,59	0,71	0,92	1,08	1,12	1,21	1,55
Объем путевого бетона М50, м <sup>3</sup>	0,41	0,66	1,02	1,14	1,64	1,76	2,12	2,43

Бетонная цилиндрическая и бетонная арочная крепь с обратным сводом (рис. 1.12, в) рассчитана на несущую способность 0,35 и 0,5 МПа — для III и IV категорий устойчивости пород. Для крепления выработок принят бетон М200. Путьевой бетон — М50. Характеристика крепи приведена в табл. 1.4.

Для возведения крепи применяют деревянные, металлические или смешанные опалубки и бетоноукладчики. Наиболее рациональны сборно-разборные опалубки из арок СВП и металлических инвентарных листов и механизированная опалубка ОМП конструкции КузНИИшахтостроя (рис. 1.13). Опалубка ОМП состоит из секций и механизма перестановки самоходной тележки. Секции включают в себя несущий каркас, стальную листовую обшивку и могут складываться для транспортирования к месту бетонирования. В своде каждой секции предусмотрена

Таблица 1.4

Характеристики цилиндрической и арочной с обратным сводом бетонной крепи

Показатели	Типоразмеры сечений выработок					
	1	2	3	4	5	6
Площадь сечения, м <sup>2</sup> : в свету	6,6	7,5	9	11,5	13	14,3
	<u>6,6</u>	<u>7,5</u>	<u>9</u>	<u>11,5</u>	<u>13</u>	<u>14,3</u>
	10,7	12,6	14,9	18,9	21,5	23,9
в проходке	<u>11,3</u>	<u>13,2</u>	<u>15,9</u>	<u>20</u>	<u>22,7</u>	<u>25,2</u>
Толщина, мм: крепи	300	300	—	—	—	—
	<u>350</u>	<u>350</u>				
верхнего свода	—	—	350	350	400	400
			<u>400</u>	<u>400</u>	<u>450</u>	<u>450</u>
обратного свода	—	—	400	450	450	500
			<u>500</u>	<u>550</u>	<u>550</u>	<u>600</u>
Объем бетона М200, м <sup>3</sup>	3,20	3,49	4,64	5,59	6,43	7,14
	<u>3,79</u>	<u>4,12</u>	<u>5,65</u>	<u>6,72</u>	<u>7,65</u>	<u>8,42</u>
В том числе: верхнего свода	—	—	3,03	3,42	4,11	4,33
			<u>3,55</u>	<u>4</u>	<u>4,74</u>	<u>4,98</u>
нижнего свода	—	—	1,61	2,17	2,32	2,81
			<u>2,07</u>	<u>2,72</u>	<u>2,91</u>	<u>3,44</u>
Объем путевого бетона М50	0,81	1,41	1,13	1,66	1,94	2,29
	<u>0,81</u>	<u>1,41</u>	<u>1,13</u>	<u>1,66</u>	<u>1,94</u>	<u>2,29</u>

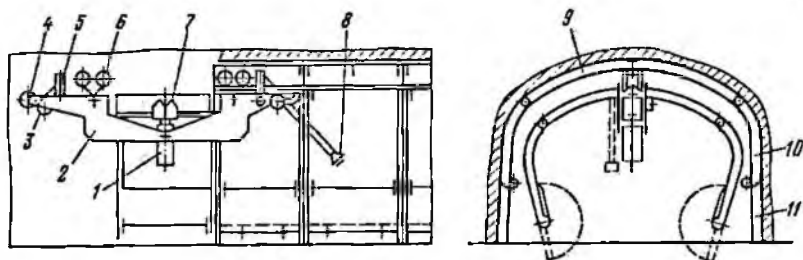
Примечание В числителе приведены характеристики крепи при несущей способности 0,35 МПа, в знаменателе — 0,5 МПа.

## Техническая характеристика опалубки ОМП

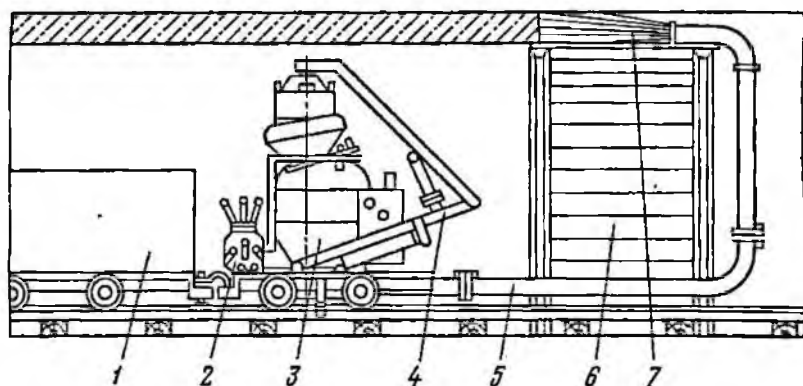
Площадь сечения выработки, м <sup>2</sup>	7—25
Число секций	5—15
Основные размеры секций, мм:	
ширина	2300—8500
высота	2560—4250
длина	1000
Масса секции, кг	500—1700
Основные размеры тележки, мм:	
ширина	652
высота	952
длина	3415
Скорость передвижения тележки, м/мин	4
Масса тележки, кг	800

дорожку по всей длине опалубки. По монорельсу перемещается тележка из двух консольных кареток и домкрата, посредством которых секции транспортируются к месту установки.

Для укладки бетона за опалубку применяют пневматические бетоноукладочные комплексы БУК-3 конструкции ВНИИОМШС (рис. 1.14). Эти комплексы обеспечивают механизированную укладку бетонной смеси за опалубку как из обычных шахтных вагонеток, так и при прямой загрузке из бетономешалки или трубопровода при креплении горных выработок в шахтах, опасных по газу или пыли любой категории.



**Рис. 1.13. Передвижная металлическая опалубка:**  
 1 — домкрат; 2 — каретка; 3 — привод; 4 и 6 — соответственно нижний и верхний опорные катки; 5 — стопорное устройство; 7 — подъемная площадка; 8 — пульт управления; 9 — сводчатая часть секции; 10 и 11 — соответственно боковая и откидная части секции



**Рис. 1.14. Возведение монолитной бетонной крепи комплексом БУК-3:**  
 1 — вагонетка с бетоном; 2 — пульт управления; 3 — пневматический бетоноукладчик; 4 — загрузочное устройство; 5 — бетоновод; 6 — опалубка; 7 — укладываемая бетонная смесь

Бетонная смесь из сосуда вытесняется сжатым воздухом и подается по трубопроводу в опалубку возводимой бетонной крепи.

**Техническая характеристика БУК-3**

Производительность подачи, м <sup>3</sup> /ч:	
при загрузке из вагонеток . . . . .	5
при прямой загрузке . . . . .	10
Дальность подачи бетонной смеси, м, не более:	
по горизонтали . . . . .	300
по вертикали . . . . .	30
Вместимость бетоноукладчика, м <sup>3</sup> . . . . .	0,5
Давление сжатого воздуха, МПа . . . . .	0,4—0,59
Диаметр бетоновода, мм . . . . .	150
Максимальный размер крупного заполнителя, мм . . . . .	50
Колеса, мм . . . . .	900
Тип перегрузочного механизма . . . . .	Грейферно-стреловой
Вместимость грейфера, м <sup>3</sup> . . . . .	0,08

Основные размеры, мм:	
длина . . . . .	2440
ширина . . . . .	1250
высота . . . . .	2300
Масса без бетоновода, кг . . . . .	2068

Для транспортирования и укладки бетонной смеси за опалубку при возведении бетонной крепи в горных выработках применяют бетононасос БН-1 конструкции ЦНИИПодземмаша. Бетононасос используется в выработках площадью сечения 6 м<sup>2</sup> и более.

#### Техническая характеристика БН-1

Производительность подачи, м <sup>3</sup> /ч . . . . .	5—20
Дальность подачи, м:	
по горизонтали . . . . .	300
по вертикали . . . . .	60
Максимальное давление в бетонотранспортных цилиндрах, МПа . . . . .	4,5
Максимальная крупность фракции в бетонной смеси, мм . . . . .	35
Колея рельсового пути сменных ходовых тележек, мм . . . . .	600, 750, 900
Вид энергии . . . . .	Электрическая
Мощность привода, кВт . . . . .	30
Основные размеры с ходовыми тележками, мм:	
длина . . . . .	3800
ширина . . . . .	900, 1350, 1350
высота . . . . .	1500

Укладка бетона за опалубку может производиться также с помощью установки УПБ-5 с пневматической подачей бетонной смеси, выпускаемой Донецким экспериментальным механическим заводом. Установка снабжена грейферным загрузочным механизмом для перегрузки бетонной смеси из шахтных вагонеток. В процессе работы бетонную смесь можно повторно перемешивать.

#### Техническая характеристика УПБ-5

Производительность подачи, м <sup>3</sup> /ч, не менее . . . . .	5
Вместимость пневмоагрегатора, м <sup>3</sup> . . . . .	1
Внутренний диаметр бетоновода, мм . . . . .	100
Максимальный размер фракции заполнителя, мм . . . . .	40
Дальность подачи, м:	
по горизонтали . . . . .	100
по вертикали . . . . .	30
Вид энергии . . . . .	Пневматическая
Давление сжатого воздуха, МПа, не менее . . . . .	0,4
Суммарная мощность приводов пневмодвигателей, кВт . . . . .	24
Колея пути, мм . . . . .	900
Вместимость грейфера, м <sup>3</sup> . . . . .	0,08
Основные размеры, мм:	
ширина . . . . .	
высота . . . . .	1320
длина . . . . .	2475
Масса установки с комплектом труб бетоновода, кг . . . . .	5000
	6000

При щитовом проведении тоннелей монолитные обделки могут возводить с прессованием бетонной смеси. Формирование

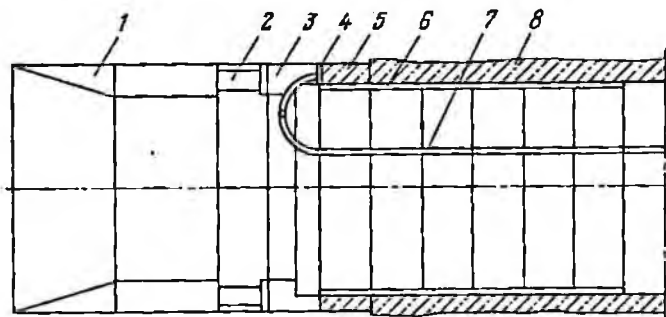


Рис. 1.15. Схема возведения монолитной бетонной крепи методом прессования: 1 — проходческий щит, 2 — дожрат; 3 — прессующее устройство; 4 — заливное устройство, 5 — бетонная смесь, 6 — опалубка; 7 — бетоновод; 8 — бетонная крепь (обделка)

монолитной бетонной конструкции производится вслед за продвижением забоя, при этом обеспечивается примыкание ее к поверхности породного обнажения при прессовании бетонной смеси.

Состав бетона подбирается с учетом технологических требований — возможности транспортирования бетонной смеси по трубам, удобоукладываемости ее за опалубку и формирования прессованием. Подвижность бетонной смеси должна быть в пределах 5—11 см. Марку бетона принимают: по прочности 20—30 МПа, по водонепроницаемости W2 и W4.

Бетонную смесь для монолитно-прессованных обделок наиболее целесообразно готовить на стационарном бетонном узле, расположенном на поверхности, в стволе шахты или тоннеля. Возможно приготовление бетонной смеси возле места ее укладки на передвижном бетонном узле.

Для возведения монолитно-прессованной обделки комплекс оборудования должен предусматривать проходческий щит, прессующее устройство, опалубку, механизм для перемещения опалубки, бетонный узел для приготовления бетонной смеси, бетоноукладчик, бетоновод. Прессующее устройство должно обеспечивать давление на бетонную смесь не менее 0,1 МПа, выход отжимаемой из бетонной смеси воды, уплотнение бетонной смеси с потерями растворной части, не превышающими 1%. Бетоноводы должны иметь диаметр 121 и 150 мм и быть снабжены быстросействующими замками.

Схема возведения монолитной бетонной обделки методом прессования показана на рис. 1.15.

### 1.3.2. Металлобетонная крепь

Металлобетонная крепь применяется в горизонтальных выработках с длительным сроком службы при вмещающих породах III—IV категорий устойчивости. Наиболее распространена крепь с жесткой арматурой из металлических рам из спецпрофиля,



## Металлобетонная крепь Донгипрошахта

Показатели	Типоразмер сечений выработок							
	1	2	3	4	5	6	7	8
Площадь сечения, м <sup>2</sup> : в свету	6,4	7,8	9,0	11,2	13,2	14,5	15,7	17,1
	6,4	7,8	9,0	11,2	13,2	14,5	15,7	17,1
в проходке	9,9	12,2	14,7	18,0	21,5	24,1	26,1	28,2
	8,7	10,6	12,6	15,5	18,2	20,4	22,0	23,7
Толщина крепи, мм	200	200	250	250	250	300	300	300
	200	200	250	250	250	300	300	300
Масса одной металличе- ской рамы, кг	460,4	494,2	527,1	569,3	604,6	631,4	651,4	671,4
Объем бетона, м <sup>3</sup>	2,12	2,36	3,22	3,56	3,94	5,0	5,21	5,44
В том числе:	1,58	1,72	2,31	2,53	2,73	3,42	3,55	3,68
	0,99	1,13	1,57	1,79	1,99	2,54	2,67	2,80
верхний свод	0,99	1,13	1,57	1,79	1,99	2,54	2,67	2,80
стены	0,44	0,44	0,55	0,55	0,55	0,66	0,66	0,66
	0,44	0,44	0,55	0,55	0,55	0,66	0,66	0,66
обратный свод	0,69	0,79	1,10	1,22	1,4	1,8	1,88	1,98
фундаменты	—	—	—	—	—	—	—	—
	0,15	0,15	0,19	0,19	0,19	0,22	0,22	0,22

Примечание. В числителе приведены показатели для крепи МПКЗ, в знаменателе — для МПКА.

реже — из двутавровых балок. Металлические рамы устанавливаются вслед за продвижением забоя, а затем с отставанием бетонировуют. Металлические рамы могут быть жесткими или податливыми.

Жесткие рамы устанавливают в тех условиях, где необходимо сразу же исключить смещение пород после их обнажения, например, в шахтах Подмосковского угольного бассейна и др.

Бетонирование производят с технологическим разрывом, обусловленным возможностью и удобством выполнения работ. В Донском и аналогичных бассейнах металлические рамы могут работать в податливом режиме в период наиболее интенсивных смещений пород. Бетонирование в этих условиях выполняют через 20—40 и более суток, после исчерпания конструктивной податливости металлической крепи.

Технология установки рам такая же, как и при обычной металлической крепи, а работы по бетонированию аналогичны возведению бетонной крепи.

Металлобетонная крепь, обладая сравнительно высокой несущей способностью (0,4—0,6 МПа), применяется в выработках с длительным сроком службы — околоствольных дворах, камерах, на участках сопряжений и др.

Характеристика крепи приведена в табл. 1.5.

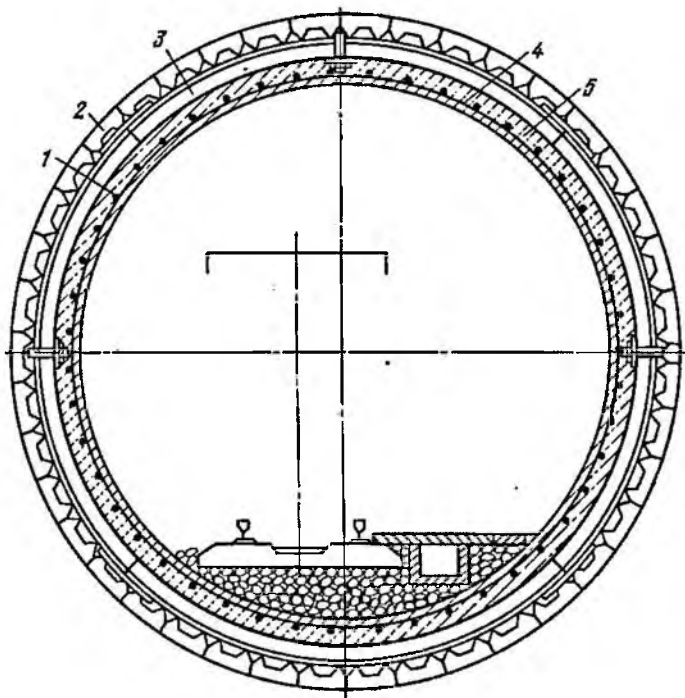


Рис. 1.16. Усиленная металлобетонная крепь:

1 — арматура диаметром 10 мм класса А-I; 2 — железобетонная затяжка; 3 — жесткая металлическая крепь из спецпрофиля; 4 — арматура диаметром 14 мм класса А-III; 5 — бетон М200

Наиболее экономичным по затратам трудовых и материальных ресурсов способом повышения несущей способности крепи является переход на более высокие марки бетона, например М300—350.

В особо сложных условиях, характеризующихся породами IV категории устойчивости, горные выработки крепят комбинированными конструкциями, состоящими из металлической замкнутой крепи, гибкой арматуры периодического профиля и бетона. Такая крепь разработана Южгипрорудой (рис. 1.16) и нашла применение в главных откаточных выработках марганцевых шахт горнорудной промышленности. В процессе проведения выработок возводится с шагом 0,5 м кольцевая металлическая крепь из спецпрофиля СВП-27 и железобетонной затяжки швеллерного типа. Затем устанавливается однорядный каркас с ячейкой 0,2×0,2 м из гибкой арматуры классов А-I и А-III и укладывается бетон М200. Толщина бетонного слоя переменная — 0,15 м в плоскости кольца металлической крепи и 0,275 м между кольцами. На крепление 1 м выработки требуется: спецпрофиля 711 кг; железобетонной затяжки 0,66 м<sup>3</sup>; гибкой арматуры 98 кг; бетона М200 3,1 м<sup>3</sup>. Несущая способность крепи 0,6—0,7 МПа.

## Характеристики металлобетонной крепи Южгипрошахта

Показатели	Типоразмер сечений выработок						
	1	2	3	4	5	6	7
<b>Крепь МКО</b>							
Площадь сечения, м <sup>2</sup> : в свету	6,1	7,9	9,3	11,0	12,8	14,4	16,1
	6,1	7,9	9,3	11,0	12,8	14,4	16,1
в проходке	8,4	10,5	12,1	13,9	16,0	17,7	20,1
	8,5	10,5	12,2	14,2	16,3	18,5	20,6
Номер двутаврового профиля	16	16	16	16	16	18	20
	18	18	18	20	20	24	24
Толщина крепи, мм	200	200	200	200	200	210	230
	210	200	210	230	230	270	270
Расход металла на 1 м выработки, кг	184	185	192	203	213	260	312
	500	423	448	456	572	650	676
Расход бетона на 1 м выработки, м <sup>3</sup>	1,62	1,74	1,84	1,27	2,10	2,31	2,66
	1,7	1,74	1,98	2,27	2,42	2,99	3,14
В том числе: верхний свод	1,1	1,19	1,38	1,51	1,70	1,98	2,39
	1,15	1,19	1,50	1,74	1,96	2,57	2,83
стены	0,37	0,40	0,31	0,31	0,25	0,17	0,10
	0,39	0,40	0,32	0,36	0,29	0,22	0,11
фундамент	0,15	0,15	0,15	0,15	0,15	0,16	0,17
	0,16	0,15	0,16	0,17	0,17	0,20	0,20

**Крепь МКЗ**

Площадь сечения, м <sup>2</sup> : в свету	6,8	7,8	9,3	10,9	12,8	14,7	16,8
	6,8	7,8	9,3	10,9	12,8	14,7	16,8
в проходке	12,5	12,4	14,9	18	21	23,3	25,3
	12,5	12,4	15,1	18,5	21,6	23,1	26,4
Номер двутаврового профиля	18	16	16	16	16	16	18
	18	16	18	20	20	20	24
Толщина крепи, мм	210	200	200	200	200	200	210
	210	200	210	230	230	230	270
Расход металла на 1 м выработки, кг	283	253	284	305	326	332	418
	697	492	563	701	892	760	909
Расход бетона на 1 м выработки, м <sup>3</sup>	3,35	2,23	2,45	2,69	2,92	3,0	3,46
	3,35	2,23	2,63	3,20	3,47	3,86	4,56
В том числе: верхний свод	2,52	1,64	1,71	1,84	1,96	2,1	2,34
	2,52	1,64	1,80	2,13	2,26	2,73	3,04
обратный свод	0,83	0,59	0,74	0,85	0,96	0,9	1,12
	0,83	0,59	0,83	1,07	1,21	1,13	1,52

Примечание. В числителе приведены показатели для несущей способности крепи 0,2 МПа, в знаменателе — 0,4 МПа.

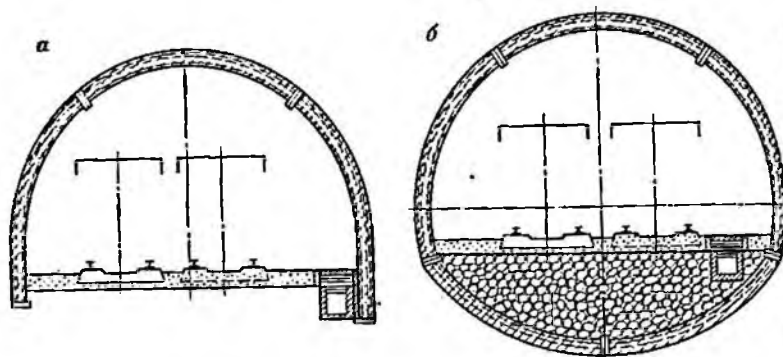


Рис. 1.17. Металлобетонная крепь конструкции Южгипрошахта: а — без обратного свода (МКО), б — с обратным сводом (МКЗ)

Южгипрошахтом разработана металлобетонная крепь (рис. 1.17), предназначенная для крепления одно- и двухпутных горизонтальных капитальных горных выработок, расположенных вне зоны влияния очистных работ, с несущей способностью 0,2 и 0,4 МПа при максимальном смещении пород до 100 мм.

Крепь состоит из металлического жесткого несущего каркаса и бетонного заполнения. Металлические каркасы выполнены из двутавровых балок № 16—24, в кровле и боках выработки затягиваются металлической сетчатой затяжкой.

Несущие металлические каркасы устанавливают у забоя выработки, а омоноличивание их бетоном выполняют через 20—30 сут. За это время реализуются активные смещения породного контура, и тем самым исключается отрицательное влияние нагрузок на твердение бетона.

Бетонирование каркасов производят бетоном М150, толщина бетона превышает на 30—40 мм высоту двутавра.

Для непучащих пород принято семь типоразмеров сечений с крепью без обратного свода, с полуциркульным сводом и прямыми стенками (МКО), для пучащих пород — семь типоразмеров сечений с крепью сегментной формы с выположенным обратным сводом (МКЗ). Характеристики крепей приведены в табл. 1.6.

Для крепления капитальных выработок в сложных горно-геологических условиях Донгипрошахтом разработана крепь ограниченной податливости из спецпрофиля с бетонным заполнением (рис. 1.18). Металлические арки из спецпрофиля СВП устанавливают вслед за подвиганием забоя, бока кровли выработки затягивают металлическим сетчатым межрамным ограждением. Такая конструкция первоначально работает в податливом режиме и выполняет роль временной крепи. Бетонирование металлокрепи осуществляют на расстоянии 30—50 м от забоя за зоной интенсивных смещений пород. Применяется бетон М150, реже — М200. Несущая способность крепи в зависимо-

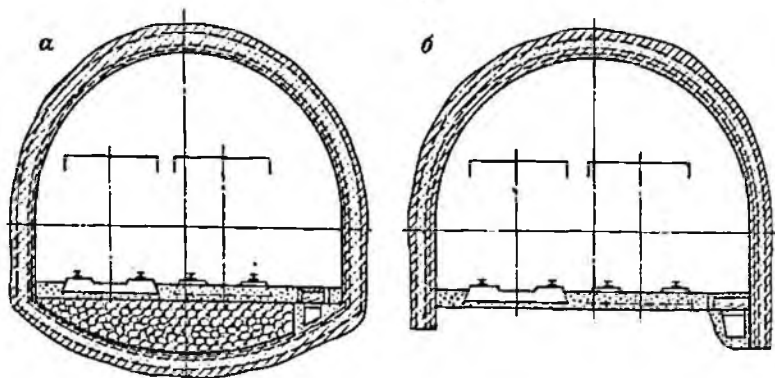


Рис. 1.18. Металлобетонная крепь конструкции Донгипрошахта:  
 а — с обратным сводом (МПКЗ), б — без обратного свода (МПКА)

сти от шага установки металлических арок не превышает 0,4—0,5 МПа.

При наличии в почве выработок пород, склонных к пучению, применяют замкнутые, с обратным сводом крепи — МПКЗ, а при прочных породах почвы — крепи без обратного свода МПКА.

Основные камеры, функционально связанные с работой шахты, горизонта, располагают в пределах околоствольного двора. Эти камеры отличаются увеличенными размерами, срок их службы соизмерим со сроком службы шахты, горизонта. В условиях глубоких горизонтов, характеризующихся усложнением горно-геологических условий, в качестве крепи камер наиболее распространены монолитный железобетон. Этот вид крепи долговечен, негорюч, обладает значительной несущей способностью (до 0,4—0,7 МПа). При сооружении камеры крепят вслед за подвиганием забоя металлическими рамами из двутавровых балок № 20—22 или спецпрофиля СВП-27 или СВП-33 с железобетонными или решетчатыми металлическими затяжками. В неустойчивых породах кровли и боков устанавливают анкеры, породы почвы, склонные к пучению, могут закрепляться анкерами или методом взрывной разгрузки с последующим их упрочнением скрепляющими растворами. При сильно лучащих почвах могут применять крепь с обратным сводом.

Бетонирование металлических рам выполняют с помощью разборной деревянной или металлической опалубки и бетоноукладчиками, например, типа БУК.

Бетон обычно принимается М200 или более высоких марок. В зависимости от характера и степени агрессивности шахтных вод для приготовления бетонной смеси используют сульфатостойкий или обычный бетон.

### 1.3.3. Набрызгбетонные крепи

Набрызгбетон эффективен при креплении горных выработок, проводимых по породам I—II, а иногда и III категории устойчивости. Он характеризуется высокой прочностью, хорошим сцеплением с породой и может применяться самостоятельно, а также в сочетании с анкерами, металлическими рамами, сетками и другими крепежными элементами. Крепи с использованием набрызгбетона применяют в вертикальных стволах, камерах, горизонтальных и наклонных горных выработках. Набрызгбетонирование исключает применение специальных опалубок и отличается высокой степенью механизации. ВНИИОМШСом созданы составы бетонных смесей на основе обычных и специальных цементов, разработан комплекс оборудования и механизмов, обеспечивающих подготовку компонентов бетонной смеси и нанесение ее в выработке с минимальными затратами труда, средств и времени.

Набрызгбетон получают нанесением на закрепляемую поверхность посредством сжатого воздуха затворенной смеси вяжущего вещества и инертных заполнителей. По сравнению с монолитным бетоном, укладываемым за опалубку, набрызгбетон характеризуется более высокими физико-механическими показателями. При одинаковых исходных материалах прочность набрызгбетона в 1,5—2 раза выше, чем у монолитного. Благодаря высокой плотности набрызгбетон имеет пористость в 3—4 раза меньшую, чем монолитный. Это его качество обеспечивает большую водонепроницаемость, что особенно важно для повышения устойчивости горной крепи против воздействия агрессивных вод.

Одной из важных особенностей набрызгбетона является плотное и непрерывное сцепление его с породой. Кроме того, в процессе набрызгбетонирования часть трещин в приконтурной зоне пород заполняют цементным тестом на глубину до 10—15 см, создавая тем самым дополнительную несущую оболочку из упрочненных пород. В сочетании с анкерами, металлической сеткой и другими крепежными элементами такая крепь может применяться иногда и в породах III категории устойчивости.

При креплении горных выработок на угольных шахтах и рудниках наиболее распространен сухой способ набрызгбетонирования, когда в набрызгмашину загружают смесь вяжущего и инертных заполнителей, а затворение ее водой происходит в смесителе, смонтированном на выходе материального трубопровода. Водоцементное отношение составляет 0,4—0,45. При этом способе обязательно соблюдение низкой влажности (не более 2—3%) исходных компонентов. Превышение влажности заполнителей более 5% приводит к потере прочности набрызгбетона до 70% проектной.

Отскок материала при сухом способе набрызгбетонирования достигает 20—24%, с использованием добавки — ускорителя схватывания (4% жидкого стекла от массы цемента) отскок снижается до 8—15%.

Мокрый способ набрызгбетонирования эффективен при гидроизоляции (пикотаже) металлической рамной крепи с железобетонными затяжками для последующего тампонажа закрепного пространства. При этом способе вяжущее и заполнители вместе с водой загружают в смеситель и приготавливают бетонную смесь. Влажность заполнителей не играет роли, ее учитывают только для правильного дозирования воды. Готовую бетонную смесь насосом подают к соплу, куда поступает также и добавка — ускоритель схватывания — жидкое стекло до 10% массы цемента и с помощью сжатого воздуха наносят на бетонируемую поверхность. Водоцементное отношение при мокром способе 0,7—0,8. Отскок материала не более 10%, пылеобразование весьма незначительно.

Набрызгбетонирование может выполняться как при транспортировании к месту работы готовой сухой смеси, так и с раздельной доставкой компонентов.

В первом случае сухую смесь готовят на поверхности и затем доставляют в горную выработку, где перегружают в набрызгмашину с помощью различных средств. При такой схеме обеспечивается высокое качество смеси, исключается дополнительное пылеобразование, но возникает необходимость строгого соблюдения сроков и тщательности хранения смеси.

При раздельной доставке исходных компонентов смесь готовят в горной выработке, а затем загружают в машину для нанесения на поверхность.

Набрызгбетон наносят горизонтальными полосами снизу вверх толщиной одновременно наносимого слоя до 5 см на стенки выработки и до 3 см на кровле. Использование специальных добавок для ускорения схватывания и твердения или специальных цементов позволяет увеличить эту толщину в 2—3 раза. Каждый последующий слой при наличии добавок — ускорителей схватывания и твердения следует наносить не ранее чем через 30 мин на стены и 40 мин на своды. При отсутствии добавок разрыв увеличивают до 2 ч.

Работоспособность набрызгбетона может быть увеличена при армировании его отрезками стальной проволоки длиной 4—5 мм и диаметром 0,2—0,5 мм в количестве до 5% массы цемента. Прочность набрызгбетона на сжатие возрастает до 60—65 МПа, на растяжение — до 4—5 МПа.

Для сухого набрызгбетонирования применяют машины типа ПБМ конструкции Криворожского филиала ВНИИОМШСа, которые работают на готовой сухой смеси и могут раздельно загружаться вяжущим и заполнителями.

Конструктивные особенности этих машин обеспечивают надежное хранение исходных компонентов, механизированное изготовление смеси, сравнительно высокое качество крепи. Наибольшее применение среди машин этого типа с пневматическим двигателем П7,5—12 получили модификации ПБМ2, ПБМ3 и ПБМ1М, основные характеристики которых приведены в табл.

Таблица 1.7

## Характеристики машины для сухого набрызгбетонирования

Показатели	ПБМ2	ПБМ3	ПМБ1М
Производительность, м <sup>3</sup> /ч	4—6	4—6	4—6
Объем сухой смеси, м <sup>3</sup> :			
цемент	0,5	0,7	1,0
заполнитель	1,5	2,3	3,0
Мощность двигателя, кВт	10,3	8,8	8,8
Частота вращения двигателя, с <sup>-1</sup>	1	1	1
Дальность подачи по горизонтали, м	200	200	200
Давление воздуха в сети, МПа	0,5±0,1	0,5±0,1	0,5±0,1
Ширина колен, мм	750—900	750—900	750
Основные размеры машины, мм:			
длина	2300	4970	4313
ширина	1270	1270	1320
высота	1630	1635	1730
Масса машины, кг:			
незагруженной	3100	4700	6560
загруженной	6300	9000	11300

1.7. ПМБ1М и ПБМ3 имеют автономный привод на отдельной тележке.

Набрызгбетонирование сухим способом также выполняют машинами типа БМ-60, БМ-63 конструкции ЦНИИподземмаша.

Набрызгбетонирование мокрым способом производится машинами типа МНБ-1 конструкции ЦНИИподземмаша и другими машинами. Машина МНБ-1 также может быть использована для нагнетания мелкозернистых бетонных смесей за опалубку при возведении шахтной крепи.

## Техническая характеристика МНБ-1

Производительность, м <sup>3</sup> /ч	4 ± 0,5
Объем готового замеса в смесителе, л	165
Вместимость бункера, л	220
Объем емкости для ускорения схватывания, л	130
Мощность двигателя, кВт:	
растворонасоса	7,5
смесителя	7,5
Тип энергии привода	Пневматическая
Давление сжатого воздуха, МПа	0,4—0,5
Расход воздуха, м <sup>3</sup> /мин	21
В том числе на набрызг, не более	5
Крупность заполнителя, мм, не более	8
Основные размеры, мм:	
длина	3450
ширина	1160
высота	2080
Высота по загрузке, мм	1820
Масса машины, кг	2200
Масса комплекта поставки, кг	2500

## 1.4. СБОРНЫЕ БЕТОННЫЕ И ЖЕЛЕЗОБЕТОННЫЕ КРЕПИ ГОРНЫХ ВЫРАБОТОК

### 1.4.1. Сборная железобетонная крепь вертикальных стволов

В сложных гидрогеологических условиях, а также в слабых, неустойчивых породах для крепления стволов эффективны железобетонные тубинги конструкции ВНИИОМШСа и тубинги СТК.

Железобетонные ребристые тубинги конструкции ВНИИОМШСа (рис. 1.19) предназначены для крепления стволов диаметром 3,5—9 м и рассчитаны на внешнее равномерное давление до 0,4 МПа и неравномерное — до 0,2 МПа. Основные размеры тубинговой крепи приведены в табл. 1.8.

Тубинговую крепь возводят с помощью лебедки, установленной на полке, или лебедки тельфера одного из погрузчиков, который снимается с тельфера на этот период. Каждый тубинг скрепляют с ранее установленным верхним кольцом стальными болтами. После навески 10 тубинговых колец устраивается опорное кольцо посредством заполнения закрепного пространства цементно-песчаным раствором на высоту двух колец. Раствор состава Ц:П=1:2 подают за крепь через отверстия в спинке тубингов. После устройства опорного кольца герметизируют швы и тампонируют закрепное пространство цементно-песчаным раствором состава от 1:4 до 1:10 в зависимости от

Основные размеры тубинговой крепи конструкции ВНИИОМШСа, мм

Диаметр ствола в свету, м	R <sub>1</sub>	R <sub>2</sub>	R <sub>3</sub>	R <sub>4</sub>	R <sub>5</sub>	L <sub>1</sub>	L <sub>2</sub>	l <sub>1</sub>	l <sub>2</sub>	l <sub>3</sub>
4	2000	2080	2150	2230	400	2335,3	2094,4	2230	2000	362,5
4,5	2250	2340	2420	2520	400	2261,9	2019,6	2187	1952	350
5	2500	2620	2700	2800	400	2199,1	1963,5	2143,1	1913,2	342,7
5,5	2750	2870	2950	3050	400	2395,5	2159,8	2334,5	2104,9	375,4
6	3000	3120	3200	3300	400	2303,8	2094,4	2257,2	2052	362,8
6,5	3250	3370	3450	3550	800	2478,4	2268,9	2428,2	2223	294
7	3500	3660	3750	3850	800	2419	2199,1	2379,3	2163	287,4
7,5	3750	3910	4000	4100	800	2576,1	2356,2	2533,8	2317,5	307
8	4000	4160	4250	4350	800	2484,7	2284,8	2450,8	2253,6	297
9	4500	4660	4750	4850	800	2539,4	2356,2	2510,6	2329,4	305

притоков воды и величины закрепного пространства. Для ускорения твердения раствора могут применять добавку хлористого кальция в количестве до 5%.

Тубинги СТК (рис. 1.20) представляют собой тонкостенную оболочку с двумя кольцевыми и двумя радиальными ребрами по контуру. Несущая способность такой крепи до 0,4 МПа при бетоне М400. Основные размеры тубингов СТК приведены в табл. 1.9.



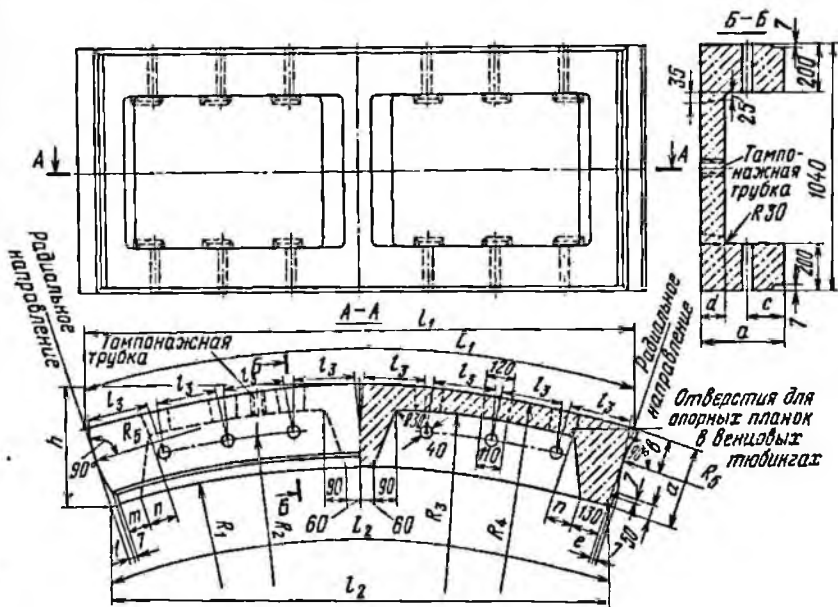


Рис. 1.19. Железобетонный тунннг конструкции ВНИИОМШСа

Таблица 1.8

a	b	c	d	e	f	h	m	n	Число тубингов в кольце	Масса тубинга, кг	Марка бетона
230	90	80	80	3	10	498	113	120	6	910	200
270	110	90	100	8,4	15,4	492,8	107,6	90	7	1090	200
300	125	120	100	13	20	490,3	103	90	8	1150	200
300	125	120	100	13	20	509,3	103	90	8	1250	200
300	125	120	100	3	10	480,9	113	90	9	1240	200
300	125	120	100	3	10	469	113	90	9	1325	200
350	150	160	100	7	14	521,2	109	110	10	1450	200
350	150	160	100	7	14	533,4	109	110	10	1540	300
350	150	160	100	7	14	512	109	115	11	1500	300
350	150	160	100	7	14	503,5	109	110	12	1510	300

Таблица 1.9

Основные размеры тунннгов СТК, в мм

Диаметр ствола в свету, м	Диаметр ствола в свету, м					Диаметр ствола в свету, м	Диаметр ствола в свету, м				
	R <sub>1</sub>	R <sub>2</sub>	L <sub>1</sub>	L <sub>2</sub>	L <sub>3</sub>		R <sub>1</sub>	R <sub>2</sub>	L <sub>1</sub>	L <sub>2</sub>	L <sub>3</sub>
4,5	2250	2500	1709	1538	1600	6,5	3250	3500	1674	1554	1598
5	2500	2750	1699	1545	1600	7	3500	3750	1668	1557	1597
5,5	2750	3000	1690	1549	1600	7,5	3750	4000	1663	1559	1596
6	3000	3250	1682	1552	1599	8	4000	4250	1658	1560	1595

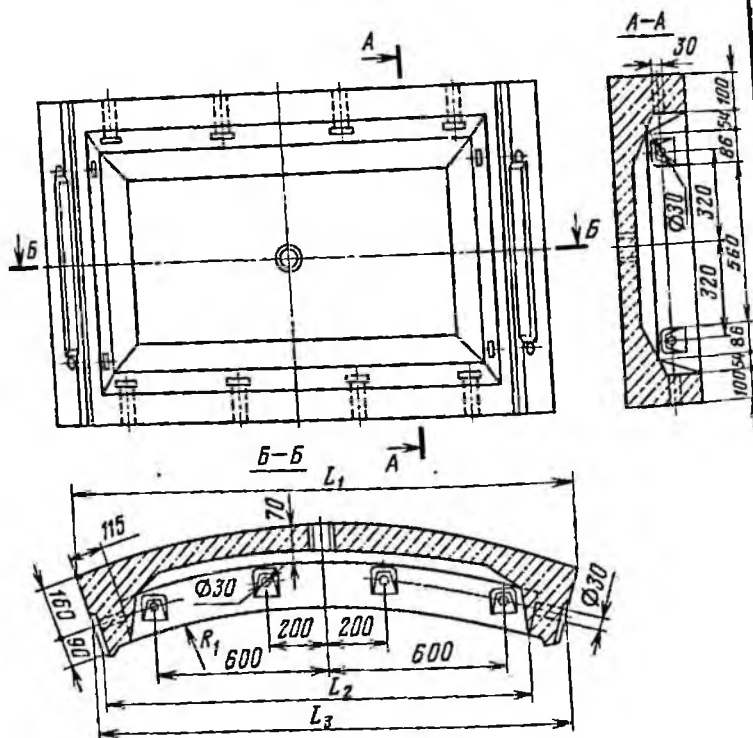


Рис. 1.20. Железобетонный туннель СТК

#### 1.4.2. Сборные бетонные и железобетонные крепи горизонтальных горных выработок

Крепи этого типа представляют собой сплошные многоярусные конструкции, собираемые из отдельных бетонных или железобетонных элементов. Податливость крепи может быть достигнута уплотняющими прокладками, помещаемыми между ее элементами. Составные части крепи изготавливают промышленными методами с высокой точностью заданных характеристик.

Характерным видом крепи из бетонных блоков является блочная крепь (рис. 1.21), разработанная НИОГРОМ, Центрогипрошахтом, Донгипрошахтом и ДонУГИ. Крепь имеет замкнутую (БКЗ) и арочную (БКА) формы. Замкнутая крепь состоит из клиновидных радиальных блоков верхнего и обратного сводов и двух фундаментных блоков, в арочной крепи обратный свод отсутствует. Ширина блоков 500 мм, толщина 300 мм, длина 800 мм, масса — от 312 до 400 кг.

Предельная несущая способность блочной крепи из бетона М300 составляет 0,55—0,65 МПа. Работоспособность крепи обеспечивается только при наличии отпора, поэтому закрепное

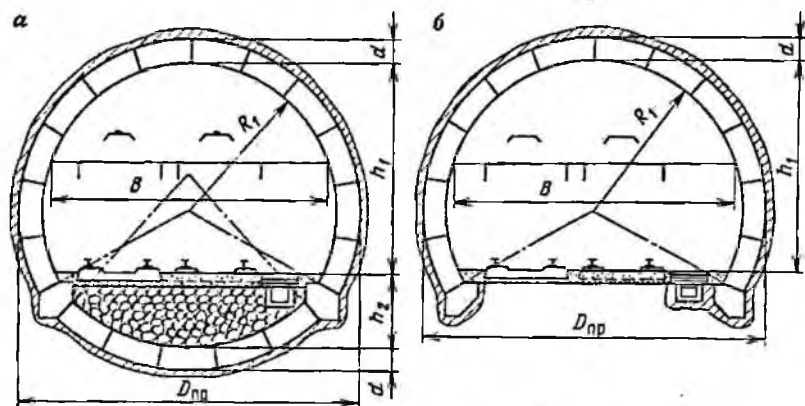


Рис. 1.21. Блочная крепь:  
 а — замкнутой, б — незамкнутой

Таблица 1.10

Характеристика блочной бетонной крепи

Индекс крепи	Площадь поперечного сечения, м <sup>2</sup>		Размеры, см						Число блоков на 1 м выработки		
	в проходке	в свету	$D_{пр}$	$R_1$	$B$	$d$	$h_1$	$h_2$	Верхний свод	Фундамент	Обратный свод
БКЗ-1	14,2	7,9	424	174,5	311	30	270	79	20	4	6
БКЗ-2	16,3	8,5	454	189	326	30	267	111,5	20	4	8
БКЗ-3	18,1	10,1	479	201	371	30	297,5	104,5	22	4	8
БКЗ-4	24	12,5	563	231,6	433	30	323	116	24	4	10
БКЗ-5	26	13,1	605	251	452	40	315	128	24	4	12
БКЗ-6	29,3	15,3	632	265	496	40	346	137	26	4	12
БКЗ-7	33,6	18,0	688	291,6	552	40	371,5	142,5	28	4	14
БКЛ 1	12,0	7,9	424	174,5	311	30	270	79	20	4	—
БКА-2	12,7	8,5	454	189	326	30	267	111,5	20	4	—
БКА-3	14,7	10,1	479	201	371	30	297,5	104,5	22	4	—
БКА-4	18,0	12,5	563	231,6	433	30	323	116	24	4	—
БКА-5	19,6	13,1	605	251	452	40	315	128	24	4	—
БКА-6	22,3	15,3	632	265	496	40	346	137	26	4	—
БКА-7	25,7	18,0	688	291	552	40	371,5	142,5	28	4	—

пространство должно быть тщательно забучено породой или затампонировано.

Характеристика крепи приведена в табл. 1.10.

Блочная бетонная крепь возводится с помощью крепеукладчика типа МШ конструкции НИОГР, который выполняет одновременно роль шаблона и подъемного механизма в комплексе с малогабаритной подъемной лебедкой.

Крепь из железобетонных тубингов КТАГ конструкции ВНИИОМШСа предназначена для крепления горизонтальных горных выработок вне зоны влияния очистных работ при отсутствии пучения пород почвы (рис. 1.22). Максимальная несущая спо-

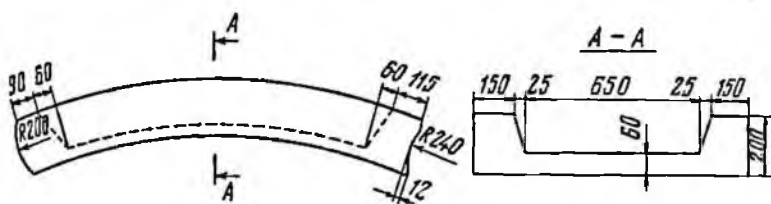


Рис. 1.22. Тюбинговая крепь КТАГ

способность крепи 300 кПа. Тюбинг представляет собой железобетонный цилиндрический сегмент шириной 1000 мм, толщиной 200 мм и массой до 500 кг, состоящий из гладкой плиты, расположенной на вогнутой стороне, и ребер — на выпуклой. В плите расположены выступающие петли, предназначенные для монтажа крепи. Радиальные ребра имеют с одной стороны тюбинга цилиндрическую выпуклость, с другой — вогнутость несколько большего радиуса. При этом тюбинги в арке примыкают друг к другу по криволинейным поверхностям разной кривизны. Это позволяет тюбингам поворачиваться на некоторый угол, изменяя контур крепи, и тем самым лучше приспособлять крепь к воздействию внешней нагрузки.

Тюбинги смежных арок устанавливают с перевязкой горизонтальных швов посредством полутюбингов. Данные о крепи приведены в табл. 1.11.

Крепь возводится с помощью крепеукладчиков УК-500, К-1000, а также типа МШ. Затюбинговое пространство плотно забучивается породой, а также может тампонироваться.

Гладкостенная тюбинговая крепь конструкции КузНИИшахтостроя (рис. 1.23) является многос шарнирной конструкцией с ограниченной податливостью, имеет замкнутую и арочную формы и применяется для крепления горизонтальных капитальных горных выработок. Смежные арки с перевязкой горизонтальных швов. Арочная крепь рассчитана на несущую способность 100—300 кПа

Таблица 1.11

Характеристики тюбинговой крепи ВНИИОМШСа

Площадь сечения выработки в свету, м <sup>2</sup>	Внутренний диаметр, м	Число тюбингов	Число полутюбингов	Расход крепежных материалов на 1 м выработки	
				Бетон, м <sup>3</sup>	Арматура, кг
7,9	3,3				
8,8	4,1	5	1	1,03	101,7
11,5	4,9	5	1	1,08	106,2
12,8	4,9	5	2	1,18	124,0
13,2	4,9	6	1	1,28	134,3
13,4	5,2	6	1	1,28	134,3
14,2	5,5	6	2	1,29	138,0
15,4	5,8	6	2	1,31	139,9
16,4	6,0	6	2	1,35	160,9
18,8	6,0	6	2	1,39	164,3
		7	1	1,48	176

Таблица 1.12

## Характеристики тубинговой крепи КузНИИшахтострой

Площадь сечения в см <sup>2</sup> .	Расход материалов на 1 м выработки												Бетон М150, м <sup>3</sup>	Болты, кг	Дерево, м <sup>3</sup>	
	Тубинги, шт.		Полутубинги, шт.		Бетон М300, м <sup>3</sup>				Арматура, кг							
	верхнего свода	нижнего свода	верхнего свода	нижнего свода	При толщине крепи, мм		При несущей способности крепи, кПа		200		400					
9,4	6	—	1,33	—	0,68	—	1,07	715	1089	1418	—	—	0,2*	4,27	0,05	
11,1	6,67	—	1,33	—	0,75	—	1,17	787	1199	1561	—	—	0,2	4,69	0,05	
13,6	7,33	—	1,33	—	—	1,02	1,42	1214	1470	2170	—	—	0,2	5,12	0,06	
14,1	7,33	—	1,33	—	—	1,02	1,42	1214	1470	2170	—	—	0,2	5,12	0,06	
14,6	7,33	—	1,33	—	—	1,02	1,42	1214	1470	2170	—	—	0,2	5,12	0,06	
15,8	8,0	—	1,33	—	—	1,10	1,53	1315	1593	2352	—	—	0,2	5,55	0,06	
17,2	7,33	—	1,33	—	—	—	1,60	—	1601	3128	—	—	0,2	5,12	0,06	
19,9	8,0	—	1,33	—	—	—	1,73	—	1734	3389	—	—	0,2	5,55	0,06	
22,2	8,67	—	1,33	—	—	—	1,87	—	1868	3650	—	—	0,2	5,97	0,07	
Арочная крепь																
11,1	6,67	4,0	—	—	—	—	1,71	—	—	—	—	—	—	4,27	0,05	
13,6	6,67	4,0	1,33	—	—	—	2,23	—	—	—	—	—	—	4,69	0,06	
14,1	6,67	4,0	1,33	—	—	—	2,23	—	—	—	—	—	—	4,69	0,06	
14,6	6,67	4,0	1,33	—	—	—	2,23	—	—	—	—	—	—	4,69	0,06	
Замкнутая крепь																
11,1	6,67	4,0	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	4,27	0,05	
13,6	6,67	4,0	1,33	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	4,69	0,06	
14,1	6,67	4,0	1,33	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	4,69	0,06	
14,6	6,67	4,0	1,33	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	4,69	0,06	

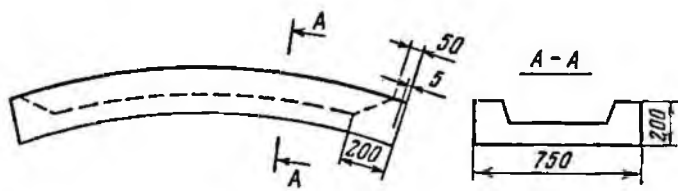


Рис. 1.23. Гладкостенная тубинговая крепь конструкции КузНИИшахтостроя и предназначена для горизонтальных капитальных горных выработок, пройденных в породах II—III категорий устойчивости. Замкнутая крепь с несущей способностью 400 кПа применяется в слабых неустойчивых породах при всестороннем горном давлении.

Крепь имеет три типоразмера тубингов и полутубингов. Ширина элемента 750 мм, масса тубинга 255—500 кг, полутубинга — 126—249 кг. Данные о крепи приведены в табл. 1.12. Тубинговая крепь возводится вслед за продвижением забоя крепиукладчиками К-1000, ТУ-2Р и др. Закрепное пространство должно быть тщательно заложено породой или затампонировано.

Блочная крепь БК конструкции ВНИИОМШСа (рис. 1.24)

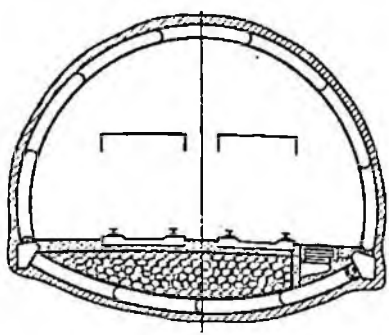
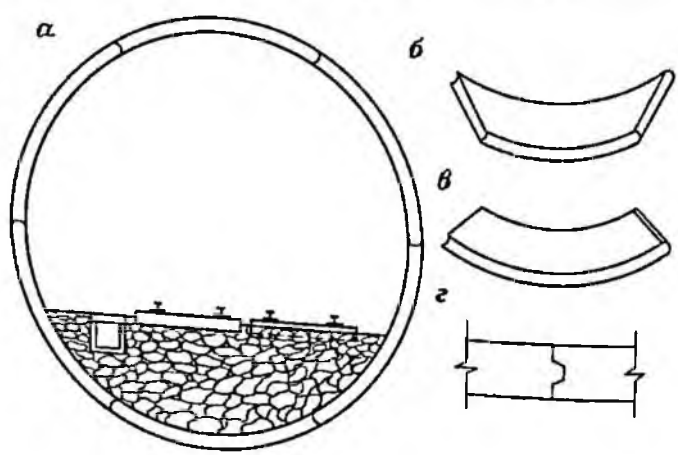


Рис. 1.24. Блочная крепь конструкции ВНИИОМШСа

Рис. 1.25. Шестиэлементная клиновидная блочная крепь:  
а — общий вид; б — блоки I типа; в — блок II типа; г — соединение колец крепи



предназначена для крепления горных выработок в породах III—IV категорий устойчивости при отсутствии влияния очистных работ. Крепь сплошная, замкнутая, с несущей способностью 600 кПа состоит из крупноразмерных блоков панельного типа шириной 1000 мм, толщиной 200 мм и массой от 720 до 785 кг. Однопутевые выработки площадью сечения в свету 7,9 и 8,8 м<sup>2</sup> имеют круговое очертание. Двухпутные выработки площадью сечения в свету от 11,5 до 18,8 м<sup>2</sup> имеют арочную форму циркульного очертания и выположенный обратный свод. Соединение арки с обратным сводом производится с помощью переходного блока. Блоки смежных арок устанавливаются с перевязкой горизонтальных швов, что достигается с помощью полублоков. В зависимости от площади сечения в арке устанавливается 6—7,5 блока, а в обратном своде 2,5—4,5 блока. Крепь возводят вслед за продвижением забоя с помощью крепеукладчика К-1000.

В условиях проведения горных выработок щитовыми проходческими комплексами КЩ-5,2Б получили применение сборные железобетонные крепи из укрупненных клиновых элементов конструкции ВНИИОМШСа.

Шестиэлементная крепь имеет кольцевую форму очертания и состоит из блоков двух типов, укладываемых в кольцо с перевязкой швов или без неё (рис. 1.25). Блоки I типа имеют гребень вдоль укороченной стороны и паз вдоль ее длинной стороны, блоки II типа выполнены с противоположным размещением гребня и паза на продольных гранях. Блоки в кольце примыкают по скошенным торцам с цилиндрическими поверхностями разной кривизны. Заделка продольных и поперечных швов выполняется раствором на цемент типа ВРЦ или БРЦ. Тампонаж закрепного пространства производится цементно-песчаным раствором.

#### Техническая характеристика шестиэлементной крепи

Диаметр, мм:	
внутренний	4700
внешний	5100
Ширина крепи, мм	1000
Толщина крепи, мм	200
Радиус кривизны скошенных торцов, мм:	
выпуклых	200
вогнутых	240
Масса одного элемента, кг	1280
Расход материалов на 1 м горной выработки:	
бетона М400, м <sup>3</sup>	3,07
арматуры классов А-I и А-III, кг	291,96
Несущая способность крепи, МПа	0,46

Пятиэлементная крепь состоит из двух типов рядовых блоков, отличающихся взаимным расположением паза и гребня и лоткового блока с водоотливной канавкой гиперболической формы (рис. 1.26). Соединение колец крепи аналогично шестиэлементной блочной крепи.

Крепь обладает повышенной устойчивостью, благодаря чему тампонаж закрепного пространства может не выполняться.

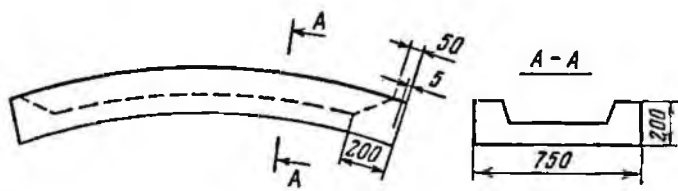


Рис. 1.23. Гладкостенная тубинговая крепь конструкции КузНИИшахтострой и предназначена для горизонтальных капитальных горных выработок, пройденных в породах II—III категорий устойчивости. Замкнутая крепь с несущей способностью 400 кПа применяется в слабых неустойчивых породах при всестороннем горном давлении.

Крепь имеет три типоразмера тубингов и полутубингов. Ширина элемента 750 мм, масса тубинга 255—500 кг, полутубинга — 126—249 кг. Данные о крепи приведены в табл. 1.12. Тубинговая крепь возводится вслед за продвижением забоя крепиукладчиками К-1000, ТУ-2Р и др. Закрепное пространство должно быть тщательно заложено породой или затампонировано.

Блочная крепь БК конструкции ВНИИОМШСа (рис. 1.24)

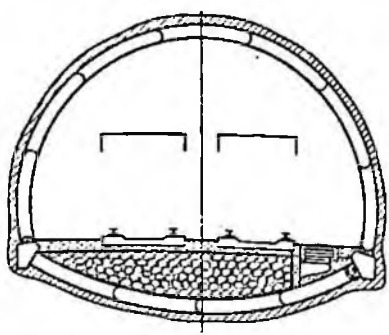
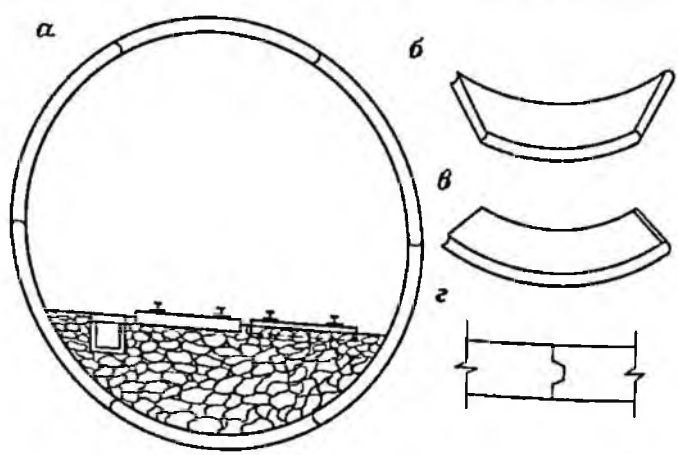


Рис. 1.24. Блочная крепь конструкции ВНИИОМШСа

Рис. 1.25. Шестиэлементная клиновидная блочная крепь:  
а — общий вид; б — блоки I типа; в — блок II типа; г — соединение колец крепи





предназначена для крепления горных выработок в породах III—IV категорий устойчивости при отсутствии влияния очистных работ. Крепь сплошная, замкнутая, с несущей способностью 600 кПа состоит из крупноразмерных блоков панельного типа шириной 1000 мм, толщиной 200 мм и массой от 720 до 785 кг. Однопутевые выработки площадью сечения в свету 7,9 и 8,8 м<sup>2</sup> имеют круговое очертание. Двухпутные выработки площадью сечения в свету от 11,5 до 18,8 м<sup>2</sup> имеют арочную форму циркульного очертания и выположенный обратный свод. Соединение арки с обратным сводом производится с помощью переходного блока. Блоки смежных арок устанавливаются с перевязкой горизонтальных швов, что достигается с помощью полублоков. В зависимости от площади сечения в арке устанавливается 6—7,5 блока, а в обратном своде 2,5—4,5 блока. Крепь возводят вслед за продвижением забоя с помощью крепеукладчика К-1000.

В условиях проведения горных выработок щитовыми проходческими комплексами КЩ-5,2Б получили применение сборные железобетонные крепи из укрупненных клиновых элементов конструкции ВНИИОМШСа.

Шестиэлементная крепь имеет кольцевую форму очертания и состоит из блоков двух типов, укладываемых в кольцо с перевязкой швов или без неё (рис. 1.25). Блоки I типа имеют гребень вдоль укороченной стороны и паз вдоль ее длинной стороны, блоки II типа выполнены с противоположным размещением гребня и паза на продольных гранях. Блоки в кольце примыкают по скошенным торцам с цилиндрическими поверхностями разной кривизны. Заделка продольных и поперечных швов выполняется раствором на цемент типа ВРЦ или БРЦ. Тампонаж закрепного пространства производится цементно-песчаным раствором.

#### Техническая характеристика шестиэлементной крепи

Диаметр, мм:	
внутренний	4700
внешний	5100
Ширина крепи, мм	1000
Толщина крепи, мм	200
Радиус кривизны скошенных торцов, мм:	
выпуклых	200
вогнутых	240
Масса одного элемента, кг	1280
Расход материалов на 1 м горной выработки:	
бетона М400, м <sup>3</sup>	3,07
арматуры классов А-I и А-III, кг	291,96
Несущая способность крепи, МПа	0,46

Пятиэлементная крепь состоит из двух типов рядовых блоков, отличающихся взаимным расположением паза и гребня и лоткового блока с водоотливной канавкой гиперболической формы (рис. 1.26). Соединение колец крепи аналогично шестиэлементной блочной крепи.

Крепь обладает повышенной устойчивостью, благодаря чему тампонаж закрепного пространства может не выполняться.

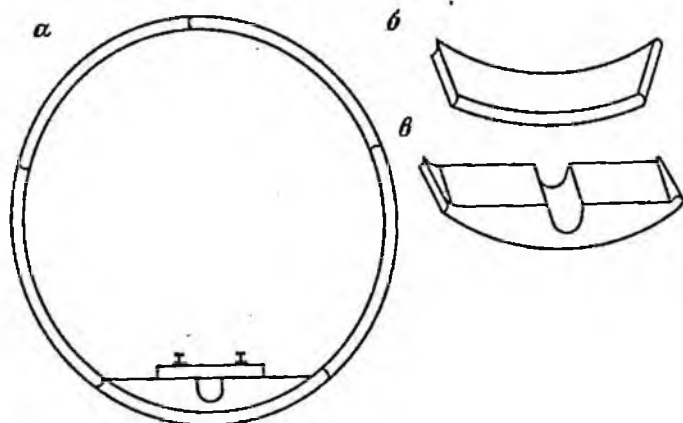


Рис. 1.26. Пятиэлементная клиновидная блочная крепь:

а — общий вид; б — рядовой блок; в — лотковый блок

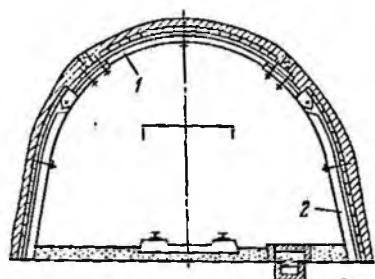


Рис. 1.27. Арочная шарнирно-податливая крепь:

1 — железобетонный верхник; 2 — железобетонная стойка

**Техническая характеристика пятиэлементной крепи**

Горизонтальный диаметр, мм:		
внутренний	.....	4700
внешний	.....	5100
Ширина крепи, мм	.....	1000
Толщина крепи, мм	.....	200
Радиус кривизны скошенных торцов, мм:		
выпуклых	.....	200
вогнутых	.....	240
Масса блока, кг:		
рядового	.....	1530
лоткового	.....	2640
Расход материалов на 1 м горной выработки:		
бетона М400, м <sup>3</sup>	.....	3,73
арматуры классов А-I и А-III, кг	.....	288,08
Несущая способность крепи, МПа	.....	0,46

Все блоки изготавливают в металлических формах по обычной технологии с пропаркой в формах. Возведение крепи осуществляется с помощью блокоукладчика в щите.

Для крепления горных выработок разработаны также конструкции рамных железобетонных крепей. В связи с дефицитностью металла особое значение приобретают рамные конструкции для крепления горных выработок в горно-геологических условиях, соответствующих области применения металлической крепи. Примером такой крепи является арочная шарнирно-податливая

крепь АШПК (рис. 1.27), разработанная ВНИИОМШСом. По технической характеристике эта крепь равнозначна трехзвенной арочной металлической податливой крепи из спецпрофиля. Благодаря шарнирному соединению верхняков со стойками в крепи практически исключается появление опасных изгибающих усилий и, кроме того, обеспечивается доставка крепи в забой в собранном виде. Установка пакета крепи производится посредством подвешенного крепеукладчика. Этим достигается рост производительности труда при креплении на 35%.

При использовании металлической и сборной железобетонной рамной крепи наибольшее распространение для ограждения межрамного пространства получили железобетонные плиты-затяжки.

Затяжка шахтная железобетонная по техническим условиям ТУ 12 УССР 7-4—83 представляет собой плоские железобетонные плиты из тяжелого бетона или шлакобетона марки не менее М300 (рис. 1.28).

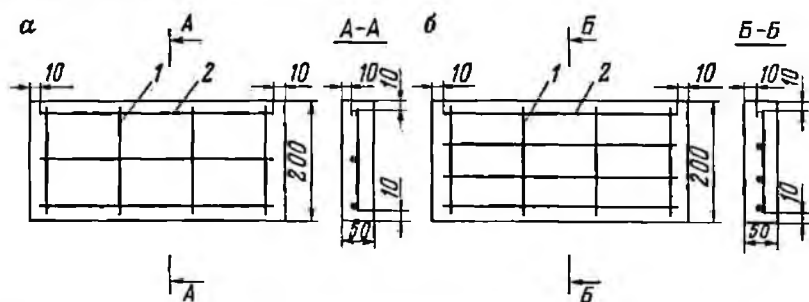


Рис. 1.28. Железобетонная плита-затяжка I (а) и II (б) типов:  
1 — рабочая арматура диаметром 5 мм, 2 — распределительная арматура диаметром 3 мм

Армируются затяжки сварными плоскими каркасами из холодноотянутой арматурной проволоки гладкого профиля ВР-1 или арматуры периодического профиля класса В-1 по ГОСТ 6727—80.

В зависимости от величины разрушающей нагрузки затяжки

Таблица 1.13

Характеристики железобетонных затяжек

Длина, мм	Ширина, мм	Высота, мм	Масса, кг		Разрушающая контрольная нагрузка при проектной прочности бетона, кН
			из тяжелого бетона	из шлакобетона	
500	200	50	12,5	11	9/11 *
700	200	50	17,5	15,4	6/7,5
800	200	50	20	17,6	5,1/6,4
1000	200	50	25	22	4/5
1250	200	50	31,2	27,5	4/5
1250	100	60	18,8	16,5	—

\* Числитель — для типа I, знаменатель — для типа II.

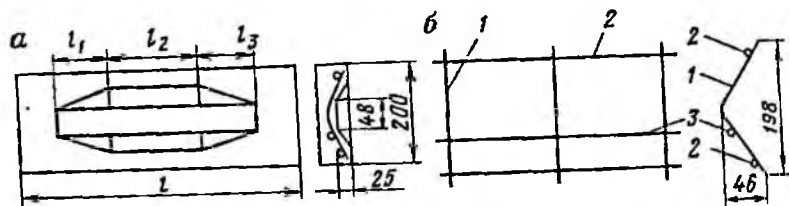


Рис. 1.29. Кессонная железобетонная затяжка ЗК:  
 а — общий вид; б — арматурный каркас; 1 — распределительная арматура; 2 — рабочая арматура;  
 3 — монтажный стержень

подразделяются на два типа: I тип армируется каркасом с трехрядной рабочей арматурой, II — каркасом с четырехрядной арматурой.

Характеристика затяжек приведена в табл. 1.13.

ВНИИОМШСом разработана кессонная железобетонная затяжка ЗК (рис. 1.29). Основными отличительными особенностями этого вида затяжки по сравнению с плоской железобетонной является наличие кессона глубиной 25 мм и изогнутого арматурного каркаса, что позволяет снизить расход материалов на ее изготовление при сохранении прочности.

Затяжки изготавливают из тяжелых бетонов марки не ниже М300. Для условий эксплуатации в неагрессивных средах затяжки изготавливают из бетона с маркой по водонепроницаемости W4, а в агрессивных средах — из бетона пониженной проницаемости с маркой W6 в соответствии со СНиП 2.03.11—85.

Армируют затяжки сварными каркасами, изогнутыми по предельной арматуре. Для рабочей арматуры используют сталь горячекатаного периодического профиля класса А III по ГОСТ 5781—82, поперечные распределительные стержни и продольный монтажный стержень принимают из обычной арматурной проволоки класса ВР-1 или В-1 по ГОСТ 6727—80. Ширина затяжек 200 мм, высота — 50 мм.

Характеристика затяжки ЗК приведена в табл. 1.14.

Как правило, железобетонные затяжки изготавливают промышленными методами в кассетных формах веерного типа.

Отпускная прочность бетона затяжки после термовлажностной обработки в заводских условиях должна быть не ниже 70% проектной.

Таблица 1.14

Характеристики кессонных железобетонных затяжек

Тип затяжки	Длина l, мм	Элементы кессона		Объем затяжки, м <sup>3</sup>	Масса, кг	Нагрузка на затяжку, кН
		h, мм	l <sub>2</sub> , мм			
ЗК0,5	500	100	150	0,004	10	6,5
ЗК0,65	650	100	300	0,0052	13	4,7
ЗК0,7	700	100	350	0,0056	14	4,3
ЗК0,8	800	150	300	0,0065	16,2	3,7
ЗК1,0	1000	150	500	0,008	20	2,8
ЗК1,25	1250	150	750	0,01	25	2,2

### 1.4.3. Анкерные крепи

Анкерная (штапговая) крепь применяется для упрочнения породного массива с целью создания благоприятных условий для проведения и особенно для поддержания горных выработок. Конструктивно анкерная крепь представляет собой стержни, закрепляемые в скважине различными способами. К стержням прикрепляют опорные элементы — плиты, верхняки, металлические сетки, подхватывающие породное обнажение.

Анкерная крепь может применяться самостоятельно в породах I—II категорий устойчивости, а также в сочетании с другими видами крепи. При креплении капитальных горных выработок анкерная крепь должна быть долговечной. Этому требованию отвечают железобетонные анкеры. Обычно железобетонный анкер устанавливают следующим образом: скважину заполняют бетоном на мелком щебне или песчано-цементным раствором и вводят металлический стержень периодического профиля. После дачи металлический стержень к анкеру прикрепляют опорный элемент достаточной прочности к анкеру прикрепляют опорный элемент. Такая схема требует специального, подчас громоздкого оборудования, кроме того, для включения железобетонного анкера в работу необходимо время, обусловленное набором прочности бетона или раствора в скважине. Этих недостатков лишена анкерная крепь АКПН конструкции ВНИИОМШСа, закрепляемая с помощью патронированного неорганического вяжущего. Эта крепь предназначена для крепления различного назначения горных выработок в породах I—IV категорий устойчивости. При этом крепь применяется как самостоятельный вид крепи, так и в сочетании с другими видами крепи: металлической, набрызгбетонной, бетонной, металлобетонной; может использоваться для подвески труб, кабелей, монорельсовых дорожек, элементов армировки в вертикальных шахтных стволах, а также как средство борьбы с пучением почвы и упрочнения горных пород.

Анкерная крепь АКПН (рис. 1.30) состоит из металлической штанги, закрепленной в скважине неорганическим материалом, который образуется в результате перемешивания в скважине и твердения сухих и жидкого компонентов, отдельно помещенных в полиэтиленовом патроне.

#### Техническая характеристика патрона

Основные размеры, мм:	250
длина патрона	40
диаметр патрона	180
длина стеклянной ампулы	29
диаметр стеклянной ампулы	185
Состав сухой смеси, г:	93
тонкокомлотый доменный гранулированный шлак	0,027
портландцемент	93
пудра пигментная алюминиевая	401
Жидкий компонент — натриевое стекло, г	41
Масса патрона, г	

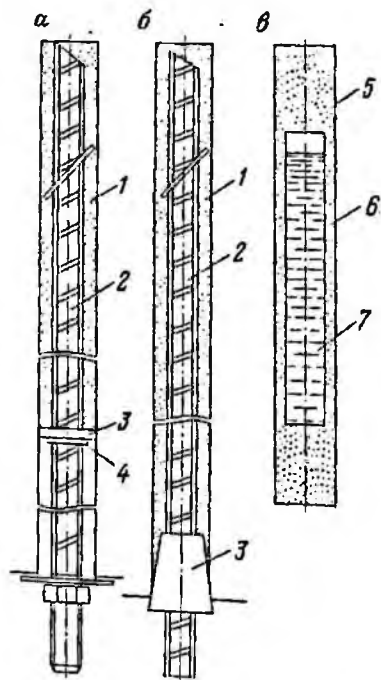
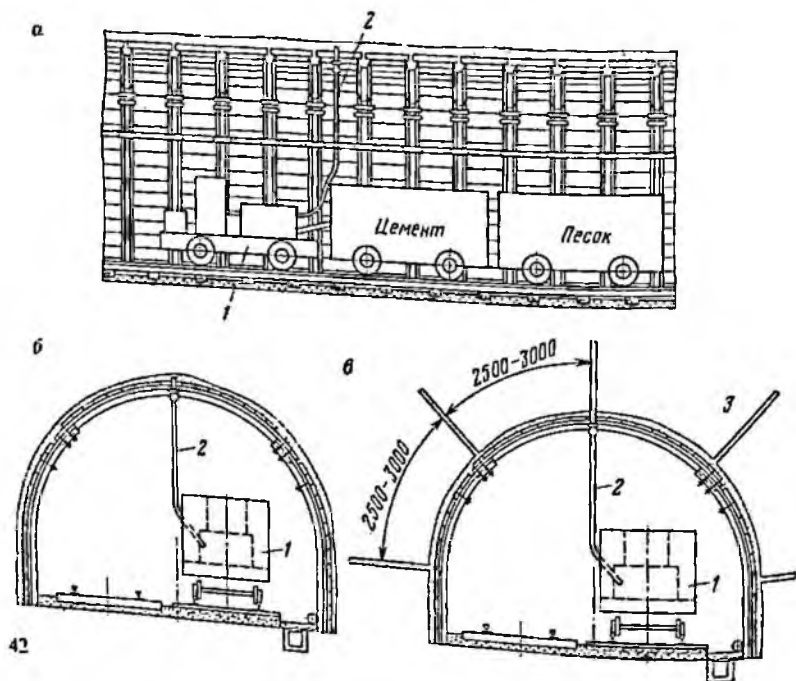


Рис. 1.30. Анкерная крепь АКПН:  
 а и б — соответственно полное и частичное за-  
 падение шпура патронами; в — патрон с сухим  
 и жидким компонентами. 1 — затвердевший  
 раствор; 2 — металлический анкер периодиче-  
 ского профиля; 3 — уплотнитель; 4 — ограни-  
 читель, 5 — полиэтиленовый патрон; 6 — сухая  
 смесь; 7 — стеклянная ампула с жидким ко-  
 мпонентом

Рис. 1.31. Схемы тампонажа закрепно-  
 го пространства и упрочнения пород:  
 а — расположение оборудования в горной вы-  
 работке; б — тампонаж закрепного простран-  
 ства, в — расположение скважин при упрочне-  
 нии породного массива; 1 — установка для при-  
 готовления и закачивания раствора, 2 — рукав  
 для подачи раствора; 3 — скважины для зака-  
 чивания раствора в породный массив



Усилие выдергивания анкеров с полным заполнением шпура патронами, кН:	
через 4 ч после установки . . . . .	25—40
через 1 сут после установки . . . . .	90—100
через 2 сут после установки . . . . .	> 100
Усилие выдергивания анкеров с частичным заполнением шпуров патронами, кН:	
через 4 ч после установки . . . . .	15—30
через 1 сут после установки . . . . .	40—70
через 2 сут после установки . . . . .	80—90
через 3 сут после установки . . . . .	> 100
Сроки окончания схватывания вяжущего, с . . . . .	40—120
Длина металлических штанг, м, не более . . . . .	3
Диаметр штанг, мм . . . . .	18—22

Скважины под анкеры бурят серийными буровыми машинами типа БУА, перфораторами, электросверлами и др.

### 1.5. ТАМПОНАЖ ЗАКРЕПНОГО ПРОСТРАНСТВА И УПРОЧНЕНИЕ ПОРОДНОГО МАССИВА

При проведении и поддержании горных выработок для повышения их устойчивости широко применяют тампонаж закрепного пространства твердеющими материалами и упрочнение вмещающего породного массива скрепляющими растворами.

Тампонаж закрепного пространства выполняют в выработках, закрепленных сборными бетонными и железобетонными, металлобетонными и рамными с железобетонным межрамным ограждением крепями. Предварительно пикотируют швы между элементами крепи цементно-песчаным раствором или набрызгбетонированием. Затем в закрепное пространство нагнетают цементно-песчаные или другие растворы на неорганическом вяжущем. Давление нагнетания не должно превышать несущую способность крепи, чтобы не вызвать ее разрушение. Тампонажный раствор, заполняя пустоты за крепью, также проникает и в раскрытые трещины породного массива в его приконтурной зоне. В результате создается система «крепь—тампонажный камень—упрочненный слой породы», которая обладает высоким сопротивлением и обеспечивает сохранность выработок или значительно увеличивает время между их ремонтами.

В условиях интенсивного развития деформаций породного массива, сопровождающегося образованием зоны трещиноватости вокруг выработок, повышение устойчивости породного массива достигается упрочнением пород посредством инъекции в них скрепляющих растворов. Наиболее широкое применение для упрочнения пород нашли чисто цементные растворы, иногда с добавками.

Схема тампонажа закрепного пространства и упрочнения породного массива показана на рис. 1.31. Вяжущее, например цемент и песок, доставляют в горные выработки к месту работы, затем в тампонажных установках готовят раствор и закачивают его в полости за крепью. Для приготовления и пода-

чи раствора могут использоваться машины типа МНБ конструкции ЦНИИПодземмаша, типа «Тампонаж» конструкции ВНИИОМШСа и др. Эти машины снабжены смесительными устройствами и нагнетательными насосами.

Для упрочнения нарушенных пород вокруг выработки бурят скважины на глубину 1,5—2,5 м, в которые закачивают скрепляющий раствор, обычно зажимным способом. Начальное давление нагнетания раствора принимают 0,2—0,4 МПа с дальнейшим повышением в зависимости от поглощения пород, но при этом оно не должно превышать несущую способность крепи.

Для работ применяется то же оборудование, что и при тампонаже закрепного пространства.

## 2. БЕТОН ДЛЯ ПОДЗЕМНОГО ШАХТНОГО СТРОИТЕЛЬСТВА

### 2.1. БЕТОННЫЕ СМЕСИ И БЕТОН

Бетон — это искусственный композиционный материал conglomerate строения, полученный в результате химического взаимодействия вяжущего, воды и различных добавок, твердеющих в смеси с заполнителями (природными или искусственными) в виде песка, щебня или гравия. Бетон обладает высокими и разнообразными физико-механическими свойствами, позволяющими применять его в различных конструкциях крепи, при тампонаже закрепного пространства, устройстве бутовых полос и заполнении отработанных камер. Наиболее эффективной областью применения бетона являются конструкции, в которых при действии внешних нагрузок возникают сжимающие напряжения (крепь стволов и горизонтальных выработок кольцевого очертания при равномерном нагружении). При знакопеременных напряжениях, возникающих при действии на крепь неравномерных нагрузок, возникает необходимость в армировании конструкций крепи. Важнейшими условиями совместной работы бетона и арматуры являются высокая прочность сцепления между ними и близкие значения коэффициентов температурного расширения.

Вид, качество и соотношение компонентов бетонной смеси в значительной мере определяют ее свойства, а также свойства полученного из нее бетона. Состав бетонной смеси подбирают, исходя из условия получения к заданному сроку бетона с определенными физико-механическими свойствами. Кроме того, при подборе ставится задача получить такую бетонную смесь, свойства которой отвечали бы требованиям технологии ее уплотнения при формировании.

Схватывание и твердение бетона являются следствием химических реакций, происходящих между минеральным вяжущим и водой затвердения. Эти реакции носят название реакций гидратации вяжущего. Схватывание происходит в первой стадии. Вто-

рая стадия гидратации — твердение вяжущего — характеризуется потерей пластичности, приобретением упругости, формы и способности сопротивляться разрушению под действием напряжений. Четкой границы между стадиями схватывания и твердения вяжущего нет.

## 2.2. СВОЙСТВА БЕТОНА

*Прочность бетона* — это свойство материала сопротивляться разрушению от действия внутренних напряжений, возникающих в результате нагрузки или других факторов.

Разрушение в физическом понимании состоит в отделении частей тела друг от друга. Дефекты в бетоне способствуют облегчению процесса разрушения, т. е. понижают прочность материала. Но в действительности процесс разрушения сложнее и обусловлен большим числом факторов.

Прочность бетона зависит от свойств компонентов бетона, его состава, величины водоцементного отношения, условий приготовления, степени уплотнения, условий твердения, эксплуатации и других факторов.

Отдельные зерна в бетоне скреплены в монолит цементным камнем. В качестве отдельного структурного фактора можно выделить контактную зону 20—40 мм, в которой наблюдается изменение свойств цементного камня, а иногда и заполнителя. При нагружении бетона вследствие различия физико-механических свойств и размеров компонентов и наличия дефектов в нем появляется вторичное поле напряжений, наибольшая концентрация которых создается на границах дефектов и компонентов с разными свойствами, т. е. преимущественно в контактной зоне. Напряжения вызывают упругую и пластическую деформации.

Прочность цементного камня обусловлена в первую очередь наличием в нем неравномерного распределения продуктов гидратации.

Большое значение на прочность бетона имеет сцепление цементного камня с заполнителем, т. е. прочность контактной зоны. В последней при недостаточном сцеплении, седиментационных процессах и вследствие других причин число дефектов (поры, микротрещины и др.) больше, чем в остальном объеме бетона. И именно разрушение бетона начинается в контактной зоне.

Большое влияние на прочность бетона может оказывать его влажность. Жидкая фаза, в нашем случае шахтная вода, продвигаясь по капиллярам и проникая в устье микротрещин, облегчает деформирование бетона и способствует развитию трещинообразования и разрушению бетона.

Бетонную смесь рассматривают как сложную структурированную многофазную систему, состоящую из твердых частиц вяжущего, добавок и заполнителей, воды и вовлеченного воздуха. Еще до начала схватывания и твердения вяжущего бетонная смесь



образует пространственные структуры, обладающие определенной пластической прочностью.

Основную структурообразующую роль в бетонной смеси выполняет цементное тесто — тонкодисперсная система, состоящая из твердых частиц вяжущего, специально вводимых в некоторых случаях тонкомолотых добавок, заполнителей и воды. Благодаря огромной поверхности раздела фаз между частицами возникают значительные силы молекулярного взаимодействия, капиллярные силы поверхностного натяжения, внутреннего трения и т. п.

Капиллярные силы вызывают сжатие системы, что повышает связность и создает условия для пластической деформации (без разрывов и трещин), а также повышает однородность смеси. Предельное водосодержание смеси, при котором она не расслаивается, зависит от водоудерживающей способности вяжущего и других тонкодисперсных компонентов. В результате действия этих внутренних сил формируются определенные физико-механические свойства бетонной смеси, характеризующие ее как объект технологических воздействий в процессе приготовления, транспортирования, укладки, уплотнения при укладке.

Свойства бетонной смеси формируются под влиянием ряда технологических факторов, к которым относятся водосодержание смеси, свойства и расход вяжущего, физико-механические свойства заполнителей, параметры состава смеси, температура, фактор времени и др.

Прочность бетона в определенный срок при твердении в нормальных условиях зависит главным образом от прочности (активности) цемента и водоцементного отношения ( $V/C$ ). Прочность бетона повышается с увеличением прочности цемента и уменьшением водоцементного отношения.

Цемент при твердении присоединяет всего 15—25% воды от своей массы. Вместе с тем для придания бетонной смеси пластичности в бетон добавляют воды значительно больше ( $V/C = 0,4 \div 0,7$ ), так как при  $V/C = 0,2$  бетонная смесь почти сухая, ее нельзя качественно перемешать и уложить. Избыточная вода, не вступающая в химические реакции с цементом, остается в бетоне в виде водяных пор и капилляров или испаряется, оставляя воздушные поры. В обоих случаях бетон будет ослаблен наличием пор, и чем больше их, т. е. чем больше водоцементное отношение, тем ниже прочность бетона.

В интервале  $V/C = 0,4 \div 0,7$  существует прямолинейная зависимость между прочностью бетона, активностью цемента и водоцементно-водным отношением ( $C/V$ ), которая может быть выражена формулой

$$R_0 = 0,56R_u (C/V - 0,5), \quad (2.1)$$

где  $R_0$  и  $R_u$  — прочность соответственно бетона и цемента, МПа. Уменьшение  $R_0/R_u$  характерно при использовании мелких песков, слабых заполнителей или цементов низких марок. При

$C/V > 2,5$  прямолинейная зависимость между  $R_0$  и цементно-водным отношением нарушается. Действительные значения прочности получаются ниже расчетных.

Фракции заполнителя по-разному воздействуют на свойства бетона. Крупный заполнитель заметно влияет на прочность бетона при сжатии и в меньшей мере на подвижность или водопотребность бетонной смеси. Мелкий заполнитель, наоборот, значительно изменяя водопотребность бетонной смеси, обуславливает прочность бетона в меньшей степени. Крупный заполнитель создает каменный скелет в бетоне, заметно влияет на характер напряженного состояния, на деформации и трещинообразование при нагружении бетона. Мелкий заполнитель, располагаясь между зернами крупного, оказывает меньшее влияние на его прочность.

В бетонах крупный заполнитель содействует уплотнению прослоек раствора, как бы являясь своеобразным пригрузом, что имеет большое значение при использовании мелких песков.

Большое влияние на прочность бетона оказывает соотношение мелкого и крупного заполнителей. Оптимально такое соотношение, при котором достигается наименьшая водопотребность при заданной удобоукладываемости.

Обычно для подвижной бетонной смеси соотношение между мелким и крупным заполнителями определяют, исходя из полного заполнения пустот в крупном заполнителе с некоторой подвижкой зерен гравия или щебня (табл. 2.1).

Рост прочности бетона во времени продолжается длительное время, вначале интенсивно, а затем более медленно.

В естественных условиях рост прочности выражается формулой

$$R_{0n} = R_{628} \lg n / \lg 28, \quad (2.2)$$

где  $R_{0n}$  и  $R_{628}$  — прочность на сжатие в возрасте, соответственно  $n$  и 28 дней, МПа.

Из формулы (2.2) следует, что прочность при нормальных условиях твердения возрастает прямо пропорционально десятичному логарифму числа суток твердения.

Формула (2.2) применима только к бетонам на портландцементе средних марок и при  $n \geq 3$  и хорошо выражает зависимость

Таблица 2.1

Оптимальное содержание песка средней крупности в подвижных бетонных смесях

Ориентировочный расход цемента, кг/м <sup>3</sup>	Содержание песка в смеси заполнителей (% по массе) при максимальной крупности зерен, мм			
	10	20	40	70
200	0,50/0,42	0,46/0,40	0,42/0,38	0,38/0,36
300	0,46/0,38	0,42/0,36	0,38/0,34	0,34/0,32
400	0,41/0,35	0,38/0,32	0,35/0,30	0,31/0,29
500	0,37/0,33	0,34/0,31	0,32/0,29	0,29/0,28

Примечание. В числителе приведены значения для щебня, в знаменателе — для гравия.

между прочностью бетона и его возрастом примерно после 30 сут твердения. Рост прочности бетона возможен только при определенных температурно-влажностных условиях, исключая преждевременное испарение воды из бетона.

Большое влияние на прочность бетона оказывает водоцементное отношение и подвижность (табл. 2.2).

Таблица 2.2

Зависимость прочности бетона от подвижности и водоцементного отношения

В/Ц	Прочность бетона (%), в возрасте, сут		
	1	3	7
0,3	25—30	50—60	75—88
	30—35	55—65	75—85
0,4	20—25	45—55	70—80
	25—30	50—60	70—80
0,5	15—20	35—45	60—70
	20—25	40—50	65—75
0,6	10—15	30—40	55—65
	15—20	35—45	60—70

Примечание В числителе приведены значения для жесткости смеси 20—30 с, в знаменателе — для жесткости 60—120 с

Прочность бетона при растяжении составляет 0,06—0,11% прочности при сжатии, и при изгибе — 0,1—0,2% прочности при сжатии. Прочность бетона при растяжении и изгибе повышается при применении заполнителей с угловатыми и шероховатыми зернами.

В соответствии с ГОСТ 25192—82 введено понятие «класс бетона» по прочности на сжатие.

Класс бетона по прочности на сжатие (В) определяется гарантированным сопротивлением сжатию (МПа) эталонного образца куба, испытанного согласно требованиям государственных стандартов с обеспеченностью 0,95. Класс бетона по прочности на сжатие является основной характеристикой бетона и должен указываться в проектах во всех случаях. До настоящего времени в качестве такой характеристики использовали марку по прочности на сжатие, которую также определяли сопротивлением сжатию эталонного образца.

Разница между классом и маркой состоит в обеспеченности принятой величины сопротивления: для марки эта обеспеченность составляла 0,5 (т. е. принималась непосредственно среднестатистическая величина). Переход от марки бетона к его классу осуществляется путем замены кгс/см<sup>2</sup> на МПа и умножения марки на коэффициент  $(1 \div 1,64) v$ , где  $v = 0,135$  — коэффициент вариации прочности бетона.

Предусмотрены по прочности на сжатие следующие классы тяжелого (обычного) бетона: В3,5; В5; В7,5; В10; В12,5; В15; В20; В22,5; В25; В30; В35; В40; В45; В50; В55; В60. Соотношение классов и марок бетона приведено в табл. 2.3.

## Соотношение классов и марок бетона

Марка бетона по прочности на сжатие	Класс бетона по прочности на сжатие	Условная марка бетона (кгс/см <sup>2</sup> ), соответствующая классу бетона по прочности на сжатие		Марка бетона по прочности на сжатие	Класс бетона по прочности на сжатие	Условная марка бетона (кгс/см <sup>2</sup> ), соответствующая классу бетона по прочности на сжатие	
		Бетон всех видов, кроме ячеистого	Отличие от марки бетона, %			Бетон всех видов, кроме ячеистого	Отличие от марки бетона, %
M15	B1	—	—	M300	B22,5	294,68	-1,8
M25	B1,5	—	—	M300	B25	327,42	+9,1
M25	B2	—	—	M350	B25	327,42	-6,45
M35	B2,5	32,74	-6,5	M350	B27,5	360,16	+2,9
M50	B3,5	45,84	-8,1	M400	B30	392,90	-1,8
M75	B5	65,48	-12,7	M450	B35	458,39	+1,9
M100	B7,5	98,23	-1,8	M500	B40	523,87	+4,8
M150	B10	130,97	-12,7	M600	B45	589,35	-1,8
M150	B12,5	163,71	+9,1	M700	B50	654,84	-6,45
M200	B15	196,45	-1,8	M700	B55	720,32	+2,9
M250	B20	261,93	+4,8	M800	B60	785,81	-1,8

Условная марка бетона — среднее значение прочности бетона в серии образцов, приведенная к прочности образца базового размера — куба с ребром 15 см — в соответствии с ГОСТ 10180—78, при номинальном значении коэффициента вариации прочности бетона.

Условная марка бетона

$$U = B / [0,0981 (1 - 1,64v)], \quad (2.3)$$

где  $B$  — численное значение класса бетона, МПа; 0,0981 — переходный коэффициент от МПа к кгс/см<sup>2</sup>.

*Удобоукладываемость* характеризует способность смеси заполнять опалубку или форму бетонируемого изделия и уплотняться в ней под действием силы тяжести или в результате внешних механических воздействий.

Удобоукладываемость смеси оценивается показателями подвижности или жесткости. В зависимости от их величины бетонные смеси можно условно разделить на подвижные и жесткие.

Подвижная бетонная смесь представляет собой пластичную массу, характеризующуюся сплошностью строения, т. е. наличием в смеси непрерывной сетки водных пленок, окружающих частицы цемента, зерна мелкого и крупного заполнителей. Подвижные смеси легко распределяются в форме под воздействием собственного веса с приложением небольших механических усилий.

Жесткая бетонная смесь представляет собой рыхлую, а иногда и сыпучую массу, которая состоит из отдельных гранул крупного заполнителя, связанных между собой густым цементным раствором. В такой смеси недостаточно воды для создания непрерывной сетки водных пленок. На жесткие смеси для надлежащего уплотнения их при изготовлении изделий требуется длительное и эффективное механическое воздействие.

По удобоукладываемости бетонные смеси условно разделяются на пять групп: 1) особо жесткие — жесткостью более 200 с; 2) жесткие — имеющие показатель жесткости 30—200 с; 3) малоподвижные — с жесткостью 15—25 с и осадкой конуса 1—3 см; 4) подвижные с осадкой конуса 4—15 см; 5) литые, когда осадка конуса превышает 15 см.

*Водоудерживающая способность* указывает на свойства бетонной смеси удерживать содержащуюся в ней воду без ее выделения на поверхность бетонной смеси и на границе между цементным тестом и крупным заполнителем.

Необходимая водоудерживающая способность достигается ограничением количества воды в смеси, а для очень подвижных смесей — введением специальных добавок.

Структуру бетонной смеси удобно рассматривать как систему, состоящую из двух компонентов — цементного теста и заполнителя. Основным структурообразующим компонентом бетонной смеси является цементное тесто. Свойства цементного теста зависят от соотношения между твердой и жидкой фазами: с увеличением содержания воды повышается подвижность цементного теста, уменьшается его пластическая прочность. Вода в бетонной смеси находится в различных состояниях (табл. 2.4).

Основное количество воды в цементном тесте находится в межзерновом пространстве, размеры отдельных пор и полостей которого могут изменяться от 1 до 50 мкм и больше, что в десятки и сотни раз больше, чем толщина даже слабо связанных сольватных пленок воды. Относительное количество свободной воды в общем объеме воды составляет около 95% сразу после приготовления цементного теста и уменьшается до 70—75% к моменту схватывания. Именно свободная вода оказывает наибольшее влияние на подвижность цементного теста.

Водосодержание бетонной смеси в начальный после приготовления период является важнейшим фактором формирования реологических свойств. При прочих равных условиях изменение водосодержания обеспечивает изменение подвижности (жесткости) смеси в широких пределах.

Таблица 2

Состояния воды в бетонной смеси

Связь	Условия и причины образования связи	Ориентировочное относительное содержание воды от общего количества воды, %	
		В свежесоготовленной смеси	В период схватывания бетона
Химическая	Гидратация и кристаллизация	1—2	4—5
Физико-химическая	Адсорбция в зоне действия молекулярных силовых полей твердой фазы	3—5	20—25
Механическая	Захват воды в тонкие капилляры, щели, поры	93—95	70—75

Водоудерживающая способность смеси зависит от нормальной густоты теста, используемого цемента, степени дисперсности и других свойств заполнителей.

В бетонных смесях с высоким водосодержанием происходит седиментация, в результате чего в структуре бетонной смеси, а затем и затвердевшего бетона образуются крупные и сообщающиеся поры и другие дефекты структуры, снижающие прочность и особенно стойкость бетона.

Следует учитывать, что водоудерживающая способность бетонной смеси значительно зависит от удельной поверхности заполнителей.

На эту характеристику мелкий заполнитель оказывает большее влияние, чем крупный, так как удельная поверхность первого в несколько раз больше второго (табл. 2.5).

Отдельные объемы бетона могут отличаться друг от друга в большей или меньшей степени, что зависит от свойств используемых материалов и отлаженности технологического процесса. Соответственно будут колебаться и показатели свойств бетона: прочность, плотность, проницаемость, коррозионная стойкость при наличии притоков шахтных вод. Для оценки однородности бетона используют статистические методы. Однородность бетона определяется его средней прочностью и оценивается по коэффициенту вариации.

Таблица 2.5

Влияние крупности заполнителя на водопотребность бетонной смеси

Бетон и заполнитель	Изменение прочности бетона, %	Изменение водопотребности бетонной смеси, %
Эталонный состав — бетон на гранитном щебне (модуль крупности 2,79)	0	0
Бетон на гравии и крупном песке	13	0
Бетон на слабом известняке и крупном песке	42	12*
Бетон на гранитном щебне и мелком песке (модуль крупности 0,69)	5	17

\* За вычетом воды на подмогачение.

На предприятиях и стройках с хорошо отлаженной технологией коэффициент вариации может уменьшаться до 4—6%, а при использовании недостаточно качественных материалов с большим колебанием свойств и плохо организованном технологическом процессе возможно увеличение коэффициента вариации до 25%. Чем ниже однородность, т. е. выше коэффициент вариации, тем ниже надежность конструкции. При уменьшении коэффициента вариации можно снизить требования к средней прочности бетона.

Снижение требований к средней прочности бетона позволяет уменьшить расход цемента и уменьшить стоимость конструкции.

Поэтому введение комплексной оценки прочности и однородности бетона позволяет более правильно судить о его качестве, открывает перед производителями широкие возможности совершенствования производства и улучшения его экономических показателей.

Вместе с тем для оценки однородности бетона по коэффициенту вариации необходимо иметь сведения по определенному объему испытаний и провести их статистическую обработку. Тогда появляется возможность по результатам испытаний небольшого числа проб оценивать прочность бетона во всем контролируемом объеме.

Условно деформации бетона можно разделить на следующие виды: собственные деформации бетонной смеси (первоначальная усадка) и бетона (усадка и расширение), возникающие под действием физико-химических процессов, протекающих в бетоне, и деформации от действия механических нагрузок.

Первоначальная усадка затухает после укладки и уплотнения бетонной смеси через 30—90 мин. Если применяются литые смеси, то в первоначальный период на поверхности бетона выделяется слой воды, достигающий своего максимума через 10—20 мин, а затем начинается постепенное всасывание воды в глубь бетона вследствие интенсивного протекания процесса контракции цементного теста. Величина первоначальной усадки зависит от состава бетонной смеси и свойств использованных материалов.

Первоначальная усадка уменьшается со снижением водосодержания бетонной смеси и сокращенному расходу цементного теста, при применении тонкомолотых добавок, хорошо удерживающих воду (пуццолановые цементы), при высоком содержании крупного заполнителя. Твердение бетона сопровождается изменением его объема, т. е. появлением усадки при недостаточной влажности среды. Существуют три вида усадки бетона: влажностная, контракционная и карбонизационная.

Влажностная усадка вызывается изменением распределения, перемещением и испарением влаги в образовавшемся скелете цементного камня.

Контракционная усадка вызывается тем, что объем новообразованного цементного камня меньше объема, занимаемого веществами, вступающими в реакцию.

Карбонизационная усадка вызывается карбонизацией гидрата окиси кальция и развивается постепенно с поверхности бетона в глубину.

Усадка бетона в уже затвердевшем материале может привести к возникновению в нем трещин. Величина усадки зависит от состава бетона и свойств использованных материалов и увеличивается при повышении содержания цемента и воды, применении высокоалюминатных цементов, мелкозернистых и пористых заполнителей.

В затвердевшем бетоне только часть воды находится в химически связанном состоянии. Остальная (свободная) вода остается в порах или испаряется. Поэтому затвердевший бетон никогда

не бывает абсолютно плотным. Пористость (%) бетона определяется по формуле

$$P = W_{\omega} \zeta / 10, \quad (2.4)$$

где  $W$  и  $\zeta$  — расход соответственно воды и цемента, кг на  $1 \text{ м}^3$  бетона;  $\omega$  — содержание химически связанной воды, % по массе.

Общая пористость бетона на плотных заполнителях как отношение объема пор к объему бетона описывается уравнением

$$P_0 = [(W - 0,23\zeta) + (1 - \delta)] 100 / 1000, \quad (2.5)$$

где  $\delta$  — степень уплотнения бетонной смеси при укладке.

Первое слагаемое в числителе дроби соответствует объему пор в цементном камне, а второе — объему пор, образующихся при недоуплотнении бетонной смеси, т. е. когда  $\delta < 1$ .

Из формулы (2.5) следует, что общая пористость бетона тем выше, чем больше расход воды на  $1 \text{ м}^3$  бетона, т. е. чем выше водопотребность бетонной смеси и чем меньше  $\delta$ .

Относительная плотность бетона может быть повышена тщательным подбором зернового состава заполнителей, минимальным содержанием цемента, уменьшением водоцементного отношения, введением пластифицирующих добавок, уплотнением бетонной смеси вибрацией.

*Проницаемость бетона* имеет очень большое значение для крепей горных выработок. Она также в известной мере определяет способность бетона противодействовать влиянию напорных агрессивных шахтных вод.

Проницаемость бетона зависит от его пористости, структуры пор, свойств вяжущего и заполнителей.

Плотные бетоны обычно не фильтруют воду, поэтому для их оценки используют понятие марка бетона по водонепроницаемости.

В соответствии со СНиП 2.0301—84 марки по водонепроницаемости подразделяют для тяжелого, мелкозернистого и легкого бетонов W2; W4; W6; W8; W10; W12.

Большое значение для повышения непроницаемости бетона имеет его однородность. Необходимы рациональный подбор состава бетона и тщательно организованная технология приготовления, транспортирования и укладки бетона.

Степень понижения проницаемости бетона (раз) в зависимости от методов ее понижения приведена ниже.

Введение при приготовлении бетона:

органических, гидрофобных добавок . . . . .	2—10
неорганических добавок . . . . .	5
специальных загустевающих веществ или термопластичных полимеров . . . . .	10
Пропитка бетона после изготовления специальными веществами . . . . .	50
Гидрофобизация поверхностных слоев бетона . . . . .	2—10
Покрытие поверхности бетона специальными пленкообразующими составами, пропитка бетона . . . . .	10—100



## 3. МАТЕРИАЛЫ ДЛЯ БЕТОНОВ

### 3.1. ЦЕМЕНТ

Цементы являются неорганическими веществами в виде тонких порошков, способных при смешивании с водой (или с водными растворами некоторых солей) образовывать пластично-вязкую массу, которая постепенно твердеет, превращаясь в прочное камневидное тело. По этим признакам неорганические вяжущие вещества отличаются от органических вяжущих, например битумов, смол.

Вяжущие вещества предназначаются главным образом для изготовления строительных растворов, бетонов и изделий. Воздушные вяжущие вещества могут твердеть, повышать свою прочность и затем сохранять ее только в воздушной среде, но в воде они недостаточно стойки. К этой группе относятся воздушная известь, гипсовые и некоторые другие вяжущие.

Гидравлические вяжущие вещества отличаются тем, что после смешивания с водой и предварительного твердения на воздухе способны в последующем твердеть как в воздушной, так и в водной среде.

В группу гидравлических вяжущих, используемых в подземных условиях, входят портландцемент, пластифицированный портландцемент, сульфатостойкий портландцемент, шлакопортландцемент, расширяющиеся, безусадочные и глиноземистые цементы.

Цементы классифицируются по вещественному составу, прочности, срокам схватывания и скорости твердения.

Цементы на основе портландцементного клинкера по вещественному составу в зависимости от содержания и вида активных минеральных добавок подразделяют на цементы:

- без активных минеральных добавок — портландцемент;
- с активными минеральными добавками не более 20%;
- с добавками гранулированного шлака свыше 20% — шлакопортландцемент;
- с активными минеральными добавками свыше 20% — пуццолановый портландцемент.

Цементы на основе глиноземистого (высокоглиноземистого) клинкера: глиноземистый, высокоглиноземистый, гипсоглиноземистый.

По прочности при твердении цементы подразделяются на высокопрочные — марок 600 и выше; повышенной прочности — марок 500; рядовые — марки 300 и 400; низкомарочные — ниже марок 300.

По скорости твердения цементы подразделяются на обычные с нормированием прочности в возрасте 28 сут, быстротвердеющие с нормированием прочности в возрасте 3 и 28 сут, особобыстро-твердеющие с нормированием прочности в возрасте 1 сут и

По срокам схватывания цементы делятся на медленно схватывающиеся с началом схватывания более 1 ч 30 мин и нормально схватывающиеся, с началом схватывания через 45 мин.

**Портландцементом** (ГОСТ 10178—85) называется гидравлическое вяжущее вещество, получаемое тонким измельчением портландцементного клинкера с гипсом, а иногда со специальными добавками. Клинкер получают обжигом до спекания тонкодисперсной однородной сырьевой смеси, состоящей из известняка и глины или других материалов (мергеля, доменного шлака). При этом обеспечивается преимущественное содержание в нем высокоосновных силикатов кальция (70—80%). В цемент добавляют гипс для регулирования скорости схватывания и некоторых других свойств. Свойства портландцемента определяются прежде всего качеством клинкера. Вводимые в него добавки предназначены для их регулирования. Главными окислами цементного клинкера являются оксид кальция  $\text{CaO}$ , диоксид кремния  $\text{SiO}_2$ , оксид алюминия  $\text{Al}_2\text{O}_3$  и оксид железа  $\text{Fe}_2\text{O}_3$ , суммарное содержание которых достигает обычно 95—97%. Кроме них в состав клинкера входят и другие соединения в небольших количествах. Обычно содержание этих оксидов в клинкере колеблется в следующих пределах (в %):

$\text{CaO}$ . . . . .	63—66	$\text{MgO}$ . . . . .	0,5—5
$\text{SiO}_2$ . . . . .	21—24	$\text{SO}_3$ . . . . .	0,3—1
$\text{Al}_2\text{O}_3$ . . . . .	4—8	$\text{Na}_2\text{O}, \text{K}_2\text{O}$ . . . . .	0,4—1
$\text{Fe}_2\text{O}_3$ . . . . .	2—4	$\text{TiO}_2$ . . . . .	0,2—0,5
		$\text{P}_2\text{O}_5$ . . . . .	0,1—0,3

Повышенное содержание оксида кальция свидетельствует обычно о повышенной скорости твердения портландцемента, его высокой конечной прочности, но несколько пониженной водостойкости.

Цементы с повышенным содержанием кремнезема характеризуются пониженной скоростью твердения в первые сроки; они отличаются повышенной водостойкостью и сульфатостойкостью.

При повышенном количестве  $\text{Al}_2\text{O}_3$ , а следовательно, и алюминатов в составе цементов последние приобретают способность к ускоренному твердению в первые сроки.

Соединения оксида железа способствуют снижению температуры спекания клинкера. Цементы с повышенным содержанием оксида железа отличаются высокой стойкостью по отношению к действию сульфатных вод.

Повышенное содержание в клинкере оксида магния вызывает неравномерность изменения объема цемента при твердении:

Более чем 3,5%-ное содержание  $\text{SO}_3$  может вызвать неравномерное изменение объема цемента вследствие образования гидросульфатоалюмината кальция.

Фосфорный ангидрид  $\text{P}_2\text{O}_5$  в небольших дозировках (0,1—0,3%) увеличивает интенсивность твердения цемента в первые сроки и повышает его конечную прочность.

Содержание щелочей более 1% вызывает непостоянство

сроков схватывания цемента и образование выцветов на поверхности растворов и бетонов.

В клинкере обычного состава главные оксиды образуют силикаты, алюминаты и алюмоферриты кальция в виде минералов кристаллической структуры, часть их входит в соединения стекловидной фазы.

Основными минералами цементного клинкера являются алит  $3\text{CaO}\cdot\text{SiO}_2$  или  $\text{C}_3\text{S}$ , белит  $2\text{CaO}\cdot\text{SiO}_2$  или  $\text{C}_2\text{S}$ . Алит — важнейший клинкерный минерал — силикат, определяющий высокую прочность, быстроту твердения и ряд других свойств портландцементов. В клинкере он содержится обычно в количестве 45—60%. Белит — второй по содержанию минерал портландцементного клинкера, отличается медленным твердением, но обеспечивает достижение высокой прочности при длительном твердении портландцемента. Он содержится в клинкерах обычных портландцементов в количестве 20—30% и обозначается  $\beta \text{C}_2\text{S}$ .

Алюмоферритная фаза промежуточного вещества клинкера (целит) представляет собой твердый раствор алюмоферритов кальция разного состава, который, в свою очередь, зависит от состава сырьевых смесей, условий обжига и т. п.

Алюминаты кальция могут встречаться в промежуточном веществе клинкера в виде двух соединений: трехкальциевого алюмината  $\text{C}_3\text{A}$  и пятикальциевого трехалюмината  $\text{C}_5\text{A}_3$ .

Клинкерное стекло обычно присутствует в промежуточном веществе в количестве 4—15%. Оно состоит преимущественно из  $\text{CaO}$ ,  $\text{Al}_2\text{O}_3$  и  $\text{Fe}_2\text{O}_3$ . В нем присутствуют обычно  $\text{MgO}$  и щелочи. Щелочи ( $\text{Na}_2\text{O}$  и  $\text{K}_2\text{O}$ ) присутствуют в клинкере в виде сульфатов, а также входят в алюминатную и алюмоферритную фазы.

Классификация клинкеров в зависимости от содержания основных минералов приведена в табл. 3.1.

Если менять минералогический состав клинкеров и изготовлять на их основе цементы с различными добавками, то можно получать большую гамму гидравлических вяжущих веществ с разнообразными строительными свойствами.

В настоящее время в СССР выпускают следующие главные разновидности портландцемента:

Классификация клинкеров

Таблица 3.1

Клинкер	Примерное содержание основных минералов, %			
	$\text{C}_3\text{S}$	$\text{C}_2\text{S}$	$\text{C}_3\text{A}$	$\text{C}_4\text{AF}$
Алитовый				
Нормальный (по содержанию алита)	> 60	< 15	—	—
Белитовый	60—37,5	15—37,5	—	—
Алюминатный	< 37,5	> 37,5	—	—
Нормальный (по содержанию алюмината)	—	—	> 15	< 10
Целитовый	—	—	15—7	10—18
56	—	—	< 7	> 18

шлаковый портландцемент с 30—60% доменного гранулированного шлака; пуццолановый портландцемент, содержащий до 20—45% пуццолановых добавок; быстротвердеющий портландцемент; пластифицированный и гидрофобный портландцементы; сульфатостойкий портландцемент, содержащий  $C_3S$  не более 50% и  $C_2A$  не более 5%; портландцемент с умеренной экзотермией; шлакопортландцемент с повышенной сульфатостойкостью.

*Быстротвердеющий портландцемент* (БТЦ) получают тонким совместным измельчением специального портландцементного клинкера с гипсом; при помоле допускается введение не более 10% активных минеральных добавок и не более 15% массы цемента — доменных гранулированных шлаков. Клинкер быстротвердеющего портландцемента содержит обычно 60—65% трехкальциевого силиката и трехкальциевого алюмината и ограниченное (до 0,5%) количество свободного оксида кальция.

Повышенная прочность быстротвердеющего цемента в первые сроки твердения в значительной мере обусловлена не только минералогическим составом, но и тонкостью измельчения цемента. Быстротвердеющий цемент размалывают до удельной поверхности 3500—4000  $см^2/г$  (вместо 2800—3000  $см^2/г$  для обычного портландцемента).

Быстротвердеющий цемент отличается интенсивным твердением в первые трое суток. Этому способствует достаточное количество в цементе тонких фракций (0—5 мк). Через 1 и 3 сут твердения в нормальных условиях прочность быстротвердеющего цемента достигает соответственно 40—50 и 60—70% от марочной. Через 28 сут и более прочностные показатели быстротвердеющего цемента становятся такими же, как и у обычных высококачественных портландцементов.

Особо быстротвердеющий портландцемент имеет прочность через 1,3 и 28 сут твердения, соответствующую 30, 40 и 50—60 МПа. Весьма целесообразно применение быстротвердеющих бетонов при изготовлении элементов в условиях теплообработки (при 70—80° С), так как рост прочности их в этих условиях возрастает. При этом через 4—6 ч прочность увеличивается до 70—80% от той, какую приобретает бетон в течение 28 сут твердения в нормальных условиях.

Быстротвердеющие портландцементы целесообразно применять при изготовлении высокопрочных, обычных и предварительно-напряженных элементов сборной крепи. Это дает возможность значительно сократить потребность в металлических формах, а в отдельных случаях отказаться от тепловой обработки.

Применение быстротвердеющих цементов при возведении скоростными способами монолитной бетонной крепи позволяет резко сократить сроки выдержки бетона в опалубке, увеличить скорость проходки горных выработок.

*Пластифицированный и гидрофобный портландцементы.* Некоторые свойства портландцементов могут быть улучшены, если ввести в них небольшое количество органических поверхностно-

активных веществ (ПАВ). При этом снижается водопотребность цементов, повышается пластичность растворных и бетонных смесей, уменьшаются их расслаиваемость, водоотделение, а также потери активности цемента при длительном хранении. Введение поверхностно-активных веществ позволяет улучшить некоторые свойства затвердевших растворов и бетонов (коррозионную стойкость, морозостойкость и др.).

Все виды органических добавок ПАВ в зависимости от их влияния на свойства цементов и цементного камня разделяют на две основные группы: повышающие смачиваемость цементного порошка водой — гидрофильные и понижающие ее — гидрофобные. В соответствии с этим портландцементы с гидрофильными добавками называются пластифицированными, а с гидрофобными — гидрофобными.

В состав пластифицированного цемента в процессе помола вводят чаще всего концентраты сульфитно-спиртовой барды (ССБ) или сульфитно-дрожжевой бражки (СДБ). Сульфитно-спиртовая барда представляет собой побочный продукт, получаемый на заводах гидролизной промышленности при переработке сульфитно-целлюлозного щелока в спирт, кормовые дрожжи. Он состоит в основном из кальциевых солей лигносульфатных кислот с примесью редуцирующих и минеральных веществ и воды. В зависимости от содержания сухого вещества концентраты ССБ разделяют на три марки: жидкие (КБЖ — концентраты барды жидкие), твердые (КБТ) и порошкообразные (КБП). Для получения пластифицированного цемента в него вводят концентраты ССБ в количестве 0,15—0,25% (считая на сухое вещество) массы цемента. По ГОСТ 10178—85, пластифицированный портландцемент характеризуют марками 300, 400, 500 и 600. Указанный цемент придает смесям повышенную подвижность и удобоукладываемость. При сохранении заданной подвижности бетонных и растворных смесей можно достичь снижения водоцементного отношения и получения более высокой прочности бетона, его коррозионной стойкости, водонепроницаемости; снижение расхода цемента благодаря ССБ составляет 5—10%. Вместе с тем введение органических пластифицирующих добавок отрицательно сказывается на скорости гидратации и твердения цемента, особенно в первые сроки, а к 28 сут прочность бетонов на цементах с добавками и без них достигает одинаковых показателей.

Пластифицированный портландцемент рекомендуется для бетонных и железобетонных конструкций и сооружений, подвергающихся систематическому замораживанию и оттаиванию или увлажнению и высыханию. Этот цемент наряду с рядовым портландцементом применяют при возведении обычных монолитных бетонных и железобетонных конструкций, а также при заводском производстве изделий.

Гидрофобный цемент получают измельчением обычного портландцементного клинкера совместно с такими гидрофобными

добавками, как мылонафт, асидол, оленовая кислота и др. Эти добавки адсорбируются на зернах цемента в виде тончайших слоев и образуют на их поверхности водоотталкивающую пленку, придающую цементу ряд особых свойств. Гидрофобный цемент делят на марки 300, 400, 500 и 600. Этот цемент отличается пониженной гигроскопичностью и капиллярным подсосом; он не должен впитывать воду в течение 5 мин (обычный портландцемент впитывает воду в течение 1—2 с).

Добавки, вводимые в цемент, повышают однородность бетонной (растворной) смеси, что объясняется прежде всего смазочным действием гидрофобных добавок и уменьшением трения между частицами смеси. Гидрофобные добавки также повышают однофазность бетона, водонепроницаемость, морозостойкость.

Следует отметить, что гидрофобные пленки на поверхности зерен цемента несколько замедляют процессы твердения, особенно в первые сутки. Гидрофобный цемент целесообразно применять при изготовлении бетонов для крепления шахтных стволов и камер.

*Сульфатостойкий портландцемент* (ГОСТ 22266—76) изготовляется из клинкера, химический и минералогический состав которого нормирован по содержанию  $C_3A$  и  $C_3S$ . Он отличается пониженной экзотермией при твердении и высокой стойкостью при службе в условиях сульфатных вод. В соответствии с ГОСТ 10178—85 клинкер, применяемый для получения сульфатостойкого цемента, должен удовлетворять следующим требованиям: расчетное содержание  $C_3S$  не выше 50%,  $C_3A$  и  $C_4AF$  не более 22%. Сульфатостойкий цемент не должен содержать активных или инертных добавок. Для улучшения качества сульфатостойкого портландцемента можно вводить в него сульфитно-спиртовую барду, мылонафт или другие пластифицирующие и гидрофобизирующие добавки. В этих случаях его называют пластифицированным либо гидрофобным, сульфатостойким портландцементом.

Высокая стойкость такого цемента в сульфатных водах обусловлена тем, что в затвердевшем состоянии он содержит пониженное количество высокоосновных гидроалюминатов кальция. Этим устраняется возможность образования значительного количества гидросульфоалюмината кальция трехсульфатной формы, вызывающего коррозию портландцемента. Развитие коррозионных процессов в затвердевшем сульфатостойком портландцементе замедляется также вследствие ограниченного содержания в клинкере  $C_3S$ .

Сульфатостойкий портландцемент целесообразнее всего применять в тех случаях, когда одновременно требуется высокая стойкость против воздействия сульфатных вод и переменного замораживания и оттаивания, высухания и увлажнения.

По ГОСТ 22266—76 выпускают сульфатостойкий портландцемент марок 300 и 400.

В связи с умеренным содержанием в клинкере  $C_3S$  и малым

$C_3A$  сульфатостойкий цемент отличается от обычного пониженным тепловыделением. Сульфатостойкий портландцемент следует применять в бетонных и железобетонных конструкциях, в том числе и в предварительно-напряженных конструкциях крепи, подверженных действию сульфатных вод, и в условиях переменного замораживания и оттаивания или увлажнения и высыхания. По экономическим соображениям нецелесообразно изготавливать на нем бетонные и железобетонные изделия и конструкции, где специальные свойства этого бетона не используются.

Сульфатостойкий пуццолановый цемент получают совместным помолом клинкера, содержащего не более 8%  $C_3A$ , с кислотными активными минеральными добавками. Их вводят в следующем количестве от массы цемента: добавок вулканического происхождения не менее 25% и не более 40%; добавок осадочного происхождения не менее 20% и не более 30%. Сульфатостойкий пуццолановый портландцемент выпускается марок 200, 300 и 400, характеризуется пониженной морозостойкостью и предназначается для изготовления бетонных и железобетонных конструкций, работающих в условиях сульфатной агрессии.

*Портландцемент с умеренной экзотермией* изготавливают из клинкера определенного химико-минералогического состава, обеспечивающего пониженную теплоту гидратации и несколько повышенную сульфатостойкость этого цемента. По ГОСТ 10178—85, такой клинкер должен содержать не более 50%  $C_3S$  и не более 8%  $C_3A$ . Для регулирования сроков схватывания в этот цемент, как и в рядовой портландцемент, вводят гипс в обычных для всех разновидностей портландцемента количествах. Портландцемент с умеренной экзотермией выпускают обычно без активных или инертных минеральных добавок. Теплота гидратации цементов, предназначенных для массивных конструкций, должна быть не более 200 кДж/кг через 3 сут и 240 кДж/кг через 7 сут.

Портландцемент с умеренной экзотермией выпускается марок 300 и 400. Твердеет он в первые сутки медленнее, чем обычные портландцементы. Портландцемент с умеренной экзотермией предназначается прежде всего для бетонных и железобетонных конструкций гидротехнических сооружений, а также конструкций, работающих в пресной или слабоминерализованной воде и подвергающихся систематическому замораживанию и оттаиванию, увлажнению и высыханию.

*Портландцементы с микронаполнителями.* При длительном твердении бетонов клинкерные частички размером более 40—60 мк обычно не гидратируются полностью. Многочисленные исследования показывают, что клинкерные частички такого размера без существенного снижения прочностных характеристик портландцемента могут быть заменены в нем подобными же частичками из других, в том числе инертных, материалов. Практически в производстве портландцементов с микронаполнителями используются кварцевые пески, плотные известняки и доломиты.

ты (10—25%). При этом на основе портландцементного клинкера и этих материалов получают песчаный и карбонатные портландцементы. Особенно эффективно изготавливать песчаный портландцемент путем помола портландцементного порошка (не клинкера) с кварцевым песком до удельной поверхности 2500—3500 см<sup>2</sup>/г и более при добавке 25—35% песка от массы цемента, который обладает теми же прочностными характеристиками, что и исходный портландцемент. Но он обладает меньшим тепловыделением и пониженными объемными деформациями.

Другим представителем смешанных цементов с микронаполнителями является карбонатный портландцемент, получаемый совместным помолом клинкера с известняком или доломитом. Их вводят в цемент в количестве 20—30%. Активность портландцемента в этом случае снижается совсем незначительно. Это объясняется, с одной стороны, повышением дисперсности клинкерных частичек при совместном помоле компонентов, а с другой — взаимодействием алюмината и алюмоферрита кальция клинкера с углекислым кальцием и магнием и образованием  $3\text{CaO} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3 \cdot \text{CaCO}_3 \cdot 12\text{H}_2\text{O}$  и  $3\text{CaO} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3 \cdot \text{MgCO}_3 \cdot 12\text{H}_2\text{O}$ . Карбонатный цемент характеризуется более высокой пластичностью, чем обычный портландцемент. Прочность их на сжатие может достигать 20—30 МПа.

*Шлакопортландцементом* (ГОСТ 10178—85) называется гидравлическое вяжущее, получаемое путем совместного тонкого измельчения портландцементного клинкера и гранулированного доменного шлака с добавлением небольшого количества гипса (до 3,5% серного ангидрида от массы всей смеси). Шлака в шлакопортландцементе должно быть не менее 30% и не более 60% массы. Гипс вводится в шлакопортландцемент для регулирования сроков схватывания, а также в качестве активизатора твердения шлака. Шлакопортландцемент по физико-механическим свойствам близок к обычному портландцементу, но выгодно отличается от него более низкой стоимостью (на 15—20%).

Повышению активности шлакопортландцемента способствует уменьшение доли шлака в цементе и увеличение тонкости его помола до 3500—4000 см<sup>2</sup>/г и более.

Обычно содержание основных шлаков в шлакопортландцементе достигает 50—60%, а кислых — 30—40% (в зависимости от качества шлака и клинкера). Водопотребность шлакопортландцемента существенно не отличается от водопотребности обычных портландцементов. Водоотделение из теста, полученного затворением шлакопортландцемента, больше, чем из теста портландцемента. С увеличением тонкости помола его водоудерживающая способность значительно возрастает. Быстротвердеющий шлакопортландцемент, измельченный до удельной поверхности 4000 см<sup>2</sup>/г, характеризуется большей водоудерживающей способностью, чем рядовой портландцемент.

Скорость схватывания зависит от химического состава шлака и соотношения в шлакопортландцементе шлако- и портландце-



ментного клинкера, а также от содержания гипса. Добавление 30—50% шлака к быстротвердеющему измельченному клинкеру позволяет получать нормально- и медленносхватывающийся продукт.

Введение гипса, замедляя схватывание портландцементного клинкера, значительно ускоряет схватывание шлакопортландцемента, возбуждая гидравлическую активность шлака. Обычный шлакопортландцемент, содержащий 50—60% шлака, схватывается медленнее, чем рядовой портландцемент.

Шлакопортландцемент выпускается марок 200, 300, 400 и 500. Быстротвердеющий шлакопортландцемент характеризуется прочностью при сжатии через 3 сут не менее 15 МПа, а через 28 сут — не менее 35 МПа. Шлакопортландцемент характеризуется относительно медленным нарастанием прочности в начальные сроки твердения, что особенно ощутимо при испытании образцов из пластичного раствора. В более отдаленные сроки твердения прочность обыкновенного шлакопортландцемента возрастает и через 2—3 мес даже превосходит прочность портландцемента одинаковой марки. При пониженных температурах (2—6° С) его схватывание и твердение значительно замедляются, а при тепловлажностной обработке резко ускоряются. Быстротвердеющий шлакопортландцемент и при пониженных положительных температурах равнозначен портландцементу марок 300—400.

Показатели тепловыделения портландцементов и шлакопортландцементов приведены в табл. 3.2.

Усадка и набухание шлакопортландцемента при одинаковой тонкости помола характеризуются приблизительно теми же показателями, что и усадка и набухание обычного портландцемента.

Быстротвердеющий шлакопортландцемент вследствие высокой удельной поверхности обладает повышенной усадкой, достигающей через 3 мес 0,6—0,7 мм/м.

Стойкость шлакопортландцементов при воздействии мягких и сульфатных вод выше, чем у портландцементов. Против сульфатной агрессии более стойки шлакопортландцементы с повышенным количеством клинкера, содержащие кислые малоалюминатные шлаки с повышенным (до 8—10%) количеством  $MgO$ . Сохранность стальной арматуры в бетонах на шлакопортландцементов вполне удовлетворительная.

Тепловыделение цемента

Таблица 3.2

Вид цемента	Удельная поверхность, $cm^2/gr$	Теплота гидратации через 3 сут, $кДж/кг$
Портландцемент	3000	180
Шлакопортландцемент	3000	77,6
Быстротвердеющий шлакопортландцемент	4100	165,6

Морозостойкость шлакопортландцемента несколько ниже морозостойкости портландцемента; она уменьшается с увеличением в нем содержания шлака. Быстротвердеющие шлакопортландцементы отличаются несколько более высокой морозостойкостью, чем рядовые портландцементы.

Бетоны на шлакопортландцементе характеризуются повышенной водопроницаемостью.

Шлакопортландцемент можно эффективно использовать в подземном строительстве. Недостаточно хорошо он ведет себя в случае, когда бетоны подвергаются систематическому замораживанию и оттаиванию или увлажнению и высыханию. Шлакопортландцемент, как и портландцемент, широко применяется в производстве сборных бетонных и железобетонных конструкций и изделий, в частности изготовляемых с использованием тепловлажностной обработки.

Быстротвердеющий шлакопортландцемент рекомендуется при изготовлении сборных и монолитных бетонных и железобетонных конструкций с повышенной начальной прочностью, а также сборных конструкций с применением гидротермальной обработки. Если бетоны на шлакопортландцементе используют при пониженных положительных температурах (ниже  $10^{\circ}\text{C}$ ), то необходим искусственный обогрев.

Шлакопортландцемент марок 200, 300 применяют при изготовлении строительных растворов. Шлакопортландцемент оказывается экономичнее портландцемента и пуццоланового портландцемента такой же активности.

*Глиноземистым цементом* (ГОСТ 969—77) называется быстротвердеющее гидравлическое вяжущее вещество, состоящее преимущественно из низкоосновных алюминатов кальция и получаемое тонким измельчением обожженной до плавления или спекания сырьевой смеси извести (известняка) и бокситов.

Ангидрито-глиноземистый цемент получают путем введения в глиноземистый цемент 20—30% ангидрита. Иногда в глиноземистый цемент добавляют 20—30% кислого доменного гранулированного шлака. Это способствует улучшению некоторых технических свойств глиноземистого цемента (снижению экзотермии, уменьшению усадки), а также удешевлению продукта.

Химический состав глиноземистых цементов изменяется в широких пределах. Это видно из следующих данных:  $\text{Al}_2\text{O}_3$  — 30—50%;  $\text{CaO}$  — 35—45%;  $\text{SiO}_2$  — 5—15%;  $\text{Fe}_2\text{O}_3$  — 5—15%.

Твердение глиноземистого цемента — следствие взаимодействия составляющих его минералов и в первую очередь основного компонента — однокальциевого алюмината  $\text{CA}$  — с водой и образование гидратных соединений. Обычно через 24 ч от момента смешивания вяжущего с водой достигается приблизительно 75—90% конечной прочности, рост которой к 3 сут практически завершается.

Отрицательно влияет на прочность цемента температура выше  $25$ — $30^{\circ}\text{C}$ .

Введение в глиноземистый цемент 25—30% ангидрита или двуводного гипса значительно ослабляет действие повышенных температур при его твердении. Образующийся в этом случае трехкальциевый гидроалюминат взаимодействует с ангидритом, давая гидросульфалюминат, способствующий росту прочности системы. Ангидритглиноземистый цемент характеризуется нормальным ростом прочности при твердении даже при 40—60° С. Ангидритоглиноземистый, а также шлакоглиноземистый цементы твердеют подобно глиноземистому, но несколько медленнее. Обычно начало и конец схватывания наступают соответственно через 1—1,5 и 4—6 ч. При необходимости замедлить сроки схватывания применяют хлористый натрий, буру и другие. Наиболее благоприятные условия твердения — водные. Снижение прочности цемента, наблюдаемого при длительном твердении, объясняется переходом  $C_2AN_n$  в  $C_3AN_6$ . Бетоны на глиноземистом цементе характеризуются высокой водо- и морозостойкостью. Затвердевший глиноземистый цемент обладает низкой водонепроницаемостью, он более стоек в растворах сульфата и магния.

Нельзя использовать глиноземистый цемент в тех случаях, когда температура бетона во время его твердения может подняться выше 25—30° С.

Глиноземистый цемент выпускают марок 300, 400 и 500.

*Безусадочные и расширяющиеся цементы.* Безусадочные цементы расширяются в начальный период времени до 2—3 мм/м (0,2—0,3%), а расширяющиеся цементы — до 7 мм/м (0,7%). Безопасный предел расширения в течение 10—20 дней не должен превышать 15—20 мм/м; при более значительном расширении структура камня может нарушиться с образованием трещин.

*Водонепроницаемый расширяющийся цемент (ВРЦ).* Цемент получают совместным помолом или смешиванием тонкоизмельченных исходных компонентов — глиноземистого цемента (70%), высокопрочного или строительного гипса (20%) и высокоосновных гидроалюминатов кальция (10%). Последние получают отдельно из смеси глиноземистого цемента и гидратной известки (пушонки), взятых в соотношении 1:1.

Прочность ВРЦ определяют на кубиках размером 2×2×2 см, изготовленных из теста нормальной густоты. Прочность при сжатии должна быть не менее: через 12 ч твердения — 7,5 МПа, через 3 сут — 30 МПа, через 28 сут — 50 МПа.

При хранении цементных образцов на воздухе величина относительного линейного расширения через сутки должна быть не менее 0,05%, а через 28 сут не менее 1%. После хранения в воде через сутки величина расширения должна находиться в пределах 0,3%, а через 28 сут — не менее 2%.

Водонепроницаемый цемент (ВРЦ) применяют для зачеканки и гидроизоляции швов между тубингами или блоками крепи, для заделки трещин, создания гидроизоляционных покрытий, ремонта крепи.

Нельзя применять ВРЦ при температуре ниже 0° С и выше 80° С.

Водонепроницаемый безусадочный цемент (ВБЦ) получают, тщательно смешивая глиноземистый цемент (85%), полуводный гипс (10%) и гашеную известь (5%). Начало схватывания должно наступать не ранее 1 мин, а конец — не позднее 5 мин. ВБЦ при испытании на кубиках размером 2×2×2 см из теста нормальной густоты характеризуется показателями прочности не ниже следующих величин: через 2 ч — 5 МПа, через 6 ч — 12,5 МПа, через 3 сут — 25 МПа и через 28 сут — 30 МПа. Величина относительного линейного расширения образцов из ВБЦ через сутки твердения в воде должна находиться в пределах 0,01—0,1%.

Этот цемент применяют для устройства гидроизолирующей торкретной оболочки бетонных и железобетонных подземных сооружений, эксплуатируемых в условиях повышенной влажности (тоннели, фундаменты и т. п.). Нельзя использовать ВБЦ в сооружениях, находящихся, хотя бы временно, в условиях недостаточной влажности.

*Гипсоглиноземистый цемент* (ГОСТ 11052—74) получают совместным помолом высокоглиноземистых шлаков и двухводного гипса. Компоненты берут в соотношении 0,7:0,3 по массе. Вяжущее интенсивно твердеет в водной и воздушной средах. Начало схватывания цемента должно наступать не ранее 20 мин, окончание — не позднее 4 ч. При твердении образцов из теста в воде через сутки его линейное расширение должно быть не менее 0,15%, а через 28 сут — не менее 0,3 и не более 1%. Образцы из теста через сутки, а образцы раствора состава 1:3 через 3 сут после изготовления не должны пропускать воду под давлением 1 МПа.

По прочности цемент разделяют на марки 300, 400 и 500.

Для бетонов на гипсоглиноземистом цементе характерна высокая прочность сцепления нового бетона со старым (в 20—25 раз выше, чем у бетонов на портландцементе). Бетоны на указанном выше цементе хорошо твердеют при температурах до 80° С. Гипсоглиноземистый цемент характеризуется высокой морозостойкостью, сульфатостойкостью.

Гипсоглиноземистый расширяющийся цемент предназначается для изготовления безусадочных и расширяющихся водонепроницаемых растворов и бетонов, для заделки стыков сборных бетонных и железобетонных конструкций, для омоноличивания и усиления конструкций, для зачеканки швов и раструбов и т. д.

Напрягающий цемент характеризуется не только значительной величиной, но и большой энергией расширения. Готовят этот цемент домолом до удельной поверхности 4500 см<sup>2</sup>/г смеси двухводного гипса, высокоглиноземистого клинкера или шлака, взятых в соотношении от 14:16:70 до 16:20:64 (по массе).

Термообработка образцов в воде в течение 2—6 ч при 70—100° С приводит к их равномерному расширению и интенсивно-

му твердению без разрушительных деформаций. Термообработка при 90—100° в течение 6 ч позволяет достигать расширения до 0,5%. При последующем хранении в воде оно увеличивается до 2—3% для образцов из теста и 1,5—2% для образцов из раствора состава 1:1 по массе. При дальнейшем хранении в воде до 28 сут прочность достигает соответственно 80—90 и 40—50 МПа.

Напрягающий цемент схватывается через 2—5 мин.

В образцах из затвердевшего цемента толщиной 20 мм фильтрация отсутствует под давлением воды до 2 МПа.

Для этого смешанного вяжущего характерна большая энергия расширения, достигающая 3—4 МПа при твердении образцов из раствора состава 1:1. Это свойство цемента позволяет использовать его для изготовления железобетонных изделий с арматурой, напрягаемой энергией, которая развивается при расширении твердеющего цемента. При этом напряжение стали может достигать 30—140 МПа в зависимости от процента армирования (0,15—1,5%). Важно отметить также, что при расширении раствора арматура может получать двух- и трехосное напряжение, чего трудно добиться обычными механическими приемами.

Напрягающий цемент можно применять при изготовлении (особенно методом торкретирования) изделий с напряженной арматурой (например, труб, рассчитанных на внутреннее давление до 1,5—2 МПа) и тонкостенных изделий.

Таблица 3.3

Рекомендуемые марки цемента

Проектная марка бетона	Марки цемента		Проектная марка бетона	Марки цемента	
	Рекомендуемые	Допускаемые		Рекомендуемые	Допускаемые
Тяжелый бетон			Мелкозернистый бетон		
150	300	400	150	400	500
200	400	300, 500	200	400	500
250	400	300, 500	250	500	400
300	400	500	300	500	400
350	400	500	350	500	400
400	500	550, 600	400	500	—
450	550	500, 600			
500	600	550, 600			
600	600	—			

Таблица 3.4

Переводные коэффициенты для бетонов

Нормальная густота цементного теста, %	Переводные коэффициенты для бетонов проектной марки		
	< 30	350—400	450—600
25—27	1,0	1,0	1,0
28—30	1,03	1,05	1,08
> 30	1,05	1,08	1,12

Физико-механические свойства цементов

Цемент	Марка	Плотность, кг/м <sup>3</sup>	Влагопогло- щение, %	Сроки схватывания		Прочность $R_{ср}$ (МПа) в возрасте, сут		Прочность $R_{ср}$ (МПа) в возрасте, сут	
				начало, не ра- нее, мин	конец, не позд- нее, ч	3	28		3
Портландцемент	400, 500, 550, 600	1200	22—24	45	10	—	5,5; 6,0; 6,2; 6,5	—	40; 50; 55; 60
Портландцемент с ми- неральными добав- ками	400, 500, 550, 600	110	24—26	45	10	—	5,5; 6,0; 6,2; 6,5	—	40; 50; 55; 60
Быстротвердеющий портландцемент	400, 500	1100	24—26	45	10	4; 4,5	5,5; 6,0	25; 28	40; 50
Шлакопортланд- цемент	300, 400, 500	1000	25—28	45	10	—	4,5; 5,5; 6,0	—	30; 40; 50
Быстротвердеющий шлакопортландцемент	400	1000	25—28	45	10	3,5	5,5	20	40

Таблица 3.6

Области применения цементов	Цементы	Основное назначение	Допускается применение	Не рекомендуется	По вещественному составу
Портландцемент, пор- ландцемент с минераль- ными добавками					Для бетонных и железобетонных сбор- ных и монолитных конструкций
Шлакопортландцемент					Для бетонных и железобетонных сбор- ных изделий, подвергаемых пропарке, монолитных массивных бетонов и же- лезобетонных надземных, подземных, подводных конструкций при действии
					Для бетонов со специаль- ными свойствами при условии дополнительной проверки специальных свойств цемента То же
					В бетонах и конструкциях со специ- альными свойствами без дополнитель- ной проверки свойств цемента
					Для морозостойких бетонов с коэф- фициентом морозостойкости более 200, для тяжелых бетонов, твердеющих при температуре ниже +10°С при отсут- ствии обогрева, для конструкций, под-

Цементы	Основное назначение	Допускается применение	Не рекомендуется
Пуццолановый портландцемент	пресных и минеральных вод Для подземных и подводных конструкций, эксплуатируемых в условиях действия мягких пресных вод и при сульфатной коррозии	Для надземных конструкций, эксплуатируемых в условиях повышенной влажности	вергаемых попеременному увлажнению и высушиванию В морозостойких бетонах, при твердении в сухих, жарких и зимних условиях, в условиях попеременного увлажнения и высушивании
Глиноземистый	Для быстротвердеющих бетонов, аварийно-ремонтных работ, для жаростойких бетонов, для работы в условиях сернистой агрессии	—	—
Высокглиноземистый Гипсоглиноземистый	Для жаростойких бетонов Для безусадочных и расширяющихся водонепроницаемых бетонов, гидроизоляционных штукатурок	Для зачеканки швов и раструбов при рабочем давлении до 1 МПа, создаваемом в течение 24 ч с момента окончания зачеканки	Для строительных работ при температуре ниже +10° С без обогрева. Для конструкций, эксплуатируемых при температуре выше +80° С

По прочности при твердении

Высокопрочные марок 550, 600	Для бетонов М500 и более	Для бетонов М400 и М450	Для бетонов марок менее М400
Повышенной прочности марки 500	Для бетонов М400 и 450, а также М150 при повышенной отпускной прочности	Для бетонов М200, М350, М500	Для бетонов марок менее М200 и строительных растворов
Рядовые марок 400, 300	Для бетонов М200—М350 и М150 при повышенной отпускной прочности Для бетонов марок не более 150 и строительных растворов	Для бетонов марок менее М250 и строительных растворов	Для бетонов марок более 250
Низкомарочные ниже марки 300	Для строительных растворов и бетонов марок 100 и менее	Для бетонов марки 150	Для бетонов марок более 150

По скорости твердения

Обычные	Для всех видов строительных работ, где не предъявляются особые требования к скорости твердения бетона, раствора	—	—
Быстротвердеющие	Для бетонов сборных конструкций с повышенной отпускной прочностью и монолитных конструкций	—	—
Особобыстротвердеющие	Для аварийно-восстановительных работ, для бетонов, к которым предъявляются высокие требования по темпам начального твердения в нормальных условиях	—	—

По срокам схватывания

Медленносхватывающиеся	Для бетонов, растворов и изделий с длительным циклом транспортирования, укладки и формования	—	Для бетонов, растворов и изделий с нормальным и ускоренным циклом укладки и формования
Нормальносхватывающиеся	Для всех видов строительных работ, где не предъявляются особые требования по срокам схватывания	—	Для бетонов, растворов и изделий с замедленным циклом укладки и формования
Быстросхватывающиеся	Для бетонов, растворов и изделий с ускоренным циклом укладки и формования	—	Для бетонов и растворов с нормальным и замедленным циклом укладки и формования

По сульфатостойкости

Сульфатостойкий портландцемент и сульфатостойкий портландцемент с минеральными добавками	Для конструкций из сульфатостойкого и морозостойкого бетона	Для низкотермичного бетона	Для обычных бетонов, к которым не предъявляются требования по морозостойкости и сульфатостойкости
Сульфатостойкие шлакопортландцемент и пуццолановый портландцемент	Для сульфатостойких бетонов	Для низкотермичного бетона	Для морозостойкого бетона и бетона, подвергаемого попеременному увлажнению и высушиванию без специальных мер

Цементы	Основное назначение	Допускается применение	Не рекомендуется
По объемной деформации при твердении			
Безусадочные	Для бетонов, предназначенных для омоноличивания стыков	—	—
Расширяющиеся		—	—
По тепловыделению			
Напрягающие	Для самонапряженных конструкций	Для бетонов, предназначенных для омоноличивания стыков	—
Низкотермичные	Для низкотермичных бетонов		—
Умеренно термичные	Для умеренно термичных бетонов	—	—

Таблица 3.7.

## Нормы агрессивности воды в зависимости от скорости фильтрации

Марка по водонепроницаемости	Максимальные водоцементные отношения	Водородный показатель pH	Бикарбонатная щелочность, мг-экв/л	Содержание свободной углекислоты, мг/л	Содержание магnezальных солей, мг/л	Содержание сульфатов в мг/л в пересчете на ионы $SO_4^{2-}$ при содержании ионов $Cl^{-}$ , не менее				
						$\geq 1000$ мг/л при применении		$< 1000$ мг/л при применении		
						портландцемента	сульфатостойкого портландцемента	портландцемента	сульфатостойкого портландцемента	
Для слабофильтрующих грунтов ( $K_f < 0,1$ м/сут)										
W4	0,60	5,0	Не нормируется	150	2000	$(150 + 0,15Cl^{-}) \geq 1000$	3000	300	1200	
W6	0,55	5,0	»	»	2500	$(350 + 0,15Cl^{-}) \geq 1400$	5000	500	1400	
W8	0,45	3,9	»	»	3000	$(450 + 0,15Cl^{-}) \geq 1700$	6000	600	1700	
W12	0,40	3,0	»	»	3500	$(650 + 0,15Cl^{-}) \geq 2300$	7500	800	2000	
Для сильнофильтрующих грунтов ( $K_f \geq 0,1$ м/сут)										
W4	0,6	6,5	1,4	100	1000	$(150 + 0,15Cl^{-}) \geq 1000$	3000	300	1000	
W6	0,55	5,9	0,7	150	1500	$(250 + 0,15Cl^{-}) \geq 1200$	4000	400	1200	
W8	0,45	5,4	0,7	Не нормируется	2000	$(350 + 0,15Cl^{-}) \geq 1400$	5000	500	1400	
W12	0,40	5,0	Не нормируется	»	3000	$(450 + 0,15Cl^{-}) \geq 1700$	7000	800	1700	

- Примечания. 1. Для показателей воды приведены предельные значения, выше или ниже которых вода — среда является агрессивной для бетона.  
 2. Марку бетона по водонепроницаемости определяют в возрасте 28 сут, руководствуясь ГОСТ 127305—84.  
 3. При применении чугунных тубингов нормы агрессивности воды — среды назначают такими же, как и при напоре до 10 м.  
 4. При напоре 300 м и более (при отсутствии чугунных тубингов) нормы агрессивности воды — среды устанавливаются экспериментально.

Таблица 3.8

## Нормы агрессивности воды в зависимости от напоров шахтных вод

Гидростатический напор шахтных вод, м	Марка по водонепроницаемости	Максимальные водоцементные отношения	Водородный показатель pH	Бикарбонатная щелочность, мг-экв/л	Содержание свободной углекислоты, мг/л	Содержание магnezальных солей, мг/л	Содержание сульфатов в мг/л в пересчете на ионы $SO_4^{2-}$ при содержании ионов $Cl^{-}$ , не менее			
							$\geq 1000$ мг/л при применении		$< 1000$ мг/л при применении	
							портландцемента	сульфатостойкого портландцемента	портландцемента	сульфатостойкого портландцемента
$< 10$	W4	0,60	6,5	1,07	50	1000	$(150 + 0,15Cl^{-}) \geq 1000$	3000	250	1000
$< 10$	W6	0,55	5,9	1,07	100	1500	$(250 + 0,15Cl^{-}) \geq 1200$	4000	400	1200
$< 100$	W8	0,45	5,4	Не нормируется	150	2000	$(350 + 0,15Cl^{-}) \geq 1400$	5000	500	1400
$< 10$	W12	0,40	5,0	»	200	3000	$(450 + 0,15Cl^{-}) \geq 1700$	7000	800	1700
10—100	W6	0,65	$\leq 6,0$	$\geq 1,07$	$> 50$	$> 1000$	$> 250$	3000	250	1000
10—100	W8	0,45	$\leq 5,9$	$\geq 1,07$	$> 100$	$> 1500$	$> 400$	4000	250	1500
10—100	W12	0,40	$\leq 5,4$	Не нормируется	$> 150$	$> 2000$	$> 500$	5000	500	1400
100—300	W12	0,40	$\leq 6,0$	$\geq 1,07$	$> 50$	$> 1000$	$> 250$	3000	250	1000

Примечание. См. примечания к табл. 3.7.



Рекомендуемые марки цементов для разных видов и марок бетонов приведены в табл. 3.3.

Допустимые пределы колебаний нормальной густоты цементного теста в соответствии с СНиП 5.01.23—83 составляют 25—27%. При более высоких значениях нормальной густоты цементного теста следует пользоваться переводными коэффициентами, приведенными в табл. 3.4.

Физико-механические свойства наиболее распространенных цементов приведены в табл. 3.5, а классификационные признаки и рациональные области применения — в табл. 3.6.

Нормы агрессивности воды для бетона шахтных крепей приведены в табл. 3.7 и 3.8.

### 3.2. ЗАПОЛНИТЕЛИ

Заполнители занимают в бетоне до 80% объема и оказывают определенное влияние на свойства бетона, его долговечность и стоимость. Введение в бетон заполнителей позволяет резко сократить расход цемента. Кроме того, заполнители улучшают технические свойства бетона. Жесткий скелет из высокопрочного заполнителя несколько увеличивает прочность и модуль деформации бетона, уменьшает деформации конструкции под нагрузкой, а также снижает ползучесть бетона — необратимые деформации, возникающие при длительном действии нагрузки. Заполнитель уменьшает усадку бетона, способствуя получению более долговечного материала. Усадка цементного камня при его твердении достигает 1—2 мм/м.

Пористые естественные и искусственные заполнители, обладая малой плотностью, уменьшают плотность легкого бетона, улучшают его теплотехнические свойства.

Правильный выбор заполнителей для бетона — одна из важных задач технологии бетона.

В бетоне применяют крупный и мелкий заполнитель. Крупный заполнитель, зерна которого крупнее 3—5 мм, подразделяют на щебень и гравий. Мелким заполнителем в бетоне является естественный или искусственный песок.

Характеристики некоторых заполнителей приведены в табл. 3.9.

Таблица 3.9

Характеристики заполнителей

Заполнитель	Плотность, г/см <sup>3</sup>	Масса 1 л, кг	Пустотность, %	Модуль крупности М <sub>к</sub>	Водопоглощаемость, %	Коэффициент прочности
Щебень из изверженных пород	2,69	1,45	45,7	—	3,43	0,50
То же Известняковый щебень	2,6	1,47	42,6	—	5,88	0,59
Строительный песок	2,56	1,34	45,6	—	5,72	0,63
То же Вильский песок	2,63	1,51	42,5	2,79	7	0,53
	2,7	1,37	49	0,69	11,5	0,25
	2,65	1,56	41	2,05	4	0,32

### 3.2.1. Мелкий заполнитель

Песок, являющийся мелким заполнителем, состоит из зерен размером от 0,14 до 5 мм. Свойство и качество бетона в значительной мере зависят от гранулометрического состава, формы зерен песка и его чистоты. Гранулометрический (зерновой) состав песка является одним из основных показателей его качества.

Песок, по ГОСТ 8736—85, подразделяется на следующие виды:

природный, обогащенный и фракционированный;  
дробленый, дробленый обогащенный и дробленый фракционированный;

дробленый из отсевов и дробленый обогащенный из отсевов.

Природный песок представляет собой рыхлую смесь зерен крупностью 0,14—5 мм, образовавшуюся в результате естественного разрушения твердых горных пород. Природные пески в зависимости от условий залегания могут быть речные, морские и горные (овражные). Речные и морские пески имеют округлую форму зерен, горные пески содержат остроугольные зерна, что обеспечивает их лучшее сцепление с бетоном.

Однако горные пески обычно более загрязнены вредными примесями, чем речные и морские.

Искусственные тяжелые пески получают дроблением твердых и плотных горных пород.

Искусственные пески подразделяют на следующие виды:

дробленый из скальных пород и гравия, с использованием специального дробильно-размольного оборудования;

дробленый из отсевов — получаемый из отсевов продуктов дробления горных пород при производстве щебня;

обогащенный, дробленый обогащенный, дробленый обогащенный из отсевов — с улучшенным зерновым составом, получаемые с применением специального обогатительного оборудования и поставляемого без разделения на фракции;

фракционированный и фракционированный дробленый — разделенные с применением специального обогатительного оборудования на две фракции и поставляемые потребителю отдельно в установленных стандартом соотношениях.

По зерновому составу пески подразделяются на крупные, средние, мелкие и очень мелкие (табл. 3.10).

Модуль крупности  $M_k$  песка вычисляют с точностью до 0,1 по формуле

$$M_k = \frac{A_{2,5} + A_{1,25} + A_{0,63} + A_{0,315} + A_{0,14}}{100} \quad (3.1)$$

где  $A_{2,5}$ ,  $A_{1,25}$ ,  $A_{0,63}$ ,  $A_{0,315}$ ,  $A_{0,14}$  — полные остатки на ситах, %

Фракционированный и дробленый фракционированный песок поставляется потребителю в виде двух фракций — крупной и мелкой, получаемых разделением песка по граничному зерну,

Таблица 3.10

## Классификация песков

Крупность песка	Модуль крупности М <sub>1</sub>	Полный остаток на сите № 063, %	Крупность песка	Модуль крупности М <sub>1</sub>	Полный остаток на сите № 063, %
Крупный	> 2,5	> 45	Мелкий	1,5—2,0	10—30
Средний	2,0—2,5	30—45	Очень мелкий	1,0—1,5	< 10

соответствующему размерам отверстий контрольных сит 1,25 и 0,63 мм. Соотношение песков крупной и мелкой фракций в процентах должно быть в пределах, указанных в табл. 3.11.

Таблица 3.11

## Соотношение фракций песка

Показатели	Полный остаток на сите (% по массе) при расसेве песка по границному зерну, мм			
	1,25		0,63	
	Крупная фракция	Мелкая фракция	Крупная фракция	Мелкая фракция
Размер отверстия контрольного сита, мм:				
2,5	20—50	—	15—40	—
1,25	85—100	0,15	50—70	—
0,63	—	30—50	85—100	0—15
0,315	—	50—80	—	40—60
0,14	—	90—100	—	90—100
Соотношение поставляемых крупной и мелкой фракций, %	20—50	80—50	30—70	20—30

Содержание крупных и мелких зерен песка, а также пылевидных, глинистых и илстых частиц, в том числе глины в комках, не должно превышать значений, указанных в табл. 3.12.

Таблица 3.12

Допустимое содержание фракций заполнителей и пылевидных частиц в бетоне (% по массе)

Вид песка	Содержание зерен размером, мм		Содержание пылевидных глинистых, илстых частиц	Содержание глины в комках
	> 5	< 0,14		
Обогащенный	4,5	4	1,5	0,15
Фракционированный:				
крупная фракция	7,0	—	0,4	0,10
мелкая фракция	—	7	1,0	0,15
Дробленый	7,0	7	3,0	0,25
Дробленый обогащенный	4,5	4	2,0	0,15
Дробленый фракционированный:				
крупная фракция	7,0	—	0,5	0,10
мелкая фракция	—	7	1,5	0,15

Для получения песков используются изверженные, метаморфические или плотные осадочные горные породы, а также гравий, отвечающие требованиям табл. 3.13.

Таблица 3.13

Требования к горным породам при получении песка

Марка дробленого песка	Предел прочности исходной горной породы при сжатии в насыщенном водой состоянии, МПа, не менее	Марка исходного гравия по дробильности в цилиндре, не более
1000	100	D <sub>p</sub> 8
800	80	D <sub>p</sub> 12
600	60	D <sub>p</sub> 16
400	40	D <sub>p</sub> 24

К слабым относятся породы с пределом прочности при сжатии в насыщенном водой состоянии менее 20 МПа. Изверженные и метаморфические горные породы, используемые для производства дробленых песков, должны иметь предел прочности при сжатии не менее 60 МПа.

Глинистые и пылевидные примеси в песке повышают водопотребность бетонных смесей и приводят к понижению морозостойкости бетона. Очищать песок от глинистых и пылевидных частиц можно, промывая его в пескомойках.

В природных песках могут содержаться даже в большом количестве органические примеси (гумусовые кислоты, остатки растений, перегной), которые вступают в химическую реакцию с твердеющим цементом и снижают прочность бетона.

В песке могут содержаться и неорганические примеси, которые вызывают химическую коррозию цементного камня.

К этой группе примесей относятся сернокислые и сернистые соединения (например, пирит  $Fe_2S_3$ ). Слюда также относится к числу вредных примесей. Песок, предназначенный для раствора по ГОСТ 8736—85, не должен содержать слюды более 1%, а сернистых и сернокислых соединений в пересчете на  $SO_3$  — 2% массы. Для всех видов бетонов, которые предназначены для возведения крепи горных выработок, применение песка с содержанием глины в виде отдельных комков не допускается.

В песке могут содержаться аморфные модификации кремнезема (опал, халцедон и др.), который может вступать в химическую реакцию со щелочами, содержащимися в цементе ( $Na_2O$ ,  $K_2O$ ), при этом образуются вещества, вызывающие расширение и растрескивание бетона. Пригодность песка, содержащего аморфный кремнезем в соответствии с требованиями ГОСТ 10268—80, определяется специальными исследованиями с учетом его эксплуатации.

### 3.2.2. Крупный заполнитель

В качестве крупного заполнителя в бетоне используются материалы как естественного, так и искусственного происхождения.

Крупные заполнители для тяжелого бетона должны отвечать требованиям ГОСТ 8268—82 и ГОСТ 10260—82.

Для бетонной крепи, работающей в условиях притока агрессивных шахтных вод, должен применяться щебень, отвечающий требованиям СНиП 11-28—79. Содержание пылевидных, илистых и глинистых частиц в щебне из невыветрившихся изверженных пород должно быть не более 0,5%. При отсутствии агрессивных шахтных вод для приготовления бетона допускается применять щебень из изверженных и метаморфических пород с содержанием пылевидных, илистых и глинистых частиц не более 1% и щебень из осадочных пород с содержанием указанных примесей до 3% для бетона марки ниже 300 и до 2% для бетона марки 300 и выше. При эксплуатации крепи в условиях переменного уровня воды марка щебня из изверженных метаморфических пород должна быть выше марки бетона не менее чем в 3 раза; из осадочных пород — не менее чем в 2,5 раза.

Не допускается применять щебень из осадочных пород с примесью аморфного кремнезема, природную гравийно-песчаную смесь без ее отсева на песок и гравий, а также гравий, содержащий в своем составе зерна глинистого сланца.

Щебень из природного камня получается дроблением горных пород со средней плотностью, включая поры свыше 2 г/см<sup>3</sup>.

Свойства горных пород, используемых для приготовления щебня, приведены в табл. 3.14.

Таблица 3.14

Свойства горных пород, используемых для приготовления щебня

Порода	Плотность, г/см <sup>3</sup>	Прочность при сжатии, МПа	Водопоглощение, %
Изверженные породы			
Гранит	2,5—2,8	100—300	0,1—1
Снежинит	2,65—2,78	150—260	0,1—1
Диорит	2,7—2,95	180—240	0,1—1
Глубинные, интрузивные породы			
Габбро	2,85—3,10	100—350	0,01—0,2
Диабаз	2,7—2,85	100—450	0,01—0,2
Порфир	2,2—2,3	60—150	0,3—1,5
Излившиеся породы			
Базальт	2,7—2,85	100—430	0,4—1
Андезит	2—2,7	30—250	0,1—1,2
Перлит	1,5—2	50—70	0,1—2
Осадочные породы			
Известняк (плотный)	2,2—2,6	35—200	0,5—30
Доломит	2,4—2,8	150—200	0,5—15
Песчаник	1,9—2,9	100—250	0,2—2,5
Кварцит	2,5—2,7	120—400	0,01—0,2
Метаморфические породы			
Гнейсы	2,4—2,8	50—240	0,1—1
Сланцы	2,2—2,6	60—300	0,1—0,5
Мрамор	2,6—2,8	50—200	0,1—0,7

Размер крупного тяжелого заполнителя подразделяется на фракции 5—10; 10—20; 20—40; 40—70 мм.

По соглашению с заказчиком допускается выпускать и поставлять заказчику щебень в виде смеси фракций от 5 до 20 мм или от 3 до 20 мм.

Зерновой состав щебня характеризуют наибольшим  $D$  и наименьшим  $d$  номинальными размерами зерен фракций или смесей фракций.

Значения полных остатков на контрольных ситах при расसेве щебня фракций от 3 до 10 мм, свыше 10 до 20 мм, свыше 20 до 40 мм, свыше 40 до 70 мм должны соответствовать значениям, приведенным ниже.

Диаметр отверстий контрольных сит, мм	$d$	$0,5(d+D)$	$1D$	$1,25D$
Полные остатки на ситах, % по массе . . . . .	90—100	30—80	<10	<0,5

Полные остатки на контрольных ситах при рассеве щебня смеси фракций от 3 до 20 мм должны соответствовать значениям, приведенным ниже.

Диаметр отверстий контрольных сит, мм . . . . .	3—5	10	20	25
Полные остатки на ситах, % по массе . . . . .	95—100	55—75	<10	<0,5

Внутренний зерновой состав устанавливают в соответствии с нормативно-технической документацией на применение щебня для строительных работ соответствующих видов.

По форме зерен щебень подразделяется на три группы: кубовидный, улучшенный и обычный. Содержание зерен пластинчатой (лещадной) и игловатых форм не должно превышать у кубовидного 15%, улучшенного — 25% и обычного — 35% по массе.

К зернам пластинчатой и игловатой форм относят такие зерна, толщина или ширина которых менее длины в три и более раза.

Прочность щебня характеризуют маркой, соответствующей пределу прочности исходной горной породы при сжатии в насыщенном водой состоянии, и определяют по дробимости щебня сжатием (раздавливанием) в цилиндре.

Марки по прочности из изверженных пород должны соответствовать требованиям табл. 3.15.

При определении марки щебня испытание его сжатием (раздавливанием) в цилиндре допускается производить как в сухом, так и в насыщенном водой состоянии.

Щебень высшей категории качества должен иметь марку по прочности не ниже 600 для осадочных пород и не ниже 800 для щебня из изверженных и метаморфических пород (табл. 3.16).

Число зерен слабых и выветренных пород в щебне из естественного камня не должно превышать для марок 1400 и 1200 5%; 1000, 800, 600 и 400 — 10%; 300 и 200 — 15% массы.

К слабым и выветренным относятся породы с пределом прочности при сжатии в насыщенном водой состоянии менее 20 МПа.

Марка щебня из естественного камня должна быть выше

Таблица 3.15

Требования к щебню из изверженных пород

Марка щебня по прочности	Потери по массе при испытании щебня, %	
	в сухом состоянии	в насыщенном водой состоянии
1200	<11	<11
1100	11—13	11—13
800	13—15	13—15
600	15—19	15—20
400	19—24	20—28
300	24—28	28—38
200	28—35	38—54

Таблица 3.16

Требования к щебню высшей категории качества

Марка щебня по прочности	Потери по массе при испытании щебня, %	
	от интрузивных пород	из эффузивных пород
1400	<12	<9
1200	12—16	9—11
1000	16—20	11—13
800	20—25	13—15
600	25—34	15—20

марки бетона: не менее чем в 1,5 раза для бетонов ниже 300, не менее чем в 2 раза — для бетона марки 300 и выше.

К пылевидным и глинистым относят частицы размером менее 0,05 мм, кроме того, выделяют комки глины с крупностью частиц от 1,25 мм до наибольшего размера зерен щебня данной фракции или смеси фракций.

Содержание в щебне пылевидных и глинистых частей (% по массе) не должно превышать следующих значений.

Щебень из изверженных и метаморфических пород	1
Щебень из осадочных пород марок:	
600—1200	2
200—400	3

Содержание глины в комках не должно превышать 0,25 массы.

По степени морозостойкости ( $M_{p3}$ ) щебень подразделяют на выдержавшие 15, 25, 50, 100, 150, 200 и 300 циклов попеременного замораживания и оттаивания; при этом потери щебня в массе не должны превышать величин, приведенных в табл. 3.17.

Таблица 3.17

Требования к морозостойкости заполнителей

Показатели	Марки щебня по морозостойкости						
	$M_{p3}15$	$M_{p3}25$	$M_{p3}50$	$M_{p3}100$	$M_{p3}150$	$M_{p3}200$	$M_{p3}300$
Число циклов	15/3	25/5	50/10	100/10	150/15	200/15	300/15
Потери в массе после испытания, %, не более	10/10	10/10	5/10	5/5	5/5	5/3	5/2

Примечание: В числителе приведены значения после замораживания, в знаменателе — после насыщения в растворе сернистого натрия.

Морозостойкость заполнителей должна быть не ниже морозостойкости, установленной для бетона.

Разрешается оценивать морозостойкость щебня по числу циклов насыщения в растворе сернистого натрия и высушивания. При отрицательных результатах этого испытания окончательную оценку дают на основе испытаний замораживанием и оттаиванием.

Щебень из гравия должен содержать дробленые зерна в количестве не менее 80% по массе. Дроблеными считают зерна, поверхность которых сколота более чем наполовину.

Форму зерен щебня из гравия характеризуют содержанием зерен пластинчатой (лещадной) и игловатой формы. К зернам пластинчатой и игловатой формы относят такие зерна, толщина или ширина которых менее длины в три и более раза. По форме зерен щебень из гравия подразделяют на три группы: кубовидные, улучшенные и обычные. Содержание (%) зерен пластинчатой (лещадной) и игловой формы приведено ниже.

Кубовидная . . . . .	<15
Улучшенная . . . . .	15—25
Обычная . . . . .	25—35

Прочность щебня характеризуют маркой, определяемой по дробимости щебня при сжатии (раздавливании) в цилиндре.

Марки щебня по прочности установлены следующие: 200, 300, 400, 600, 800, 1000, 1200.

Предприятие (карьер)-изготовитель должно обеспечить стабильное получение качества щебня на уровне требований стандарта.

### 3.3. ВОДА

Вода для приготовления бетонных смесей, строительных растворов, поливки твердеющего бетона и промывки заполнителей должна отвечать требованиям ГОСТ 23732—79. Водородный показатель не должен быть менее 4 и более 12,5. Вода не должна содержать пленки нефтепродуктов, жиров и масел, а концентрация в ней органических поверхностно-активных веществ не должна быть более 10 мг/л.

Содержание в воде растворимых солей, ионов  $\text{SO}_4^{2-}$  и  $\text{Cl}^{-1}$  не должно превышать величин, приведенных в табл. 3.18.

Таблица 3.18

Максимальное допустимое содержание растворимых солей, мг/л

Назначение воды	Растворимые соли	Ионы $\text{SO}_4^{2-}$	Ионы $\text{Cl}^{-1}$	Взвешенные частицы
Вода для затвердения бетонной смеси при изготовлении напряженных железобетонных конструкций	2000	600	3500	200
То же, при ненапрягаемой арматуре	5000	2700	1200	200
Вода для затвердения бетонной смеси при изготовлении бетонных неармированных конструкций, к которым не предъявляются требования по ограничению образования высолов	10000	2700	3500	300
Вода для промывки заполнителей	5000	2700	1200	500



### 3.4. ДОБАВКИ

Добавки вводятся в состав бетонной смеси с целью: снижения расхода цемента;

улучшения технологических свойств бетонной смеси (удобоукладываемость, однородность, нерасслаиваемость и др.);

регулирования потери подвижности бетонной смеси во времени, скорости процессов схватывания, твердения и тепловыделения;

сокращения продолжительности тепловой обработки бетона, ускорения сроков его распалубливания и загрузки при естественном выдерживании;

придания уложенному бетону способности твердения при отрицательных температурах без обогрева или прогрева;

повышения прочности и морозостойкости, понижения водопроницаемости;

повышения стойкости бетона и железобетона в различных агрессивных средах;

усиления защитного действия бетона по отношению к стальной арматуре.

Добавки существенно изменяют свойства бетонной смеси или затвердевшего бетона. Они вводятся в состав вяжущих, бетонов и растворов в сухом порошкообразном виде и в виде водных растворов и дисперсий.

*Добавки для спецбетонов* — минеральные порошки, получаемые измельчением природных или искусственных материалов и применяемые для изготовления кислото-, щелоче-, и жаростойких бетонов и растворов.

*Кислотостойкие добавки* — тонкомолотые андезит, диабаз, базальт, песок, гранит и др.

*Щелочностойкие добавки* — тонкомолотые известняки, доломиты, магнезиты.

*Жаростойкие добавки* — тонкомолотые и пылевидные материалы: бой керамического производства, доменный гранулированный шлак, зола-унос.

*Добавки пено- и газообразователи* применяются для приготовления ячеистых и легких бетонов с поризованным цементным камнем. Это — клееканифольный, смолосапониновый, ПО-6 и другие пенообразователи.

Алюминиевая пудра — газообразователь в ячеистых бетонах или бетонах с поризованной структурой — применяется марки ПАП-1.

Химические добавки вводят в бетон в строго дозированных количествах. Добавки вводят в бетонную смесь в виде растворов рабочей концентрации, которые готовят заранее в специальных емкостях путем растворения твердых, пастообразных или жидких продуктов в воде, подогретой до  $t = 50 \div 70^\circ \text{C}$  (для ускорения процесса растворения).

*Поверхностно-активные добавки (ПАВ)*. Пластифицирующий СДБ-концентрат сульфитно-дрожжевой бражки — является от-

ходом дрожжевой промышленности при переработке сульфитно-спиртовой барды. Вводят в бетоны для уменьшения расхода цемента (на 6—10%), улучшения его удобоукладываемости, нерасслаиваемости, повышения водонепроницаемости и морозостойкости бетона. Поставляются в виде жидких и твердых концентратов, которые перед применением разбавляют водой.

Барда меласская (УПБ) — густая сиропобразная жидкость темно-коричневого цвета. Применяется в качестве добавки в тяжелые и легкие бетоны при производстве армированных и неармированных конструкций. Применяется как пластификатор бетонной смеси для улучшения ее формовочных свойств, повышения прочности бетона. Добавка вводится в пределах 0,10—0,15% массы цемента.

Водорастворимый препарат (ВРП-1). Наибольший эффект пластификации при малых его добавках. Эта добавка не замедляет темпов твердения бетона.

*Пластифицирующие — воздухововлекающие добавки.* Пластификатор адипиновый (ПАЩ-1) — раствор солей бикарбонатных кислот. Вводится в бетон как пластификатор при производстве бетонных и железобетонных конструкций. Поставляется в виде 20%-ного раствора.

Мылонафт ( $M_1$ ) — щелочной раствор нафтеновых кислот. Применяют в качестве гидрофобно-пластифицирующей добавки в строительные растворы и бетоны.

Асидол (А) — нафтеновая кислота. В воде нерастворим.

*Воздухововлекающие добавки.* Смола нейтрализованная воздухововлекающая (СНВ) — абиетиновая смола, омыленная 40%-ным раствором каустической соды. Придает гидрофобные свойства. По мере увеличения количества СНВ воздухосодержание в бетоне или строительном растворе постоянно повышается.

Синтетическая поверхностно-активная добавка (СПР) — водный раствор отхода нефтехимического синтеза. Целесообразно применять ее совместно с СДБ.

*Суперпластификаторы.* Введение суперпластификаторов в малом количестве существенно увеличивает подвижность бетонной смеси. Применяют их при изготовлении армированных и неармированных конструкций. Введение суперпластификатора уменьшает расход воды затворения, повышает плотность структуры, водонепроницаемость и прочность бетона, уменьшает расход цемента.

Суперпластификатор С-3 — синтетическое вещество, полученное из продуктов поликонденсации нафталинсульфокислот и формальдегида. Наиболее эффективный суперпластификатор для повышения подвижности бетонных смесей при изготовлении сборных конструкций и монолитных. С-3 позволяет получать высокопрочные бетоны марок 700—1000 с использованием цементов марок 500—600. Экономия цемента составляет 12—15%. Водонепроницаемость бетона из равноподвижных смесей повышается на несколько марок.

**Добавки для регулирования сроков схватывания и твердения.** Ускорители твердения применяют для повышения прочности бетона в заданные сроки, снижения расхода цемента при сохранении прочности бетона на заданном уровне, для сокращения времени тепловлажностной обработки изделий и времени предварительного выдерживания их перед тепловой обработкой. Известны ускорители твердения: хлорид кальция (ХК), сульфат натрия (СН), нитрат натрия (НН<sub>1</sub>), нитрат кальция (НК), нитрит-нитрат-хлорид кальция (ННХК), полиамидная смола (С-89), хлорид железа (ХЖ), хлоралюмокальций, сахарная патока (СП), тетраборат натрия (ТБН) и тринатрийфосфат (ТНФ).

Для повышения водонепроницаемости бетона и раствора применяют следующие добавки: битумную эмульсию, этилсиликопат натрия (ГКЖ-10) и метилсиликонат натрия (ГКЖ-11), полиэтилгидросилоксон ГКЖ-94, кремнийорганическую эмульсию КЭ-30-40, нитрат кальция и др.

В качестве добавок, повышающих морозостойкость бетонов и строительных растворов, применяют гидрофильные и гидрофобные ПАВ и микропенообразователи. Наиболее эффективны кремнийорганические соединения типа ГКЖ.

Перечень наиболее распространенных добавок и область их применения приведены в табл. 3.19.

Область применения химических добавок

Таблица 3.19

Назначение химических добавок	Наименование химической добавки (химическая формула)	Сокращенное обозначение	Рекомендуемое количество вводимой добавки в пересчете на сухое вещество (% по массе)	Нормативно-техническая документация на добавку
Ускорение схватывания и процессов твердения бетонной смеси	Хлорид кальция $\text{CaCl}_2$	ХК	1,0—3,0	ГОСТ 450-77 «Кальций хлористый технический. Технические условия» ГОСТ 6318—77 «Натрий сернокислый технический. Технические условия»; ТУ 38-10742-78 ГОСТ 4142—77 «Кальций азотнокислый 4-водный. Технические условия». МРТУ 6-03-367-79 ТУ 6-18-194-76
	Сульфат натрия $\text{Na}_2\text{SO}_4$	СН	<3,0	
Добавки пластифицирующие	Нитрат кальция $\text{Ca}(\text{NO}_3)_2 \cdot \text{X} \cdot 4\text{H}_2\text{O}$	НК	1,5—3,0	ОСТ 81—79—74 «Концентрат сульфитно-дрожжевой бражки» ТУ 81-04-225—73 ОСТ 18-126—73
	Нитрит-нитрат хлорид кальция	ННХК	1,5—2,5	
	Сульфитно-дрожжевая бражка	СДБ	0,15—0,25	
	Мелассная упаренная последрожжевая бражка	УМБ	0,15—0,50	
	Суперпластификаторы; разжижитель	С-3	0,2—1,2	ТУ 6-14-625—80

Продолжение табл. 3.19

Назначение химических добавок	Наименование химической добавки (химическая формула)	Сокращенное обозначение	Рекомендуемое количество вводимой добавки в пересчете на сухое вещество (% по массе)	Нормативно-техническая документация на добавку
Пластифицирующие, воздухоповлекающие, Противоморозные	дофен	ДФ	0,2—1,2	ТУ 14-6-188—81
	меламинформальдегидные	ДФ-Ар	0,2—1,2	ТУ 6-06-1926—82
	анниопоактивные	(МФАС-Р-100п)		
	разжижитель	СМФ	0,2—1,2	ТУ 14-15-400—80
	НКИС 40-03	40—03		ТУ 38-4-0,258—82
	Модифицированные	ХДСК-1	0,2—1,2	ТУ 65,336—80
	лигносульфонаты	ЛСТМ-2		ВСН 65.09—82
		НИЛ-21		ТУ 13-04-600—81
		ПАЩ-1	0,1—0,2	ТУ 400-1-102-1—83
		ГКЖ-10	0,1—0,2	ТУ 6-03-26—77
	ГКЖ-11		ТУ 6-02-696—72	
Противоморозные	Хлорид натрия + хлорид кальция $\text{NaCl} + \text{CaCl}_2$	ХН + ХК	0,5—1,0	ГОСТ 13830—84 «Соль поваренная пищевая. Технические условия» ТУ 6-01-540—70 Минхимпрома ГОСТ 450—77 «Кальций хлористый технический. Технические условия» ГОСТ 19906—74 «Нитрит натрия технический. Технические условия», ТУ 38-10274—79
	Нитрит натрия $\text{NaNO}_2$	НН	2,0—3,0	То же
	Нитрат кальция $\text{Ca}(\text{NO}_3)_2 \times 4\text{H}_2\text{O}$	НК	1,5—3,0	То же
	Поташ $\text{K}_2\text{CO}_3$	П	5,0—15,0	ГОСТ 10690—73 «Калий углекислый технический (поташ). Технические условия». Технические условия».
Ингибиторы коррозии стали	Нитрит натрия $\text{NaNO}_2$	НН	2,0—3,0	То же
	Нитрит нитрат кальция $\text{Ca}(\text{NO}_2)_2 \times \text{Ca}(\text{NO}_3)_2$		2,0—3,0	ТУ 6-03-704—74. Минхимпрома СССР. «Нитрит нитрат кальция (нитрит-нитратные щелока)»
Гидрофобизирующие	Сульфат алюминия $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$	СА	2,0—3,0	ГОСТ 12966—85 «Алюминия сульфат технический очищенный. Технические условия»
	Сульфитно-дрожжевая бражка	СДБ	0,1—0,3	ОСТ 81-79—71 ТУ 81-04-225—73
Добавки замедлителя схватывания	Сахарная патока	СП	0,1—0,3	ТУ 18 РСФСР 409—71
	Этилсиликонат натрия	ГКЖ-10	0,1—0,2	ТУ 6-02-696—72
	Метилсиликонат натрия	ГКЖ—11	0,1—0,2	ТУ 6-02-696-72
	Полигидрокси-	ГКЖ—94	0,05—0,01	ГОСТ 10834—76

Продолжение табл. 3.19

Назначение химических добавок	Наименьшая химическая добавка (химическая формула)	Сокращенное обозначение	Рекомендуемое количество вводимой добавки в пересчете на сухое вещество (% по массе)	Нормативно-техническая документация на добавку			
Бура Животный клей Добавки, повышающие водонепроницаемость	Локсан	ПГЭН	0,05—0,08	ТУ 11-154—69 ТУ 6-02-280—76			
	Этилгидрид-сесквioxид	—		ГОСТ 8429—77 ГОСТ 2067—80			
	Пластифицирующие поверхностно-активные вещества	Битумная эмульсия	БЭ	1,5—3,0	ТУ 6-03-26—77		
		Нитрат кальция	НК		ТУ 6-03-367—79		
		Сульфат алюминия	СА		ГОСТ 12966—85		
		Хлорид железа	ХЖ		2,0	ГОСТ 12966—85 ГОСТ 4111—74	
		Нитрат железа	НЖ				
		Сульфат железа	СЖ		3,0	ГОСТ 4148—78	
		Добавки, повышающие морозостойкость	Диэтиленгликолевая смола		ДЭГ-1	—	ТУ 6-05-1823—77
			Триэтиленгликолевая смола		ТЭГ-1		ТУ 6-05-1823—77
Пластифицирующие поверхностно-активные вещества	—		ТУ 603-26—77				
Добавки, повышающие стойкость в агрессивных средах	Битумная эмульсия	БЭ	—	ТУ 6-03-26—77			
	Пластифицирующие поверхностно-активные вещества	—					
	Битумная эмульсия	БЭ					

Выбор добавок должен производиться в зависимости от технологии производства с учетом влияния добавок на свойства бетонной смеси и бетона. При введении пластифицирующих или пластифицирующе-воздухововлекающих добавок в бетон, предназначенный для выдерживания в естественных условиях, необходимо учитывать замедление темпа твердения, особенно в ранние сроки и при пониженных температурах, а при температурах ниже  $+10^{\circ}\text{C}$ , как правило, вводить ускорители твердения. При приготовлении бетонов, к которым предъявляются повышенные требования по долговечности, в состав бетонной смеси целесообразно вводить воздухововлекающие, пластифицирующие-

воздухововлекающие добавки или их сочетания с ускорителями твердения независимо от достигаемого эффекта по экономии цемента.

Добавку  $\text{CaCl}_2$  в случае наличия арматуры или закладных металлических частей следует применять в сочетании с нитритом натрия  $\text{NaNO}_2$ . Оптимальное соотношение указанных ингредиентов — 1:1 (по массе).

При использовании комплексной добавки нитрита натрия и хлористого натрия заполнители бетонной смеси должны быть проверены на содержание в них активных форм кремнезема.

Пластифицирующие добавки снижают скорость синтеза прочности на ранних стадиях твердения бетона, и поэтому повышение их содержания в бетонной смеси сверх регламентируемого по табл. 3.19 может быть только в случае повышенной температуры окружающей среды (более  $20^\circ\text{C}$ ).

Таблица 3.20

Вторичный эффект действия добавок

Химическая добавка	Вторичные эффекты действия добавок
$\text{CaCl}_2$ $\text{Ca}(\text{NO}_2)_2 \cdot 4\text{H}_2\text{O}$	Кратковременный пластифицирующий эффект Повышение прочности бетона на поздних стадиях твердения; повышение водонепроницаемости бетона
$\text{Na}_2\text{SO}_4$ СДБ, УПБ	Повышение стойкости к агрессивным средам Понижение усадочных деформаций, не вызывают коррозии арматуры и не изменяют прочности ее сцепления с бетоном. Замедляют рост прочности на ранних стадиях твердения
Суперпластификаторы ПАЩ-1; ГКЖ-10, ГКЖ-11	Повышение прочности в начальный период твердения Пластификация бетонной смеси без замедления твердения бетона; предотвращение расслаиваемости и водоотделения; повышение водонепроницаемости и стойкости к химической коррозии бетона
$\text{NaNO}_2$	Способствует твердению бетона при отрицательных температурах, снижая температуру замерзания жидкой фазы

Ввод суперпластификаторов в состав бетонной смеси при условии ее длительного транспортирования должен осуществляться непосредственно на месте укладки бетона. Для повышения эффективности действия химических добавок выбор их оптимальных дозировок должен осуществляться экспериментальным путем с использованием конкретных для каждого шахтостроительного комбината материалов. Выбор добавок, применение которых обеспечивает одинаковый технический эффект, необходимо осуществлять с учетом технико-экономических показателей, а также вторичного эффекта их действия, для чего следует руководствоваться данными табл. 3.20.

Для выбора добавки рекомендуется использовать ориентировочные данные по уменьшению расхода цемента благодаря введению добавок в бетон, подвергающийся тепловой обработке (табл. 3.21).

Снижение расхода цемента при введении добавок

Цемент	Марка бетона	Уменьшение расхода цемента при введении оптимальных количеств добавок и их сочетаний, %				
		СДБ, ПАЩ-1 СДБ+СНВ	ГКЖ, ГКЖ-10, ГКЖ-11- ГКЖ-10- 11)+ НК, СН	СНВ СН+НК +НКХК	СН, ХК, НК, НКХК	СДБ+ СН, ХК, НК, СН
Среднеалюминатный портландцемент (содержание С <sub>2</sub> А от 6 до 10%)	200—300	4	6	6	8	6
	300—400	6	6	4	6	8
	> 400	8	6	2	4	10
Низкоалюминатный цемент (содержание С <sub>2</sub> А менее 6%) сульфатостойкий шлакопортландцемент, пуццолановый портландцемент	200—300	6	8	8	10	8
	300—400	8	8	6	8	10
	> 400	10	8	4	6	12

Для получения бетонной смеси с требуемыми технологическими свойствами в ее состав рекомендуется вводить следующие добавки:

для увеличения подвижности или уменьшения жесткости — пластифицирующие, пластифицирующе-воздухововлекающие, воздухововлекающие или комплексные добавки;

для повышения однородности и связности — пластифицирующие, воздухововлекающие или комплексные добавки на их основе;

для ускорения процесса схватывания — ускорители твердения.

При необходимости получения бетона с требуемыми по прочности физико-механическими свойствами в его состав необходимо вводить пластифицирующие, пластифицирующе-воздухововлекающие добавки или ускорители твердения, а также комплексные добавки, состоящие из ускорителей твердения и пластифицирующих добавок.

Для повышения водонепроницаемости бетона — уплотняющие пластифицирующие, пластифицирующе-воздухововлекающие или комплексные добавки на их основе.

Для повышения защитного действия бетона по отношению к стальной арматуре конструкций, предназначенных для эксплуатации в условиях воздействия агрессивных хлоридных вод, в состав бетонной смеси следует вводить ингибиторы коррозии стали.

Рекомендуемое количество воздухововлекающих и пластифицирующе-воздухововлекающих добавок (ингибиторов) приведено в табл. 3.22.

Таблица 3.22

Рекомендуемое количество добавок

Добавки	Количество в расчете на сухое вещество (% по массе цемента) при расходе его, кг/м <sup>3</sup>		
	< 300	300—450	> 450
СНВ, ЦНИПС-1	0,005—0,015	0,01—0,02	0,015—0,035
ГКЖ-94	0,06—0,08	0,05—0,07	0,03—0,05
ПАЩ-1	0,1—0,25	0,15—0,35	0,35—0,8

Оптимальное количество добавок устанавливается экспериментально при подборе состава бетона.

Выбор добавок производится в зависимости от технологии производства с учетом влияния добавок на свойства бетонной смеси и бетона.

Комплексные добавки применяют для получения наибольшего эффекта, поскольку при определенном сочетании они не только обеспечивают улучшение многих свойств бетонов и растворов, но и снимают сопутствующие отрицательные явления, неизбежные при использовании отдельно применяемых добавок.

В последние годы создается ряд новых химических добавок с целью улучшения качества бетонной смеси и совершенствования технологии изготовления бетонных изделий. Заслуживает внимания суперпластификатор ХДСК-1, созданный Харьковским домостроительным комбинатом № 1.

Внесение в смесь бетона при изготовлении железобетонных изделий суперпластификатора ХДСК-1 обеспечивает:

- укладку бетона практически без вибрации;
- сокращение режима тепловой обработки с 7 до 5 ч;
- сокращение расхода цемента до 7%;
- снижение объемной массы бетона;
- ускорение процесса твердения бетона в 1,5 раза;
- увеличение оборачиваемости оборудования в несколько раз.

Криворожским филиалом ВНИИОМШСа разработана добавка для набрызгбетона, получаемая путем термической обработки суспензии мелкодисперсной глины и водного раствора силиката натрия. Применение набрызгбетонных крепей с этой добавкой позволит существенно расширить область их применения, сократить затраты труда, снизить расход металла и уменьшить стоимость крепей.

### 3.5. ШЛАКОЩЕЛОЧНОЕ ВЯЖУЩЕЕ

Шлакощелочные цементы представляют собой гидравлические вяжущие вещества, получаемые путем тонкого измельчения гранулированного доменного шлака совместно с малогигроскопичными соединениями щелочных металлов (натрия, калия) или затворения молотого шлака растворами этих соединений.

Для получения шлакощелочных вяжущих, кроме гранулированных доменных шлаков, могут быть использованы шлаки,



которые не применяются для изготовления шлакопортландцемента, в частности титанистые, никелевые, электротермофосфорные, ваграночные, мартеновские и т. п.

Доменные шлаки различных заводов по химическому составу имеют незначительное расхождение и могут применяться для производства шлакощелочных вяжущих во всех регионах страны (табл. 3.23).

Таблица 3.23

Содержание оксидов в доменных шлаках, %

Район страны	SiO <sub>2</sub>	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	FeO	MnO	CaO	MgO	S	M <sub>0</sub>	M <sub>а</sub>
Южный	38,14	8,4	0,21	0,43	49,8	1,7	1,1	1,1	0,22
Центральный	38,1	9,0	0,22	0,64	47,5	2	2,39	1,05	0,23
Восточный	39,17	18,82	0,2	0,82	37,4	5,08	0,82	0,76	0,43

Гидравлическая активность шлаков оценивается по модулям основности  $M_0$  и активности  $M_a$  по формулам:

$$M_0 = \frac{CaO + MgO}{SiO_2 + Al_2O_3} \quad (3.2)$$

$$M_a = \frac{Al_2O_3}{SiO_2} \quad (3.3)$$

Шлаки, имеющие  $M_0 \geq 1$ , называются основными, а при  $M_0 < 1$  — кислыми. Активность шлаков возрастает при увеличении модуля основности и модуля активности.

Качество шлаков оценивается коэффициентом качества

$$K_k = \frac{CaO + MgO + Al_2O_3}{SiO_2 + MnO} \quad (3.4)$$

При  $K_k > 1,9$  шлаки характеризуются повышенной гидравлической активностью,  $K_k = 1,6 \div 1,9$  — средней активностью и при  $K_k < 1,6$  — малой активностью.

Оксид кальция в шлаках, как правило, полностью связан с кремнеземом и глиноземом с образованием двухкальцевого силиката ( $2CaO \cdot SiO_2$ ), ранкинита ( $3CaO \cdot 2SiO_2$ ), галенита  $2CaO \cdot Al_2O_3 \cdot SiO_2$  и окерманита  $2CaO \cdot MgO \cdot 2SiO_2$ . Оксид алюминия связывается в соединения, обуславливающие их повышенную гидравлическую активность.

Помол доменного шлака осуществляется до удельной поверхности не менее  $3000 \text{ см}^2/\text{г}$ . Для регулирования сроков схватывания шлакощелочного вяжущего (ШЩВ) при его помол вводятся поверхностно-активные вещества (ПАВ), модифицированные бардяные концентраты (МБК), кремнийорганические жидкости (ГКЖ-10, ГКЖ-11), сульфитно-спиртовая бражка (ССБ) и др.

Транспортирование, хранение, дозирование молотого шлака осуществляется аналогично цементам, при этом необходимо

исключать смешивание шлака с гипсом, известью и цементами.

В качестве щелочного компонента применяют едкие щелочи: натр едкий технический (ГОСТ 2263-79), гидрат оксида калия технический (ГОСТ 9285-78), смесь щелочей (ТУ 6-18-45—77), каустик красный (ТУ 6-03-23-02—76); карбонаты: сода кальцинированная техническая (ГОСТ 5100—85), плав соды кальцинированный (ТУ 6-03-294—71); растворимые стекла (ГОСТ 13078—81). Применение щелочесодержащих побочных продуктов и отходов производства допускается после испытания их в шлакощелочных вяжущих и бетонах.

Щелочной компонент чаще всего применяется в виде растворов, вводимых непосредственно в бетоносмеситель, вместо воды затворения. Сода и содощелочной плав используются в виде 15%-ных растворов плотностью 1,14—1,16 г/см<sup>3</sup>, жидкое стекло — в виде раствора плотностью 1,20—1,30 г/см<sup>3</sup>.

Процесс гидратации шлакощелочного вяжущего связан прежде всего с процессами взаимодействия силикатного компонента шлакового стекла со щелочью с образованием гидрогранатов и гидроалюминатов.

На первом этапе происходит обменная реакция между  $\text{Na}_2\text{CO}_3$  и  $\text{Ca}(\text{OH})_2$ , выделяющимся в небольшом количестве из шлака, в результате чего образуются  $\text{CaCO}_3$  и  $\text{NaOH}$ .

Под действием щелочи на поверхности зерен шлакового стекла образуется пленка из геля кремниевой кислоты, а затем и растворимые силикаты натрия, которые вступают в реакцию обмена с  $\text{Ca}(\text{OH})_2$ , в результате чего образуются гидросиликаты кальция типа  $\text{CSH}(V)$  и вновь выделяется щелочь. Затем разрушается более стойкий алюмосиликатный компонент стекла с образованием гидрогранатов и гидроалюмосиликатов кальция. Щелочь играет двойственную роль в процессе твердения ШЩВ: растворяет шлаковое стекло и сама частично входит в состав новообразований. Щелочь, оставшаяся в свободном состоянии, карбонизируется и способствует созданию устойчивой высокощелочной среды, повышающей стойкость арматуры в среде твердеющего вяжущего.

Начало схватывания ШЩВ при нормальной густоте теста колеблется от 30 мин до 1 ч, конец — от 2 до 5 ч от момента затворения.

Прочность бетонов на шлакощелочном вяжущем в зависимости от вида шлака, щелочного компонента, условий твердения (естественно-влажностное или пропаривание) в лабораторных условиях достигает 140 МПа.

В заводских условиях наиболее широко применяются марки бетона 200—500, при этом продолжительность изотермического прогрева уменьшается почти вдвое — с 8 до 4 ч.

Шлакощелочные вяжущие характеризуются повышенной водонепроницаемостью, коррозионнотойкостью и способностью твердеть в условиях отрицательных температур. Преимуществом ШЩВ является также возможность использования местных

некондиционных песков для приготовления мелкозернистых и тяжелых бетонов и растворов.

Начиная с 1962 г. по настоящее время отечественной промышленностью изготовлено более 1,5 млн. м<sup>3</sup> конструкций из ШЩВ. Номенклатура изделий и заводы-изготовители представлены в табл. 3.24.

Таблица 3.24

Изготовители изделий из шлакощелочного бетона

Организация изготовитель	Изделие
Запорожский Облмежколхоздирстрой	Сборные бетонные и железобетонные конструкции, кроме колонн, балок, плит
Донецкий завод стройматериалов объединения «Донецкстройматериалы» Минстройматериалов УССР	То же
Челябинский комбинат строительных материалов и конструкций и завод ЖБИ треста «Магнитострой» «Главжуралстрой»	»
Ворошиловградхимстрой	Обычно армированные и предварительно напряженные панели; покрытия и перекрытия
Днепропетровский завод «Стройдеталь» Киевский завод шлаковых камней Измаильский ЗЖБИ	Сантехнические кабины Безнапорные трубы
Укргрострой Торезский завод железобетонной шахтной крепи	Сборные конструкции лотковых линий оросительных систем, плиты облицовки канатов Дорожное строительство Рудничные шпалы, жаростойкие шпалы для шахтных терриконов, бетонная крепь, затяжки и рудничные стойки
Алма-Атинский завод негрудных строительных материалов На комбинате производственных предприятий Киевметрострой	Бордюры, колесотбойные брусья, дорожные знаки
Главкомгазнефтьстрой и северный филиал ВНИИСТА Омский асфальтобетонный завод	Тюбинги для туннелей метрополитена Дорожные плиты
Завод СЖБ-3 треста «Железобетон», г. Омск Пермский завод ЖБК-2 объединения «Железобетон»	Дорожные плиты, бордюрные камни и поребрик Сваи
Болоховский полигон железобетонных конструкций треста «Туладорстрой» Черкасжелезобетон Тернопольпромстрой	Плиты, сенажи, бордюры, сваи, детали очистных сооружений, фундаментные блоки Дорожные плиты, бордюрные камни, укрепительные плитки То же

Организовано промышленное производство ШЩВ и конструкций широкой номенклатуры в ряде стран мира: ПНР, ВНР, НРБ, Финляндии, Швеции и других стран.  
Эффективным видом шлакощелочного цемента являются шлакощелочные вяжущие, разработанные НИОГР и ВНИИОМШС.

получаемые на основе гранулированного доменного шлака, портландцемента и жидкого стекла.

В связи с тем что ШЩВ склонны к усадочным деформациям, ВНИИОМШСом в состав шлакосиликатного вяжущего вводились газообразователи с целью получения безусадочных и расширяющихся вяжущих.

С 1984 г. безусадочное шлакосиликатное вяжущее используется для изготовления патронов анкерной крепи на специально сконструированной технологической линии, изготовленной на опытно-экспериментальной шахте ВНИИОМШСа (г. Донецк). Производительность линии в настоящее время — 300 тыс. патронов в год. В дальнейшем производительность линии будет доведена до 1 млн. патронов в год. Патроны используются для возведения анкерной крепи горизонтальных выработок на шахтах Донбасса, Кузбасса, Караганды и Урала, а также для закрепления расстрелов в вертикальных стволах.

В Криворожском филиале ВНИИОМШСа на основе шлакосиликатного вяжущего разработаны бетоны для возведения облегченных видов крепей из набрызгбетона.

Расход материалов на 1 м<sup>3</sup> бетонной смеси приведен в табл. 3.25.

Таблица 3.25

Расход материалов для приготовления 1 м<sup>3</sup> шлакощелочного бетона, кг

Материал	Проектная марка бетона	Цемент	Шлак	Песок	Щебень	Вода	Сода	Жидкое стекло	Алюминиевая пудра
Шлакощелочной бетон	300	—	530	1430	—	—	65	—	—
	300	—	300	530	1342	—	36	—	—
	500	—	530	530	1280	—	34	—	—
Шлакосиликатное вяжущее для патронов анкерной крепи *	600	500	1000	—	—	—	—	500	15
Шлакосиликатное вяжущее для набрызгбетона	300	50	300	1650	—	—	—	200	—
Цементный бетон (для сравнения)	300	300	—	530	1342	180	—	—	—
	500	530	—	540	1280	170	—	—	—

\* Сроки схватывания: начало — 30 с, конец — 2 мин 20 с.

По физико-механическим свойствам шлакосиликатное вяжущее, используемое для закрепления анкеров, приближается к органическим соединениям, при этом стоимость его в 7—10 раз меньше, чем смол. Кроме того, шлакосиликатное вяжущее нетоксично, для его приготовления не требуется дефицитных импортных материалов, более долговечно и хорошо закрепляет анкер в обводненных условиях.

## 4. СОСТАВЫ ТЯЖЕЛЫХ БЕТОНОВ И МЕТОДЫ ИХ ПОДБОРА

### 4.1. МЕТОДЫ ПОДБОРА СОСТАВОВ БЕТОНА

При подборе состава бетона следует исходить из заданной подвижности бетонной смеси, обеспечивающей хорошую ее укладываемость, требований, предусмотренных проектом к марке бетона по прочности, и при необходимости (в зависимости от условий эксплуатации крепи) к его водонепроницаемости и коррозионной стойкости.

Осадка конуса бетонной смеси (см) в зависимости от вида конструкции	
Подготовка под фундаменты и полы	0—1
Покрывтия полов, неармированные или малоармированные конструкции	1—3
Железобетонные конструкции, сильно насыщенные арматурой, тонкие стенки и колонны, бункера, силосы, балки и плиты малого сечения и т. п.:	
горизонтальные элементы	6—8
вертикальные элементы	8—10
Конструкции, бетонруемые в скользящей опалубке, при уплотнении:	
вибратором	6—8
ручным способом	8—10

При подборе состава бетона для скоростных проходок устанавливаются также требования к времени, необходимому для достижения бетоном распалубочной прочности. Подбор состава бетона должен производиться на материалах, поступающих на бетонорастворные узлы, при этом учитываются активность цемента и качество заполнителей.

Подвижность (осадка конуса) бетонной смеси перед спуском ее в ствол должна составлять 10—12 см при уплотнении ее вибраторами и 15—17 см, когда смесь растекается по периметру опалубки самотеком без применения вибрации. Соотношение составляющих бетон материалов должно обеспечить заданные свойства бетонной смеси и затвердевшего бетона при наименьшем расходе цемента.

Подбор состава бетона должен производиться на основе исходных данных для расчета одним из трех методов:

расчетно-экспериментальным, когда имеются данные об активности цемента и качестве заполнителей;

ускоренным, когда отсутствуют данные об активности цемента и качества заполнителей;

по таблицам, графикам и номограммам, когда имеются подробные данные по качеству составляющих бетон материалов.

Вид цемента для приготовления бетонной смеси следует назначать, исходя из норм агрессивности воды — среды, приведенных в табл. 3.7 и 3.8.

Наибольшая крупность фракций щебня при транспортировании бетонной смеси в горных выработках по трубопроводам должна быть не более  $1/3$  их диаметра.

Ориентировочное соотношение фракций крупного заполнителя в смеси приведено в табл. 4.1.

Таблица 4.1

Соотношение между фракциями крупного заполнителя, %

Максимальная крупность щебня, мм	Размер фракций, мм		
	5—10	10—20	20—40
20	35	65	—
40	—	45—60	40—55

Таблица 4.2

Зависимость водонепроницаемости бетона от его плотности

Плотность	Марка по водонепроницаемости	Предельное В/Ц
Нормальная	W2; W4	0,7; 0,6
Повышенная	W6; W8	0,55; 0,45
Особоплотная	W12	0,4

Зависимость между водоцементным отношением и плотностью бетона приведена в табл. 4.2.

В соответствии с расчетно-экспериментальным методом подбора состава бетона должно определяться цементно-водное отношение (Ц/В) в зависимости от требуемой прочности бетона по формуле

$$\text{Ц/В} = \frac{1 + 0,18R_u/R_0}{0,45R_u/R_0} \quad (4.1)$$

где  $R_u$  — марка или активность цемента, МПа;  $R_0$  — заданная марка бетона при сроке схватывания 28 сут, МПа.

После определения величины Ц/В следует установить расход воды, при котором цементное тесто обеспечит бетонной смеси заданную подвижность (табл. 4.3).

Таблица 4.3

Ориентировочный расход воды, л/м<sup>3</sup>

Осадка конуса, см	Крупность щебня, мм		
	10	20	40
10—12	225	215	200
12—16	230	220	200
16—20	237	225	213

Примечания 1. Расход воды приведен для смеси на портуландцементе с нормальной густотой цементного теста, равной 26—28%, и на среднезернистом песке. 2. Вода, содержащаяся в полных растворах химических добавок, должна учитываться при определении фактического водоцементного отношения.

При изменении нормальной густоты цементного теста на каждый процент в меньшую сторону расход воды уменьшается на 3—5 л, в большую — увеличивается на 3—5 л.

По количеству воды В и цементно-водному отношению Ц/В устанавливается расход цемента по формуле  $\text{Ц} = \text{Ц/В} \cdot \text{В}$ . (4.2)

Установив расход цемента и воды, определяют абсолютный объем (в литрах) цемента  $V_{\text{ц}}^{\text{абс}}$  и цементного теста  $V_{\text{цт}}^{\text{абс}}$  по формулам:

$$V_{\text{ц}}^{\text{абс}} = \text{Ц} / \gamma_{\text{ц}} \quad (4.3)$$

где  $\gamma_{\text{ц}} = 3,15$  кг/л — плотность цемента;

$$V_{\text{цт}}^{\text{абс}} = V_{\text{ц}}^{\text{абс}} + \text{В}. \quad (4.4)$$

Абсолютный объем заполнителей ( $л/м^3$ ) определяется как разность между объемом бетона и абсолютным объемом цементного теста по формуле

$$(П^{abc} + Щ^{abc}) = 1000 - (V_u^{abc} + B), \quad (4.5)$$

Доля песка ( $r$ ) в смеси заполнителей в зависимости от Ц/В устанавливается по табл. 4.4.

Таблица 4.4

Содержание песка в бетоне в зависимости от Ц/В, %

Ц/В	Крупности заполнителей, мм	
	20	40
1,43	0,45/0,42	0,42/0,40
2,00	0,40/0,38	0,38/0,36
2,80	0,36/0,35	0,35/0,34

Примечание В числителе приведены значения для щебня, в знаменателе — для гравия.

Количество песка в  $1 м^3$  бетона

$$П = (П^{abc} + Щ^{abc})r\gamma_n, \quad (4.6)$$

где  $\gamma_n$  — плотность песка,  $кг/л$ .

Количество щебня в  $1 м^3$  бетона

$$Щ = (П^{abc} + Щ^{abc})(1 - r)\gamma_{ш}, \quad (4.7)$$

где  $\gamma_{ш}$  — плотность щебня,  $кг/л$ .

В результате проведенного расчета устанавливается состав бетона, который должен быть проверен опытным затворением на подвижность, а бетон — на прочность.

Если при проверке обнаружится недостаточная или излишняя подвижность бетонной смеси, соответственно увеличивают или уменьшают расход воды, повторяют расчет и вновь производят проверку. Из смеси, подвижность которой окажется равной данной, формуют кубы (с ребром 10 см), которые в требуемом возрасте испытывают на сжатие. При этом, если прочность окажется недостаточной, увеличивают Ц/В, повторяют вновь расчет и проверку.

При подборе состава следует вносить следующую поправку: если песок или щебень (гравий) имеет влажность соответственно  $\alpha_n$  и  $\alpha_{ш}$  (%), то при дозировании расчетное количество воды ( $л/м^3$ ) должно быть уменьшено на ту часть, которая содержится в песке и щебне:

$$B_{ф} = B_p - \alpha_n П / 100 - \alpha_{ш} Щ / 100, \quad (4.8)$$

где  $B_{ф}$  — фактический расход воды,  $л/м^3$ ;  $B_p$  — расчетный расход воды,  $л/м^3$ .

При отсутствии данных по активности цемента следует применять ускоренный способ подбора состава бетона.

В этом случае формула (4.1) преобразуется, и прочность бетона на сжатие  $R_b$  (МПа) определится как функция Ц/В:

$$R_b = 0,045R_u (Ц/В - 0,4), \quad (4.9)$$

где  $R_b$  является линейной функцией цементно-водного фактора Ц/В. Для экспериментального построения такой прямой в координатной системе  $R_b - Ц/В$  достаточно только двух точек. Но для достоверности следует принять третью точку, через которую также должна пройти прямая  $R_b = f(Ц/В)$ . Для этого необходимо изготовить три серии бетонных кубиков из тех материалов, которые имеются на бетонорастворном узле. Каждая серия должна состоять из шести образцов — кубиков с ребром 10 см. Серии друг от друга должны различаться принятым для бетона значением Ц/В.

В табл. 4.5 приведен расход материалов на замес каждой серии.

Таблица 4.5

Расход материалов для приготовления образцов бетона

Ц/В	В/Ц	Расход материалов на замес, кг				Масса сухих компонентов, кг	Масса замеса, кг
		Песок	Цемент	Щебень	Вода		
1,43	0,7	2,30	6,10	9,20	1,6	17,6	19,2
2,0	0,5	3,40	5,30	8,80	1,7	17,5	19,2
2,80	0,36	5,05	4,50	7,85	1,8	17,4	19,2

Приведенный в табл. 4.5 расход материалов рассчитан так, чтобы получить для каждой серии очень подвижную смесь. Если подвижность смеси окажется недостаточной, то необходимо добавить цемент и воду в заданном соотношении до получения требуемой консистенции. При излишней подвижности необходимо уменьшить количество цемента и воды.

Определяют плотность бетонной смеси  $\gamma_1$  ( $кг/л$ ), объем изготовленной смеси  $V$  ( $л$ ), расходы цемента  $Ц_1$  ( $кг/л$ ), песка  $П_1$  ( $кг/л$ ), крупного заполнителя  $Щ_1$  ( $кг/л$ ) по формулам:

$$V = 19,2 / \gamma_1; \quad (4.10)$$

$$Ц_1 = 1000 Ц / V; \quad (4.11)$$

$$П_1 = 1000 П / V; \quad (4.12)$$

$$Щ_1 = 1000 Щ / V. \quad (4.13)$$

Плотность  $\gamma_1$ , объем приготовленной смеси  $V$  и расход материалов на  $1 м^3$  бетона являются обязательными характеристиками, дающими представление о его составе.

Испытание бетонных кубиков для построения функции  $R_b = f(Ц/В)$  можно произвести в один из следующих сроков: 3, 7, 14 и 28 сут.

По прочности испытанных образцов подсчитывают изменчивость  $S_v$  для результатов испытания серии (каждой в отдель-

ности) по формуле

$$C_V = (R_{\max} - R_{\min})K/R, \quad (4.14)$$

где  $R_{\max}$ ,  $R_{\min}$  и  $R$  — соответственно максимальная, минимальная и средняя прочность бетона в серии, МПа;  $K$  — коэффициент, значения которого приведены ниже.

Число образцов в серии	2	3	4	5	6	7	8	9	10
$K$	0,89	0,59	0,49	0,43	0,39	0,39	0,35	0,34	0,34

Величина изменчивости  $C_V$  не должна превышать 6%. Если  $C_V > 6\%$ , то опыты должны быть повторены. Окончательный расход материалов на 1 м<sup>3</sup> бетона при производственной проверке необходимо уточнять.

Результаты подбора составов бетона следует заносить в журнал.

Подбор состава бетона с добавками производится по показателю подвижности бетонной смеси и прочности бетона на сжатие. При этом следует учитывать, что водоцементное отношение бетонной смеси с добавками, за исключением ускорителей твердения, должно быть не больше, чем у бетона без добавок. Более того, желательно водоцементное отношение уменьшить на 0,01—0,02. Содержание доли песка в смеси заполнителей практически для бетонов должно быть таким же, как и для бетона без добавок.

Корректировка состава бетона с пластифицирующей добавкой при применении ее для повышения подвижности смеси заключается в установлении оптимального количества добавки и доли песка в смеси заполнителей.

При применении добавки для сокращения расхода цемента уменьшается расход цемента и воды (при неизменном водоцементном отношении по сравнению с бетоном без добавки).

## 4.2. СОСТАВЫ ТЯЖЕЛЫХ БЕТОНОВ

Ориентировочные составы бетонов для воздействия крепи вертикальных стволов и горизонтальных горных выработок для шахтостроительных комбинатов приведены соответственно в табл. 4.6 и 4.7.

Таблица 4.6

Ориентировочный расход материалов для приготовления бетона крепи вертикальных стволов

Марка бетона	Марка цемента	Осадка конуса бетонной смеси, см	Расход материалов на 1 м <sup>3</sup> бетона, кг				Примечание
			Цемент	Песок	Щебень	Вода	
Комбинат «Донецкшахтострой»							
200	400	15—17	400	500	1200	200	Распалубка через 6—8 ч после укладки смеси
200	400	15—17	380	520	1215	235	



Продолжение табл. 4.6

Марка бетона	Марка цемента	Осадка конуса бетонной смеси, см	Расход материалов на 1 м <sup>3</sup> бетона, кг				Примечание
			Цемент	Песок	Щебень	Вода	
200	400	15—17	370	525	1220	240	Распалубка через 16—24 ч после укладки смеси
200	400	15—17	450	500	1210	208	Повышенная сульфатная агрессия при содержании ионов $SO_4^{2-}$ —1500—3000 мг/л
200	400	10—12	380	510	1245	195	Бетон для крепления стволов в обычных условиях
300	400	15—17	480	490	1140	245	Распалубка через 6—8 ч после укладки смеси
300	400	10—12	450	495	1200	215	Бетон для крепления стволов в обычных условиях
<b>Комбинат «Ворошиловградшахтострой»</b>							
200	400	15—17	415	518	1210	207	Распалубка через 6—8 ч после укладки бетонной смеси
200	400	15—17	390	560	1180	200	Распалубка через 14—16 ч после укладки бетонной смеси
200	400	15—17	380	520	1215	235	Распалубка бетона через 16—24 ч после укладки бетонной смеси
300	400	15—17	490	495	1145	250	Распалубка через 6—8 ч после укладки бетонной смеси
300	400	10—12	460	510	1210	208	Бетон для крепления в обычных условиях
<b>Комбинат «Днепрошахтострой»</b>							
200	400	15—17	390	560	1180	200	Распалубка через 6—8 ч после укладки бетонной смеси
200	400	15—17	360	510	1260	220	Распалубка через 16—24 ч после укладки бетонной смеси
200	400	15—17	450	485	1250	210	Повышенная сульфатная агрессия при содержании ионов $SO_4^{2-}$ —1500—3000 мг/л
200	400	10—12	370	525	1220	210	Бетон для крепления стволов в обычных условиях
300	400	15—17	470	480	1180	230	Распалубка через 6—8 ч после укладки бетонной смеси
300	400	10—12	440	500	1235	215	Бетон для крепления стволов в обычных условиях
<b>Комбинат «Ростовшахтострой»</b>							
200	400	10—12	340	613	1220	190	Бетон для крепления стволов в обычных условиях
200	400	10—12	450	515	1215	210	Повышенная сульфатная агрессия при содержании ионов $SO_4^{2-}$ —1500—3000 мг/л
300	400	10—12	435	520	1200	215	Бетон для крепления стволов в обычных условиях
<b>Комбинат «Карагандашахтострой»</b>							
200	400	12—14	370	920	880	180	Вместо песка гравийно-песчаная смесь
300	400	12—14	470	950	840	200	Максимальная крупность щебня 20 мм

Марка бетона	Марка цемента	Осадка конуса бетонной смеси, см	Расход материалов на 1 м <sup>3</sup> бетона, кг				Примечание
			Цемент	Песок	Щебень	Вода	
200	400	12—14	420	900	840	175	Максимальная крупность щебня 10 мм То же
300	400	12—14	520	750	900	200	
<b>Комбинат «Кузбассшахтострой»</b>							
200	300	10—15	410	1240	590	210	Максимальная крупность щебня 20 мм
200	400	10—15	370	1250	625	205	
200	500	10—15	375	1245	670	200	
300	400	10—15	490	1215	525	220	
300	500	10—15	430	1230	575	215	
<b>Комбинат «Печоршахтострой»</b>							
200	400	12—14	430	1800	—	—	Вместо песка гравийно-песчаная смесь
300	400	12—14	520	1700	—	—	
<b>Комбинат «Мосбассшахтострой»</b>							
200	500	10—12	340	590	1200	197	
300	500	10—12	380	580	1180	205	

Таблица 47

Ориентировочный расход материалов для приготовления бетона крепи горизонтальных и наклонных горных выработок

Марка бетона	Марка цемента	Подняж-ность (усадка конуса) бетонной смеси, см	Расход материалов на 1 м <sup>3</sup> бетона, т · 10 <sup>-3</sup>				Примечание
			Цемент	Песок	Щебень	Вода	
<b>Комбинат «Донецкшахтострой»</b>							
150	300	10—12	380	508	1347	215	
150	400	10—12	320	630	1130	186	
200	300	10—12	435	505	1235	215	
200	400	10—12	380	508	1347	215	
<b>Комбинат «Ворошиловградшахтострой»</b>							
150	300	10—12	390	575	1130	205	
150	400	10—12	330	541	1265	214	
200	300	10—12	445	490	1145	220	
200	400	10—12	390	575	1130	205	
<b>Комбинат «Днепрошахтострой»</b>							
150	300	10—12	370	525	1280	210	
150	400	10—12	310	590	1270	207	
200	300	10—12	420	500	1230	210	
200	400	10—12	370	525	1280	210	

Продолжение табл. 4.7

Марка бетона	Марка цемента	Подвижность (угадка конуса) бетонной смеси, см	Расход материалов на 1 м <sup>3</sup> бетона, т. 10 <sup>-1</sup>				Примечание
			Цемент	Песок	Щебень	Вода	
<b>Комбинат «Печоршахтострой»</b>							
200	400	6—8	400	1800	—	190	Вместо песка гравийно-песчаная смесь
150	400	6—8	370	1830	—	—	
100	400	6—8	320	1880	—	—	
<b>Комбинат «Карагандашахтострой»</b>							
150	300	4—6	315	875	960	200	Максимальная крупность щебня 20 мм
150	400	4—6	280	960	920	185	
200	300	4—6	380	880	920	180	
200	400	4—6	340	860	950	190	
150	300	7—9	280	960	920	185	Вместо песка гравийно-песчаная смесь
200	400	7—9	340	860	950	190	
<b>Комбинат «Ростовшахтострой»</b>							
150	400	10—12	340	613	1220	190	
<b>Комбинат «Кузбассшахтострой»</b>							
150	300	10—15	340	1250	665	205	Максимальная крупность щебня 20 мм
150	400	10—15	315	1250	685	200	
200	300	10—15	410	1240	590	210	
200	400	10—15	370	1250	625	205	
<b>Комбинат «Мосбассшахтострой»</b>							
200	500	10—12	340	590	1200	197	

## 5. ТЕХНОЛОГИЯ ПРИГОТОВЛЕНИЯ, ТРАНСПОРТИРОВАНИЯ И УКЛАДКИ БЕТОННЫХ СМЕСЕЙ

### 5.1. ТЕХНОЛОГИЯ ПРИГОТОВЛЕНИЯ БЕТОННЫХ СМЕСЕЙ

Бетонные смеси поставляются заводом-изготовителем в виде затворенной водой смеси, доставляемой к шахте в готовом для укладки виде;

сухой смеси цемента с заполнителями, затворяемой водой в автобетоносмесителях в пути следования или непосредственно у ствола.

В технических требованиях заказчика должны быть указаны: проектная марка бетона по прочности на сжатие; условия и срок ее достижения; требования по водонепроницаемости, морозостойкости и другим специальным свойствам бетона (если они предъявляются); наибольшая крупность заполнителя; требуемая подвижность у места укладки; условия транспортирования; вид и количество добавок; температура бетонной смеси (при необходимости); требуемая плотность и показатель расслоения (для смеси на пористых заполнителях).

Материалы, применяемые для приготовления бетонной смеси, должны соответствовать требованиям стандартов или технических условий на эти материалы.

Качество исходных материалов должно быть подтверждено паспортами предприятий-поставщиков или, при необходимости, результатами лабораторных испытаний завода — изготовителя бетонной смеси.

Приготовление бетонных смесей для возведения монолитной бетонной и железобетонной крепи горных выработок осуществляется:

на бетонных заводах или на центральных бетонорастворных узлах;

на приобъектных или приствольных бетонорастворных узлах; в автобетоносмесителях, загружаемых на центральных узлах сухими смесями заполнителей или жесткими бетонными смесями;

на промежуточном горизонте при углубке слепых стволов и сооружении горных выработок в реконструируемых шахтах путем отдельной доставки сухой смеси заполнителей и цемента с последующим перемешиванием в бетоносмесителях у места укладки.

Бетонные смеси следует приготавливать на центральных бетонорастворных узлах или бетонных заводах в случае расположения ствола или шахты на расстоянии не более 10—15 км.

Транспортирование бетонных смесей на большие расстояния должно обосновываться технико-экономическими расчетами. Приобъектные бетонорастворные узлы выполняются в стационарном и передвижном вариантах. Приствольные бетонорастворные узлы выполняются в стационарном и передвижном вариантах. Приствольные бетонорастворные узлы сооружаются на поверхности вблизи ствола или непосредственно в устье ствола. Бетонные заводы и бетонорастворные узлы для хранения цемента должны быть оснащены складами силосного или бункерного типа.

При хранении цемента в мешках и заполнителей следует применять штабельные склады закрытого типа, представляющие собой бетонную площадку с необходимыми разгрузочными или штабелирующими механизмами.

Для приготовления бетонной смеси сухие компоненты должны дозироваться по массе, вода и жидкие добавки — по массе или объему. При этом следует использовать весовые дозаторы циклического действия типа АД: для цемента — АДЦ-425Д, АДЦ-1200Д, АДЦ-2400Д; для инертных заполнителей — АДИ-425Д, АДИ-1200Д, АДИ-2400Д; для воды и жидких химических добавок — АДЖ-1200Д, АДЖ-2400Д. При работе на бетоносмесителях непрерывного действия следует использовать весовые дозаторы непрерывного действия: автоматические для цемента СБ-71-А, для инертных заполнителей СБ-110 или маятниковые для инертных заполнителей — СБ-26А.

Бетонные смеси должныготавливаться в смесителях циклического или непрерывного действия, соответствующих требованиям ГОСТ 16349—85. Для тяжелых бетонов бетонные смеси следует готовить в гравитационных смесителях (при подвижности смеси 3 см и более) и смесителях с принудительным перемешиванием (для смеси любой подвижности и жесткости).

Бетоносмесители непрерывного действия СБ-75А с производительностью 35 м<sup>3</sup>/ч изготавливает Славянский завод строительных машин им. XXV съезда КПСС. Этот же завод изготавливает бетоносмесители циклического действия СБ-135 и СБ-145 с производительностью 35 и 30 м<sup>3</sup>/ч соответственно. Бетоносмесители циклического действия СБ-134 с производительностью 20 м<sup>3</sup>/ч изготавливает Тюменский завод строительных машин. Гравитационные бетоносмесители СБ-101, СБ-30В, СБ-16В, СБ-140 с объемом готового замеса 65, 165, 330, 500 л изготавливает Тюменский завод строительных машин, смесители СБ-10В, СБ-153, СБ-103А с объемом готового замеса 800, 1000, 2000 л выпускает Славянский завод строительных машин им. XXV съезда КПСС.

Для приготовления бетонной смеси в смесителях циклического действия загрузку исходных материалов необходимо производить в следующей последовательности: вначале загружаются песок и щебень, перемешиваются 1,5—2 мин, заливается небольшое количество воды затворения, загружается цемент, остальное количество воды и раствор добавок рабочей концентрации.

Продолжительность смешивания бетонной смеси в циклических смесителях следует устанавливать опытным путем в строительной лаборатории. При отсутствии данных опытной проверки наименьшую продолжительность перемешивания для гравитационных смесителей следует принимать по табл. 5.1, а для смесителей с принудительным перемешиванием — 50 с.

Наименьшая продолжительность смешивания бетонной смеси на пористых заполнителях приведена в табл. 5.2.

Таблица 5.1

Продолжительность смешивания бетонной смеси в гравитационных смесителях

Объем готового замеса бетонной смеси, л	Подвижность бетонной смеси, см	
	3-8	более 8
≤ 500	75	60
> 500	120	90

Таблица 5.2

Продолжительность смешивания бетонной смеси на пористых заполнителях, с

Объем готового замеса бетонной смеси, л	Плотность бетона, кг/м <sup>3</sup>			
	> 1700	1400-1700	1000-1400	≤ 1000
≤ 500	105	120	150	180
500-1000	120	150	180	210
> 1000	150	180	210	240

## 5.2. ТРАНСПОРТИРОВАНИЕ И УКЛАДКА БЕТОННЫХ СМЕСЕЙ

Транспортирование бетонной смеси должно быть организовано так, чтобы на месте укладки она имела заданную подвижность и однородность. Для транспортирования бетонных смесей на поверхности к стволу должны использоваться следующие средства: автобетоносмесители, автобетоновозы, автосамосвалы, а в отдельных случаях бады и бункера, установленные на автомашинах (автобадьевозах).

Максимально технологически допустимые расстояния транспортирования бетонной смеси при температуре воздуха от -20°С до +30°С приведены в табл. 5.3.

Автобетоносмесители типа СБ-92А, СБ-92Б, СБ-159 с объемом готового замеса 4; 5; 6 м<sup>3</sup> изготавливаются Славянским заводом строительных машин им. XXV съезда КПСС, а типа СБ-92-1А и СБ-92-1Б с объемом готового замеса 5 м<sup>3</sup> — Туймазинским за-

Таблица 5.3

Допустимые расстояния транспортирования бетонных смесей

Подвижность бетонной смеси, см	Вид дорожного покрытия	Скорость транспортирования, км/ч	Расстояние, км					
			Автобетоносмесители	Автобетоновозы	Автосамосвалы	Автобадьевозы		
			Режим транспортирования					
			А	Б	В	Готовая смесь без побуждения в пути		
10-14	Жесткое асфальтовое, асфальтобетон и т. д.	30	Не ограничено	60	45	15	10	8
10-14	Мягкое грунтовое улучшенное	15	Применение не рекомендуется			4,0	2,5	1,6

Примечания. 1. А — включение барабана за 10-12 мин, до разгрузки; Б — включение барабана непосредственно после его наполнения исходным материалом; В — периодическое включение барабана во время транспортирования смеси до объекта.  
2. Для автобадьевозов скорость перевозки по дорогам с жестким покрытием 25 км/ч.

водом автобетоновозов. Автобетоносмесители установлены на шасси автомобиля КамАЗ-5511 и КрАЗ-258Б1.

При транспортировании бетонных смесей, особенно литой подвижности, в автосамосвалах необходимо тщательно герметизировать кузова и наращивать их борта не менее чем на 40 см; следует также укрывать смесь от атмосферных осадков и термоизолировать кузов при температурах наружного воздуха в интервале температур от +15 до -5° С. Для облегчения выгрузки бетонной смеси из кузовов автосамосвалов следует закреплять на бортах вибропобудители. Угол подъема кузова необходимо увеличить до 85—90°. Емкости для перевозки бетонных смесей должны промываться после каждой рабочей смеси и перед длительными (более 30 мин) перерывами в транспортировании.

Для предупреждения расслаивания и потерь литых бетонных смесей, в том числе быстротвердеющих, доставку их следует осуществлять преимущественно отдельным способом, который предусматривает первоначальную доставку сухих отдозированных смесей в автосамосвалах к стволу с последующим введением воды и водных растворов химических добавок, а также перемешиванием мокрой смеси в течение не менее 120 с.

Бетонная смесь, доставленная к стволу с признаками расслоения, должна быть тщательно перемешана.

Подвижность бетонной смеси необходимо назначать с учетом ее изменения при перевозках на заданное расстояние в автобетоновозах и автосамосвалах по следующей формуле:

$$OK_s = OK_{об} / (\eta \mu), \quad (5.1)$$

где  $OK_s$  и  $OK_{об}$  — подвижность бетонной смеси соответственно у места приготовления и у ствола;  $\eta$  — коэффициент потери подвижности, зависящий от дальности транспортирования и состава бетонной смеси;  $\mu$  — коэффициент потери подвижности, зависящий от температуры окружающей среды, принимается по табл. 5.4.

Таблица 5.4

Коэффициент потери подвижности  $\mu$

Тип машины	Температура окружающей среды, °С			
	От -20 до -4	От -5 до +5	От +6 до +20	От +21 до +30
Автобетоновозы	1,10	1,25	1,1	1
Автосамосвалы	1,25	1,4	1,25	1

Доставку бетонной смеси к стволу следует осуществлять по специальным маршрутам и графикам. Бетонная смесь из транспортных средств должна перегружаться в лоток (приемный бункер), снабженный вибропобудителями, подача смеси из лотка в воронку регулируется шибером.

Комплект оборудования для подачи бетонной смеси должен состоять, как правило, из лотка (приемного бункера), приемной

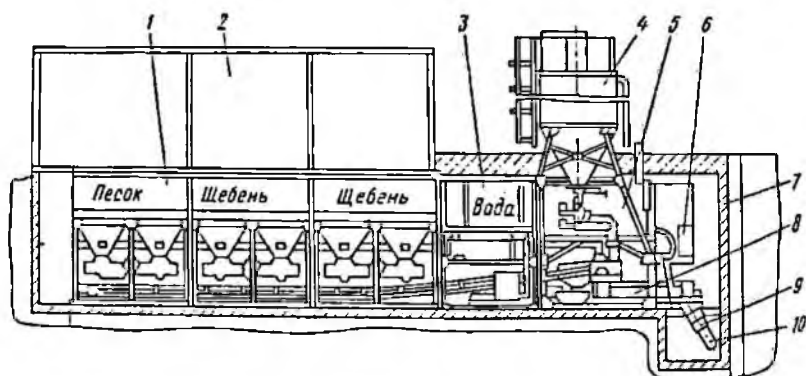


Рис. 5.1. Схема пристольной заглубленной бетоносмесительной установки:  
 1 — дозаторный блок, 2 — склады закладчиков, 3 — блок водопитания и дебажок; 4 — бункер цемента, 5 — блок дозатора цемента, 6 — пульт управления, 7 — бетонная крань, 8 — блок смесителя, 9 — распределитель бетона; 10 — бетоноприемник

воронки, одного или двух ставов стальных бесшовных труб с внутренним диаметром 150 мм и толщиной стенок 8—12 мм, гасителя скорости, хобота или телескопического желоба для разводки бетонной смеси по карманам опалубки. Трубопровод должен прокладываться строго по вертикальному отвесу с тщательной центровкой стыкуемых труб и крепиться к стенкам ствола.

Схема приготовления и подачи бетонной смеси в ствол при пристольном заглубленном узле показана на рис. 5.1.

Подача бетонной смеси за опалубку должна производиться непрерывно и равномерно по всему периметру ствола, без длительных перерывов.

После окончания бетонирования заходки на высоту опалубки или при длительном непредвиденном перерыве в бетонировании необходимо производить промывку става смесью воды со щебнем.

Для возведения монолитной бетонной крепи шахтных стволов, как правило, следует использовать металлические секционные самоотрывающиеся опалубки (ОСД):

ОСД — 8,1 высотой 4,2 м для стволов диаметром в свету  $D_{св} = 4,5 \div 6,0$  м;

ОСД — 8,2 высотой 4,2 м для стволов  $D_{св} = 6,5 \div 8,5$  м;

ОСД — 8,3 высотой 3,3 м для стволов  $D_{св} = 4,5 \div 6,0$  м;

ОСД — 8,4 высотой 3,3 м для стволов  $D_{св} = 6,5 \div 8,5$  м.

Опалубки высотой 3,3 м применяются при проходке стволов по крутопадающим породам.

Перед спуском металлической опалубки на очередную заходку должна быть проведена тщательная оборка породных стенок ствола — во избежание попадания кусков породы за опалубку при бетонировании.

В слабых, неустойчивых, трещиноватых породах следует устанавливать анкерную крепь в сочетании с металлической сеткой с размером ячеек не более  $40 \times 40$  мм.



Для предотвращения попадания воды в бетонную смесь при укладке за опалубку с целью повышения качества крепи необходимо предусматривать: устройство водоулавливающих колец с отводом воды в трубы и герметизирующие перемычки.

Отрыв стволовой опалубки следует производить при достижении бетоном прочности на сжатие не менее 0,8 МПа с помощью только принудительных средств стяжных секций и без применения ручного труда. Конструкция стыков между глухими секциями и полусекциями стяжных секций стволовой опалубки не должна допускать просачивания цементного молока и раствора в ствол.

Для надежного перекрытия зазора между поддоном и породной стенкой ствола необходимо производить подсыпку породой нижней части опалубки в подвешенном состоянии, которая обеспечит при укладке бетона минимальную потерю цементного молока.

Для монолитной бетонной крепи в горизонтальных выработках следует использовать в качестве транспортных средств вагонетки типа УВГ-5; ВГ-2,5; ВД-3,3 и шахтные бетоноукладочные машины.

На вновь строящихся шахтах бетонная смесь для возведения монолитных бетонных, железобетонных и металлобетонных видов крепи горизонтальных и наклонных горных выработок должна подаваться к месту укладки, как правило, бетоноукладчиками типа БУК-3М. При потребностях бетонной смеси до 15—20 м<sup>3</sup>/ч сухие составляющие — песок со щебнем и отдельно цемент — допускается подавать в вагонетках с соответствующей маркировкой к месту укладки и затворять водой в специальных шахтных бетоносмесителях.

При проходке стволов в обводненных породах с применением способа замораживания, когда требование к качеству бетона по водонепроницаемости и прочности значительно повышается, следует применять контейнеры для спуска бетона в ствол и укладки его за опалубку. Контейнеры загружаются на уровне поверхности от автобетоносмесителя с помощью желоба или бетононасоса.

Разгрузка контейнера за опалубку производится с применением поверхностных вибраторов, расположенных на контейнере.

### 5.3. ТЕХНОЛОГИЯ ПРИГОТОВЛЕНИЯ ВОДНЫХ РАСТВОРОВ ХИМИЧЕСКИХ ДОБАВОК И ИХ РАСЧЕТ

Химические добавки следует вводить в состав бетонных смесей в виде водных растворов рабочей концентрации, которые готовят путем растворения и последующего разбавления твердых, пастообразных или жидких продуктов. Для повышения скорости растворения добавок необходимо подогревать воду до 40—70°С и перемешивать растворы, а твердые продукты при необходимости предварительно дробить.

После полного растворения добавок следует проверить ареометром плотность полученного раствора и довести ее до заданной концентрации добавлением продукта или воды.

Плотность растворов различных добавок приведена в табл. 5.5.

Плотность водных растворов добавок следует определять при температуре раствора  $20 \pm 2^\circ \text{C}$ . Определяя плотность растворов при других температурах, необходимо учитывать ее изменение в зависимости от температуры раствора по формуле

$$P_T = P_{20} - A(T - 20), \quad (5.2)$$

Таблица 5.5

Содержание компонентов в растворах и их плотность

Концент-рация раство-ра, %	Плотность раствора $P_{20}$ при $20^\circ \text{C}$ , г/см <sup>3</sup>	Темпера-турный ко-эффициент плотнос-ти A	Содержание компонентов, кг		Концент-рация раство-ра, %	Плотность раствора $P_{20}$ при $20^\circ \text{C}$ , г/см <sup>3</sup>	Темпера-турный ко-эффициент плотнос-ти A	Содержание компонентов, кг	
			в 1 л раство-ра	в 1 кг раство-ра				в 1 л раство-ра	в 1 кг раство-ра
Раствор NaCl									
1	1,005	0,00022	0,010	0,01	1	1,010	0,00021	0,010	0,01
2	1,013	0,00024	0,020	0,02	2	1,014	0,00022	0,020	0,02
3	1,020	0,00026	0,031	0,03	3	1,021	0,00023	0,031	0,03
4	1,027	0,00028	0,041	0,04	4	1,029	0,00024	0,041	0,04
5	1,034	0,00030	0,052	0,05	5	1,037	0,00025	0,052	0,05
6	1,041	0,00031	0,062	0,06	6	1,045	0,00026	0,063	0,06
7	1,049	0,00033	0,073	0,07	7	1,050	0,00027	0,074	0,07
8	1,056	0,00034	0,081	0,08	8	1,055	0,00028	0,084	0,08
9	1,064	0,00036	0,091	0,09	9	1,062	0,00029	0,095	0,09
10	1,071	0,00037	0,107	0,10	10	1,077	0,00030	0,103	0,10
15	1,109	0,00043	0,166	0,15	15	1,117	0,00035	0,173	0,15
20	1,148	0,00049	0,230	0,20	20	1,154	0,00040	0,233	0,20
25	1,189	0,00051	0,297	0,25	25	1,211	0,00045	0,303	0,25
30	1,228	0,00060	0,359	0,30	30	1,259	0,00051	0,378	0,30
35	1,268	0,00066	0,423	0,35	35	1,311	0,00055	0,459	0,35
Раствор CaCl <sub>2</sub>									
1	1,010	0,00022	0,010	0,01	1	1,009	—	0,010	0,01
2	1,015	0,00023	0,020	0,02	2	1,019	—	0,020	0,02
3	1,023	0,00024	0,030	0,03	3	1,029	—	0,030	0,03
4	1,032	0,00025	0,041	0,04	4	1,040	—	0,042	0,04
5	1,040	0,00026	0,052	0,05	5	1,050	—	0,053	0,05
6	1,049	0,00027	0,063	0,06	6	1,061	—	0,064	0,06
7	1,058	0,00028	0,074	0,07	7	1,071	—	0,075	0,07
8	1,066	0,00029	0,085	0,08	8	1,083	—	0,087	0,08
9	1,075	0,00030	0,087	0,09	9	1,093	—	0,098	0,09
10	1,084	0,00031	0,108	0,10	10	1,105	—	0,111	0,10
15	1,130	0,00037	0,170	0,15	15	1,163	—	0,174	0,15
20	1,178	0,00042	0,236	0,20	20	1,226	—	0,245	0,20
25	1,228	0,00047	0,307	0,26					
30	1,282	0,00052	0,385	0,30					
35	1,302	0,00056	0,468	0,35					
Раствор Al <sub>2</sub> (SO <sub>4</sub> ) <sub>3</sub>									

Продолжение табл. 5.5

Концентрация раствора, %	Плотность раствора $P_{20}$ при 20° С, г/см <sup>3</sup>	Температурный коэффициент плотности $A$	Содержание компонентов, кг		Концентрация раствора, %	Плотность раствора $P_{20}$ при 20° С, г/см <sup>3</sup>	Температурный коэффициент плотности $A$	Содержание компонентов, кг	
			в 1 л раствора	в 1 кг раствора				в 1 л раствора	в 1 кг раствора
Раствор NaNO <sub>2</sub>					Раствор сульфитно-дрожжевой бражки				
1	1,005	0,00021	0,010	0,01	1	1,004	—	0,010	0,01
2	1,011	0,00023	0,020	0,02	2	1,009	—	0,020	0,02
3	1,017	0,00025	0,030	0,03	3	1,013	—	0,031	0,03
4	1,024	0,00027	0,041	0,04	4	1,017	—	0,041	0,04
5	1,031	0,00028	0,051	0,05	5	1,021	—	0,051	0,05
6	1,038	0,00030	0,062	0,06	6	1,025	—	0,061	0,06
7	1,045	0,00031	0,073	0,07	7	1,029	—	0,072	0,07
8	1,052	0,00033	0,084	0,08	8	1,033	—	0,083	0,08
9	1,058	0,00035	0,095	0,09	9	1,038	—	0,093	0,09
10	1,065	0,00036	0,106	0,10	10	1,043	—	0,104	0,10
15	1,099	0,00043	0,164	0,15	12	1,053	—	0,126	0,12
20	1,137	0,00051	0,227	0,20	14	1,063	—	0,149	0,14
25	1,176	0,00060	0,293	0,25	16	1,073	—	0,171	0,16
30	1,214	0,00070	0,364	0,30	18	1,083	—	0,195	0,18
35	1,256	0,00081	0,440	0,35	20	1,091	—	0,218	0,20
					25	1,117	—	0,279	0,25
					30	1,144	—	0,343	0,30
					35	1,173	—	0,412	0,35
					40	1,202	—	0,480	0,40
					50	1,266	—	0,633	0,50

где  $P_T$  — измеряемая плотность раствора, г/см<sup>3</sup>;  $P_{20}$  — плотность раствора при 20° С (см. табл. 5.5), г/см<sup>3</sup>;  $A$  — температурный коэффициент плотности (см. табл. 5.5);  $T$  — температура раствора в момент определения его плотности, °С.

При приготовлении растворов добавок рабочей концентрации из концентрированных растворов необходимое их количество (л) для заправки одной приготовительной емкости следует определять по формуле

$$P = Q \cdot C / (10 \cdot B \cdot D), \quad (5.3)$$

где  $Q$  — объем приготовленного раствора, л;  $C$  — расход цемента на 1 м<sup>3</sup> бетона (раствора), кг;  $B$  — расход воды на 1 м<sup>3</sup> бетона (раствора) за вычетом воды заполнителей, л;  $C$  — дозировка добавки, % по массе цемента;  $D$  — содержание безводного вещества добавки в 1 л концентрированного раствора, кг (определяется по табл. 5.5).

Необходимое количество воды (л) для заправки приготовительной емкости

$$\Phi = Q - P, \quad (5.4)$$

Плотность раствора затворения (г/см<sup>3</sup>)

$$P = (P \cdot \gamma + \Phi) / Q, \quad (5.5)$$

где  $\gamma$  — плотность концентрированного раствора, г/см<sup>3</sup>.

Расход раствора добавки рабочей концентрации (л) на 1 м<sup>3</sup> бетона

$$K = \frac{100 B + ЦС}{100 П} \quad (5.6)$$

Пример 1. Необходимо приготовить 1000 л раствора хлорида кальция для затворения бетонной смеси с расходом цемента 450 кг и воды 208 л, причем 60 л воды будет введено в бетон с заполнителями.

При корректировке состава бетона установлено, что приготовленный концентрированный раствор соли при 20° С имеет плотность 1,228 г/см<sup>3</sup>.

По табл. 5.5 находим, что содержание безводного раствора СаСl<sub>2</sub> в 1 л имеющегося концентрированного раствора составляет 0,307 кг. Тогда по приведенным формулам (5.3) — (5.5) находим, что

$$P = \frac{1000 \cdot 450 \cdot 2}{100 \cdot 148 \cdot 0,307} = 198,1 \text{ л};$$

$$\psi = 1000 - 198,1 = 801,9 \text{ л};$$

$$\Pi = \frac{198,1 \cdot 1,228 + 801,9}{1000} = 1,045 \text{ г/см}^3.$$

Таким образом, для приготовления раствора в приготовительной емкости необходимо смешать 198,1 л (198,1 · 1,228 = 243,2 кг) концентрированного раствора хлорида кальция и 801,9 л (801,9 · 1,00 = 801,9 кг) воды.

Расход этого раствора на 1 м<sup>3</sup> бетона составит:

$$K = \frac{100 \cdot 148 + 450 \cdot 2}{100 \cdot 1,045} = 150,2 \text{ л/м}^3,$$

$$\text{или } K = 150,2 \cdot 1,045 = 156,9 \text{ кг/м}^3.$$

Пример 2. Требуется приготовить 1000 л раствора СаСl<sub>2</sub> + NaNO<sub>2</sub> для затворения бетонной смеси с расходом цемента 450 кг и воды 208 л, если 60 л воды содержится в имеющихся заполнителях в расчете на 1 м<sup>3</sup> бетона. Оптимальной добавкой является 2% СаСl<sub>2</sub> + 2% NaNO<sub>2</sub>, а плотность концентрированных растворов хлористого кальция и нитрита натрия составляет соответственно 1,228 и 1,176 г/см<sup>3</sup> при 20° С.

По табл. 5.5 находим, что содержание безводного СаСl<sub>2</sub> в 1 л имеющегося концентрированного раствора составляет 0,307 кг, а безводного NaNO<sub>2</sub> — 0,293 кг. По приведенным выше формулам (5.3) — (5.5) находим, что

$$P_{\text{СаСl}_2} = 198,1 \text{ л}; \quad P_{\text{NaNO}_2} = 207,5 \text{ л};$$

$$\psi = 1000 - 198,1 - 207,5 = 594,4 \text{ л};$$

$$\Pi = \frac{198,1 \cdot 1,228 + 207,5 \cdot 1,176 + 594,4}{1000} = 1,081 \text{ г/см}^3.$$

Таким образом, для изготовления раствора в приготовительной емкости необходимо смешать 198,1 л (198,1 · 1,228 = 243,2 кг) концентрированного раствора хлористого кальция, 207,5 л (207,5 · 1,176 = 244 кг) концентрированного раствора нитрита натрия и 594,4 л воды. Расход этого раствора на 1 м<sup>3</sup> бетона

$$K = \frac{100 \cdot 148 + 450 \cdot 2 + 450 \cdot 2}{100 \cdot 1,081} = 153,6 \text{ л/м}^3,$$

$$\text{или } K = 153,6 \cdot 1,081 = 166 \text{ кг/м}^3.$$

При приготовлении растворов, а также перед применением их необходимо тщательно перемешивать. Не допускается применение растворов, если в них имеется осадок нерастворившихся солей.

При изготовлении водных (рабочих) растворов химических добавок особое внимание следует уделять правильности дозирования концентрированных растворов и воды в приготовительные емкости.

Приготавливать и хранить водные растворы добавок необходимо в металлических емкостях в специальном помещении в непосредственной близости от бетонорастворного узла. Внутренняя поверхность емкостей, предназначенных для приготовления и хранения растворов  $\text{CaCl}_2$ , суперпластификатора и  $\text{NaNO}_2$ , должна быть покрыта сплошным слоем эмали ЭФ-129 (ТУ-6-10-1727—79) толщиной 0,10—0,12 мм («Инструкция по нанесению эмали ЭФ-1219». Харьков, 1986).

Рабочие растворы должны взвешиваться в отдельных дозах. Возможно введение добавок в воду затворения при условии, что разница в расходе цемента между различными составами бетонной смеси, выпускаемой в течение суток, не превышает 2% среднего расхода цемента, а разница в дозировке воды в зависимости от влажности заполнителей по каждому из составов не превышает 2% номинального водосодержания.

Для приготовления и дозирования добавок необходимо пользоваться унифицированным технологическим оборудованием. Оно включает: баки вместимостью 0,63; 1,25 и 2,5 м<sup>3</sup> для приготовления раствора добавки требуемой концентрации из твердого или жидкого исходного продукта; расходные баки вместимостью 1,25; 2,5 и 5 м<sup>3</sup> для накопления технологического запаса рабочего раствора химической добавки; буферные баки вместимостью 0,4 м<sup>3</sup> для питания дозаторов водными растворами добавок; объемные порционные автоматические дозаторы с пределами дозирования 0,8—6; 6—25; 16—45 л. Для дозирования растворов химических добавок необходимо пользоваться весовыми дозаторами повышенной точности типа 6-145АД-30-2-БЖ, разработанными Киевским ПО «Веда».

Концентрированный раствор добавки из емкости для хранения подается по трубопроводу в специальную емкость для приготовления раствора добавки рабочей концентрации. Эта емкость должна обеспечивать бесперебойную работу смесителей в течение не менее 1 ч.

Емкости для хранения и приготовления необходимо оборудовать системами трубопроводов для перемешивания сжатым воздухом и паропроводом для подогрева в холодное время года. Из приготовительной емкости раствор рабочей концентрации насосом подается в расходную емкость, а из нее через дозатор — в бетоносмеситель.

Данная схема предусматривает подачу раствора добавки в бетоносмеситель совместно с водой затворения через дозатор воды.

По трубопроводу обратной линии неиспользованный раствор добавки поступает снова в емкость для хранения.

При изготовлении бетонных смесей в бетоносмесителе непре-

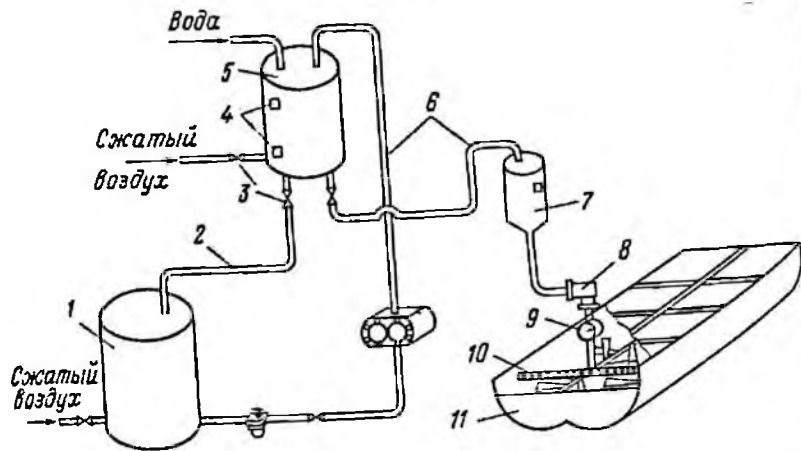


Рис. 5.2. Технологическая схема подачи химических добавок в бетоносмеситель непрерывного действия:  
1 — бак хранения добавок; 2 — обратная линия; 3 — клапан; 4 — указатели уровня; 5 — подготовительная емкость; 6 — трубопровод; 7 — расходная емкость; 8 — клапан; 9 — расходомер; 10 — расходомер; 11 — бетоносмеситель непрерывного действия

равного действия следует пользоваться технологической схемой приготовления и подачи химических добавок, показанной на рис. 5.2.

Схема предусматривает: бак для хранения добавок, находящийся внизу, подготовительный бак, расположенный сверху смесительного отделения, дозатор с датчиком (расходомером), систему клапанов, трубопроводов и фильтра. По кольцевой (обратной) линии происходит циркуляция раствора между верхним и нижним баками. Так как процесс приготовления бетонной смеси идет непрерывно, то и дозирование добавки также должно идти непрерывно.

Наличие верхнего указателя уровня в дозаторе обеспечивает постоянство уровня. Расход добавки при постоянном подпоре в этом случае зависит только от величины проходного сечения датчика (расходомера), которое регулируется и контролируется с пульта управления в зависимости от производительности установки и требуемой концентрации добавки.

#### 5.4. ПРИГОТОВЛЕНИЕ И ТРАНСПОРТИРОВАНИЕ БЕТОННЫХ СМЕСЕЙ В ЗИМНЕЕ ВРЕМЯ

Проблема ведения бетонных работ в зимнее время, возникшая в годы первых пятилеток, в настоящее время приобрела чрезвычайную актуальность в связи с освоением и развитием территориально-производственных комплексов Сибири, Дальнего Востока и Крайнего Севера, составляющих 47% территории СССР.

Производство горнопроходческих работ в сложных климатических условиях требует дополнительных трудозатрат и капитальных вложений для обеспечения непрерывности технологического процесса строительства с целью сокращения его сроков.

Общепринятый метод безобогревного бетонирования в зимних условиях базируется на применении противоморозных добавок.

При выборе противоморозной добавки необходимо учитывать расчетную температуру, вид бетонируемой конструкции, ограничения по применению противоморозных добавок, интенсивность набора прочности, стоимость противоморозной добавки.

В некоторых случаях указанные факторы позволяют их привид противоморозной добавки или вообще не позволяют их применять, т. е. приходится вести бетонные работы обогреваемым способом (термос, электро- и паропрогрев). При выборе способа производства работ (в зимнее время) проводят технико-экономическое сравнение различных вариантов технологии бетонирования с учетом конкретной специфики строительной площадки и бетоносмесительного хозяйства.

Производство бетонных работ в зимнее время должно обеспечить в заданные сроки требуемую прочность. Поэтому применение бетонов с противоморозными добавками может быть более эффективным по сравнению с применением искусственно обогреваемых бетонов, если сроки набора прочности не ограничены, или в том случае, когда при имеющихся сроках проектируемого набора прочности пригодна данная противоморозная добавка.

В качестве противоморозных добавок, вводимых в строительные растворы, следует применять нитрит натрия, поташ, комплексную добавку НКМ (нитрит кальция + мочевины), получаемую в готовом виде или приготовленную путем смешивания нитрита кальция и мочевины в соотношении 2:1 по массе (табл. 5.6). Для неармированных конструкций допускается применять растворы хлоридных солей и комплексную добавку ННХКМ (нитрит + нитрат + хлорид кальция + мочевины). Не допускается непосредственный контакт растворов с добавками нитрита НКМ, ХКМ с закладными деталями из алюминия, цинка или защитных покрытий из них.

Способы приготовления и транспортирования бетонной смеси в зимних условиях должны обеспечивать получение бетона с заданными в проектной документации свойствами: прочностью (при необходимости — распулубочной), водонепроницаемостью, коррозионной стойкостью.

Температура бетонной смеси при выходе из бетоносмесителя

$$t_{см} = \frac{t_{0,н} - t_{н,н} \cdot \sum \Delta t_{тр}}{1 - \sum \Delta t_{тр}}, \quad (5.7)$$

где  $t_{0,н}$  — начальная температура бетона после укладки за опалубку, °C;  $t_{н,н}$  — температура наружного воздуха, °C;  $\sum \Delta t_{тр}$  —

## Количество вводимых противоморозных добавок и область их применения

Противоморозная добавка	Среднесуточная температура, воздуха, °С		Количество противоморозной добавки, % по массе цемента	Ожидаемая прочность раствора, % от марк. при сроке твердения на морозе, сут		
	от	до		7	28	90
<b>Неармированные конструкции</b>						
Хлористый натрий + хлористый кальций	0	-2	1,5+0	35	80	100
	3	-5	3+0	35	80	100
	-6	-10	3,5+1,5	25	45	70
	-11	-15	3+4,5	15	25	50
ННХКМ (готовый продукт или ННХК + мочевины)	-3	-5	5	30	55	85
	-6	-15	10	20	40	50
	-16	-30	12	5	20	30

## Армированные конструкции

Нитрит натрия	0	-2	2-3	15	50	70
	-3	-5	4-5	10	40	55
	-6	-15	8-10	5	30	40
Поташ	0	-5	5	25	60	80
	-6	-15	10	20	50	65
	-16	-30	12	10	35	50
Нитрит натрия + поташ	0	-2	1,5+1,5	25	60	80
	-3	-5	2,5+2,5	20	55	75
	-6	-15	5+5	15	40	60
	-16	-30	6+6	5	35	45
НКМ (готовый продукт)	0	-2	2-3	15	50	70
	-3	-5	4-5	10	30	50
	-6	-20	6-10	3	20	30

суммарное снижение температуры бетонной смеси при всех операциях от приемки из бетоносмесителя до укладки за опалубку, °С;  $\Delta t_{тр}$  — относительное снижение температуры бетонной смеси на каждой операции, °С.

Снижение температуры бетонной смеси после ее транспортирования в автомашинах (без термоизоляции) в момент разгрузки

$$t_{тр} = t_3 - n \Delta t_{тр}, \quad (5.8)$$

где  $n$  — коэффициент, зависящий от места расположения смеси в автомашине (при определении минимальной температуры верхнего и нижнего слоев перевозимой в автомашине смеси  $n=2$ );  $t_3$  — температура бетонной смеси в момент ее приготовления и подачи в автомашину, °С;  $\Delta t_{тр}$  — изменение средней температуры бетонной смеси в процессе ее транспортирования в автосамосвалах, °С;

$$\Delta t_{тр} = \Delta t'_{тр} \Delta t, \quad (5.9)$$

где  $\Delta t'_{тр}$  — удельное изменение температуры бетонной смеси при транспортировании в течение одной минуты в условиях перепада температуры бетонной смеси и окружающего воздуха на 1°С. При транспортировании бетонной смеси в автосамосвалах и

объеме перевозимой смеси 1,4—3,2 м<sup>3</sup>  $\Delta t'_{тр} = 0,0037 \div 0,0025^\circ \text{C}$  на 1°С в минуту;  $\Delta t$  — перепад температуры наружного воздуха и перевозимой бетонной смеси, °С,  $\tau$  — продолжительность транспортирования смеси, мин.

Снижение температуры при укладке и уплотнении бетонной смеси

$$\Delta t_{тр, с} = \Delta t'_{тр} \tau, \quad (5.10)$$

где  $\tau$  — продолжительность укладки смеси, мин;  $\Delta t'_{тр}$  — снижение температуры смеси при укладке, отнесенное к температуре воздуха и единице времени, °С.

Для монолитной бетонной или железобетонной крепи горных выработок с толщиной 300, 400, 500 мм  $\Delta t'_{тр}$  соответственно равно 0,07; 0,05; 0,03°С.

Заполнители для бетонов перед загрузкой в смеситель не должны содержать смерзшихся комьев, кусков льда, наледи на зернах и снега.

Размораживание, оттаивание и подогрев заполнителей производится с помощью дымовых газов или горячего воздуха в открытых и закрытых штабелях, бункерах и других устройствах; подогрев воды осуществляется подачей пара в холодную воду.

Максимально допустимая температура бетонной смеси и ее составляющих приведена в табл. 5.7.

Таблица 5.7

Максимально допустимая температура заполнителей бетонной смеси

Вид цемента	Допустимая температура, °С		
	составляющих при загрузке в смеситель		бетонной смеси при выходе из смесителя
	Вода	Заполнитель	
Портландцемент марок 300 и шлакопортландцемент марок 300 и 400	90	60	45
Портландцемент марок 400 и сульфатостойкий портландцемент марок 400 и 500	80	50	40
Портландцемент марок 500	60	40	35

Температура бетонной смеси при выходе из бетоносмесителя должна быть не менее 15°С.

Для снижения температуры замерзания бетонной смеси и ускорения процесса твердения бетона в состав смеси должны вводиться противоморозные химические добавки. Содержание добавки устанавливается опытным путем в строительных лабораториях комбинатов в зависимости от требований, предъявляемых к бетонной смеси и бетону: подвижности смеси, его про-



ектной марке и коррозионной стойкости (в том числе и к металлу), температуры воздуха, способа и времени транспортирования бетонной смеси к месту укладки. Количество противоморозных добавок в зависимости от расчетной температуры твердения бетона следует назначать по табл. 5.8.

Таблица 5.8

Количество вводимых противоморозных добавок, % по массе цемента

Расчетная температура бетона, °С		NaNO <sub>2</sub>	NaCl + CaCl <sub>2</sub>	K <sub>2</sub> CO <sub>3</sub>
от	до			
0	-5	4-6	$(0+3) \div (2+3)$	5-6
-6	-10	6-8	$(3,5+3,5) \div (2,5+4)$	6-8
-11	-15	8-10	$(4,5+3) \div (5+3,5)$	8-10
-16	-20	—	$(6+2,5) \div (7+3)$	10-12
-21	-25	—	—	12-15

Оптимальное количество добавок при данной температуре твердения бетона и при использовании холодных материалов назначается в зависимости от водоцементного отношения, а при использовании подогретых материалов — от вида цемента и его минерального состава:

а) при работе на холодных материалах в бетоны с  $V/C=0,5$  следует назначать меньшее из указанных пределов количество добавок, а с  $V/C \geq 0,5$  — большее;

б) при работе на подогретых заполнителях меньшее количество  $CaCl_2 + NaCl$  и  $K_2CO_3$  следует вводить в бетоны на портландцементе, содержащих 6% и более трехкальциевого алюмината,  $C_3A$ , меньшее количество  $NaNO_2$  и  $CaCl_2 + NaCl$  следует вводить при изготовлении бетона на портландцементе с содержанием  $C_3A$  до 6%.

Концентрация раствора затворения (с учетом влажности заполнителей) не должна превышать 30% для  $K_2CO_3$ , 26% для  $CaCl_2 + NaCl$ , 20% для  $NaNO_2$ .

При температурах бетона выше  $-5^\circ C$  вместо  $NaCl$  возможно применение  $CaCl_2$  в количестве до 3% от массы цемента (до 2% для железобетона). Продолжительность перемешивания бетонной смеси в смесителях следует увеличить по сравнению с летним временем в 1,5 раза.

При транспортировании бетонной смеси к месту укладки с центральных бетонорастворных узлов следует предусмотреть мероприятия по предупреждению ее от переохлаждения. При перевозке смеси в автосамосвалах следует использовать отходящие газы для обогрева кузова, укрывать перевозимую смесь деревянными щитами, брезентом. При транспортировании бетонной смеси автобетоновозами следует осуществлять подогрев смеси выхлопными газами, подаваемыми в пространство между двойной обшивкой кузова, или обеспечивать кузов специальной термозоляцией.

## 6. ЭФФЕКТИВНЫЕ БЕТОНЫ ДЛЯ ВОЗВЕДЕНИЯ МОНОЛИТНЫХ И СБОРНЫХ ВИДОВ КРЕПЕЙ ГОРНЫХ ВЫРАБОТОК

### 6.1. БЫСТРОТВЕРДЕЮЩИЕ БЕТОНЫ МАРОК М350—М400 ДЛЯ КРЕПИ ВЕРТИКАЛЬНЫХ СТВОЛОВ ШАХТ

Быстротвердеющие бетоны применяются при возведении крепи вертикальных стволов, сооружаемых скоростными темпами, как в обычных, так и в сложных гидрогеологических условиях. Подбор составов быстротвердеющих бетонов должен производиться с учетом получения в заданные сроки прочности (0,8 МПа), достаточной для распалубки бетона. Заданное время распалубки устанавливается проектом производства работ в зависимости от темпов проходки. Ориентировочные составы и свойства быстротвердеющих бетонов приведены в табл. 6.1.

Достижение показателей бетона, приведенных в табл. 6.1, возможно при выполнении следующих требований. В состав бетонной смеси вводят одну из добавок или композицию добавок, приведенных в табл. 6.1. Вид добавки или композиция добавок назначаются в зависимости от результатов предварительно проведенных лабораторных испытаний.

Для составов бетонов с маркой по водонепроницаемости  $W_{12}$  и  $W_8$  песок должен быть промытым и иметь модуль крупности не менее 2,5. Содержание глинистых и пылевидных фракций в песке не должно превышать 1%, в щебне — 0,5%.

Технология приготовления быстротвердеющих бетонов не отличается от технологии приготовления обычных бетонных смесей.

Приготовление бетонных смесей с введением добавок следует производить на приствольных и заглубленных бетонорастворных узлах, а также на центральном бетонорастворном узле без введения добавки. При доставке смеси к стволу шахты в автобетоносмесителях добавка вводится непосредственно перед спуском бетонной смеси в ствол.

### 6.2. БЕТОНЫ С ДОБАВКОЙ ЗОЛЫ-УНОСА

Зола-унос образуется в виде пылевидных отходов при сжигании топлива на тепловых электростанциях, расположенных в различных районах угольных бассейнов отрасли. Бетоны с добавкой золы-уноса следует применять при возведении монолитной и сборной бетонной и железобетонной крепи горных выработок. Зола-унос, введенная в состав бетонной смеси, способствует повышению ее удобоукладываемости, снижению расхода цемента на 10—15%, повышению плотности и долговечности бетона. Зола-унос должна отвечать требованиям ГОСТ 25818—83. Диапазон изменения химического состава золы-уноса в отдельных угольных бассейнах приведен в табл. 6.2.

Таблица 6.1.

## Ориентировочные составы и свойства быстротвердеющих бетонов

Время достиг- жения бетоном раскалываю- щей прочности, сут. ч — мин	Прочность на сжатие бетона в возрасте 3 сут. 12ч	Марка по прочности на сжатие	Марка по водонепрони- цаемости	В/Ц	Расход материалов на 1 м <sup>3</sup> бетона, кг			Количество добавок в пересчете на сухую массу цемента			
					Цемент	Песок	Щебень	Виды	Ca(NO <sub>3</sub> ) <sub>2</sub>	CaCl <sub>2</sub>	CaCl <sub>2</sub> + NaNO <sub>2</sub>
Подвижность бетонной смеси 10—12 см											
2—30	21,0	400	W12	0,40	550	620	1000	220	3	3	1,5 + 1,5
3—00	19,0	350	W8	0,44	485	615	1035	230	3	2	1,5 + 1,5
4—00	14,0	300	W6	0,52	415	680	1080	215	2	1,5	1 + 1
4—30	13,0	250	W4	0,54	400	685	1090	216	1,5	1	1 + 1
5—00	10,0	150	W4	0,60	320	725	1115	192	1,5	1	1 + 1
Подвижность бетонной смеси 15—17 см											
2—30	20,0	400	W8	0,40	580	650	930	232	3	2	1,5 + 1,5
3—00	17,5	350	W6	0,44	590	675	965	230	3	2	1,5 + 1,5
4—00	13,5	300	W4	0,52	445	705	1000	230	2	1,5	1 + 1
4—30	12,0	250	W2	0,54	430	715	1025	230	1,5	1	1 + 1
5—00	9,0	150	W2	0,60	350	750	1080	210	1,5	1	1 + 1

## Химический состав золы-уноса, %

Угольный бассейн	SiO <sub>2</sub>	TiO <sub>2</sub>	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	FeO	CaO	MgO	K <sub>2</sub> O	Na <sub>2</sub> O	SO <sub>3</sub>
Донецкий	50,8— —54,3	0,4— —1,9	21,5— —27,3	9,3— —15,2	2,6— —0	2,0— —5,2	0,5— —2,0	2,5— —4,7	0,4— —1,3	0,6— —1,0
Кузнецкий	58,8— —63,2	0,6— —1,0	20,0— —26,1	5,8— —7,4	0	2,2— —4,0	0,4— —1,5	1,7— —2,3	1,0— —1,4	0,3— —0,5
Карагандинский	59,8— —60,6	0,9— —1,0	25,1— —25,9	5,7— —6,0	0	3,5— —3,8	0,9— —1,2	1,7— —1,6	1,0	0,8
Подмосковный	48,2— —56,2	0,8— —1,2	25,2— —36,2	7,0— —10,3	5,8— —0	2,2— —4,6	0,2— —0,9	0,4— —0,7	0,1— —0,4	0,2— —0,4

Использование золы-уноса, как правило, целесообразно в том случае, когда для приготовления бетона применяется допускаемая СНиП 5.01.23—83 повышенная марка цемента. В случае если водопотребность золы-уноса близка к нормальной густоте теста портландцемента (24—30%), то процент вводимой добавки назначается пропорционально требуемому проценту снижения излишней активности цемента.

Пример. На бетоноразборном узле имеется цемент М400. Для возведения крепи горизонтальных горных выработок нужен бетон марки 150. В этом случае в соответствии со СНиП 5.01.23—83 рекомендуемая марка цемента 300. Опре-

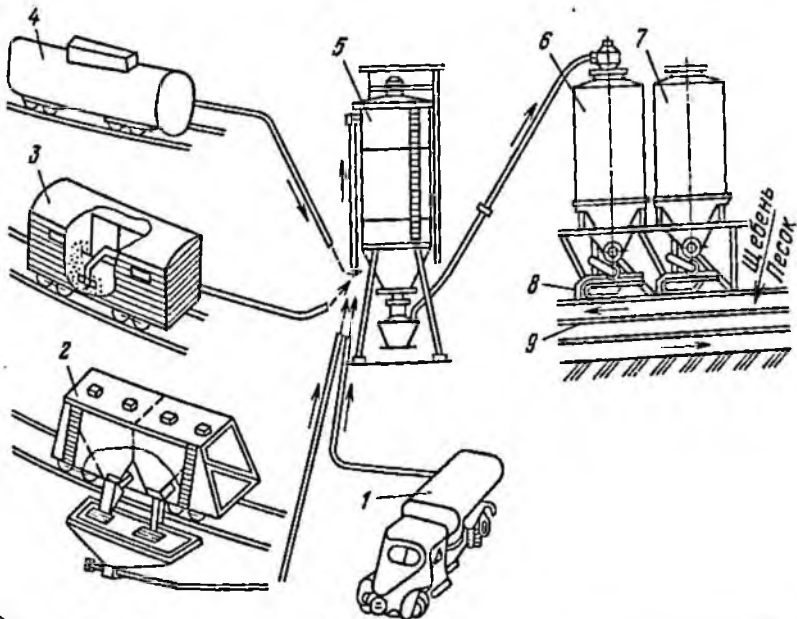


Рис. 6.1. Технологическая схема транспортирования, хранения и дозирования золы-уноса:  
 1 — автоцементовоз с пневморазгрузкой; 2 — вагон-цементовоз бункерного типа; 3 — крытый вагон;  
 4 — цементовоз с пневморазгрузкой; 5 — цементный склад силосного типа; 6 — бункер для цемента;  
 7 — бункер для золы-уноса; 8 — дозатор; 9 — ленточный конвейер для подачи материала в сисенталь

деляется выход теста ( $B$ ) непосредственным опытом или по формуле

$$B = 1/\gamma + H_{г.т.}$$

где  $\gamma$  — плотность цемента или золы-уноса,  $г/см^3$ ,  $H_{г.т.}$  — нормальная густота теста, водовяжущий фактор теста.

Если цемент и зола-унос имеют одинаковый выход теста, то соотношение между ними составит  $300/400 = 0,75$  части цемента и  $1 - 300/400 = 0,25$  части золы-уноса.

Возможен следующий вариант — нормальная густота цементного теста — 26%, золы-уноса — 65%, плотность соответственно 3,1 и 2,3  $г/см^3$ , следовательно, выход теста будет равен:

$$\text{из цемента } B_0 = 1/3,1 + 0,26 = 0,58;$$

$$\text{из добавки } B_1 = 1/2,3 + 0,65 = 1,05;$$

$$\text{Отсюда } K = 0,58/1,05 = 0,55.$$

Следовательно, содержание золы-уноса в смешанном вяжущем должно быть равно  $0,25 \cdot 0,55 \cdot 100 = 14\%$ , цемента — 86%.

Золу-унос, как правило, вводят в бетонную смесь в сухом состоянии, в виде водной или водно-цементной суспензии. Технологическая схема транспортирования, хранения и дозирования золы-уноса показана на рис. 6.1.

### 6.3. БЕТОНЫ МЕЛКОЗЕРНИСТЫЕ И С ДОБАВКОЙ ГРАНИТНОГО ОТСЕВА

Мелкозернистые бетоны, в которых отсутствует крупный заполнитель, имеют меньшую плотность 1800—2200  $кг/м^3$  при равной прочности на сжатие и растяжение (группа А), высокую однородность структуры, обеспечивающую увеличенную в сравнении с обычным бетоном адгезию стальных стержней периодического профиля. Применение мелкозернистых бетонов позволяет широко использовать механизированную укладку бетонной смеси и способствует повышению производительности труда проходчиков. Мелкозернистые бетоны следует использовать для крепильно-горизонтальных выработок, особенно тонкостенных конструкций в сочетании с высокой его прочностью. Основными составляющими мелкозернистых бетонов являются цемент, песок или пески, вода и химические добавки, которые должны отвечать требованиям нормативно-технических документов.

Применение мелкозернистых бетонов из-за отсутствия крупного заполнителя целесообразно для районов, где ощущается нехватка в естественных каменных материалах. Модули крупности применяемых песков принимаются равными 2,8—3,2; возможно применение песков разного гранулометрического состава, например с модулями крупности 3,2 и 1,1, при этом их содержание в смеси заполнителя должно быть соответственно 60—70%. Зерновой состав заполнителя должен соответствовать кривой просеивания, приведенной в ГОСТ 10268—80. Изверженные и метаморфические горные породы, используемые для производства дробленых песков, должны иметь прочность на сжатие не менее 60 МПа.

С целью уменьшения расхода цемента в состав бетонной смеси должны вводиться пластифицирующие добавки. При необходимости ускорения твердения бетона в состав смеси следует вводить хлорид кальция в количестве 2—3% массы цемента.

Ориентировочные составы бетонов при подвижности смеси крупнозернистых и мелкозернистых песков 10—12 см приведены в табл. 6.3.

Таблица 6.3

Расход крупно- и мелкозернистых песков для приготовления бетона

Марка бетона	Соотношение составляющих цемент: мелкий заполнитель	В/Ц	Расход материалов на 1 м <sup>3</sup> бетона, кг			
			Сульфатостойкий портландцемент М400	Песок		Вода
				крупнозернистый (M <sub>c</sub> =3,2)	мелкозернистый (M <sub>c</sub> =1,1)	
150	1:3,9	0,60	390	960	410	235
200	1:3,0	0,54	430	930	400	230

Для улучшения качества обычного бетона природные мелкие пески могут быть заменены отсевами, полученными от дробления гранитного щебня. Ориентировочные составы таких бетонов приведены в табл. 6.4.

Таблица 6.4

Составы бетона при использовании гранитного отсева

Подвижность смеси, см	Марка бетона	Вид и марка цемента	Расход материалов на 1 м <sup>3</sup> бетона, кг			
			Цемент	Отсев от дробления щебня	Щебень	Вода
10—12	150	Шлакопортландцемент М300	380	870	870	225
10—12	200	Сульфатостойкий портландцемент М400	370	880	880	196
10—12	300	Портландцемент М500	330	900	900	230
15—17	300	Сульфатостойкий портландцемент М400	450	870	870	208
15—17	300	Сульфатостойкий портландцемент М400	380	910	910	200

Соответствие показателей бетонов, приведенных в табл. 6.3 и 6.4, требованиям проекта необходимо проверить контрольными замесами.

Технология приготовления, транспортирования и укладки бетонных смесей описана в разд. 5.

#### 6.4. БЕТОНЫ И АКТИВИРОВАННЫЕ РАСТВОРЫ

для возведения крепи стволов и сопряжений, проходимых способом замораживания и в условиях вечной мерзлоты

Бетоны и активированные растворы предназначены для возведения крепи стволов и их сопряжений с околоствольными работками. Для ускорения твердения при отрицательных температурах и снижения температуры замерзания в состав бетонных и растворных смесей следует вводить одну из следующих композиций химических добавок:

при температуре пород не ниже  $-5^{\circ}\text{C}$ :  $\text{CaCl}_2$  (хлорид кальция),  $\text{Ca}(\text{NO}_3)_2$  (нитрат кальция),  $\text{CaCl}_2 + \text{Na}_2\text{NO}_2$  (хлорид кальция + нитрит натрия);

при температуре пород до  $-15^{\circ}\text{C}$ :  $\text{CaCl}_2 + \text{NaCl}$  (хлорид кальция + хлорид натрия),  $\text{CaCl}_2 + \text{NaNO}_2$  (хлорид кальция + нитрит натрия).

Одновременно с указанными добавками в бетоны, укладываемые в затюбинговое пространство в инвентарную опалубку, рекомендуется вводить сульфатно-дрожжевую бражку (СДБ) для уменьшения расхода цемента. Не допускается введение добавки  $\text{CaCl}_2 + \text{NaCl}$  и добавки  $\text{CaCl}_2$  в количестве более 2% массы цемента в бетоны, предназначенные для укладки в армированные участки крепи или на участках, имеющих закладные металлические части, а также в бетоны, укладываемые в затюбинговое пространство.

С целью ускорения твердения раствора, повышения его прочности, водонепроницаемости и коррозионной стойкости, кроме введения химических добавок, рекомендуется осуществлять механическую активацию растворных смесей в специальных смесителях (активаторах) циклического действия или в смесителях бадьевого типа конструкции ВНИИОМШСа.

Смеситель циклического действия представляет собой двухвальную машину с автономными электроприводами (рис. 6.2). Каждый из валов смесителя несет на себе стержневой ротор в виде «беличьего колеса», вращающийся внутри спирального цилиндрического отражателя так, что между периферией ротора и отражателем образуется постепенно сужающаяся щель. Для обеспечения рабочего зазора в щели (3 мм для обработки цементного раствора и 5 мм для цементно-песчаного) положение отражателя можно регулировать.

Роторы вращаются навстречу друг другу, обеспечивая интенсивное перемешивание растворной смеси и ее активацию.

Характеристика смесителя циклического действия

Производительность,  $\text{м}^3/\text{ч}$  . . . . .

Объем готового замеса, л . . . . .

Число циклов в час . . . . .

Основные размеры, мм:

длина . . . . .

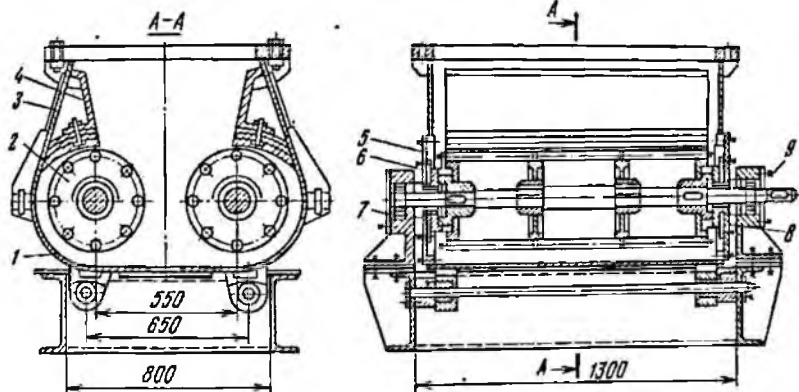


Рис. 6.2. Смеситель-активатор растворных смесей циклического действия конструкции ВНИИОМШСа:

1 — нижний корпус; 2 — ротор; 3 — верхний корпус; 4 — клин; 5 — диафрагма; 6 — корпус сальника; 7 — роликовый подшипник; 8 — уплотнение; 9 — пружина

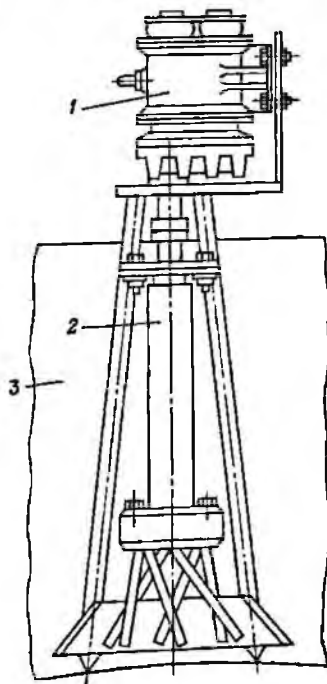


Рис. 6.3. Смеситель-активатор растворной смеси бадьевого типа конструкции ВНИИОМШСа:

1 — двигатель; 2 — рабочий орган; 3 — емкость

ширина	.....	1200
высота	.....	1320
Масса, кг	.....	3330

Смеситель бадьевого типа представляет собой емкость, в которой помещен рабочий перемешивающий орган, выполненный в виде диска с закрепленными на его периферии под острым углом к продольной оси рабочего перемешивающего органа стержнями (рис. 6.3).

Внутри емкости соосно рабочему перемешивающему органу



смонтирован на подвесках, прикрепленных к раме, спиральный конический кожух, охватывающий стержни с постепенным уменьшением расстояния между последними и внутренней стороной кожуха.

Привод закреплен на раме, а его вал соединен с валом перемещивающего органа с помощью муфты. При вращении рабочего перемещивающего органа стержни образуют с внутренней поверхностью спирального конического кожуха постепенно сужающуюся шель, регулируемую в месте выхода до заданной величинны.

Емкость имеет выпускной патрубок с запорным приспособлением.

Характеристика смесителя бальневого типа

Производительность, м <sup>3</sup> /ч	8
Вместимость бады, м <sup>3</sup>	2
Основной размер, мм:	
диаметр	1400
высота	2150
масса, кг	1195

Загрузку материалов в смесители-активаторы производят в следующем порядке: вначале подают часть воды или водного раствора добавок (до получения смеси с  $V/\Pi = 0,33 \div 0,36$ ) и жают песок и оставшее количество воды, водного раствора добавок. Общая производительность активации 2 мин.

Бетоны и растворы с добавками должны подготовиться при ладании агрессивных шахтных вод на сульфатостойком портландцементе, при отсутствии агрессивных вод — на поргланце-кера и имеюшем нормальном из низко- или среднеалюминатного клин-26%. Марка цемента должна быть не менее 400.

Активность цемента должна превышать требуемую марку бетона или раствора не менее чем в 1,25 раза, что позволяет получить составы с умеренным расходом цемента.

Для приготовления бетонной смеси при подаче ее на глубину ствола до 300 м следует применять щебень (гравий) с максимальной крупностью зерен до 40 мм, свыше 300 м — до 20 мм.

Для приготовления бетонной смеси из щебня (гравия) с крупностью зерен до 40 мм следует применять две фракции заполнителя: крупного и мелкого. Оптимальное соотношение указанных составов бетона. Состав бетона устанавливается при подборе 30м, чтобы подвижность бетонной смеси перед спуском ее в ствол составляла 10—13 см при уплотнении вибратором и 15—17 см, когда смесь растекается по периметру опалубки вибратором и 15—17 см, при уплотнении вибратором и 15—17 см.

Для достижения показателя бетона, приведенных в табл. 65, необходимо выполнение следующих требований. В состав бетонной смеси вводят одну из добавок или композицию добавок.

Таблица 65

Ориентировочные составы бетонов для крепления стволов в замороженных породах

Подвижность бетонной смеси, см	Время достижения бетоном в конструкции расчетной прочности (0,8 МПа), ч	Прочность бетона на сжатие в конструкции при сроке схватывания 3 сут, МПа	Марка бетона по прочности на сжатие		Марка бетона по водонепроницаемости	В/Ц	Расход материала на 1 м <sup>3</sup> бетона, кг				Количество добавок в расчете на сухое вещество, % по массе цемента		
			стандартных условий	конструктивн			Портландцемент	Песок	Щебень	Вода	Ca(NO <sub>3</sub> ) <sub>2</sub>	CaCl <sub>2</sub>	CaCl <sub>2</sub> + NaNO <sub>2</sub>
10—12	2,0	18,0	400	500	W20	0,38	580	520	1080	220	3	2,5	1,5+1,5
	4,0	17,5	400	400	W12	0,40	534	540	1120	203	3	2,5	1,5+1,0
							550	620	1000	220			
	5,0	15,0	350	350	W8	0,44	500	640	1060	200	3	2,5	1,5+1
							485	645	1035	216			
	6,0	12,5	350	300	W6	0,48	446	670	1085	200	2,5	2	1,5+1
							450	660	1055	216			
	6,5	11,5	350	300	W6	0,50	414	685	1080	200	2,5	2	1,5+1
							430	670	1075	216			
	7	10,5	300	250	W6	0,52	396	685	1120	200	2,5	2	1,5+1
							415	680	1080	216			
	7,5	10,0	250	200	W4	0,54	382	705	1115	200	2	1,5	1+1
400							685	1090	216				
8	8,5	200	150	W4	0,57	368	710	1120	200	2	1,5	1+1	
						370	700	1120	210				
4	16,0	400	400	W8	0,40	340	730	1135	195	3	2,5	1,5+1,5	
						580	650	930	232				
5	13,5	350	350	W6	0,44	534	680	975	214	3	2,5	1,5+1,5	
						520	675	965	230				
6	11,0	350	300	W4	0,48	478	705	1010	212	2,5	2	1,5+1,5	
						480	700	970	230				
						442	730	1020	212				

Подвижность бетонной смеси, см	Время достижения бетоном в конструкции распалубочной прочности (0,8 МПа), ч	Прочность бетона на сжатие в конструкции при сроке схватывания 3 сут, МПа	Марка бетона по прочности на сжатие		Марка бетона по водонепроницаемости	В/Ц	Расход материала на 1 м³ бетона, кг				Количество добавок в расчете на сухое вещество, % по массе цемента		
			в стандартных условиях	в конструкции			Портландцемент	Песок	Щебень	Вода	Ca(NO <sub>3</sub> ) <sub>2</sub>	CaCl <sub>2</sub>	CaCl <sub>2</sub> +NaNO <sub>3</sub>
15—17	6,5	10,0	350	300	W4	0,50	$\frac{460}{423}$	$\frac{700}{730}$	$\frac{1000}{1035}$	$\frac{230}{212}$	2,5	2	1,5+1,5
	7	9,0	300	250	W4	0,52	$\frac{445}{409}$	$\frac{705}{734}$	$\frac{1000}{1040}$	$\frac{230}{212}$	2,5	2	1,5+1,5
	7,5	8,5	250	200	W2	0,54	$\frac{430}{396}$	$\frac{715}{745}$	$\frac{1025}{1050}$	$\frac{230}{215}$	2,0	1,5	1,5+1,5
	8	7,0	200	150	W2	0,57	$\frac{400}{368}$	$\frac{725}{755}$	$\frac{1040}{1070}$	$\frac{228}{210}$	2,0	1,5	1+1

## Температура породных стенок от -10 до -15°С

15—17	6	14,0	400	350	W8	0,40	$\frac{580}{534}$	$\frac{650}{680}$	$\frac{930}{975}$	$\frac{232}{214}$	—	—	3+0
	7	12,0	350	300	W6	0,42	$\frac{545}{502}$	$\frac{660}{680}$	$\frac{970}{1000}$	$\frac{230}{212}$	—	—	3+0
	8	11,5	350	300	W4	0,44	$\frac{520}{478}$	$\frac{675}{705}$	$\frac{965}{1010}$	$\frac{230}{212}$	—	—	3+0

10—12	10	9,5	350	250	W4	0,48	$\frac{480}{442}$	$\frac{700}{730}$	$\frac{970}{1020}$	$\frac{230}{212}$	—	—	3+0
	11	8,5	350	250	W4	0,50	$\frac{460}{423}$	$\frac{700}{730}$	$\frac{1000}{1035}$	$\frac{230}{212}$	—	—	3,5+0
	12	7,5	300	200	W4	0,52	$\frac{445}{409}$	$\frac{705}{734}$	$\frac{1000}{1040}$	$\frac{230}{212}$	—	—	3,5+0
	13	6,5	250	150	W2	0,54	$\frac{430}{396}$	$\frac{715}{745}$	$\frac{1000}{1050}$	$\frac{230}{212}$	—	—	3,5+0
	6	15,0	400	350	W12	0,40	$\frac{550}{500}$	$\frac{620}{640}$	$\frac{1000}{1060}$	$\frac{220}{203}$	—	—	3+0
	7	13,5	350	300	W8	0,42	$\frac{510}{469}$	$\frac{630}{655}$	$\frac{1015}{1080}$	$\frac{218}{197}$	—	—	3+0
	8	12,5	350	300	W7	0,44	$\frac{485}{446}$	$\frac{645}{670}$	$\frac{1035}{1085}$	$\frac{216}{200}$	—	—	3+0
	10	10,5	350	250	W6	0,48	$\frac{450}{414}$	$\frac{660}{685}$	$\frac{1055}{1080}$	$\frac{216}{200}$	—	—	3+0
	11	9,5	350	250	W6	0,50	$\frac{430}{396}$	$\frac{670}{685}$	$\frac{1075}{1120}$	$\frac{216}{200}$	—	—	3,5+0
	12	8,5	300	200	W6	0,52	$\frac{415}{382}$	$\frac{680}{705}$	$\frac{1080}{1115}$	$\frac{216}{200}$	—	—	3,5+0
	13	7,5	250	150	W4	0,54	$\frac{400}{368}$	$\frac{685}{710}$	$\frac{1090}{1120}$	$\frac{216}{200}$	—	—	3,5+0

Примечание. В числителе приведен расход материала для бетона без добавки СДБ, в знаменателе — с добавкой 0,15% массы цемента.

приведенных в табл. 6.5. Состав бетона с добавкой СДБ следует применять при отсутствии требований к распалубочной прочности бетона. Марка бетона по водонепроницаемости дана при сроке схватывания 28 сут. Для состава бетона с маркой по водонепроницаемости 12 и 8 песок должен быть промытым и иметь модуль крупности не менее 2,5. Содержание глинистых и пылевидных фракций в песке не должно превышать 1%, в щебне — 0,5%.

При температуре породных стенок от  $-10$  до  $-15^{\circ}\text{C}$  можно применять вместо композиционной добавки  $\text{CaCl}_2 + \text{NaNO}_2$  добавку  $\text{CaCl}_2 + \text{NaCl}$  в таком же количестве.

При введении в состав бетона добавки СДБ 0,15—0,25% массы портландцемента и 0,1—0,2% массы сульфатостойкого портландцемента расход цемента может быть снижен до 7—8%.

Соответствие показателей бетонов, приведенных в табл. 6.5, требованиям проекта необходимо проверить контрольными замесами.

Состав активированного раствора, укладываемого в затюбинговое пространство, следует назначать по табл. 6.6 в зависимости от температурных условий твердения и требований, предъявляемых к раствору по прочности и водонепроницаемости. Подвижность растворной смеси перед укладкой в затюбинговое пространство должна составлять 12—14 см расплыва по конусу АЗНИИ. Соответствие показателей растворов, приведенных в табл. 6.6, требованиям проекта необходимо проверить контрольными замесами на имеющихся материалах.

Таблица 6.6

Составы растворов для заполнения затюбингового пространства

Температура в стволе, $^{\circ}\text{C}$		Марка раствора по прочности на сжатие		В, л	Расход материала на $1 \text{ м}^3$ раствора, кг			Количество добавок в расчете на сухое вещество, % по массе цемента		
от	до	В стандартных условиях	В конструкции		Цемент	Песок	Вода	$\text{Ca}(\text{NO}_3)_2$	$\text{CaCl}_2$	$\text{CaCl}_2 + \text{NaNO}_2$
+20	+5	250	250	0,50	840	840	420	2	1,5	—
+4	-5	250	250	0,50	840	840	420	3	2	—
-6	-15	300	250	0,43	1090	545	470	—	—	3+3

Увеличение расхода цемента по сравнению с приведенными в табл. 6.6 в случае несоответствия показателей назначенного состава раствора требованиям проекта (заниженная прочность и водонепроницаемость) допускается при применении песков с модулем крупности 1,5—1,8 на 5%, а с модулем крупности менее 1,5 — на 10%.

С целью избежания увеличения расхода цемента рекомендуется в состав смеси вводить СДБ в количестве 0,1—0,25% массы цемента.

Активированные растворы следует применять для заполнения затюбингового пространства при навеске тюбингов сверху вниз.

Активированные растворы характеризуются ускоренными сроками схватывания и повышенной плотностью, долговечностью.

Приготавливать активированные растворы следует в специальных смесителях (активаторах) бадьевого типа или циклического действия конструкции ВНИИОМШСа.

Транспортировать цементно-песчаные растворы следует по трубопроводу диаметром не менее 50 мм. Допускается использование трубопроводов внутренним диаметром 150 мм, предназначенных для подачи бетонной смеси. Заполнять тубинговое пространство цементно-песчаным раствором можно двумя способами: снизу вверх и сверху вниз.

При первом способе следует заполнять затубинговое пространство через штуцеры, устанавливаемые в отверстия тубингов.

Переключать подающие растворную смесь шланги следует вверх по спирали к диаметрально противоположным отверстиям тубинговой колонны. Высота заполнения тубингового пространства раствором до переключения шлангов должна составлять 3—5 м. При использовании для подачи растворной смеси бетонопроводов внутренним диаметром 150 мм необходимы дополнительные приспособления — резиновые шланги и штуцеры. Движение смеси может осуществляться вследствие гидростатического давления, а также при помощи растворонасосов. При втором способе подавать растворную смесь допускается гибким шлангом, опущенным непосредственно в затубинговое пространство. Нижний обрез шланга не должен доходить до поверхности укладываемой растворной смеси на высоту 20—30 см. Перемещать шланг по периметру тубинговой колонны следует равномерно. В районе пикетажного шва рекомендуется заполнять затубинговое пространство растворной смесью по первому способу. Заполнять затубинговое пространство смесью следует непрерывно на всю высоту заходки.

#### 6.5. БЕТОНЫ С ПОВЫШЕННОЙ ВОДОНЕПРОНИЦАЕМОСТЬЮ

Получение бетонов с повышенными требованиями по водонепроницаемости основывается на нормировании предельного значения В/Ц (табл. 6.7), расхода цемента (табл. 6.8) и применении оптимального количества добавок.

Повышение водонепроницаемости бетона на число марок при введении оптимального количества добавок приведено в табл. 6.9.

Таблица 6.7

#### ПРЕДЕЛЬНЫЕ ЗНАЧЕНИЯ В/Ц

Плотность	Марка бетона по водонепроницаемости				
	W2	W4	W6	W8	W12
Нормальная	0,7	0,6	—	—	—
Повышенная	—	—	0,55	—	—
Особо плотная	—	—	—	0,45	0,4

Расход цемента (кг/м<sup>3</sup>)

Марка бетона по водонепроницаемости	Осадка конуса, см		Жесткость, с	
	4-6	1-3	10-20	25-40
W2	275	260	250	250
	300	275	250	250
	375	350	325	300
W4	350	325	300	275
	480	450	425	400
	400	375	350	325

Примечания 1. В числителе приведен расход портландцемента, в знаменателе — пуццолана того портландцемента. 2. Расход цемента указан независимо от его марки и условий твердения бетона. 3. Жесткость определялась по техническому вискозиметру без внутреннего кольца.

Таблица 6.9

## Повышение водонепроницаемости бетона при введении различных добавок

Крупный заполнитель	Цемент	В/Ц	СДБ, УПБ; ВПР-1, СБД + (СН, НН); ТИФ, ХК, НК; ННХК); *; УПБ + СН; СНВ, СПД, ЦНИПС-1; СДО; С, ОП; ГКЖ-94; ПГЭН, (СНВ; СПД) + (СН, НК; ННХК); (СНВ; СПД) + (НН; ННХК); (ГКЖ-94, ПГЭН) + НК	ДЭГ-1; ТЭГ-1, С-89; НК; (НК; СА, ХЖ; НЖ; СЖ) + СДБ	ВЛХ, ПАШ-1, ГКЖ-10; ГКЖ-11, НЧК; КЧНР; ПАШ-1 + (ТНФ, НК); (ГКЖ-10; ГКЖ-11) + НК; (НЧК; КЧНР) + СН; СДБ + (СНВ, СПД); ВПР-1 + С; СДВ + (ГКЖ-94, ПГЭН); ПАШ-1 + (СНВ, СПД, С, ОП), СДБ + (СНВ; СПД) + (СН, НК, ННХК), СДБ + (НЧК; КЧНР) + СН; СДБ + (ГКЖ-94, ПГЭН) + СН
Керамзит	Портландцемент	0,5 и менее	1	3	2
То же	Шлако- или пуццолановый портландцемент	Более 0,5	1	2	1
		Более 0,5	1	1	1
Щебень, гравий	Портландцемент	0,5 и менее	1	2	2
		Более 0,5	1	1	1
То же	Шлако- или пуццолановый портландцемент	0,5 и менее	1	2	1
		Более 0,5	1	1	1

\* Применяется один из компонентов, указанных в скобках.

Необходимо отметить, что, рассматривая вопросы повышения водонепроницаемости цементных бетонов, в первую очередь следует учитывать технологический фактор. Известно, что прочность бетона зависит от прочности цемента (камня) и отношения абсолютного объема цемента к сумме абсолютных объемов цемента, воды и воздушных пор, т. е. от плотности цементного теста в свежееотформованном бетоне. Расход цемента тем мень-

ше, чем меньше объем межзерновых пространств заполнителя в свежеотформованном бетоне. С повышением плотности цементного камня в бетоне помимо повышения прочности увеличиваются также морозостойкость, долговечность и водонепроницаемость бетона и уменьшаются усадка и ползучесть. Оптимальным является использование заполнителей такого качества, чтобы их прочность, деформируемость и плотность были близки к аналогичным свойствам цементного камня в бетоне заданной марки.

Кроме того, все мероприятия, направленные на повышение плотности бетона (активация, внесение добавок и т. д.), способствуют и повышению его водонепроницаемости.

Из последних материалов, улучшающих водонепроницаемость цементных бетонов, можно отметить суперпластификатор «Аплассан», разработанный трестом «Оргтехстрой» Главприволжскстроя. Он представляет собой продукт переработки сульфатосодержащих отходов акрилатных производств и предназначен для пластификации бетонной смеси и улучшения их эксплуатационных характеристик при производстве бетона. Применение 4—5 кг «Аплассана» на 1 м<sup>3</sup> бетона обеспечивает нераслаиваемость бетонной смеси, позволяет в 1,5—2 раза сократить продолжительность вибрации или исключить ее полностью. При этом увеличивается подвижность смеси в 5—6 раз без снижения прочности бетона, увеличивается водонепроницаемость на 2—3 марки, прочность на 1—2 марки и морозостойкость в 1,4 раза. Расход цемента снижается на 10—20%.

#### 6.6. БЕТОНЫ ВЫСОКОПРОЧНЫЕ М600—М800 ДЛЯ ЭЛЕМЕНТОВ СБОРНОЙ КРЕПИ

Высокопрочные бетоны М600—М800 предназначены для изготовления элементов крепи арочного и кольцевого очертания, применяемых в капитальных горизонтальных горных выработках глубоких шахт, проводимых в сложных горно-геологических условиях вне зоны влияния очистных работ. Высокопрочные бетоны отвечают требованиям эксплуатации сборных видов крепи с большой несущей способностью (блочных бетонных, тюбинговых, блочных и панельных железобетонных). Применение высокопрочных бетонов позволит облегчить элементы крепи на 20—35% и снизить стоимость крепления на 10—25%. Это относится в первую очередь к многошарнирным крепям. Для приготовления бетона М600 следует применять портландцемент М500—М600, бетона М800 — портландцемент марок 400—500 марки цемента М700 следует применять портландцемент марок 500—550 марки цемента М700 следует применять портландцемент марок 400—500 марки цемента М700 следует применять портландцемент марок 500—550 см<sup>2</sup>/г.

В качестве мелкого заполнителя используются пески, отвечающие требованиям, приведенным в разд. 3, а также крупнозернистые или среднезернистые пески, кривая просеивания которых находится в пределах области, рекомендуемой ГОСТ 10268—80.

В качестве крупного заполнителя следует применять щебень, отвечающий требованиям, приведенным в разд. 3. Прочность щебня при сжатии должна быть выше прочности бетона не менее чем в 1,5 раза.

Щебень должен быть чистым и фракционированным. Необходимо применять следующие соотношения фракций щебня (по массе):

при максимальной крупности зерен 20 мм: 35% (5—10 мм) и 65% (10—20 мм);

при максимальной крупности щебня 40 мм: 44% (5—20 мм) и 56% (20—40 мм) или 19% (5—10 мм), 25% (10—20 мм) и 56% (20—40 мм).

Вода для приготовления бетона должна отвечать требованиям, приведенным в разд. 3. В состав бетонной смеси следует вводить сульфитно-спиртовую барду или сульфитно-дрожжевую бражку в количестве 0,25% массы цемента. Ориентировочные составы высокопрочных бетонов приведены в табл. 6.10.

Таблица 6.10

Расход материалов для приготовления 1 м<sup>3</sup> бетона, кг

Марка бетона	Жесткость смеси, с	Цемент	Песок	Щебень	Вода
600	60—80	585	350	1310	152
800	60—80	580	345	1300	175

Приведенные в табл. 6.10 составы бетонов подлежат в обязательном порядке корректировке с применением местных материалов.

Приготовление жесткой бетонной смеси для получения высокопрочных бетонов следует производить в бетоносмесителях принудительного действия. Подачу отдозированных материалов в бетоносмеситель следует производить в следующей последовательности: вначале подают 15—20% воды, требуемой на замес, затем загружают одновременно цемент и заполнители, продолжая заливать воду до заданного В/Ц. С водой затворения подается раствор сульфитно-дрожжевой бражки. Общая продолжительность перемешивания должна составить 5 мин.

Процесс формирования железобетонных элементов крeпи состоит из следующих операций: сборка и смазка форм; установка и фиксирование в требуемом положении арматуры в формах; укладка и уплотнение бетонной смеси в формах; распалубка готовых элементов крeпи после тепловой обработки; очистка форм для следующего цикла формирования.

Уплотнение загруженной в формы бетонной смеси производится на виброплощадке с применением пригруза (желательно пневмопригруза). Для бетонной смеси жесткостью 60—80 с оптимальная величина давления пригруза должна быть  $(6 \div \div 8,5) 10^{-3}$  МПа. Пригруз не должен снижать величину амплитуды вынужденных колебаний виброплощадки.

Оптимальный режим работы виброплощадки для уплотнения бетонной смеси жесткостью 60—80 с рекомендуется следующий: амплитуда колебаний — 0,6—0,7 мм; частота колебаний — 50 с<sup>-1</sup>; средняя продолжительность вибрирования — 2 мин.

Укладка бетонной смеси в формы производится при помощи бетоноукладчиков, которые в процессе подачи производят ее разравнивание.

Отформованные элементы крепи перед термовлажностной обработкой выдерживаются при температуре 20° С в течение 4 ч. Термовлажностную обработку следует производить по следующему режиму: подъем температуры — 2 ч, изотермический прогрев при температуре 80° С — 6 ч, охлаждение — 2 ч. Изотермический прогрев необходимо осуществлять при относительной влажности среды 97—100%.

#### 6.7. БЕТОНЫ С ДОБАВКАМИ СУПЕРПЛАСТИФИКАТОРОВ И МОДИФИЦИРОВАННЫХ ЛИГНОСУЛЬФОНАТОВ

К суперпластификаторам относятся химические вещества, введение которых в бетонную смесь вызывает резкое повышение ее подвижности без увеличения водосодержания или повышение прочности бетона при снижении водоцементного отношения до заданных величин.

Суперпластификаторы следует применять:

для снижения содержания воды (на 20—30%) в бетонной смеси с целью получения высокопрочных бетонов марок 600—800 на цементах марок 400—500, бетонов повышенной плотности (с W4 для контрольного состава до W12 с суперпластификатором) и коррозионной стойкости;

для разжижения бетонные смесей до высокоподвижной и литой консистенции (осадка конуса от 2 до 20 см) и их применения при бетонировании монолитных бетонных и железобетонных конструкций или густоармированных конструкций сложной конфигурации с частичным или полным отказом от виброуплотнения;

для повышения прочности бетона за счет частичного снижения водопотребляемости бетонной смеси при сохранении ее повышенной подвижности (осадка конуса 10—12 см), что позволяет сокращать время вибрации в 4—5 раз и одновременно повышать прочность бетона или снижать расход цемента. Использование суперпластификаторов только для экономии цемента должно допускаться лишь после обоснования технико-экономическими расчетами.

Основные отечественные суперпластификаторы приведены ниже.

Сульфированные меламинформальдегидные смолы

10-03, НИЛ-10, ВС (МФАС-Р-100П), АПС



Продукты конденсации нафталниносulьфокисло- ты и формальдегида . . . . .	С-3, 30—0,3, С-4 («Дофен»)
Модифицированные лигносульфонаты . . . . .	НИЛ-20, НИЛ-21, ТП-1, ТП-2 ХДСК-1, ЛСГМ-2
Продукты конденсации оксикарбоновых кис- лот . . . . .	ПОЭ

Модифицированные лигносульфонаты относятся к сильно-пластифицирующим добавкам, увеличивающим осадку конуса при оптимальной дозировке до 14—19 см. Модифицированные лигносульфонаты по пластифицирующему эффекту приближаются к сильнейшим разжижителям — суперпластификаторам.

Не допускается применение суперпластификаторов в бетонных смесях на заводских пластифицированных цементах. Эффективность применения суперпластификаторов на цементе конкретного завода должна быть проверена экспериментально. Как правило, эффективность повышается с уменьшением содержания трехкальцевого алюмината  $C_3A$  в клинкере цемента. При подборе состава бетона с добавкой суперпластификатора за основу следует принимать состав бетона, подобранный на конкретных материалах без добавки и удовлетворяющий требованиям проекта по подвижности смеси и маркам бетона по прочности и водонепроницаемости. Корректировка должна заключаться в регулировании количества воды для получения заданной подвижности, увеличении доли песка в смеси заполнителей при применении смесей, в возможном сокращении расхода цемента, если прочность в требуемом возрасте окажется завышенной. Суперпластификаторы следует вводить в бетонные смеси в количествах от 0,2 до 1,2%. Вводить суперпластификатор в бетонную смесь необходимо в виде водного раствора. Концентрация рабочего раствора должна устанавливаться с учетом максимального объема имеющихся дозаторов с тем, чтобы достигалась подача количества добавки на замес в одной дозе раствора.

Технология приготовления суперпластификаторов такая же, как и для других химических добавок. Хранение, приготовление и подача суперпластификаторов должны осуществляться по схемам, показанным на рис. 6.4 и 5.2.

На продолжительность сохранения подвижности бетонной смеси во времени, а также на темпы набора прочности бетона в раннем возрасте существенно влияет порядок введения суперпластификатора. Суперпластификатор следует вводить в предварительно перемешанную (достаточно 2 мин) бетонную смесь порционно в процессе перемешивания, если продолжительность транспортирования не превышает 20 мин. При большом времени транспортирования суперпластификатор необходимо вводить в автобетоносмеситель перед спуском бетонной смеси в ствол. После введения суперпластификатора смеситель должен работать 2—3 мин.

Величина снижения подвижности бетонной смеси во времени на примере суперпластификатора С-3 приведена в табл. 6.11.

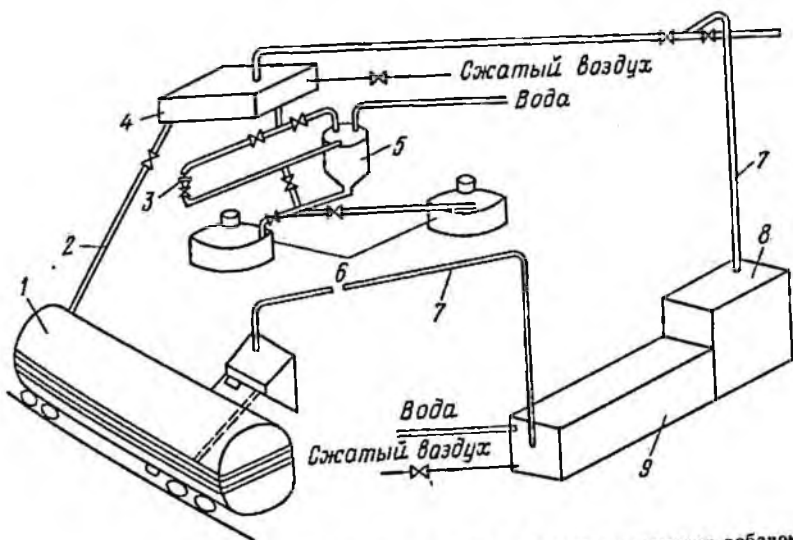


Рис. 6.4. Технологическая схема хранения и подачи жидких химических добавок: 1 — емкость для хранения добавок; 2 — обратная линия; 3 — дозатор добавки; 4 — расходные емкости; 5 — дозатор воды; 6 — бетономеситель; 7 — трубопровод подачи добавок; 8 — насосная станция; 9 — приготовительная емкость

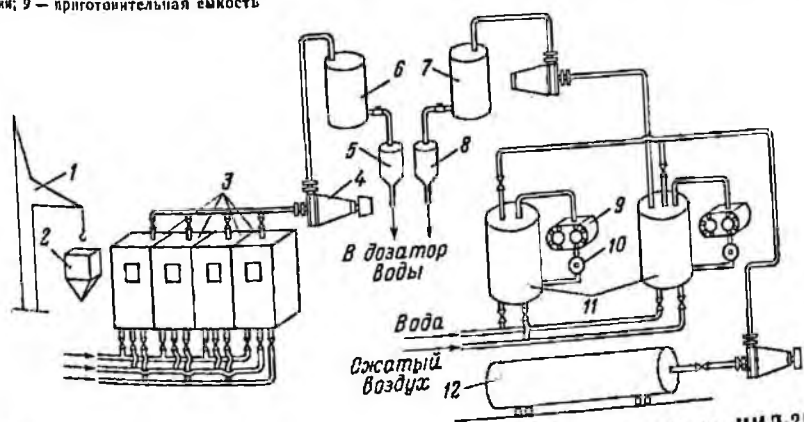


Рис. 6.5. Технологическая схема приготовления и применения добавки НИЛ-21 в комплексе с сульфатом натрия: 1 — тальфер; 2 — емкость для сульфата натрия; 3 — емкость для приготовления растворов сульфата натрия; 4 — центробежный насос; 5 — дозатор сульфата натрия; 6 — расходная емкость сульфата натрия; 7 — расходные емкости; 8 — дозатор добавки НИЛ-21; 9 — насос шестеренчатого типа; 10 — дозирующая воронка для введения модификатора; 11 — емкость для приготовления рабочих растворов и модификации СДБ; 12 — пререльсионный склад СДБ

Таблица 6.11

Подвижность бетонной смеси, см

Вид добавки	Количество добавки, %	Сразу после затворения	После затворения через			
			15 мин	45 мин	1 ч	1,5 ч
Без добавки	—	3	2	2,5	1,2	1,0
С-3	0,5	19	18	17	15	11

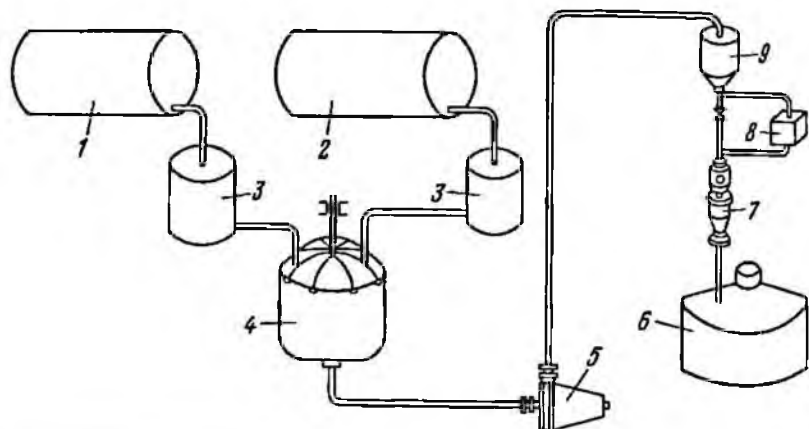


Рис. 6.6. Технологическая схема приготовления добавки ХДСК-1:  
 1 и 2 — склады добавок соответственно  $\text{NaOH}$  и СДБ; 3 — емкости для растворения компонентов,  
 4 — смеситель СМ-243Б, 5 — насос, 6 — бетоносмеситель С-302; 7 — дозатор воды АВДЖ 425/1200,  
 8 — растворный аппарат, 9 — расходная емкость

Централизованно изготавливаемые суперпластификаторы являются в настоящее время дефицитной добавкой, в связи с этим следует использовать для тех же целей модифицированные лигносульфонаты, которые в отличие от суперпластификаторов получают не только централизованно, но и непосредственно на месте применения.

Пластификатор ЛСТМ-2 производится централизованно на Соликамском целлюлозно-бумажном комбинате, поставляется в виде водного раствора 50%-ной концентрации в 50—60-тонных железнодорожных цистернах с нижним сливом. Добавка хорошо растворима в воде, нетоксична, взрыво- и пожаробезопасна. Вводить ЛСТМ-2 в бетонную смесь следует в количестве 0,15—0,20% от массы цемента.

На рис. 6.5 показана схема приготовления и применения добавки НИЛ-21 в комплексе с сульфатом натрия.

Предусмотрены два независимых пути подачи модифицированной добавки (НИЛ-21) и сульфата натрия вплоть до их введения в воду затворения.

Установка включает: склады исходных компонентов, емкости для приготовления растворов рабочей концентрации и модифицирования СДБ, расходные емкости, устанавливаемые на бетоносмесительной установке, дозаторы добавок, а также систему трубопроводов и подачу порошкообразного сульфата натрия. Процесс модифицирования СДБ сводится к получению однородной эмульсии путем взаимодействия с пропинолом. Он прост в осуществлении, проводится без нагрева, при атмосферном давлении.

Пластификатор НИЛ-21 следует вводить в бетонную смесь в количестве 0,6% а сульфата натрия — 1,0—1,5% массы цемента. При этом без увеличения расхода цемента повышается

подвижность бетонной смеси. Осадка конуса составляет 2—18 см.

Модифицированный лигносульфонат ХОДСК-1 получают путем перемешивания водного раствора СДБ с NaOH в соотношении 0,9:1,1.

Полученный стабильный пластификатор следует вводить в бетонную смесь в среднем в количестве 0,4% массы цемента. Технологическая схема приготовления водного раствора добавки ХДСК-1 показана на рис. 6.6.

## 7. ТЕХНОЛОГИЯ ЗАВОДСКОГО ИЗГОТОВЛЕНИЯ СБОРНОЙ ЖЕЛЕЗОБЕТОННОЙ И БЕТОННОЙ КРЕПИ

### 7.1. ТРЕБОВАНИЯ К ИСХОДНЫМ МАТЕРИАЛАМ

Элементы сборной железобетонной и бетонной крепи готовят промышленными методами в заводских условиях из тяжелого бетона.

Качество материалов, применяемых для приготовления бетона и его армирования, должно соответствовать требованиям стандартов, СНиП и обеспечивать параметры и характеристики крепи, предусмотренные проектом и техническими условиями.

В качестве вяжущих для бетонов применяются цементы, вид и марка которых определяются, исходя из назначения и условий применения крепи (см. разд. 3.1).

В качестве мелкого заполнителя может применяться как природный, так и искусственный песок, получаемый дроблением горных пород (см. подразд. 3.2.1).

Для изготовления элементов крепи в качестве крупного заполнителя в тяжелом бетоне используются естественные или искусственные материалы, поставляемые на завод фракционно или в виде смеси фракций (см. подразд. 3.2.2).

При приготовлении бетона для элементов сборной железобетонной и бетонной крепи следует правильно устанавливать наибольшую крупность щебня или гравия, необходимую для данного вида изделий исходя из способа их изготовления. Здесь следует учитывать, что наибольшая крупность заполнителя зависит от минимальных размеров изделий, а также от расстояний между стержнями арматуры. Применение заполнителя с крупностью, превышающей допустимую для конкретных изделий, особенно тонкостенных и густоармированных, может снизить плотность бетона и привести к образованию большого количества раковин.

Для сборных железобетонных и бетонных конструкций крепи максимальная крупность щебня принимается с учетом их размеров, характера армирования и методов изготовления.

Рекомендуемая максимальная крупность заполнителя (в мм) для различных изделий приведена ниже.

Рамные сборные железобетонные крепи, плиты-затяжки, лотки . . . . .	15
Тюбинговые, блочные сборные железобетонные крепи, шпалы . . . . .	20
Блочные бетонные крепи . . . . .	40

Эти данные рекомендуется проверять опытным путем.

Применение гравийно-песчаных смесей допускается лишь после их рассортировки на песок и щебень (гравий) с последующим смешиванием в заданном соотношении по результатам подбора состава бетона.

Складирование заполнителей должно быть организовано таким образом, чтобы обеспечивалось раздельное хранение материалов различных сортов и фракций и чтобы исключалось их засорение. Хранение заполнителей допускается в открытых отвалах на бетонных или асфальтобетонных площадках.

В зимнее время условия хранения заполнителей должны исключать возможность их смерзания и попадания кусков льда и снега. Для подогрева заполнителей в бункерах в зимнее время рекомендуется применять паровые регистры из усиленных стальных бесшовных горячекатаных труб, которые располагают над течками для выгрузки материала.

Мелкий (песок) и крупный (щебень и гравий) заполнители поставляют и принимают партиями. Организация-изготовитель должна гарантировать соответствие заполнителя требованиям стандарта и сопровождать каждую партию паспортом, в котором указываются: наименование завода (карьера)-изготовителя, его адрес, номер и дата выдачи паспорта, наименование и адрес потребителя, номер партии и количество заполнителя, фракция крупного заполнителя и классифицированного песка, группа песка по крупности, содержание в заполнителе глинистых, илистых и пылевидных частиц, прочность крупного заполнителя, содержание в нем слабых частиц, номер соответствующего стандарта. В паспорте также указываются номера накладных, номера вагонов, автотранспорта или судна.

Вода для затворения бетонной смеси должна обеспечивать гидратацию и смачивание поверхности твердых материалов в составе бетона. Вместе с тем содержащиеся в воде вещества неорганического и органического происхождения должны не только обеспечивать сохранность проектных свойств бетона во времени, но также исключать коррозионное воздействие на стальную арматуру. Рекомендации по применению воды для приготовления бетона приведены в подразд. 3.3.

## 7.2. ИЗГОТОВЛЕНИЕ АРМАТУРНЫХ КАРКАСОВ

Армирование элементов сборной железобетонной крепи производится арматурной сталью следующих видов и классов: рабочая ненапрягаемая арматура — горячекатаная круглая арматурная сталь периодического профиля классов А-II и А-III по ГОСТ 5781—82 и ГОСТ 10922—75;

конструктивная и распределительная арматура — горячекатаная круглая сталь гладкого профиля по ГОСТ 5781—82, проволока стальная холоднотянутая гладкая класса В-1 по ГОСТ 6727—80.

Поступающая на завод арматурная сталь должна сопровождаться сертификатами, а также бирками, прикрепленными к внешней стороне пучков, пакетов, мотков. В бирках указываются завод-изготовитель, марка стали, диаметр сечения арматуры, масса, номер партии и прочее.

При отсутствии бирок на арматуре необходимо проводить контрольные испытания арматуры. Сталь горячекатаную периодического профиля испытывают на растяжение по ГОСТ 12004—81 и изгиб по ГОСТ 14019—80.

Арматурную проволоку испытывают на растяжение по ГОСТ 10446—80 и изгиб по ГОСТ 1579—80.

Стальная арматура для сеток и сварных каркасов должна быть очищена от грязи, окалины, ржавчины, масла механическим путем — стальными щетками, скребками, протягиванием через вибропесочницы.

Элементы сборных железобетонных крепей армируют плоскими или пространственными каркасами. Пространственные каркасы собирают из отдельно изготовленных плоских каркасов. Для изделий, имеющих криволинейное очертание, сетки готовят плоскими, а затем изгибают в проектное положение.

Арматурные каркасы для сборной железобетонной крепи изготавливают на оборудовании, имеющемся на заводах сборного железобетона.

Правка и резка арматуры могут осуществляться на серийно выпускаемых станках, краткие сведения о которых приведены ниже.

**Станок С-370А** для резки арматурной стали класса А-1 с пределом прочности до 470 МПа. Состоит из станины, на которой монтируются все узлы станка, кулисного механизма и привода с электродвигателем.

Техническая характеристика станка С-370А		350
Усилие резания, кН, не более	.....	40
Диаметр разрезаемой арматуры, мм, не более	.....	33
Число резов в минуту	.....	.....
Основные размеры, мм:		1100
длина	.....	430
ширина	.....	790
высота	.....	435
Масса, кг	.....	.....
Изготовитель	Ленинградский завод строительных машин	.....

**Станок СМ-3002** для резки арматурной стали с пределом прочности до 600 МПа. Состоит из рамы, на которой смонтированы цилиндр, гидропровод, масляный бак, электрооборудование и педали управления. В рабочем цилиндре расположены поршень с держателем подвижного ножа и держатель неподвижного ножа, которые обеспечивают резку арматурной стали при минимальном рабочем ходе.

### Техническая характеристика станка СМ-3002

Максимальное усилие резания, кН	0,60
Число резов в минуту	10—15
Мощность электродвигателя, кВт	5,5
Основные размеры, мм:	
длина	1190
ширина	410
высота	845
Масса, кг	450
Изготовитель	Ленинградский завод строительных машин

**Станок СМЖ-142А** для правки и резки арматурной стали гладкого профиля. Основными узлами являются станина, правильный барабан, механизм подачи и резки, приемное устройство, счетчик и электрооборудование привода. Правильный барабан служит для правки арматурной стали. Арматурная сталь под действием тянущих роликов непрерывно движется через осевое отверстие барабана. При одновременном вращении правильного барабана и движении арматурной стали вперед происходит частый поочередный изгиб стали плашками в разных направлениях, в результате чего достигается правка прутка.

### Техническая характеристика станка СМЖ-142А

Скорость правки, м/мин	50
Длина отрезаемых прутков, мм	500—8000
Частота вращения правильного барабана, с <sup>-1</sup>	28,6
Электродвигатель привода редуктора:	
тип	АОГ-51-6112
мощность, кВт	5,5
частота вращения, с <sup>-1</sup>	16,6
Электродвигатель привода барабана:	
тип	АОГ-12-2112
мощность, кВт	7,5
частота вращения, с <sup>-1</sup>	50
Основные размеры, мм:	
длина	1765
ширина	750
высота	1050
Масса (без приемника), кг	1050
Изготовитель	Московский завод строительных машин

**Станок СМЖ-197** для резки мерных заготовок из конструкционной стали. Состоит из рамы, насосной станции, рабочего цилиндра, направляющего ролика, упорного устройства, гидроразводки, электрооборудования и механизма включения.

### Техническая характеристика станка СМЖ-197

Максимальное усилие на ножах, кН	2700
Максимальный диаметр (мм) разрезаемой стали с пределом прочности на растяжение, МПа:	
500	100
600	90
Число резов в минуту	4
Мощность электродвигателя, кВт	13
Основные размеры, мм:	
длина	1450
ширина	860
высота	1125

*Механизированные ножницы СМЖ-214* для резки арматурной стали диаметром до 100 мм. Комплект оборудования включает в себя насосную станцию и режущую головку, соединенные рукавом высокого давления. Насосная станция, электродвигатель с насосом, масляный бак, электро- и гидроаппаратура установлены на тележке, которая может передвигаться вручную. Ножницы в сборе представляют собой гидроцилиндр с укрепленной на нем режущей головкой. При нажатии курка рабочая жидкость поступает в гидроцилиндр, и происходит резка прутка.

**Техническая характеристика механизированных ножниц СМЖ-214**

Максимальное усилие на пожах, кН	50
Время одной резки, с	2
Мощность электродвигателя, кВт	2,2
Класс разрезаемой стали	A—III
Основные размеры, мм:	
длина	1400
ширина	525
высота	900
Масса, кг:	
общая	210
режущей головки	5,5
Изготовитель	Ленинградский завод строительных машин

Сварка арматуры в каркасы для изготовления элементов сборной железобетонной крепи выполняется, как правило, на машинах контактной сварки.

*Машина МТМ-33У4* для контактной сварки состоит из пневмосистемы, трансформатора, электродного узла, каретки с пневморазводом, пневматического привода сжатия, педали управления.

**Техническая характеристика машины МТМ-33У4**

Напряжение питающей сети, В	380
Сварочный ток, А	16 000
Мощность, кВт-А	100
Усилие сжатия электродов, кН	6,30
Диаметр свариваемых прутков, мм:	
продольных	3—18
поперечных	3—8
Основные размеры, мм:	
длина	1425
ширина	440
высота	1830
Масса, кг	750
Изготовитель	Ленинградский завод «Электрик»

*Машина МТ-4001* предназначена для контактной точечной сварки деталей из малоуглеродистой стали толщиной от 3,5 + 3,5 мм до 8 + 8 мм на жестком режиме и до 12 + 12 мм — на мягком. Пневматический привод машины обеспечивает плавное регулирование рабочего хода, усилия на электродах и дополнительный ход верхнего электрода. Включение и выключение сварочного трансформатора производят асинхронным контактором. Вторичное напряжение регулируется переключателем ступеней путем изменения числа витков первичной обмотки сварочного трансформатора. Управление машиной полностью автоматизировано.



### Техническая характеристика машины МТ-4001

Номинальный сварочный ток, А	40 000
Номинальная мощность, кВт·А	365
Вылет электродов, мм	500
Усилие сжатия электродов, кН	32
Производительность сварки, точек в минуту	40
Давление воздуха в сети, МПа	0,5
Расход свободного воздуха	8,5
Расход охлаждающей воды, л/ч	1425
Основные размеры, мм:	
длина	1620
ширина	640
высота	2230
Масса, кг	1210
Изготовитель	Ленинградский завод «Электрик»

*Переносные клещи К-201 и К-260* предназначены для точечной электросварки арматуры. Имеют встроенный сварочный трансформатор, диафрагменный привод с прямолинейным ходом электродов и подвесное устройство, которое позволяет производить сварку в различных пространственных условиях при вертикальном перемещении клещей. Применяя специальную сменную электродную часть, клещами можно сваривать арматуру в монтажных условиях.

### Техническая характеристика клещей

Тип клещей	К-201	К-260
Максимальный диаметр свариваемой арматуры, мм	20 + 8	20 + 8
Производительность сварки, точек в минуту	170	170
Напряжение питающей сети, В	380	380
Мощность трансформатора, кВт·А	25	25
Усилие на электродах, кН	2,20	2,20
Рабочий ход электродов, мм	20	20
Расход охлаждающей воды, л/мин	4—5	4—5
Основные размеры, мм:		
длина	620	540
ширина	315	300
высота	150	150
Масса, кг	21	20
Изготовитель	Каховский завод электросварочного оборудования	

*Машина МТП-1202* предназначена для контактной точечной сварки стержней арматуры объемных каркасов и состоит из подвески клещей, системы охлаждения, подвески трансформатора, кабеля электропитания, шланга воздухопровода к клещам, трансформатора.

### Техническая характеристика машины МТП-1202

Номинальный сварочный ток, А	12 500
Диаметр свариваемых стержней, мм	(3 + 3) — (16 + 16)
Максимальное усилие на электродах, кН	4,0
Вылет клещей, мм	40
Максимальный ход электродов, мм	38
Число ходов в минуту	80
Основные размеры, мм:	
длина	
ширина	1132
высота	870
Масса, кг	530
Изготовитель	Ленинградский завод «Электрик»

Для сварки плоских арматурных каркасов из горячекатаной и холоднотянутой проволоки используют многоэлектродные сварочные машины.

Машина МТМК-3×100 предназначена для сварки арматурных каркасов шириной до 775 мм из горячекатаной и холоднотянутой проволоки. Снабжена тремя гидравлическими приводами, обеспечивающими прямолинейный ход электродов и регулирование величины усилия сжатия электродов. В машине установлены три сварочных трансформатора, вторичные обмотки которых подключены к шести электродам.

#### Техническая характеристика машины МТМК-3×100

Номинальная мощность, кВ·А	250
Номинальный сварочный ток, В	12 500
Диаметр свариваемой проволоки, мм	(4+5)–(12+25)
Число продольных стержней	2–6
Шаг продольных стержней, мм	75–725
Шаг поперечных стержней	100–400
Усилие на электродах (для одной пары), кН	125
Производительность, м/мин.	3
Основные размеры, мм:	
длина	3500
ширина	1500
высота	2000
Масса, кг	2700
Изготовитель	Ленинградский завод «Электрик»

Изготовление каркасов до 1000 мм и более с диаметром рабочей арматуры 12–40 мм и диаметром распределительной арматуры 6–14 мм возможно также на автоматической сварочной контактной многоточечной машине МТМ-09.

### 7.3. УСТАНОВКА ЗАКЛАДНЫХ ДЕТАЛЕЙ

Закладные детали, устанавливаемые в элементах шахтной крепи, изготавливают из листовой, полосовой, прокатной стали, удовлетворяющей требованиям ГОСТ 380–88.

Все закладные детали по материалу, размерам и способу изготовления должны соответствовать проекту.

Заготовки для закладных деталей следует изготавливать механическим способом — методами штампования и резки. Поверхности заготовок должны быть очищены от окалины, ржавчины, шлака и т. п.

Закладные детали должны свариваться строго в соответствии с предварительно разработанной технологией, содержащей способ и режим сварки, порядок наложения швов, тип электродов. Технология сварки оформляется в виде технологических карт или инструкций.

Сборка закладных деталей перед сваркой должна производиться в специальных кондукторах (шаблонах).

Изготовление и сварку закладных деталей разрешается выполнять рабочим, имеющим допуск к этим работам. Сварочные работы выполняются под руководством лица технического надзора.

В случае образования при сварке остаточных деформаций, превышающих допустимые, производят правку закладных деталей механическим или термическим способом. Особое внимание следует обращать на устранение дефектов сварных швов.

Перед бетонированием закладные детали и монтажные петли должны устанавливаться в проектном положении в форму и надежно закрепляться во избежание смещений во время бетонирования. Закрепление закладных деталей производится приваркой к горячекатаным ненапрягаемым стержням арматурных каркасов и сеток с применением кондукторов (шаблонов) или инвентарными временными фиксаторами, которые удаляются сразу же после окончания вибрирования бетонной смеси.

В готовых элементах сборной железобетонной крепи смещение осей закладных деталей допускается в пределах не более 10 мм. Закладные детали не должны выступать за поверхность изделия более 3 мм. Оси монтажных петель для строповки не должны отклоняться от проектного положения более чем на 10 мм.

#### 7.4. ПОДГОТОВКА ФОРМ

Перед работой металлические формы должны быть очищены и осмотрены, не допускается применять формы с механическими повреждениями и другими дефектами, обуславливающими изготовление заведомо бракованных изделий.

Внутренняя поверхность форм перед укладкой арматурных каркасов и бетонной смеси должна быть смазана. Смазка должна обеспечивать свободное, без повреждения извлечение изделия полнотой заводской готовности из формы. Кроме этого основного требования: смазка для форм должна удовлетворять также следующим требованиям: не вызывать коррозии металла; хорошо удерживаться на вертикальных стенках форм; не стекать под воздействием вибрации или бетонной смеси; не создавать антисанитарных условий; быть недефицитной. Технология приготовления смазки и нанесения должна осуществляться с применением средств механизации и автоматизации.

Для смазки форм в основном применяется обратная эмульсионная смазка ОЭ-2, представляющая собой эмульсию, в которой внешней фазой является масло, а внутренней — вода или прямая эмульсия. Эмульгатором этой эмульсии являются кальциевые мыла, образующиеся при взаимодействии эмульсола кислого синтетического марки ЭКС и насыщенного раствора известня.

Смазку ОЭ-2 получают в серийно выпускаемой установке СМЖ-18А, в которой приготавливается известковый раствор и перемешивается с эмульсолом. Готовая смазка подается по трубам к месту использования.

При пониженном содержании известня в смазке повышается ее вязкость, что затрудняет ее перекачивание по трубопроводу и нанесение на формы. Для снижения вязкости смазку подогревают до 50—60° С или вводят в ее состав добавки — разжижители. Приме-

нение в качестве добавок солярового масла в количестве 5—10% объема эмульсии снижает вязкость смазки ОЭ-2, но при этом уменьшается адгезия смазки с металлом формы. Поэтому использование солярового масла в составе смазки ОЭ-2 возможно только при производстве изделий в формах с горизонтальными поверхностями. Формы для изготовления элементов шахтной крепи имеют вертикальные стенки, борта, поэтому наиболее целесообразно снижать вязкость ОЭ-2 нагреванием.

Смазку наносят на очищенные поверхности форм из расчета 0,2—0,4 кг/м<sup>2</sup>.

## 7.5. ПРИГОТОВЛЕНИЕ БЕТОННОЙ СМЕСИ

Бетонные и железобетонные элементы шахтной крепи готовят из тяжелых бетонов на плотных заполнителях. Для этих бетонов бетонные смеси приготавливают обычно в стационарных гравитационных смесителях и в смесителях принудительного действия.

Техническая характеристика смесителей непрерывного действия с принудительным перемешиванием и с любой подвижностью и жесткостью смеси приведена в табл. 7.1, а бетоносмесителей циклического действия принудительного перемешивания и гравитационных — в табл. 7.2.

Таблица 7.1

Техническая характеристика смесителей непрерывного действия

Показатели	Тип смесителя		
	С-518Р	С-543	С-473А
Производительность, м <sup>3</sup> /ч	15	30	60
Частота вращения вала, мин <sup>-1</sup>	72	54	48
Мощность электродвигателя, кВт	7	20	40
Основные размеры, мм:			
длина	3300	4735	4846
ширина	1000	1655	2720
высота	1600	2420	1675
Масса, кг	930	3115	5735

Рекомендации по приготовлению бетонной смеси приведены в подразд. 5.1.

Транспортирование бетонной смеси из бетоносмесительного отделения к формовочным постам производственных пролетов могут производить ленточными конвейерами, самоходными бункерами, бадьями на самоходных тележках, прицепными тележками и бадьями.

Транспортные средства должны исключать расслаивание бетонной смеси.

На заводах сборного железобетона получил распространение раздаточный бункер СМЖ-1А с прицепом, разработанный Гипростроммашем. Бункер СМЖ-1А состоит из собственно бункера, прицепной тележки и бады СМЖ-3А. Раздаточный бункер с прицепом

## Техническая характеристика смесителей циклического действия

Показатели	Тип смесителя					
	Принудительного перемешивания			Гравитационного действия		
	СБ-79	СБ-62	СБ-93	СБ-91	СБ-94	СБ-3
Объем готового замеса, л	750	1200	1500	750	1500	2100
Производительность, м <sup>3</sup> /ч	20	24	40	15	20	30
Частота вращения, мин <sup>-1</sup>						
ротора	26	20	20	—	—	—
барабана	—	—	—	18	17	12
Мощность электродвигателя, кВт	28	28	40	5,1	13	25
Основные размеры, мм:						
длина	2500	3000	3000	1900	2600	3400
ширина	2400	2700	2700	2000	2700	4200
высота	2600	2800	2800	1800	2200	3300
Масса, кг	1170	4200	5500	2200	3600	8100

и раздаточный бункер и бадья в отдельности предназначены для подачи бетонной смеси в формовочные пролеты.

## Техническая характеристика бункера СМЖ-1А

Вместимость, м <sup>3</sup>	
бункера	2,4
бадьи	1,2
Скорость передвижения, м/мин:	
основная	60 и 14
обеспечиваемая настройкой	
целной передачи	40 и 9
Колея, мм	1720
Установленная мощность, кВт	8
Основные размеры, мм:	
длина	3935
ширина	1940
высота	1492
Масса, кг	3375

## 7.6. УКЛАДКА БЕТОННОЙ СМЕСИ В ФОРМЫ

Приготовленную бетонную смесь на плотных заполнителях следует укладывать в формы не позднее чем через 45 мин после приготовления. Укладку смеси в формы производят бетоноукладчиками.

Бетоноукладчик СМЖ-69А конструкции Гипростроммаша предназначен для укладки в форму бетонной смеси, в том числе и жесткой, и обеспечивает разравнивание ее при формировании элементов сборной железобетонной крепи.

## Техническая характеристика бетоноукладчика СМЖ-69А

Максимальная ширина формируемых изделий, мм	2000
Вместимость бункера, м <sup>3</sup>	2

Скорость, м/мин:	
движения лоты питателя	9
передвижения бетоноукладчика	12,4/18
Колея, мм	2800
Клиренс, мм	3500—1100
Установленная мощность, кВт	7,1
Основные размеры, мм:	
длина	3175
ширина	4000
высота	2785
Масса, кг	4600

**Бетоноукладчик СМЖ-162** конструкции Гипростроммаша предназначен для изготовления на одном формовочном посту железобетонных изделий разных назначений. Конструкция крепеукладчика обеспечивает орошение форм водой перед укладкой в нее бетонной смеси, укладку бетонной смеси и разравнивание ее по площади формы, частичное уплотнение верхнего слоя бетонной смеси.

#### Техническая характеристика бетоноукладчика СМЖ-162

Ширина формуемых изделий, мм	400—3600
Число бункеров	3
Суммарная вместимость бункеров, м <sup>3</sup>	4
Скорость передвижения, м/мин:	
бетоноукладчика	1,8/3; 8/5; 9/11,6
бункеров	5,7/9,05
Скорость подъема-опускания вибропосадки, м/мин	2,1
Поперечный ход возвратно-поступательных движений заглаживающего бруса, мм	80
Число двойных ходов заглаживающего бруса в минуту	59
Установленная мощность, кВт	25,7
Колея, мм	4500
Клиренс, мм	910
Основные размеры, мм:	
длина	4700
ширина	6270
Высота	3100
Масса, кг	15000

#### 7.7. ФОРМОВАНИЕ ЭЛЕМЕНТОВ СБОРНОЙ ЖЕЛЕЗОБЕТОННОЙ И БЕТОННОЙ КРЕПИ

Прочность бетона, его водонепроницаемость, коррозионная стойкость в значительной степени зависят от плотности бетона. При изготовлении элементов крепи из тяжелых бетонов вибраторный способ формования является основным средством уплотнения бетонной смеси в формах. Наиболее распространено виброформование бетонной смеси на виброплощадках.

Для формования элементов шахтной крепи могут использоваться серийно выпускаемые безрамные виброплощадки блочной конструкции СМЖ-187А, СМЖ-200А, СМЖ-460, ВПГ 3×6, В-1-731 грузоподъемностью 8—15 т. Имеющиеся на заводах другие типы виброплощадок также практически обеспечивают формование бетонных или железобетонных элементов шахтной крепи.

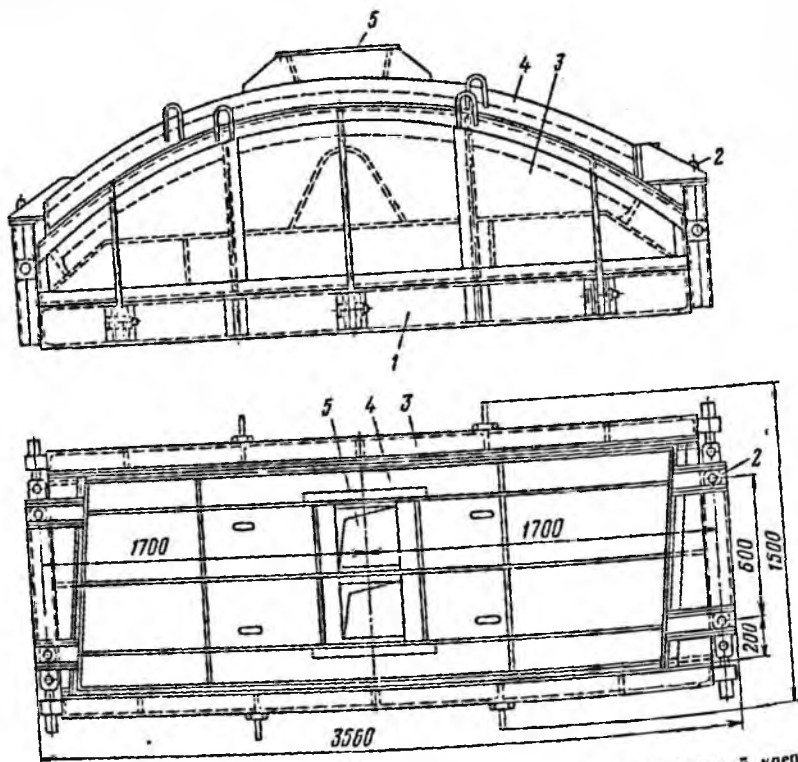


Рис. 7.1. Форма для изготовления одиночных элементов крупноблочной крепи:  
 1 — рама; 2 — фиксатор положения пригруза; 3 — откидной борт; 4 — пригруз; 5 — приемная арка

Элементы бетонной и железобетонной шахтной крепи изготавливают в металлических формах, индивидуальных или групповых. В индивидуальных формах формируют только одно изделие, в групповых — готовят одновременно несколько изделий.

Формы должны быть надежными и удобными в эксплуатации. В соответствии с требованиями ГОСТ 25781—83 конструкции форм должны обеспечивать: изготовление изделий с точностью, установленной техническими и рабочими чертежами; деформации от статических нагрузок в пределах, установленных стандартами и рабочей документацией на формы; технологическую увязку с обработкой механизмами для уплотнения бетонной смеси, транспортирования и распалубки форм; свободное открывание и закрывание бортов, съем готовых изделий без повреждений.

Номинальные внутренние размеры собранных форм должны быть равны соответствующим номинальным размерам изготавливаемых изделий.

Внутренняя высота бортов от плоскости поддона при высоте борта до 200 мм не должна превышать отклонения от 0 до —2 мм и при высоте борта свыше 200 мм — от 0 до —4 мм. Кромки бортов по высоте не должны отличаться более чем на 2 мм. Отклонения

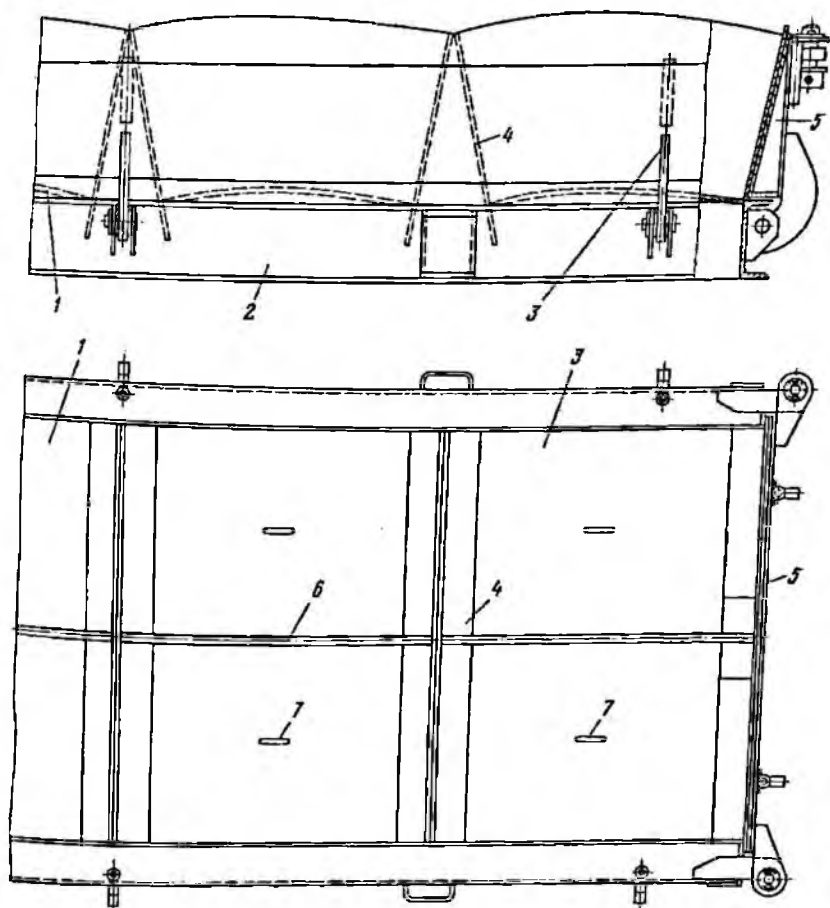


Рис. 7.2. Кассетная форма для группового изготовления бетонных блоков крепи БКЗ:

1 — цилиндрические секции днища формы; 2 — несущая рама; 3 — откидной продольный борт; 4 — разделяющая перегородка между радиальными гранями блоков; 5 — откидной торцевой борт; 6 — разделяющая перегородки между параллельными гранями блоков; 7 — отверстия для петель

проектных размеров сквозных проемов, отверстий и выемок не должны превышать  $\pm 3$  мм. Допуск прямолинейности рабочих поверхностей поддона, бортов и разделительных перегородок не должен превышать 2 мм на длине до 2000 мм и 3 мм — на длине до 4000 мм. Плоскостность при ширине поддона до 2500 мм и длине до 2500 мм не должна превышать 3 мм, а при длине до 4000 мм — 4 мм. Зазоры в местах примыкания бортов формы друг к другу, поддону и разделителям не должны превышать 1,5 мм, при этом общая длина местных зазоров не должна превышать 0,5 длины примыкания.

Трудоемкость сборки и разборки формы должна быть мини-



мальной. Во время вибрирования формы с бетонной смесью самопроизвольное раскрытие бортов должно быть исключено.

В зависимости от конструкции формы технология изготовления крепи имеет свои особенности. При одиночном изготовлении железобетонных изделий арматурный каркас закладывают в форму (рис. 7.1), на форму устанавливают пригруз и удерживают его фиксаторами в определенном положении. Затем форму помещают на вибростол и через приемную воронку в пригрузе подают в нее бетонную смесь. Заполненную бетонной смесью форму переставляют на площадку для выдержки и снимают пригруз. После выдержки изделие в форме проходит тепловлажностную обработку в пропарочной камере. Из камеры форму выдают на пост распалубки, раскрывают борта и вынимают готовое изделие. Форму очищают, смазывают и подают на пост формовки для изготовления следующего элемента крепи.

Изготовление бетонных блоков крепи осуществляют в металлических формах по 2—10 шт. в каждой в зависимости от грузоподъемности имеющихся в цеху, на полигоне кранов (рис. 7.2). В одной форме изготавливают одинаковые блоки одного типоразмера. Формы имеют открывающиеся борта, а все разделяющие перегородки жестко соединены с основанием. Уплотнение бетонной смеси производится на виброплощадках. Отформованные изделия проходят тепловую обработку в камерах пропаривания в металлических формах.

В выданной из пропарочной камеры форме раскрывают борта и вынимают блоки. Для извлечения из форм блоки снабжены с обратной стороны временными монтажными петлями, которые перед складированием или транспортированием загибаются.

Изготовление крупноблочной крепи КБМ осуществляется в кассетной форме при вертикальном расположении элементов (рис. 7.3). В форме готовят одновременно четыре блока двух типов.

Кассетная форма состоит из опорной рамы, на которой посредством шарниров закреплены вертикальные борта, удерживаемые распорными винтами. При распалубке изделий винты ослабляются, вертикальные борта откидываются под некоторым углом и обнажают три поверхности блока, что дает возможность извлекать блоки без существенных усилий. Чтобы обеспечить равномерность прогрева всей площади изделий, между формирующими стенками имеются отверстия для прохождения пара, что позволяет ускорить процесс термообработки блоков.

Перед укладкой бетонной смеси в кассетную форму производят чистку и смазку поверхностей. В формы укладывают соответствующие арматурные каркасы и закладные детали. Бетонную смесь укладывают с помощью бетоноукладчика, который перемещается над формой. Бетонную смесь в форме уплотняют на вибростоле, время вибрации зависит от консистенции смеси. После выдержки заполненные формы устанавливают в камеры для термообработки. Термообработка осуществляется паром, подаваемым через инжекционную систему в камеру и через отверстия в форму.

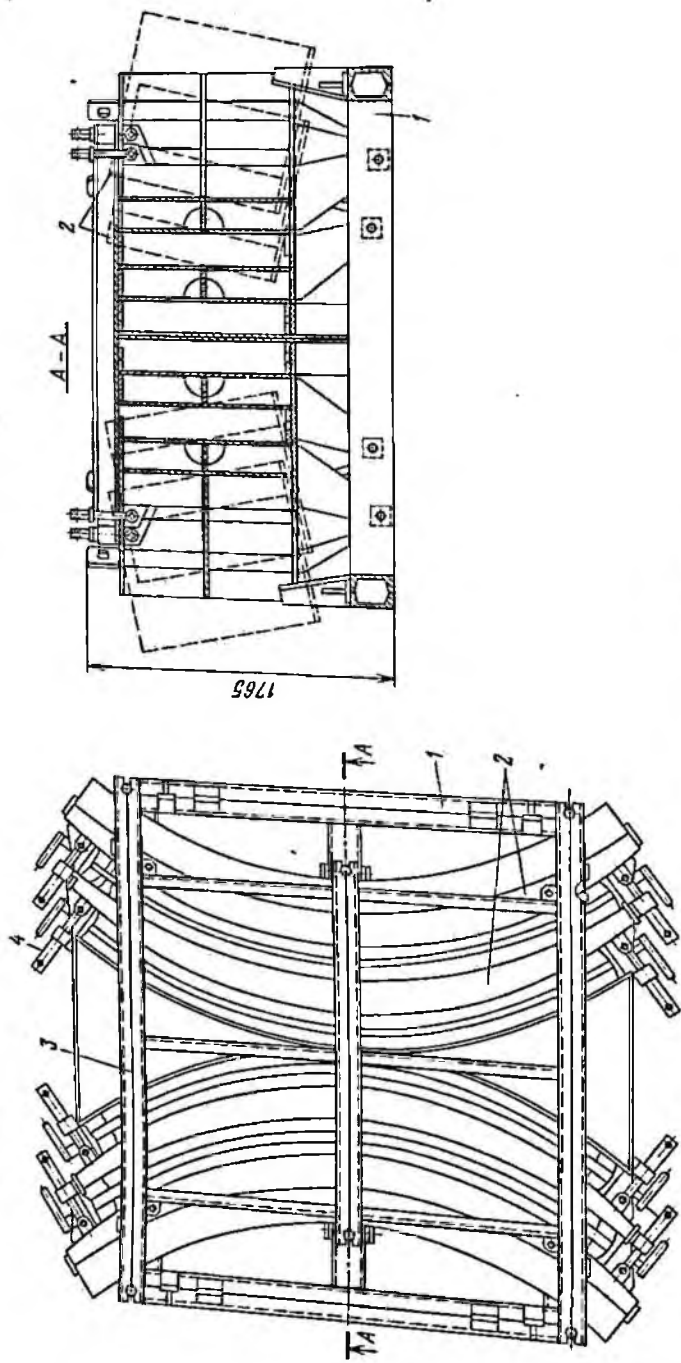


Рис. 7.3. Кассетная форма для изготовления крупноблочной крепи КБМ-5:  
 1 — рама; 2 — откидные вертикальные борты; 3 — накладная рама с образующими гребня и паза в элементах крепи; 4 — распорные винты

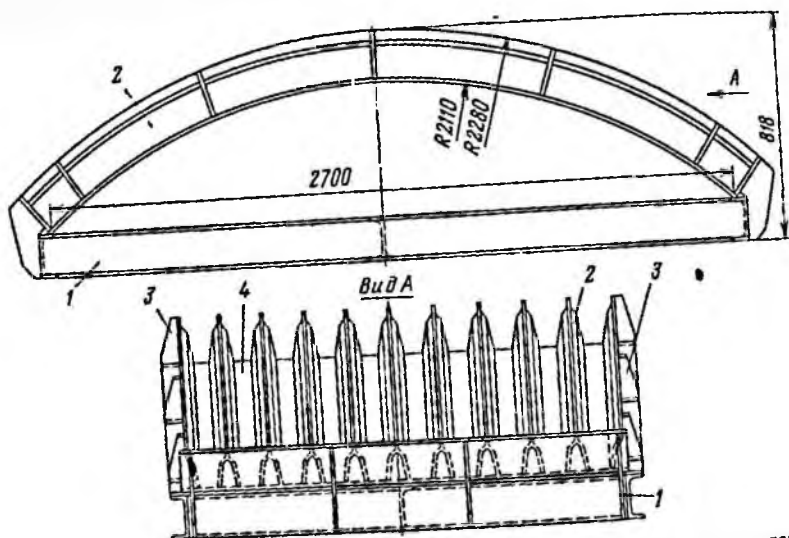


Рис. 7.4. Кассетная форма для группового изготовления железобетонных элементов рамной крепи:  
 1 — рама, 2 — фигурные разделительные перегородки; 3 — борта, жестко соединенные с рамой;  
 4 — дно формы

Из камеры термообработки форма с готовыми изделиями подается на пост распалубки, где производится съём изделий. Далее форма перемещается на пост переналадки, чистки и смазки. Затем цикл повторяется.

В кассетах подобного типа также изготавливают тубинги КТАГ, имеющие кессоны с внешней стороны.

Использование кассетных форм с вертикальным расположением изделий позволяет применять более жесткие смеси с меньшим расходом цемента, повысить однородность прочностных показателей бетона по высоте изделий, а также снизить трудоемкость, металлоемкость и энергоемкость производства, улучшить условия труда.

В кассетной металлической форме также готовят железобетонные элементы рамной крепи (рис. 7.4). Для изготовления изделий криволинейного очертания применяют малоподвижные бетонные смеси, которые при вибрировании формы не сползают с нее. В формах отсутствуют съемные детали.

Для изготовления железобетонных плит-затяжек широко применяют многошарнирные кассетные формы (рис. 7.5). Форма на поддоне устанавливается на виброплощадку и заполняется бетонной смесью. После выдержки заполненная форма вместе с поддоном помещается в пропарочную камеру. Из пропарочной камеры форма с изделиями поступает на пост распалубки. Разгрузка формы производится следующим образом. Форму с готовыми изделиями захватывают стропами за проушины, расположенные в средней части формы. При подъеме формы происходит зажим затяжек, препятствующий их выпадению из ячеек. В таком состоянии форму

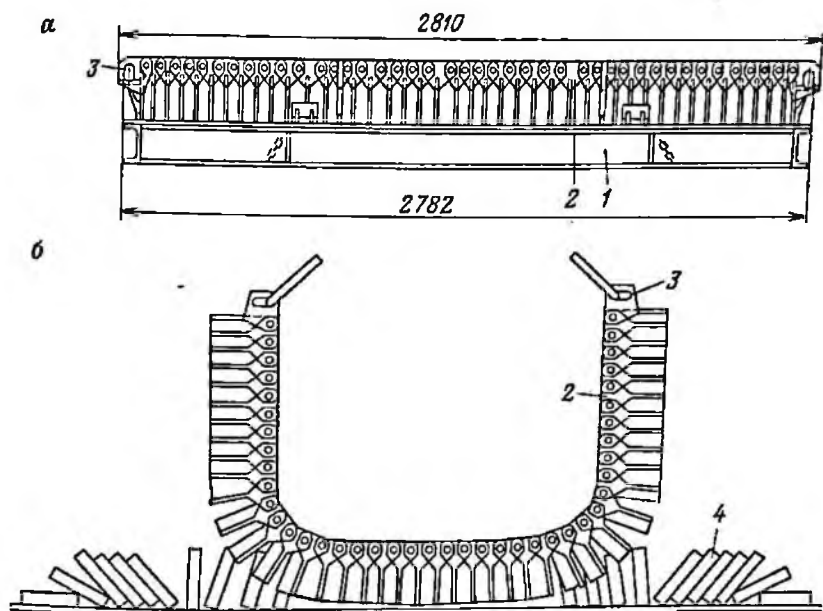


Рис. 7.5. Кассетная многосфернирная форма для изготовления железобетонных кессонных плит-затяжек:  
 а — форма на поддоне; б — разгрузка формы; 1 — поддон; 2 — кассетная форма; 3 — проушины для захвата формы при ее разгрузке; 4 — готовые плиты

с изделиями снимают с поддона и опускают на место разгрузки. Затем стропы перецепляют за проушины, расположенные по краям формы, и поднимают края, стягивая их. Происходит веерное раскрытие формы, при котором затяжки выпадают из нее. Далее затяжки упаковывают в контейнеры или пакеты и отправляют потребителю.

В приведенной технологии весь цикл изготовления сборной крепи от формования и до тепловлажностной обработки происходит в металлических формах при одной обнаженной поверхности. КузНИИшахтостроем разработана технология изготовления элементов сборной железобетонной тубинговой крепи способом немедленной распалубки. Для формования отдельных тубингов применяют сварные металлические неразборные формы (рис. 7.6). Геометрические очертания внутренней части формы строго соответствуют очертаниям железобетонных тубингов. В очищенную и смазанную форму, укладывают арматурный каркас с приваренными к нему проушинами и вставляют в проушины фиксирующие болты. После проверки правильности укладки арматурного каркаса заполняют форму, установленную на вибростоле, тяжелой жесткой быстротвердеющей бетонной смесью. На заполненную форму укладывают вибропригруз и уплотняют бетонную смесь в течение 2—3 мин. Распалубку тубингов производят немедленно после уплотнения. Для извлечения готовых тубингов форму переворачи-

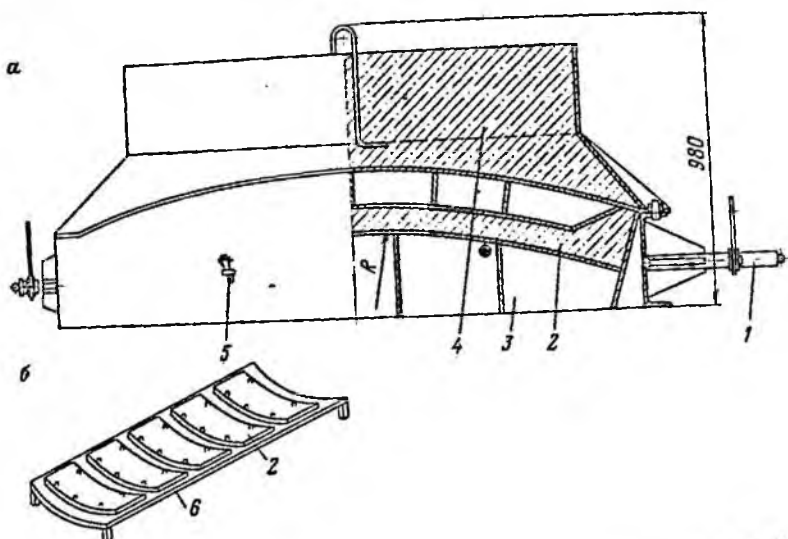


Рис. 7.6. Форма для изготовления гладкостенных тюбингов конструкции КузНИИШахтостроя:  
 а — форма с пригрузом; б — поддон с тюбингами; 1 — полусфера; 2 — тюбинги; 3 — форма; 4 — пригруз; 5 — фиксаторы металлических прочины тюбингов, б — поддон

вают на  $180^\circ$ , опускают ее на поддон, вынимают закладные болты-фиксаторы, затем поднимают форму вверх, оставляя готовый тюбинг на поддоне. Поддоны изготавливают из листовой стали толщиной 5—6 мм, их рабочая поверхность соответствует радиусу тюбингов. Конструкция поддона достаточно жесткая, прогиб в середине поддона под массой изделия не должен превышать 2 мм.

Тюбинги на поддонах выдерживают при температуре  $15\text{--}20^\circ\text{C}$  в течение 8—12 ч, после чего их переносят в пропарочную камеру. Тепловая обработка тюбингов ведется до достижения заданной отпускной прочности (70% проектной марки бетона). После завершения пропарки поддоны с тюбингами выдают из камеры, тюбинги снимают и отправляют на склад готовой продукции, а поддоны подают под загрузку свежееотформованными тюбингами.

Для производства элементов рамной крепи из высокопрочных бетонов марки 500 и выше и предварительно напряженной арматуры НИИОГРом разработана технологическая линия, включающая кассетное производство, электротермическое упрочнение арматурной стали на станке ЭТУ-1 с горячей высадкой анкерных головок на установке 659611 М, электронапряжение арматуры и уплотнение высокопрочного бетона вибропригрузом. Одновременно готовится 16 элементов крепи при максимальной длине верхняков 2620 мм и стоек 3100 мм. Такие размеры верхняков и стоек обеспечивают изготовление всех типоразмеров посредством применения отсекаателей при формовании изделий. Элементы крепи изготавливаются из бетонов марок 500 и 600 с жесткостью по техническому вискозиметру 15—40 с. Бетон укладывается в кассету бетоноуклад-

чиком. Арматурные стержни диаметром 18—20 мм предварительно напрягаются методом электронапряжения. Предварительно напряженные стержни для укладки в вилочные упоры анкеруются путем горячей высадки головок. Общее удлинение стержней с учетом холодной вытяжки «сырых» концов определяется по формуле

$$\Delta l_T = \frac{\sigma_0 l}{E_s} = \epsilon_s l_1, \quad (7.1)$$

где  $\sigma_0$  — задаваемое напряжение, МПа;  $E_s = 1,9 \cdot 10^5$  МПа — начальный модуль упругости стали арматурного стержня;  $l$  — расстояние между наружными гранями упоров, см;  $l_1$  — суммарная длина «сырых» концов от анкерной головки до закаленной части, см;  $\epsilon_s$  — остаточное удлинение вытяжки (для стали марки 35 Гс  $\epsilon_s = 3,5 \div 4\%$ ).

Требуемая температура нагрева арматурного стержня

$$t_T = \frac{\Delta l_T}{l_c \alpha} + 20^\circ \text{C}, \quad (7.2)$$

где  $\Delta l_T$  — удлинение стержня, мм;  $l_c$  — длина стержня, мм;  $\alpha$  — коэффициент температурного линейного расширения (для стали марки 35 Гс  $\alpha = 13,5 \cdot 10^{-6}$ ).

Для различных сочетаний длин элементов крепи значения  $\Delta l_T$  и  $l_T$  приведены в таблице 7.3.

Таблица 7.3

Характеристики электронапряжения арматуры

Напряжение в арматуре, МПа	Длина стержня $l_c$ , мм	Удлинение $\Delta l_T$ , мм	Температура электронагрева $t_T$ , °C
550	5730	23	317
550	6350	24	305
600	5730	24	331
600	6350	26	323
650	5730	27,1	370
650	6350	27,6	342
700	5730	27,1	370
700	6350	27,4	340

Электронагрев до температуры 400° С не вызывает снижения расчетного сопротивления термически упроченной арматуры.

На технологической линии НИОГРа крепи могут изготавливаться из высокопрочных бетонов на основе шлакосиликатного вяжущего. В этом случае используются рядовые заполнители без их дополнительной подготовки.

## 7.8. ТЕПЛОВАЯ ОБРАБОТКА ЭЛЕМЕНТОВ КРЕПИ

Ускорение твердения бетона является одним из важнейших процессов технологии изготовления бетонных и железобетонных элементов шахтной крепи. В заводских условиях ускорение твердения достигается тепловой обработкой изделий для получения

отпускной или проектной прочности. Отпускная прочность обычно составляет 70% проектной марки для тяжелых бетонов. При этом имеется в виду, что полученные с завода изделия будут находиться на складе шахты или рудника в виде неснижаемого месячного запаса, когда будет происходить добор прочности до проектной.

В холодное время года или в тех случаях, когда нет возможности выдерживать крепь в течение 28 сут, отпускная прочность крепи должна равняться проектной.

После завершения формования изделия предварительно выдерживают для набора начальной прочности бетона и устранения последующего влияния деструктивных процессов при тепловом воздействии. Выдержку осуществляют при положительной температуре среды в цеху, на полигоне или при низкой температуре в камере, без подачи тепла. Время предварительного выдерживания зависит от вида бетона, активности цемента, температуры окружающей среды. Продолжительность выдерживания изделия тем меньше, чем выше класс (марка) бетона и цемента, чем больше жесткость смеси и температура среды. Применение добавок — ускорителей твердения позволяет сократить продолжительность предварительного выдерживания. К таким добавкам относится нитрит натрия в количестве не более 3% массы цемента. Так как в подземных условиях горная крепь работает в среде с повышенной влажностью, то применение в качестве добавок ускорителей твердения хлористых солей не рекомендуется, особенно для армированных конструкций.

Изделия, имеющие значительные открытые поверхности, в том числе изготовленные распалубкой, требуют более длительной выдержки.

Длительность предварительного выдерживания элементов шахтной крепи из тяжелого бетона ориентировочно принимается для бетонов марок до 400—1 ч, а для бетонов марок 500—600—30 мин. Это время следует уточнять по результатам определения перед пропариванием начальной прочности бетона на образцах размером не менее  $10 \times 10 \times 10$  см.

На заводах сборного железобетона тепловая обработка производится в основном прогревом бетона паровоздушной смесью при атмосферном давлении преимущественно в ямных пропарочных камерах периодического действия. Такие камеры наиболее просты по устройству и эксплуатации.

Гипростромашем совместно с НИИЖБ разработан типовой проект 409-28-40 «Камеры периодического действия для тепловой обработки изделий из тяжелого и легкого бетонов», включающий пять типов камер. Типы камер отличаются между собой размерами. Внутренний объем одной камеры в зависимости от типа составляет 63—930 м<sup>3</sup>. Камеры могут устанавливаться отдельно или в блоке из нескольких камер.

Стены и днища камер выполняются из керамзитобетона М200 с гидрофобизирующей добавкой ГКЖ-94. Термоизоляция стенок

обеспечивается применением полужестких минераловатных плит и воздушной прослойкой между плитами и внутренней стальной обшивкой.

Крышки камер металлические с теплоизоляцией минераловатными плитами. Открывание крышек производится подъемно-транспортным оборудованием цеха. Разработан вариант механизированного открывания крышек при помощи гидроцилиндров установки СМЖ-527. Плотное перекрытие камер создается с помощью гидрозатворов.

Теплоносителем является водяной насыщенный пар избыточного давления 0,2 МПа перед регулирующими клапанами. Пар поступает в камеру через перфорированный регистр на дне камеры. Камеры оборудованы приточными и вентиляционными водяными затворами. Подъем температуры, изотермический прогрев и вентиляция камер обеспечиваются автоматически. Прогревание бетона происходит через стенки форм (контактный прогрев) или через открытые поверхности изделий. Паропрогрев ведется в режиме, характеризуемом тремя периодами: подъемом температуры до заданной максимальной; изотермическим прогревом при заданной максимальной температуре и остыванием.

В период подъема температуры происходит ускорение химических реакций. При нагреве компоненты бетонной смеси увеличиваются в объеме, особенно защемленные в бетоне пузырьки воздуха, а также вода. При этом возникают значительные давления на формирующуюся структуру, вследствие чего могут происходить опасные деформации бетона — трещины, вспучивание и т. п. Происшедшие деформации нарушения структуры, образовавшиеся поры сохраняются в бетоне при его твердении и снижают технические характеристики изделий. Устранение этих отрицательных явлений возможно за счет увеличения длительности предварительного выдерживания бетонной смеси и приобретения бетоном необходимой прочности, способной выдерживать возникающие напряжения, изменения режима подъема температуры, предварительного разогрева бетонной смеси перед формованием изделий. В зависимости от начальной прочности бетона перед помещением в пропарочную камеру следует принимать следующую скорость подъема температуры в пропарочной камере:

Начальная прочность бетона, МПа . . . . .	0,1—0,2	0,2—0,4	0,4—0,5	0,5—0,6	> 0,6
Скорость подъема температуры в камере, °С/ч . . . . .	10—15	15—25	25—35	35—45	45—60

Скорость подъема температуры повышается на 20—30% при бетонной смеси подвижностью более 8 см, а при жесткости смеси более 60 с увеличивается на 15—20%.

Изотермический период прогрева отличается сравнительно устойчивым характером набора прочности. Длительность изотермической выдержки зависит от вида бетона и его жесткости, толщины изделия, максимальной температуры и требуемой прочности бетона после окончания тепловой обработки. Для изделий,



изготовленных на портландцементе, изотермический прогрев осуществляется при температуре 80—85° С, для изделий на шлакопортландцементе и пуццолановых портландцементе температура прогрева может быть повышена до 90—95° С.

Режим тепловой обработки бетона следует назначать с учетом требуемой прочности для бетона с учетом Ц/В отношения по табл. 7.4.

Элементы крепи из бетонов повышенной морозостойкости и водонепроницаемости следует подвергать значительной предварительной выдержке, пропаривать при подъеме температуры 10—15° С за 1 ч и изотермической выдержке при температуре не выше 80° С и охлаждать в медленном режиме.

Таблица 7.4

Режим тепловой обработки для получения заданной прочности бетона

Класс (марка) бетона	Ц/В	Продолжительность общего цикла тепловой обработки, ч	Прочность бетона (%) относительно проектной после окончания тепловой обработки через, ч			
			0,5	4	12	21
В25 (300)	2—1,7	9	47—57	52—62	55—65	58—68
		11	52—62	57—67	60—70	63—73
		13	56—66	60—70	64—74	66—76
		16	60—70	63—73	66—76	68—78
В30 (400)	2,5—2,2	20	62—72	65—75	68—78	70—80
		9	52—62	56—66	60—70	61—71
		11	58—68	61—71	64—74	65—75
		13	62—72	65—75	68—78	69—79
В40 (500)	3—2,8	16	65—75	68—78	70—80	71—81
		20	66—76	70—80	72—82	72—82
		9	59—69	62—72	65—75	66—76
		11	64—74	67—77	70—80	71—81
		13	67—77	70—80	73—83	74—84
		16	70—80	73—83	75—85	75—85
		20	72—82	75—85	76—86	76—86

Примечание. Продолжительность общего цикла тепловой обработки соответствует следующим режимам (поддержка + подъем температуры + изотермический прогрев + остывание изделий): 9 ч — 1+3+4+1, 11 ч — 2+3+5+1, 13 ч — 2+3+6+2, 16 ч — 2+3+9+2, 20 ч — 2+4+13+2

Зависимость прочности пропаренного тяжелого бетона от В/Ц приведена в табл. 7.5.

Таблица 7.5

Прочность бетона в зависимости от В/Ц

В/Ц	Прочность бетона (%) относительно проектной после пропаривания через	
	4 ч	28 сут
≥ 0,6	60—65	85—95
0,4—0,5	65—70	95—105
≤ 0,4	70—85	100—110

Понижение температуры среды в камере следует производить до предела, при котором температурный перепад между поверхностью изделия и температурой наружного воздуха не превышала

бы 40° С. При отрицательной температуре наружного воздуха для предотвращения усадочных трещин изделия рекомендуется выдерживать в помещении с температурой не ниже 10° С, как правило, 12 ч.

## 7.9. КОНТРОЛЬ КАЧЕСТВА ГОТОВОЙ ПРОДУКЦИИ

В процессе изготовления крепи должен обеспечиваться операционный технологический контроль на всех стадиях производства.

Изготовленные элементы крепи подвергают визуальному осмотру, обмеру и испытанию под нагрузкой до разрушения. Раковины, местные наплывы, сколы бетона и впадины на поверхностях изделий не должны превышать размеров, установленных техническими условиями. Обнажения арматуры не допускаются. Выступающие закладные детали должны быть очищены от бетона.

В армированных элементах расположение арматуры должно соответствовать проектному. При осмотре изделия простукиваются со стороны рабочей арматуры для обнаружения скрытых полостей. Отклонение толщины защитного слоя от проектной не должно превышать  $\pm 5$  мм. Расположение и диаметр арматуры в изделиях и толщина защитного слоя проверяются электромагнитными приборами. Допускаются вырубка борозд в бетоне и непосредственное обнажение арматуры для ее измерения с последующей заделкой борозд.

Положение закладных деталей, геометрические размеры изделий проверяют с помощью шаблонов, измерительных инструментов, калибров. Измерения производят металлическими линейками по ГОСТ 427—75, стальными рулетками по ГОСТ 7502—80, штангенциркулями по ГОСТ 166—80, шаблонам и т. п.

Фактическую прочность бетона в изделии определяют в соответствии с требованиями ГОСТ 13015—75, ГОСТ 18105—86 или ГОСТ 17624—87.

В случае несоответствия отпускной прочности требованиям стандартов, технических условий поставка крепи не производится до достижения установленной отпускной прочности.

Крепь, поставляемая потребителю, принимается техническим контролем завода-изготовителя. Все изделия должны иметь маркировку (несмываемое клеймо) с указанием марки изделия, даты изготовления, массы изделия.

Каждая партия крепи сопровождается паспортом, в котором указаны: наименование и адрес предприятия-изготовителя; наименование изделия, его условное обозначение (марка); номер технических условий или рабочих чертежей; число изделий в партии; размеры изделий; дата изготовления и приемки партии отделом технического контроля и номер браковщика; отпускная прочность бетона в мегапаскалях и в процентах от проектной прочности; марка сталей закладных деталей; гарантии предприятия.

тием соответствия качества отпускаемых с данным паспортом изделий всем требованиям стандартов, а за их отсутствием — рабочих чертежей и технических условий на изделия. Паспорт подписывается представителем завода.

## 7.10. МЕТОДЫ ИСПЫТАНИЙ

Испытание сборной бетонной и железобетонной крепи следует проводить в соответствии с требованиями ГОСТ 8829—85. Наиболее представительны результаты испытания всей конструкции крепи в натурную величину на специальных стендах. При этих испытаниях конструкцию крепи доводят до полного разрушения с измерением силовых и деформационных характеристик крепи. Такие стенды имеются в ВНИИОМШСе и других организациях. В заводских условиях можно ограничиться испытанием отдельных элементов крепи, если эти испытания характеризуют работоспособность всей сборной конструкции.

На рис. 7.7 показана схема испытания радиального блока или тубинга при задании в одном случае нагрузки, принимаемой эквивалентной равномерно распределенной, в другом — сосредоточенной силы. Оба вида нагрузки прикладываются по всей длине образующей, равной ширине элемента. При этом методе испытаний одна опора является подвижной, вторая — неподвижной. Торцы элемента помещаются в опорные обоймы на всю длину опирания по ширине элемента. Нагружение производят ступенями, не превышающими 10—20% расчетной разрушающей нагрузки. На каждой ступени нагружения изделие выдерживает-

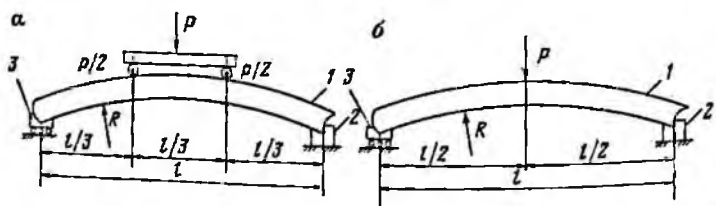


Рис. 7.7. Схема испытания радиального железобетонного элемента сборной крепи:

а — приложение нагрузки, эквивалентной равномерно распределенной, б — приложение сосредоточенной нагрузки; 1 — испытуемый элемент; 2 — неподвижная опора (обойма); 3 — подвижная опора (обойма)

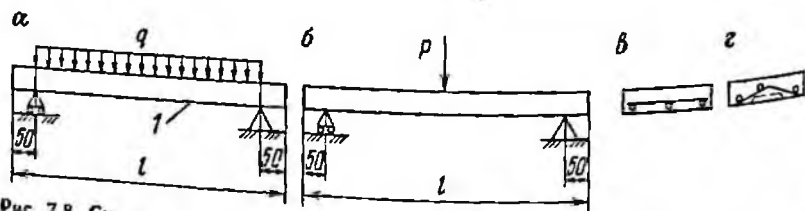


Рис. 7.8. Схема испытания железобетонных плит-затяжек:

а — приложение равномерно распределенной нагрузки; б — приложение сосредоточенной нагрузки; в — расположение опор сплошной плиты с арматурным каркасом в зоне растягивающих напряжений; г — расположение относительно опор кессонной плиты-затяжки (кессоном вниз)

ся под нагрузкой не менее 10 мин. В этот период производят осмотр элемента крепи, следят за появлением и развитием трещин, записывают результаты в ведомость испытаний. Величина фактической разрушающей нагрузки не должна быть ниже расчетной для каждой схемы испытаний.

Испытания железобетонных плит-затяжек *1* в условиях предприятия-изготовителя производятся по следующим схемам (рис. 7.8). Затяжку укладывают на две опоры, одна из которых неподвижная, другая — подвижная. По одной схеме нагрузка распределяется равномерно по всему пролету, по другой — прикладывается в середине пролета по всей его ширине. Разрушающая нагрузка в каждом случае не должна быть ниже расчетной для принятой схемы.

Испытания элементов крепи выполняют в соответствии с требованиями ГОСТ 13015.1—81.

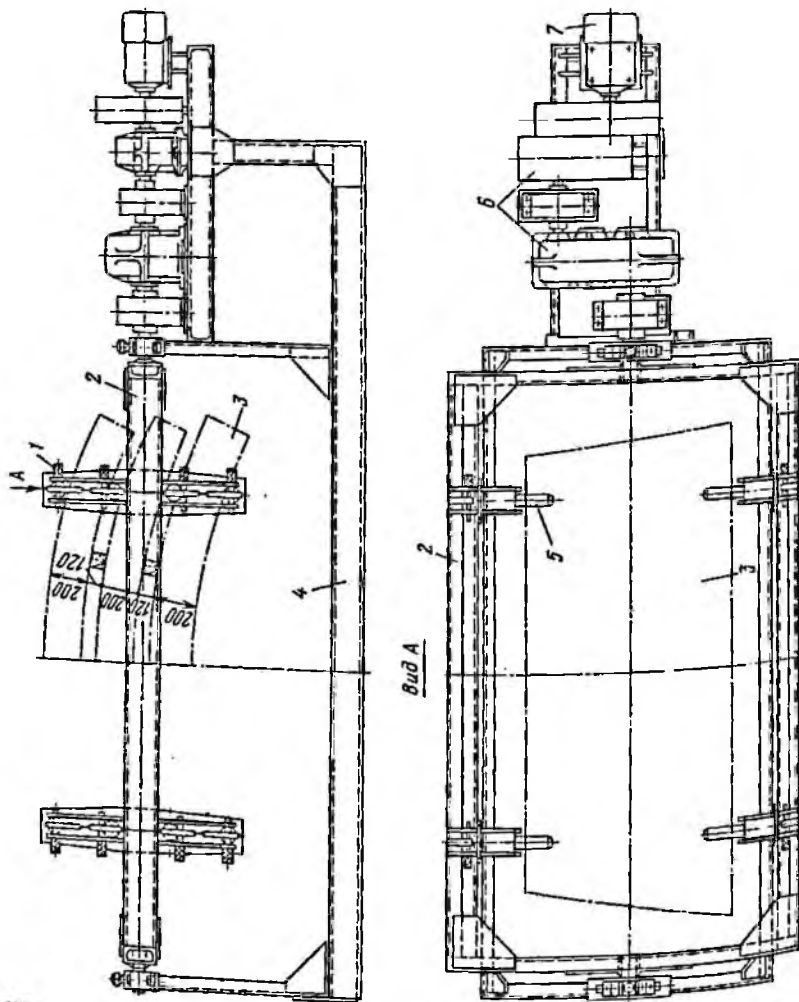
Одним из методов проверки геометрических размеров крепи и качества изготовления элементов является контрольная сборка крепи. Сборку крепи производят на ровной горизонтальной площадке. Фактические отклонения размеров крепи и стыковки ее отдельных элементов между собой не должны превышать допускаемых проектом.

#### 7.11. ПОГРУЗКА И ТРАНСПОРТИРОВАНИЕ КРЕПИ

Криволинейные элементы крепи изготавливаются в форме в ряде случаев спинкой кверху. Вогнутая (внутренняя) сторона, на которой размещены рабочие петли, расположена снизу. Рабочие петли служат для захвата элементов крепи крепеукладчиком и установки их в проектное положение в забое горной выработки. Наиболее удобным для погрузки на транспортные средства, перевозки и монтажа является расположение элементов крепи переворачивания вынутаго из рабочими петлями кверху. Для переворачивания вынутаго из формы элемента крепи, например блока типа КБУ, КБМ и других, могут применять кантователи, например, конструкции Метростроя (рис. 7.9). Вынутые из формы спинкой кверху блоки укладывают на штыри вращающейся рамы и закрепляют их запорными валиками. Между изделиями устанавливают деревянные прокладки. Раму переворачивают на 180° С, и блоки оказываются расположенными рабочими петлями кверху. Далее блоки одновременно захватывают траверсой или стропуют пакетом и переносят на склад готовой продукции.

Перевозку крепи от склада готовой продукции завода ЖБИ или полигона до площадки склада материалов и оборудования на шахте (руднике) осуществляют автомобильным или железнодорожным транспортом. На рис. 7.10 показана схема расположения железобетонных блоков КБУ в кузове автомобиля. Блоки *1* укладываются двумя штабелями по три блока в каждом на подкладки *2* из деревянных брусьев размерами 130×130×2450 мм. Между блоками помещают прокладки *3* из брусьев размером

Рис. 7.9. Кантователь:  
 1 — опорный валок, 2 — вращающийся ра-  
 ма, 3 — радиальные блоки, 4 — опорная  
 рама, 5 — штырь, 6 — редукторы, 7 —  
 электродвигатель.



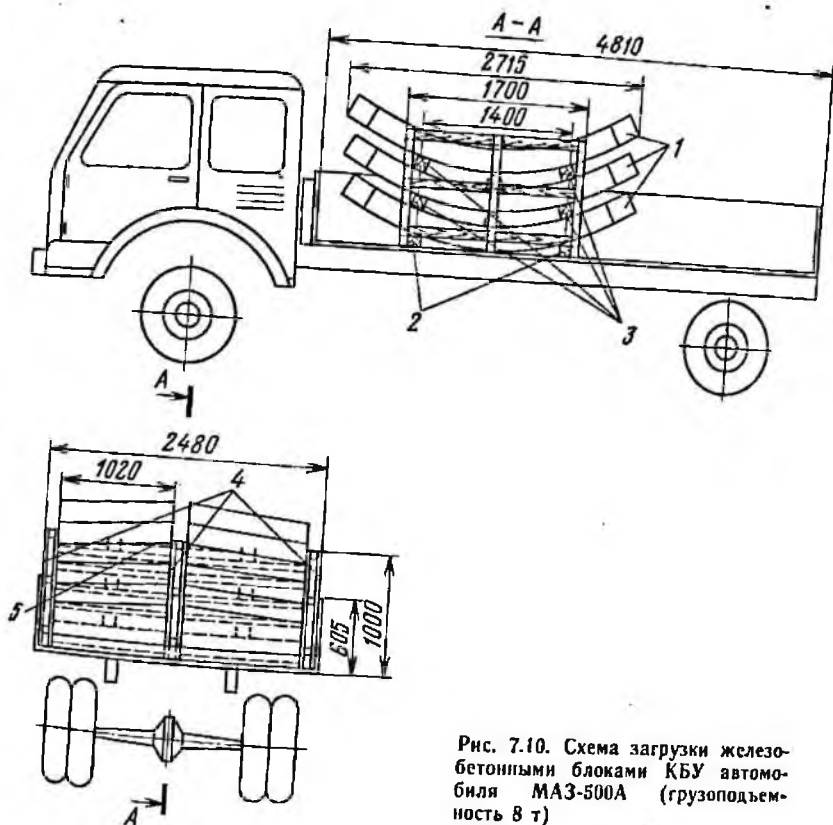


Рис. 7.10. Схема загрузки железобетонными блоками КБУ автомобиля МАЗ-500А (грузоподъемность 8 т)

130×130×1000 мм. Для предотвращения поперечного перемещения блоков между бортами и штабелями, а также между штабелями устанавливают деревянные щиты 4, изготовленные из деревянных брусков размерами 80×40×1000 и 80×50×1700 мм. Верхние в штабелях блоки закрепляются за рабочие петли проволокой 5 диаметром 6 мм (см. рис. 7.10).

При перевозке крепи железнодорожным транспортом схема загрузки подвижного состава принимается с учетом максимального использования его грузоподъемности. На рис. 7.11 показано поперечное расположение элементов крепи в четырехосном полувагоне. Общая масса размещенных 48 блоков КБУ составляет 61,4 т при грузоподъемности полувагона 63 т. Блоки 2 уложены штабелями по пять штук в каждом на подкладки 4 из деревянных брусков размерами 130×130×2980 мм. В штабелях между ярусами блоков помещают прокладки 5 из брусков размером 130×130×1000 мм. Между штабелями и в торцах вагона установлены щиты 3 из брусков размерами 80×40×1900 и 80×60×1700 мм. Щиты препятствуют перемещению штабелей вдоль

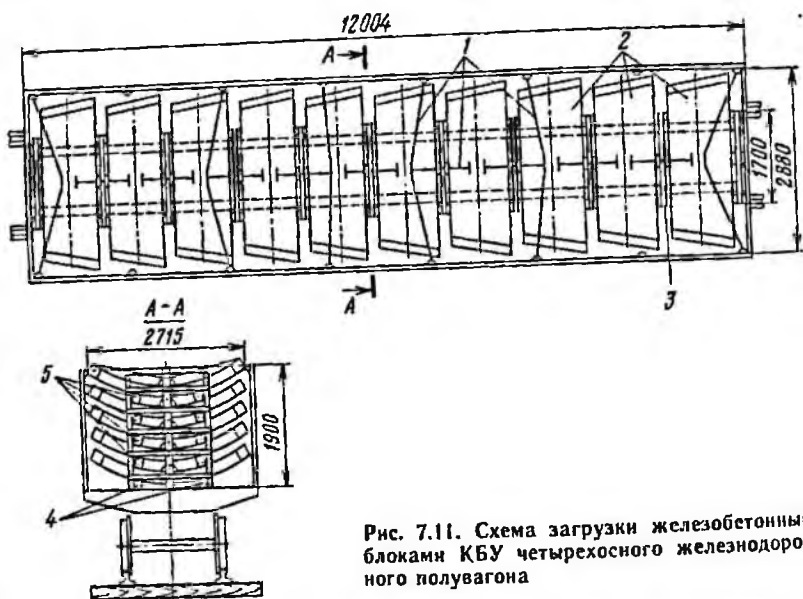


Рис. 7.11. Схема загрузки железобетонными блоками КБУ четырехосного железнодорожного полувагона

вагона во время движения состава. Верхние блоки раскрепляют за петли проволокой 1 диаметром 6 мм.

При перевозках поперечные размеры прокладок выбирают такими, чтобы обеспечивалась сохранность рабочих и монтажных петель элементов крепи.

Для доставки блоков в забой к месту монтажа используют переоборудованные тележки рудничных вагонеток, применяемых на шахте. Число блоков на одной тележке принимается с учетом габаритных размеров, допускаемых для размещения в подъемных сосудах и для передвижения по горным выработкам.

## 8. ЭФФЕКТИВНЫЕ ВИДЫ РАСТВОРОВ И БЕТОНОВ ДЛЯ ОБЛЕГЧЕННЫХ ВИДОВ КРЕПИ, ТАМПОНАЖА ЗАКРЕПНОГО ПРОСТРАНСТВА

### 8.1. ЦЕМЕНТНЫЕ И ЦЕМЕНТНО-ПЕСЧАНЫЕ РАСТВОРЫ

Физико-механические свойства растворов (прочность, адгезия к породам, деформативность тампонажного камня) должны соответствовать геомеханическим требованиям способа повышения устойчивости выработок упрочнением пород. Растворы, предназначенные для упрочнения горных пород, должны обладать высокой проникающей способностью и седиментационной устойчивостью. Материалы для приготовления растворов должны быть дешевыми, недефицитными и отвечать требованиям, приведенным в разделе 3.

Инъекционное упрочнение пород следует применять: во вновь проводимых выработках вне зоны активного влияния очистных работ в породах III—IV категорий устойчивости; в выработках, проводимых в зонах геологических нарушений; в эксплуатирующихся выработках, крепь которых деформируется вследствие непрекращающихся сдвижений массива горных пород.

Цементные растворы должны применяться для упрочнения мелкотрещиноватых массивов; цементно-песчаные растворы — для упрочнения породного массива с достаточным раскрытием трещин и тампонажа закрепного пространства. Ориентировочные составы и расходы материалов для приготовления 1 м<sup>3</sup> цементных и цементно-песчаных растворов приведены в табл. 8.1.

Таблица 8.1

Расход компонентов для приготовления 1 м<sup>3</sup> раствора (кг)

Состав раствора (цемент:песок:вода)	Цемент	Песок	Вода
1:0:1	760	—	760
1:0:2	430	—	840
1:0:3	300	—	910
1:3:2	237	662	574
1:4:2	260	1038	519
1:5:2	237	1184	474

Примечание. Подвижность раствора (по конусу АзНИИ) — 25 см и более, жесткости — 13—15 с.

Для приготовления цементных и цементно-песчаных растворов применяется комплекс оборудования, включающий: емкости для транспортирования и хранения сыпучих компонентов (вагонетка с крышкой); штукатурные агрегаты типа СО-57, СО-85 или растворосмесители типа СО-46А и СБ-43; насос типа НБЗ-120/40; высоконапорные рукава с внутренним диаметром 20—25 мм; инъекторы (герметизаторы).

В серийном оборудовании электродвигатели установок заменяются на взрывобезопасные или пневматические, в насосах типа НБЗ-120/40 устанавливаются сбрасывающие вентили в тупиковых зонах гидроблока, а тарельчатые клапаны заменяются на шаровые.

## 8.2. РАСТВОРЫ ДЛЯ ТАМПОНАЖА ЗАКРЕПНОГО ПРОСТРАНСТВА ПРИ БУРЕНИИ ВЕРТИКАЛЬНЫХ СТЕВЛОВ МАЛОГО ДИАМЕТРА И СКВАЖИН БОЛЬШОГО ДИАМЕТРА

Тампонаж закрепного пространства выполняется с целью: предотвратить смещения колонны крепи, создать вокруг крепи упругую среду, обеспечить равномерную нагрузку на крепь от проявления горного давления, разобщить водоносные горизонты.

Тампонажные растворы должны удовлетворять следующим требованиям: обладать седиментационной устойчивостью, обла-



дать подвижностью не менее 18 см по конусу АзНИИ, иметь оптимальные сроки начала и конца схватывания, обладать определенной способностью по полному замещению буровой жидкости, иметь плотность  $(1,4-2,2) \cdot 10^3$  кг/м<sup>3</sup> при разности плотностей тампонажного раствора и буровой жидкости не менее  $0,5 \cdot 10^3$  кг/м<sup>3</sup>, твердость в буровой жидкости, иметь высокий процент выхода камня, достаточную прочность и плотность, быть устойчивыми к агрессивному воздействию подземных вод, обеспечивать равномерную передачу давления на крепь.

В качестве тампонажных растворов применяются цементно-песчаные, цементно-глинистые, цементно-песчано-глинистые, цементно-суглинистые, цементно-песчано-суглинистые растворы.

Тампонажные растворы должны иметь следующие соотношения по массе:

цементно-песчаные растворы: цемент — 1; песок —  $0,5 \div 1$ ; вода —  $0,4 \div 0,9$ ;

цементно-глинистый раствор (Ц:Г:В): цемент — 1; глина —  $0,25-1$ ; вода —  $0,5-1$ ;

цементный раствор (Ц:В): цемент — 1; вода —  $0,4-1$ .

Для придания тампонажным растворам необходимых технологических параметров и свойств тампонажного камня в растворы следует вводить химические добавки — ускорители твердения, пластификаторы и минеральные добавки (бентонит) в количестве 2—3% от объема раствора. При наличии напорных вод допускается увеличение добавки хлористого кальция до 7%. Хлористый натрий может применяться в количестве до 5% массы цемента.

Жидкое стекло с плотностью  $(1,4-1,6) \cdot 10^3$  кг/м<sup>3</sup> следует добавлять в количестве 2—3% массы цемента. Допускается увеличение дозы жидкого стекла до 10% массы цемента, добавляя его в тампонажный раствор непосредственно перед закачкой в скважину. При этом ввиду снижения текучести тампонажного раствора необходимо также добавлять каустическую соду NaOH в количестве до 8% объема жидкого стекла.

Полуводный гипс допускается применять в количестве 10—20% массы цемента. Следует применять совместную добавку гипса (200 кг на 1 т цемента) и жидкого стекла (50 л на 1 т цемента). Раствор имеет хорошую текучесть и быстро схватывается. Ввиду малых сроков схватывания раствор должен быстро изготовляться и закачиваться в закрепное пространство.

Тип и состав тампонажного раствора следует определять проектом и уточнять лабораторными испытаниями.

Тампонажный материал должен иметь сертификаты или технические условия на материалы, в случае отсутствия их — подвергаться лабораторным испытаниям с целью определения соответствия их требованиям нормативно-технических документов и степени пригодности для тампонажных растворов.

Для приготовления тампонажных растворов должны применяться следующие материалы:

в обычных гидрогеологических условиях — портландцемент марок 400—500;

при наличии агрессивных вод — сульфатостойкий портландцемент марок 400—500, отвечающий требованиям раздела 3;

при наличии напорных вод — тампонажный портландцемент марок 400—500 по ГОСТ 1581—85;

песок и вода должны отвечать ГОСТ 8736—85 и требованиям раздела 3;

суглинки со следующим гранулометрическим составом:

песчаные частицы крупностью 0,05 мм — 10—35%;

вылеватые частицы крупностью 0,005 мм — 35—70%;

глинистые частицы крупностью менее 0,005 мм — 10—20%;

глины песчаные с содержанием глинистых частиц не более 35—40%. Тонкодисперсные глины для приготовления тампонажных растворов непригодны.

Тампонажные растворы должны изготавливаться на буровой площадке непосредственно в процессе производства работ по тампонированию.

Тампонажные растворы готовят в глиномешалках типа Г2П2-4, МГ2-4, Г2-10, цементосмесительных установках СМН-20, СМП-2 и цементировочных агрегатах ЦА-300 или ЦА-320. Для нагнетания растворов используют насосы У8-3, У8-4, 12ГР, ЗИФ-200/40, ПГР и др.

При изготовлении тампонажных растворов перемешивание составляющих производится в следующей последовательности. Вначале в глиномешалку заливают воду, затем подаются цемент и добавки.

При изготовлении цементно-суглинистых и цементно-глинистых растворов в воду засыпается суглинок (глина) и перемешивается, а затем цемент. Вода заливается в два приема. Сначала заполняется половина глиномешалки, а после засыпки и перемешивания цемента и заполнителей доливается до полного объема. Химические добавки подаются в виде водных растворов в рабочей консистенции. Перемешивание компонентов производится в течение 20—30 мин до полной однородности раствора. Приготовленный раствор сливается в накопительную емкость, откуда грязевым насосом закачивается в тампонажные ставы.

Тампонирование закрепного пространства секционной крепи при первичном тампонаже должно осуществляться через ставы труб, опущенные в закрепное пространство. Число ставов труб в зависимости от диаметра обсадных труб приведено ниже.

Число ставов труб	1	2	3	4
Наружный диаметр ставов труб, мм	57—76	89—114	114—133	136—168

Верхние концы ставов должны быть оборудованы вентилями и соединены шлангами с коллектором, через который поступает тампонажный раствор от насоса.

Тампонирование закрепного пространства следует производить ступенями, высота которых определяется допустимой высотой разовой закачки  $h_3$ .

Максимальная высота разовой закачки тампонажного раствора для тонкостенных конструкций крепи (стальные трубы) определяется из условий устойчивости ее по формуле

$$h_2 < \frac{p_{кр} k}{\gamma_{тр} - \gamma_{ож}}, \quad (8.1)$$

где  $p_{кр}$  — критическое внешнее давление на крепь, при котором происходит потеря устойчивости;  $k=0,7 \div 0,9$  — коэффициент запаса;  $\gamma_{тр}$  — плотность тампонажного раствора;  $\gamma_{ож}$  — плотность буровой жидкости.

При толстостенных секционных конструкциях крепи высота разовой закачки тампонажного раствора определяется по результатам расчета крепи на устойчивость и прочность. Для погружного способа крепления расчет тампонажных зон должен производиться с учетом заполнения балластной жидкостью и действия выталкивающей силы.

Во избежание смешивания тампонажного раствора с буровой жидкостью тампонирование следует производить непрерывно на полную высоту ступени. Сначала производится промывка закрепного пространства буровой жидкостью, затем через каждый став поочередно закачивается определенный объем раствора. После этого ставы поднимаются на высоту одного звена труб, верхнее звено удаляется, и тампонирование продолжается, пока не будет заполнено раствором закрепное пространство на всю высоту ступени.

При незначительных перерывах в закачке раствора (20—30 мин) ставы необходимо поднимать с таким расчетом, чтобы их нижние концы находились в тампонажном растворе на 1,5—2 м. При значительных перерывах в закачке раствора (более 1 ч) или после окончания тампонирования ступени ставы поднимаются из тампонажного раствора и промываются водой. В начале тампонирования новой ступени ставы опускают на схватившийся тампонажный раствор.

Тампонаж закрепного пространства производится после установки каждой секции крепи до уровня, расположенного на 15—20 см ниже верха секции. Промежуточные секции тампонируются после стыковки на весу при сниженной нагрузке на прицепном устройстве от вновь установленной секции на 25—30%.

Нижняя (анкерная) секция вначале тампонируется так, чтобы образовалось бетонное основание, препятствующее в дальнейшем поступлению тампонажного раствора внутрь секции. После его затвердевания производится тампонирование обычным способом.

Ставы следует опускать сразу на всю глубину ствола, закрепленными к анкерной секции, с последующим подъемом их на высоту секции после тампонажа каждой опущенной секции. Допускается монтировать и демонтировать тампонажные трубы при спуске каждой секции. В этом случае на верней кромке секции

должен устанавливаться специальный конус для направления концов ставов в закрепное пространство.

При погружной крепи тампонаж может производиться через центральный став, ставы труб, опущенные в закрепное пространство после погружения крепи, или комбинированным способом — нижней часть ствола — через центральный став, а верхнюю — по ставам труб, опущенным в закрепное пространство.

Нижние концы ставов труб во избежание их забивки закрываются конусом, а сбоку прорезаются отверстия для выхода раствора.

Перерыв между ступенями закачки тампонажного раствора определяется необходимой продолжительностью затвердения тампонажного раствора, которая составляет 8—16 ч и устанавливается проектом организации работ. При производстве работ по тампонированию закрепного пространства в зимнее время должны предусматриваться мероприятия по подогреву воды и заполнителей. При проведении тампонажных работ необходимо вести контроль за недопустимым вытеканием в ствол раствора через неплотные стыки секций.

Для заполнения пустот в закрепном пространстве, оставшихся после первичного тампонажа и подавления имеющихся притоков воды, должен производиться контрольный тампонаж. Контрольный тампонаж осуществляется одновременно с откачкой промывочной жидкости из ствола. Работы по тампонажу выполняются заходками высотой 10—15 м сверху вниз. В пределах заходки тампонаж производится снизу вверх.

Тампонажный раствор нагнетается за крепь насосами, устанавливаемыми на подвесном полке или на поверхности со спуском раствора по ставу труб. До начала тампонажа из тубинговой крепи выкручиваются пробки. Затем к тампонажным отверстиям подсоединяют краны и шланги, через которые нагнетают тампонажный раствор. Нагнетание производится до тех пор, пока сопротивление нагнетаемому раствору не будет равно расчетной нагрузке на крепь. Нагнетание производится последовательно через каждое отверстие в рядах тампонажной заходки.

Во вспомогательных стволах диаметром гидростатическим и в устойчивых породах с незначительным тампонаж может не производиться. Предусматривается лишь спуск буровой жидкости из закрепного пространства.

В процессе проведения тампонажных работ должен производиться контроль качества тампонажного раствора по срокам схватывания, подвижности, выходу цементного камня и плотности.

### 8.3. БЕТОНЫ И РАСТВОРЫ НА НЕОРГАНИЧЕСКИХ ВЯЖУЩИХ ДЛЯ АНКЕРНОЙ КРЕПИ

Анкерная крепь применяется как самостоятельный вид крепи и в сочетании с другими видами крепи — бетоном, набрызгбето-

ном, металлом и т. п., а также как средство упрочнения горных пород и борьбы с пучением почвы выработок, для подвески трубопроводов, оборудования, элементов армировки и других целей.

Крепь обладает высокой прочностью, долговечностью, имеет жесткую деформационную характеристику, хорошо сопротивляется статическим и динамическим нагрузкам, препятствует (особенно при полном заполнении шпуров) расслоению пород, несложна в исполнении.

В подземном шахтном строительстве применяются два типа анкерной крепи с закреплением анкеров неорганическими вяжущими: анкерная крепь железобетонная и анкерная крепь с патронированным быстросхватывающимся безусадочным неорганическим вяжущим (АКПН).

#### 8.4. СОСТАВЫ И ТЕХНОЛОГИЯ ПРИГОТОВЛЕНИЯ СМЕСИ ДЛЯ ЖЕЛЕЗОБЕТОННОЙ АНКЕРНОЙ КРЕПИ

Конструкция железобетонного анкера крепи состоит из мелкозернистого бетона и металлического стержня.

В качестве вяжущего для бетона при отсутствии притока агрессивных вод следует применять портландцемент, шлакопортландцемент марок не ниже 400. При наличии агрессивных вод следует применять сульфатостойкий портландцемент или шлакопортландцемент марки 400.

Цемент, песок и вода должны отвечать требованиям, приведенным в разделе 3.

Состав мелкозернистой бетонной смеси (Ц : П) при марке цемента 400 следует принимать равным 1 : 1, при марке цемента свыше 400—1 : 2.

Водоцементное отношение должно быть 0,4—0,5, а осадка конуса — не более 15—18 см. Для приготовления цементно-песчаных смесей следует применять просеянный песок с наибольшей крупностью фракций до 5 мм.

Интенсификация процесса твердения бетона в начальный период времени достигается введением химических добавок: хлористого кальция — 2%; жидкого стекла — 2—6%; добавки ОЭС (глиноземистый спек) — 2—6% массы цемента. Улучшение подвижности бетонной смеси достигается применением пластифицирующей добавки — сульфитно-дрожжевой бражки — 0,15—0,35% массы цемента, отвечающей требованиям, приведенным в разд. 3. Сроки схватывания смеси с ускорителями твердения должны составлять 15—45 мин. Оптимальная прочность бетона при сжатии в 28-суточном возрасте равна 35—40 МПа. Бетонная смесь для анкерной крепи должна готовиться небольшими порциями (на 10—12 анкеров) в растворомешалке или вручную в деревянном или металлическом корыте. Смесь должна перемешиваться до получения однородной массы.

Для заполнения шпура бетонной смесью необходимо при-

менять пневмонагнетатель. Заполнение шпуров бетонной смесью следует осуществлять следующим образом: бетонная смесь загружается в цилиндр пневмонагнетателя, закрывается крышка, и подключается сжатый воздух, досылается нагнетательная трубка в шпур, и в цилиндр подается сжатый воздух. Смесью под давлением сжатого воздуха заполняется шпур, выталкивая нагнетательную трубку. После заполнения шпура смесью сжатый воздух перекрывается и снимается давление в цилиндре.

Шпуры должны полностью заполняться смесью. Это достигается за счет применения нагнетательной трубки, длина которой превышает длину устанавливаемых стержней и досылки ее до забоя шпура. После заполнения партии шпуров бетонной смесью в них вводятся стержни с надетыми опорными элементами. После окончания работ по установке анкеров применяемое оборудование необходимо промыть или обдуть сжатым воздухом.

### 8.5. СОСТАВЫ И ТЕХНОЛОГИЯ ПРИГОТОВЛЕНИЯ БЫСТРОСХВАТЫВАЮЩИХСЯ БЕЗУСАДОЧНЫХ РАСТВОРОВ ДЛЯ ПАТРОНОВ АНКЕРНОЙ КРЕПИ

Анкеры с патронированным неорганическим вяжущим (быстрохватывающимся) состоят из патронов и металлических стержней.

Закрепление анкера происходит в результате разрыва в шпуре патронов с вяжущим и разрушения ампул с жидкой фазой при поступательно-вращательном движении стержня и образования при этом раствора.

Взаимодействие анкера с породой осуществляется сцеплением затвердевшего раствора со стержнем и породными стенками шпура.

Патроны состоят из полиэтиленовой оболочки, сухой смеси и жидкого компонента в стеклянной капсуле.

Состав шлакосиликатного вяжущего (%) приведен ниже.

Тонкомолотый доменный гранулированный	50
шлак с удельной поверхностью 300—350 м <sup>2</sup> /кг . . . . .	25
Портландцемент марки 400 (ГОСТ 10178—85) . . . . .	25
Жидкое натриевое стекло (ГОСТ 13078—81) с кремнеземистым мо- дулем 2 и плотностью 1,33·10 <sup>3</sup> кг/м <sup>3</sup> . . . . .	0,01
Пудра пигментная алюминиевая (ГОСТ 5494—71) . . . . .	массы сухих компонентов

Начало схватывания вяжущего — 40—60 с, конец — не более чем через 120 с.

При использовании в качестве вяжущего напрягающего (расширяющегося) цемента марки НЦ-20 (ТУ 21-20-43—80) заполнителем является песок с модулем крупности 1,0—2,0.

При необходимости удлинения сроков схватывания смеси в состав раствора следует вводить пластификатор — сульфитно-дрожжевую бражку — 0,30% массы цемента, В/Ц=0,37.

Начало схватывания смеси на основе НЦ-20 — 18—20 мин, конец — не более чем через 30 мин.

В случае необходимости получения более ранних сроков начала и конца схватывания вяжущего в состав смеси дополнительно вводятся химические добавки — ускорители твердения.

Анкерную крепь с патронированным вяжущим следует применять с полным или частичным заполнением шпура патронами. Число патронов в шпуре определяется расчетом. Расчет производится по аналогии с железобетонной анкерной крепью.

В шпур вводятся патроны с вяжущим по одному до упора с помощью деревянного забойника.

Установка стержня анкера производится с помощью электрических или пневматических ручных сверл с частотой вращения не менее  $5 \text{ с}^{-1}$ .

В процессе поступательно-вращательного движения стержень при помощи резака разрывает патроны и перемешивает составные компоненты смеси.

После того как стержень достигнет забоя шпура, сверло отключается и отсоединяется от анкера. При этом стержень фиксируется до окончания схватывания смеси.

Результаты работы по креплению выработок анкерами заносятся в специальный журнал.

#### 8.6. СОСТАВЫ БЕТОННЫХ СМЕСЕЙ ДЛЯ НАБРЫЗГБЕТОННОЙ КРЕПИ НА ОСНОВЕ ЦЕМЕНТА И ШЛАКОЩЕЛОЧНЫХ ВЯЖУЩИХ

Применение набрызгбетонных крепей наиболее эффективно в выработках, проходимых буровзрывным способом с использованием контурного взрывания, а также с помощью комбайнов. Набрызгбетон, как правило, отличается меньшей пористостью, водонепроницаемостью, более высокими прочностными характеристиками по сравнению с обычным монолитным бетоном. Вид и марку цемента для приготовления набрызгбетонной смеси устанавливают в соответствии с проектируемой прочностью бетона, условиями эксплуатации крепи, ее назначением. Цементы (марки не ниже 400) должны удовлетворять требованиям, приведенным в разд. 3. При креплении выработок вслед за забоем, проводимых в неустойчивых, слабых или водоносных породах, следует применять быстрохватывающиеся и быстротвердеющие цементы, отвечающие требованиям соответствующих нормативно-технических документов.

В качестве мелкого заполнителя предпочтительно применение крупнозернистых песков. Влажность песка должна быть не выше 2—3%.

В качестве крупного заполнителя следует применять щебень из природного камня с максимальной крупностью фракций 15—20 мм. Возможно также применение гранулированного доменного шлака и гранитного отсева с фракцией до 10 мм, а также гравийно-песчаной смеси, которую при необходимости сле-

дует промыть и обогатить для получения заданной фракции. Количество крупного заполнителя не должно превышать содержания в сухой смеси песка (35—40%).

Вода для затворения сухой набрызгбетонной смеси должна отвечать требованиям, приведенным в разд. 3.

Для создания набрызгбетонного покрытия толщиной свыше 0,05 м и при использовании обычных цементов в состав смеси следует вводить химические добавки — ускорители схватывания и твердения. В зависимости от заданных сроков схватывания ориентировочное количество добавок, вводимых в набрызгбетонные смеси, приведено в табл. 8.2.

Срок хранения сухой смеси с влажностью заполнителей 2—5%, приготовленной централизованно, не должен превышать 4 ч.

При нанесении набрызгбетона на слабые или размокаемые породы водоцементное отношение не должно превышать 0,4, для обычных пород — 0,4—0,5.

Ориентировочные расходы материалов для разных марок набрызгбетона и цементов приведены в табл. 8.3.

Таблица 8.2

Дозирование добавок в набрызгбетонных смесях

Добавки	Физическое состояние	Количество от массы цемента, %	Продолжительность схватывания, мин
ОЭС	Порошок	3—4	1—5
Фтористый натрий	Порошок	3—4	2—4
Хлористый кальций	Порошок или жидкость	3—5	10—12
Стекло натриевое жидкое	Жидкость	3—10	1—15
Алюминат натрия	Жидкость	2—5	7—15
Хлористое железо	Водный раствор	2—6	3—5

Таблица 8.3

Составы бетонных смесей для набрызгбетонных крепей

Заполнители	Марка набрызгбетона	Марка цемента	Содержание исходных компонентов в 1 м <sup>3</sup> бетонной смеси									Соотношение компонентов, %					
			По массе, кг			По объему, л			По массе			По объему					
			Ц	П	Щ	Ц	П	Щ	Ц	П	Щ	Ц	П	Щ			
Песок средней крупности, щебень	300	400	428	875	289	356	547	207	1	2,04	0,68	1	1,54	0,58			
	300	500	342	865	397	285	541	284	1	2,52	1,16	1	1,89	—			
	300	400	535	1064	—	445	665	—	1	1,98	—	1	1,49	—			
	300	500	428	1206	—	356	754	—	1	2,81	—	1	2,11	—			
Отходы камнедробления (отсев) средней крупности	300	400	535	1197	—	445	665	—	1	2,24	—	1	1,49	—			
	300	500	428	1357	—	356	754	—	1	3,17	—	1	2,11	—			

Примечание. При расчете составов бетонных смесей для набрызгбетонных крепей принята плотность цементов 1200 кг/м<sup>3</sup>, песка 1600 кг/м<sup>3</sup>, щебня 1400 кг/м<sup>3</sup> и отходов камнедробления (отсева) 1800 кг/м<sup>3</sup>.



Выдавать на производство составы набрызгбетонных смесей без контрольной проверки и корректировки на местных материалах категорически запрещается.

В состав работ по набрызгбетонированию входят следующие операции: подготовка поверхности выработки, транспортирование составляющих компонентов к месту работ, приготовление сухой смеси, загрузка машины, набрызгбетонирование, уход за набрызгбетоном и профилактическое обслуживание машин, контроль качества набрызгбетона.

Возведение набрызгбетонной крепи можно осуществлять «сухим» и «мокрым» способами. Последний способ при существующих средствах механизации следует применять при омоноличивании затяжек с целью последующего тампонажа, а также при возведении изолирующих покрытий в условиях крепких устойчивых пород.

Возведение набрызгбетонной крепи следует производить с помощью оборудования, обеспечивающего механизированное транспортирование, приготовление и нанесение смеси. В состав оборудования должны входить: транспортные средства для доставки готовой сухой смеси или ее составляющих к месту работ, механизмы для перегрузки сухой смеси или ее составляющих из транспортных средств в смесительное оборудование или набрызгмашину, смесительное оборудование, обеспечивающее приготовление и тщательное перемешивание смеси, механизм для нанесения набрызгбетона, приспособление для подачи воды и добавок к соплу под определенным давлением, устройства и приспособления для управления движением сопла в процессе набрызга. Оборудование следует комплектовать в зависимости от конкретных условий предприятия.

Для набрызгбетонирования, как правило, следует применять машины ПБМ конструкции ВНИИОМШС многофункционального назначения и машину СБ-67 конструкции ЦНИИПодземмаша. ПБМ рассчитаны на раздельную загрузку вяжущего и заполнителей в два отдельных отсека емкостной камеры, но могут работать и на готовой сухой смеси.

Крепление выработок набрызгбетоном с помощью ПБМ можно осуществлять вслед за подвиганием забоя или с любым необходимым отставанием, последовательно или параллельно с основными проходческими операциями.

Загрузку машины вяжущим и заполнителем на поверхности следует производить с помощью загрузочных устройств бункерного, контейнерного типов, а также с помощью эстакад.

При производстве работ по набрызгбетонированию следует руководствоваться разработанными ВНИИОМШСом «Технологическими схемами проведения горизонтальных и наклонных горных выработок с набрызгбетонной и смешанными крепями» (1978 г.), «Рекомендациями по применению облегченных набрызгбетонных крепей и технологии их возведения в условиях шахт Минуглепрома УССР» (1985 г.) и др.

Для набрызгбетона могут быть использованы шлакощелочные вяжущие (ШЩВ), твердеющие в воде и на воздухе и получаемые путем измельчения гранулированного доменного шлака (удельная поверхность не ниже  $300 \text{ м}^2/\text{кг}$ ), с последующим затворением водными растворами щелочных металлов натрия и калия.

В качестве щелочного компонента для шлакощелочного вяжущего следует применять низкомолекулярные (1—1,5) растворы жидкого стекла с плотностью  $1200\text{—}1250 \text{ кг/м}^3$ , метасиликат натрия (попутный продукт производства оксида титана), соду или содощелочной плав. Последние два компонента следует использовать в виде 15%-ных растворов плотностью  $1140\text{—}1160 \text{ кг/м}^3$ .

По механической прочности ШЩВ в зависимости от вида щелочного компонента подразделяются на марки 300, 400, 500, 600, 700, 800, 900, 1000, 1100, 1200.

Марка вяжущего на основных шлаках (наиболее предпочтительных), в частности характерных для металлургических заводов Украины, определяется пределом прочности при сжатии и изгибе образцов, изготовленных в соответствии с РСТ УССР 5024—83.

Шлакощелочные вяжущие обладают высокими водонепроницаемостью (более 20 МПа), коррозионной стойкостью и способностью твердеть в условиях отрицательных температур. Шлакощелочные вяжущие используются преимущественно в мелкозернистых бетонах. При этом в качестве заполнителей могут применяться и пески, содержащие большое количество глинистых и пылевидных примесей. В ряде случаев шлакощелочные вяжущие превосходят портландцемент.

Шлакощелочные вяжущие для набрызгбетона в пределах Украины должны удовлетворять требованиям РСТ УССР 5024—83, согласно которым по скорости набора прочности в 3-суточном возрасте они подразделяются на нормальнотвердеющие и быстротвердеющие вяжущие. Для набрызгбетона следует использовать быстротвердеющие быстротвердеющие ШЩВ. Тонкомолотый шлак для шлакощелочного вяжущего выпускается цементными заводами или изготавливается на приобъектных мельницах в соответствии с техническими условиями НИИЦементы ТУ 21-20-61—85 «Шлак молотый для производства шлакощелочного вяжущего».

Материалы, применяемые при производстве шлакощелочного вяжущего, должны удовлетворять требованиям, предусмотренным соответствующими нормативно-техническими документами. Содержание щелочного компонента в вяжущем должно быть при пересчете на  $\text{Na}_2\text{O}$  не менее 2,5 и не более 6,5% массы шлака.

Консистенция набрызгбетонной смеси должна соответствовать осадке конуса 1—3 см. Отношение массы раствора щелочного компонента к массе тонкомолотого шлака (растворо-

шлаковое отношение) должно находиться в пределах 0,4—0,5. Прочность на сжатие образцов быстротвердеющего ШЩВ в 3-суточном возрасте должна составлять для марок 400—500 не менее 50% марочной прочности, а для марок 600—1200— не менее 30 МПа.

Шлакощелочной набрызгбетон должен соответствовать требованиям ТУ 12 УССР 7—044—84. По пределу прочности при сжатии шлакощелочной набрызгбетон подразделяется на марки 500, 400 и 300.

Расчет составов шлакощелочного набрызгбетона, технические правила изготовления его и нанесения должны производиться согласно «Указаниям по производству и применению шлакощелочного набрызгбетона», ВНИИОМШС (1985 г.). Расход компонентов на 1 м<sup>3</sup> шлакощелочного набрызгбетона может быть определен по табл. 8.4.

Таблица 8.4

Расход компонентов на 1 м<sup>3</sup> набрызгбетона

Проектная марка	Плотность жидкого стекла, кг/м <sup>3</sup>	Прочность выжженного, МПа	Растворошлаковое отношение	Тонкокомолотый шлак, кг
400	1180	54	0,487	462
500	1230	61	0,527	510

Продолжение табл. 8.4

Гранитный отсев, кг	Щебень, кг	Песок, кг	Раствор жидкого стекла, л	Предел прочности при сжатии в 28-суточном возрасте, МПа
1309	—	—	191	42,4
—	885	722	218	53,9

Предприятие — изготовитель шлакощелочного набрызгбетона может готовить как сухую набрызгбетонную смесь, так и расфасовывать исходные материалы (тонкокомолотый шлак и заполнители) в отдельные отсеки емкостей набрызгмашины типа ПБМ, с помощью которых на месте производства работ производится перемешивание и нанесение готовой смеси на бетонную поверхность. Щелочной компонент доставляется отдельно и вводится вместе с водой затворения в виде водного раствора на месте производства работ через соплосмеситель.

Шлакощелочные вяжущие следует применять также для сборных изделий и конструкций монолитной бетонной и железобетонных крепей.

## 9. КОРРОЗИЯ БЕТОНА

Подземные сооружения во многих случаях эксплуатируются в агрессивных средах, что при определенных условиях вызывает разрушение конструкций крепи из бетона и железобетона.

Так, при обследовании разрушения крепи в 300 стволах Донецкого угольного и горнорудных бассейнов в 90 стволах причиной разрушения являлась коррозия бетона. Поэтому состав бетонной смеси, технология возведения крепи должны назначаться с учетом условий эксплуатации сооружения.

Коррозионные процессы, возникающие в цементных бетонах при действии водной среды, по основным признакам делят на три группы.

К первой группе (коррозия I вида) относятся процессы, протекающие в бетоне под действием вод с малой временной жесткостью. При этом некоторые составляющие цементного камня растворяются в воде и уносятся при ее фильтрации сквозь толщу бетона.

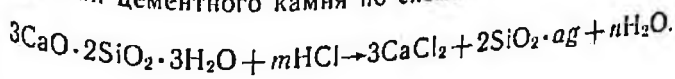
Ко второй группе (коррозия II вида) относятся процессы, развивающиеся в бетоне под действием вод, содержащих вещества, вступающие в химические реакции с цементным камнем. Образующиеся при этом продукты реакции либо легко растворимы и уносятся водой, либо выделяются на месте реакции в виде аморфных масс, не обладающих вяжущими свойствами. К этой группе могут быть отнесены, например, процессы коррозии, связанные с воздействием на бетон различных кислот, магниезальных и других солей.

В третьей группе (коррозия III вида) объединены процессы коррозии, вызванные обменными реакциями с составляющими цементного камня, дающие продукты, которые, кристаллизуясь в порах и капиллярах, разрушают его.

Коррозия выщелачивания I вида обуславливается тем, что все составляющие цементного камня и в первую очередь гидрат оксида кальция  $\text{Ca}(\text{OH})_2$  в той или иной степени растворимы в воде.

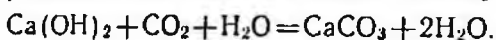
После вымывания свободного гидрата оксида кальция и уменьшения его концентрации в фильтрующей через бетон воде до величины менее 1,1 г/л начинается разложение  $3\text{CaO} \cdot \text{X}2\text{SiO}_2 \cdot 3\text{H}_2\text{O}$  с выделением из него гидрата оксида кальция. При концентрации в растворе оксида кальция (менее 1,08 г/л) начинается также гидролиз  $4\text{CaO} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 13\text{H}_2\text{O}$ . При дальнейшем уменьшении концентрации  $\text{CaO}$  в воде продолжается гидролиз других составляющих, и при длительном воздействии мягких вод на цементный камень и бетон возможно полное вымывание  $\text{Ca}(\text{OH})_2$  с разложением остальных гидратных соединений до аморфных, рыхлых гидратов кремнезема, глинозема и оксида железа. Прочность бетона резко падает, на поверхности его появляются белые налеты.

Кислотная коррозия II вида возникает под действием различных минеральных и органических кислот, вступающих в химическое взаимодействие с  $\text{Ca}(\text{OH})_2$ , а также другими соединениями цементного камня по схеме

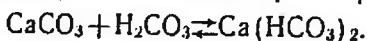


Те из образовавшихся продуктов, которые растворимы в воде, выносятся ею из бетона, нерастворимые же в виде рыхлых масс остаются. Все это сопровождается снижением прочности бетона, а впоследствии и полным его разрушением.

Углекислая коррозия развивается при действии на цементный камень и бетон воды, содержащей углекислый газ  $\text{CO}_2$  в виде слабой кислоты  $\text{H}_2\text{CO}_3$ . Вначале идет реакция между  $\text{Ca}(\text{OH})_2$  цемента и углекислотой с образованием малорастворимого и полезного для бетона  $\text{CaCO}_3$  по схеме



Дальнейшее воздействие  $\text{H}_2\text{CO}_3$  на цемент приводит, однако, к образованию более растворимого гидрокарбоната



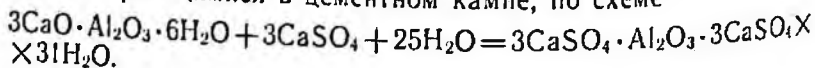
Появление в растворе «сверхравновесного» количества углекислоты вызывает растворение новых порций  $\text{CaCO}_3$  и образование  $\text{Ca}(\text{HCO}_3)_2$ . Эта избыточная углекислота называется агрессивной. Углекислая коррозия воздействует на бетон тем слабее, чем больше в водном растворе гидрокарбоната кальция и магния.

Сульфатная коррозия III вида наиболее часто встречается в агрессивных шахтных водах почти всех угольных бассейнов.

Основными признаками коррозии III вида являются накопление в порах и капиллярах бетона солей и последующая кристаллизация, связанная с увеличением объема твердой фазы.

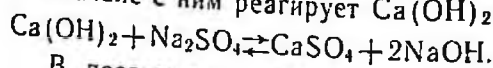
Количество ионов  $\text{SO}_4^{2-}$  в шахтных агрессивных водах достигает 2700 мг/л и более.

Сульфатная коррозия является следствием взаимодействия солей с ионами  $\text{SO}_4^{2-}$  с высокоосновными алюминатами кальция, содержащимися в цементном камне, по схеме



Образование малорастворимой высокосульфатной формы гидросульфоалюмината кальция (этtringита) из твердого  $\text{C}_3\text{AH}_6$  и растворенного гипса сопровождается увеличением твердой фазы (по сравнению с  $\text{C}_3\text{AH}_6$ ) примерно в 4,6 раза. Это вызывает возникновение сильных напряжений в цементном камне, приводящих к нарушению его структуры, деформациям и снижению прочности.

Если в агрессивном растворе содержится сульфат натрия, то вначале с ним реагирует  $\text{Ca}(\text{OH})_2$  по схеме



В последующем идет образование этtringита из гипса и алюмината кальция.

Этtringит образуется только при наличии четырех- или трехкальциевого алюминатов, устойчивых при концентрации

$\text{Ca}(\text{OH})_2$  в окружающем водном растворе соответственно не ниже 1,08 и 0,4—0,46 г/л (считая на  $\text{CaO}$ ).

Плотность кристаллов гидросульфалоюминатов — 1,48 г/см<sup>3</sup>. Эта соль малорастворима, особенно в растворах сульфатов и гидроксида кальция. При очень низкой концентрации  $\text{CaO}$  соль разлагается с выделением глинозема в виде хлопьевидного рыхлого осадка. В жидкой фазе, заполняющей поры цементного камня, этtringит кристаллизуется из раствора.

Действие сульфатов на бетон позволяет сделать заключение, что расширение бетона может наблюдаться только в случае образования достаточно больших количеств трехсульфатной формы гидросульфалоюмината. При действии сульфатов на обычные шлакопортландцементные бетоны образуется трехсульфатная форма, которая является основной причиной их разрушения в растворах. Стойкость бетонов на таких цементах обуславливается диффузионными характеристиками цементного камня. Полностью сульфатостойким цементом можно считать тот, который при введении в него избытка гипса не дает расширения. Это глиноземистый и гипсошлаковые цемента. Стойкость остальных цемента при высокой плотности и малом содержании  $\text{C}_3\text{A}$  можно объяснить растворением извести из поверхностного слоя и медленным поступлением из алюмоферритной фазы. Особое значение для шахтного строительства имеет вопрос о количестве образующегося гидросульфалоюмината при действии на трехкальциевый алюминат портландцемент.

Коррозия бетона непосредственно зависит от плотности и высокого качества бетона крепи. Это обусловлено тем, что при увеличении объема твердой фазы при переходе гидроксида кальция и алюминатов в результате взаимодействия с сульфат-ионами в двухводный гипс и гидросульфалоюминат кальция возникают значительные внутренние растягивающие усилия, которые обуславливают местные напряжения в цементном камне. Эти напряжения концентрируются у микродефектов и микротрещин структуры бетона. Внутренние растягивающие напряжения вызывают разрывы микротрещин, а затем и микротрещины в структуре бетона. Видимые трещины появляются при деформациях расширения около 0,1%, микротрещины возникают намного раньше, так как предельная растяжимость бетона во много раз меньше. Образовавшаяся трещина в своем устье представляет собой слабое место, прежде всего из-за концентрации здесь напряжений. Обнажение свежих поверхностей цементного камня, доступных действию сульфатов, способствует развитию коррозийных процессов именно в трещине, шве и непрерывному росту до тех пор, пока бетон полностью не разрушится.

Основными мероприятиями по борьбе с коррозией бетона III вида являются применение сульфатостойких цемента в зависимости от условий эксплуатации крепи стволов шахт и ступени агрессивности среды: введение воздухововлекающих, пластифицирующих и повышающих растворимость  $\text{Ca}(\text{OH})_2$  и  $\text{CaSO}_4$

добавок типа  $\text{CaCl}_2$ , СНВ, ССБ, суперпластификаторов, кремнийорганических; повышение плотности бетона с применением низких водоцементных отношений и уплотняющих добавок.

К III виду коррозии относится также магниезальная коррозия, которая наступает в результате воздействия на цементный камень и бетон растворимых солей магния (кроме  $\text{MgSO}_4$ ) по схеме  $\text{Ca}(\text{OH})_2 + \text{MgCl}_2 = \text{CaCl}_2 + \text{Mg}(\text{OH})_2$ .

Гидрат окиси магния малорастворим; образуется он в виде бесвязной массы, не обладающей вяжущими свойствами. Под воздействием солей магния возможно разрушение гидросиликатов и гидроалюминатов кальция. Все это сопровождается разрушением бетона. Одним из практических способов борьбы с этим видом коррозии является повышение плотности бетона крепи.

## 10. КОНТРОЛЬ КАЧЕСТВА БЕТОННЫХ И РАСТВОРНЫХ РАБОТ

### 10.1. ОРГАНИЗАЦИЯ КОНТРОЛЯ

Для обеспечения высокого качества бетонных (растворных) работ необходимо осуществить следующие виды контроля: входной, операционный и приемочный.

Постоянно действующий операционный контроль должен: обеспечивать соответствие качества производства бетонных работ нормативным документам и проектным материалам; своевременно выявлять причины дефектов в технологических процессах и принимать меры к их ликвидации; повышать ответственность исполнителей за качество выполняемых операций на каждом этапе производства бетонных работ.

Организация контроля за производством бетонных работ осуществляется по «Схеме производственно-лабораторного контроля строительных материалов и изделий», составленной в соответствии с «Картами операционного контроля качества при производстве строительных материалов (КОКК)».

Контроль за бетонными работами следует осуществлять в соответствии с СНиП III-15-76 строительными лабораториями и лицами, ответственными за эти работы.

### 10.2. ВХОДНОЙ КОНТРОЛЬ

Определение физико-механических свойств цементов следует осуществлять на основании ГОСТ 310.1—310.3—76, ГОСТ 310.4—81.

Активность цемента следует проверять строительной лабораторией при хранении его на складе более 2 мес, при поступ-

лении партии для проверки соответствия активности, указанной в паспорте.

Качественные характеристики мелкого и крупного заполнителей следует определять по ГОСТ 8735—75, ГОСТ 8269—87, ГОСТ 10268—80. Чистоту и влажность заполнителей следует проверять один раз в смену. Плотность водного раствора химических добавок должна определяться не реже одного раза в смену и для каждой вновь приготовленной партии.

### 10.3. ОПЕРАЦИОННЫЙ КОНТРОЛЬ

При дозировании исходных компонентов бетонной смеси необходимо контролировать погрешность в их дозировании, которая для цемента и водных растворов добавок должна быть в пределах  $\pm 2\%$ , заполнителей  $\pm 2,5\%$ . Дозировочные устройства смесительных установок должны отвечать требованиям ГОСТ 24619—81 и ГОСТ 14169—79.

Метрологическая проверка дозировочных устройств должна производиться органами Госстандарта один раз в год, ведомственными организациями — ежемесячно. При приготовлении бетонной смеси необходимо контролировать продолжительность перемешивания компонентов бетонной смеси. Качество перемешивания бетонной смеси следует проверять не реже одного раза в месяц путем сравнения содержания крупного заполнителя в пробах, отобранных в начале, середине и конце выгружаемого замеса. Разница в содержании крупного заполнителя в указанных пробах не должна превышать 5%.

Для качественного транспортирования бетонной смеси должны быть приняты меры по предотвращению расслоения и нарушения заданной подвижности ее, а также должен осуществляться систематический визуальный контроль за смесью.

Перед началом бетонирования необходимо произвести проверку состояния бетонопровода и опалубки, в особенности гибкой части бетонопровода (горшковых труб) в вертикальных стволах, а в горизонтальных выработках следует проверить всю цепочку от загрузки вагонеток бетоном, спуска их по стволу на горизонт и подачи к месту укладки.

В относительно сухих вертикальных стволах и горизонтальных выработках нельзя допускать перерывов в бетонировании для обычных бетонов свыше 3 ч. Для обеспечения плотной укладки бетона в заходке в этом случае следует промыть поверхность старого бетона и уложить новый. Если поверхность старого бетона гладкая, то необходимо при последовательной схеме проходки ствола и параллельной — в горизонтальных выработках создать рваную поверхность с помощью отбойных молотков, а затем уложить новый бетон.

Методы испытания бетонных смесей должны отвечать требованиям ГОСТ 10181.0—81.



## Пооперационный контроль за приготовлением бетонной смеси

Технологическая операция	Что контролируется	Цель контроля	Место контроля	Технологичность контроля, периодичность	Кто контролирует, проводит испытания	Метод контроля	Нормативные документы
<b>Вязущие материалы</b>							
Приемка цемента	Наличие заводской документации, количество, вид и марка цемента	Установить наличие паспорта (вид, марка цемента, количество, № партии) и соответствие его поступившим материалам	Каждый вагон, цементовоз	При поступлении каждой партии цемента	Приемщик цемента; испытания лаборатория	Проверка по документам. При необходимости измерение и взвешивание. Испытание при необходимости. Отбор проб, направление их на испытание	ГОСТ 310.1 — 310.3—76, ГОСТ 310.4—81, ГОСТ 8269—87
Разгрузка цемента, транспортирование на склад	Правильность разгрузки и размещения цемента	Предотвращение потерь цемента и его смешивания в отсеках	Разгрузочная площадка. Склад цемента	При поступлении каждой партии цемента	Приемщик	Осмотр. Наблюдение	ГОСТ 22236—85 ГОСТ 22237—85
Хранение цемента	Правильность хранения. Состояние склада	Соблюдение правил хранения	Склад цемента	Ежемесячно	Мастер цеха, в чьем ведении находится склад	Осмотр. При необходимости — ремонт	ГОСТ 2237—75

## Заполнители бетонов и растворов, добавки

Приемка крупного и мелкого заполнителей	Наличие документации поставщика. Ответственность количества материала дан-	Предотвращение загрязнения и смешивания заполнителей	Место разгрузки	Поступление транспортной единицы (вагон, автомашина)	Приемщик материалов	Сверка документов. При необходимости — измерение или взвешивание	—
-----------------------------------------	----------------------------------------------------------------------------	------------------------------------------------------	-----------------	------------------------------------------------------	---------------------	------------------------------------------------------------------	---

Выгрузка и транспортирование заполнителей на склад. Хранение	Соблюдение правил выгрузки, перевозки и хранения	То же	Место складирования	Каждая новая партия заполнителей	Приемщик, мастер БРУ (периодически представитель лаборатории). Испытания проводит лаборатория	Осмотр, наблюдение, отбор проб и направление их на испытание	ГОСТ 8735—75 ГОСТ 8269—87
Приемка, выгрузка и хранение добавок	Наличие документации, сверка количества добавок, правила перевозки на склад и хранение	Соблюдение правил ТБ при перевозке и хранении	Место разгрузки. Склад	Каждая партия добавок	Мастер бетонорастворного узла; периодически представитель лаборатории	Осмотр, наблюдение, при необходимости — направление на анализ	Рекомендации по применению химических добавок в бетоне. Стройиздат, М., 1977. Руководство по применению химических добавок к бетону. Стройиздат, М., 1975

## Приготовление бетонной смеси

Подача заполнителей в бункер подогрева и подогрев их в подогревающих зимнее время	Правильность загрузки бункеров и режим подогрева устройств	Выдерживание режима подогрева заполнителей	Бункера подогрева	Два раза в смену	Мастер бетонорастворного узла; периодически представитель лаборатории	Осмотр, наблюдение, измерение температуры	
Загрузка составляющих бетонной смеси (цемента, заполнителей, добавок) в бункеры бетонорастворного узла	Правильность заполнения бункеров	Определение влажности заполнителей	Расходные бункера бетонорастворного узла	Определение влажности не менее 2 раз в смену и при выпадении осадков	То же	Осмотр, наблюдение, определение влажности	ГОСТ 8735—75 ГОСТ 8269—87

Технологическая операция	Что контролируется	Цель контроля	Место контроля	Технологичность контроля, периодичность	Кто контролирует, проводит испытания	Метод контроля	Нормативные документы
Подача цемента, заполнителей, добавок в дозаторы	Исправность затворов бункеров, исправность затворов дозаторов	Обеспечение точности дозировки	Дозировочные устройства	Не менее двух раз в смену	Оператор, механик бетонорастворного узла	Наблюдение	СНиП III—15—76 ГОСТ 7473—85
Соответствие компонентов по массе состава бетона	Точность дозировки, концентрация рабочих растворов добавок; полнота освобождения дозаторов	Обеспечение проектной марки бетона	Бетономесительное отделение	Проверка дозаторов не менее одного раза в 3 мес	Мастер бетонорастворного узла; периодически представитель лаборатории. Органы Госстандарта, представитель лаборатории	Осмотр, наблюдение за работой дозаторов, устранение отмеченных дефектов, метрологическая проверка точности взвешивания, определение плотности растворов добавок с помощью ареометра	ГОСТ 7473—85
Перемешивание бетонной смеси	Состояние бетономешалки (лопастей смесителя, приемного бункера). Полнота выгрузки смеси Время перемешивания бетонной смеси Расслоение бетонной смеси	Получение однородной бетонной смеси заданного состава	Бетономесительное отделение	Один раз в месяц	Мастер или механик бетонорастворного узла	Осмотр, наблюдение, устранение отмеченных дефектов	ГОСТ 7473—85
			То же	Каждый замес	Моторист бетонорастворного узла	Отсчет времени	
			То же	То же	Оператор (мастер бетонорас-	Наблюдение	

Выгрузка бетонной смеси	(качество перемешивания)	Обеспечение заданной подвижности	Место выгрузки смеси в транспортные средства На месте выгрузки и месте укладки смеси	Два раза в смену, при изменении заполнителей; при переходе на новый состав Не менее двух раз в смену	Оператор (мастер)	Определение подвижности с помощью стандартного конуса	ГОСТ 7473—85					
	Подвижность бетонной смеси							То же	То же	То же	Оператор (мастер)	Измерение температуры с помощью термометра Наблюдение
	Температура бетонной смеси (в зимнее время)							Соответствие прочности бетона заданной проектом	На месте выгрузки и месте укладки смеси	Ежемесячно по каждому составу	Оператор; периодически представитель лаборатории	Забивка контрольных образцов и транспортирование их. Испытания образцов в сроки, установленные проектом
	Полнота выгрузки							Соответствие прочности бетона заданной проектом	На месте выгрузки и месте укладки смеси	Ежемесячно по каждому составу	Оператор; периодически представитель лаборатории	Забивка контрольных образцов и транспортирование их. Испытания образцов в сроки, установленные проектом
Транспортирование бетонной смеси	Состояние транспортных средств	Сохранение свойств при транспортировании	Место загрузки, от места погрузки до места укладки	Периодически, не реже одного раза в смену	Лаборатория	Осмотр и наблюдение						

Продолжение табл. 10.1

Технологическая операция	Что контролируется	Цель контроля	Место контроля	Техническое поле, метод, прибор, единица	Кто контролирует и по какой таблице	Метод контроля	Нормативные документы
Укладка бетонной смеси	Расстояние, время в пути	ванни	ста выгрузки				
	Качество опалубки	Обеспечение требуемого качества конструкции	Место установки опалубки	Перед началом бетонирования	Горный мастер	Осмотр, измерение	
	Подвижность бетонной смеси	Получение требуемой подвижности	Место укладки бетона	Не реже двух раз в смену	То же	Испытание по ГОСТ 10181.1—81	
	Обработка строительных швов и поверхности, на которую укладываемая бетонная смесь	Обеспечение прочного сцепления раннее уложенного бетона с вновь укладываемым	То же	Перед укладкой смеси	*		
	Время перерыва между укладкой слоев бетона	Обеспечение монолитности бетона	То же	Каждый укладываемый слой	*	Наблюдение	
	Толщина слоя бетона, качество уплотнения и время вибрации бетона	Обеспечение требуемого уплотнения	То же				Осмотр, измерение

Примечание. Данные проверки механиком бетоностанционного узла и устранение отмеченных дефектов отражаются в журнале приготовления бетонной смеси, который ведется на бетоностанционном узле. Данные испытаний контрольных образцов бетона — в журнале бетонных работ и протоколе испытаний контрольных образцов.

Для проведения испытаний следует отобрать пробы. В соответствии с ГОСТ 10181.0—81 пробы бетонной смеси для определения подвижности (осадка конуса) следует отбирать на бетонорастворном узле не реже двух раз в смену при постоянной влажности заполнителей и через каждые 2 ч — при резком ее изменении, а также при переходе на применение материалов из поступающих на бетонорастворный узел новых партий. Подвижность бетонных смесей следует также определять на месте укладки не менее двух раз в сутки. Контроль прочности на сжатие затвердевшего бетона необходимо осуществлять испытанием контрольных образцов в соответствии с ГОСТ 10180—78.

При необходимости определения плотности, влажности, водопоглощения, пористости и водонепроницаемости следует пользоваться ГОСТ 12730—78.

Порядок пооперационного контроля приготовления бетонной смеси на бетонорастворном узле приведен в табл. 10.1.

Пробы бетонной смеси для приготовления контрольных образцов и испытания их на сжатие необходимо отбирать на бетонорастворных узлах и на месте укладки в горной выработке в соответствии с требованиями ГОСТ 18105.2—80. На бетонорастворном узле следует отбирать ежедневно не менее одной пробы бетонной смеси от каждого состава бетона. На месте

Таблица 10.2

Пооперационный контроль при креплении стволов бетоном

Железобетонная крепь	Секционная опалубка	Бетонная крепь	Нарывающие труб подачи бетонной смеси
<b>Состав контроля</b>			
1. Диаметр стволов в проходе 2. Вязка арматурных каркасов: нахлестка соединяющей арматуры; размер арматурной сетки; расстояние между внешней и внутренней арматурными сетками; стыковка арматуры с вынелегающей заходкой	1. Диаметр ствола в проходе 2. Спуск опалубки 3. Геометрическая опалубка 4. Вертикальная опалубка 5. Герметизация заопалубочного пространства от попадания воды	1. Осадка конуса 2. Марка бетона 3. Толщина крепи	1. Заделка шверов 2. Центровка труб 3. Быстроразъемные соединения 4. Крепление труб
<b>Способ контроля</b>			
1. Линейка 2. Шаблон 3. Метр	1. Отвес 2. Шаблон 3. Рулетка 4. Устройства, приведенные в разделе	1. Конус АЗНИИ 2. Изготовление контрольных образцов бетона 3. Отвес 4. Рулетка	1. Визуальный осмотр 2. Отвес

Продолжение табл. 10.2

Железобетонная крепь	Секционная опалубка	Бетонная крепь	Нарращивание труб подачи бетонной смеси
----------------------	---------------------	----------------	-----------------------------------------

Время контроля

Во время монтажа армокаркаса перед спуском секционной опалубки	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. До спуска опалубки</li> <li>2. До укладки бетонной смеси</li> </ol>	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Непосредственно перед подачей бетонной смеси в ствол</li> <li>2. Ежедневно, после спуска опалубки</li> </ol>	1. В процессе и после наращивания труб
----------------------------------------------------------------	---------------------------------------------------------------------------------------------------------------	--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------	----------------------------------------

Проверяющие

<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Горный мастер</li> <li>2. Звеньевой бригадир</li> <li>3. Начальник проходки</li> </ol>	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Сменный журнал</li> <li>2. Горный мастер</li> <li>3. Сквозной или звеньевой бригадир</li> <li>4. Участковый маркшейдер</li> </ol>	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Сменный инженер</li> <li>2. Горный мастер</li> <li>3. Сквозной и звеньевой бригадиры</li> </ol>	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Механик</li> <li>2. Горный мастер</li> <li>3. Бригадир</li> </ol>
----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------	-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------	-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------	-------------------------------------------------------------------------------------------------------------

Документация

<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Акты на скрытые работы</li> <li>2. Книга нарядов</li> </ol>	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Книга нарядов</li> <li>2. Журнал крепления ствола</li> </ol>	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Акты на скрытые работы</li> <li>2. Журнал контроля качества работ</li> <li>3. Протоколы испытаний</li> </ol>	1. Журнал контроля навески труб в стволе
-------------------------------------------------------------------------------------------------------	--------------------------------------------------------------------------------------------------------	--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------	------------------------------------------

Примечание. Крепь из монолитного бетона (железобетона) должна: обеспечивать плотный контакт с горными породами, иметь заполненные швы между отдельными участками уложенного бетона, обеспечивающие монолитность конструкции; не иметь разрывов, трещин и других деформаций, быть однородной — общая площадь раковин глубиной не более 20 мм не должна превышать 100 см<sup>2</sup> на каждые 5 м<sup>2</sup> поверхности крепи, величина углублений крепи в контактах смежных заходок допускается до 30 мм; общее отклонение оси ствола от проектной не должно превышать 1 : 20000 глубины ствола.

укладки бетонной смеси следует отбирать пробы от каждой партии бетонной смеси объемом не более 50 м<sup>3</sup> (не менее двух проб с заходки).

Образцы для определения предела прочности при сжатии изготавливают в соответствии с требованиями ГОСТ 10180—78. Из каждой пробы следует изготавливать две серии контрольных образцов для определения прочности бетона в возрасте 3 и 28 сут. При скоростных проходках, кроме основных сроков испытания, должны изготавливаться дополнительные серии образцов для испытания в сроки (часы), предусмотренные проектом проходки.

Как правило, серия состоит из трех образцов. Если средний внутрисерийный коэффициент вариации для 50 последовательных серий менее 5%, серия может состоять из двух образцов, как того требует ГОСТ 10180—78.

Порядок пооперационного контроля качества ведения работ при возведении постоянного крепления стволов приведен в

Пооперационный контроль при возведении бетонной крепи в горизонтальных и наклонных выработках

Штанговая (арочная крепь) с металлической сеткой	Арочная крепь	Ариокаркасная крепь	Бетонная крепь
--------------------------------------------------	---------------	---------------------	----------------

## Состав контроля

1. Оборка боков и кровли	1. Оборка боков и кровли	1. Оборка боков и кровли	1. Толщина крепи
2. Разметка шпуров согласно паспорту крепления	2. Разметка лунок	2. Правильность установки крепления и соединения концов арматуры	2. Геометрия олаубки
3. Проверка правильности установленной анкерной крепи согласно паспорту крепления	3. Установка арочной крепи согласно паспорту крепления и рабочим чертежам		3. Осадка конуса
			4. Марка бетона

## Способ контроля

1. Поддиры, ломки	1. Поддиры, ломки	1. Поддиры, ломки	1. Замером, шаблоном, рулеткой
2. Шаблон, рулетка	2. Шаблон, рулетка	2. Визуально и замерами	2. Конус АЗНИИ
3. Путем механического опробования	3. Замером и опробованием соединений	3. Испытанием швов	3. Изготовление контрольных образцов

## Время контроля

1. Постоянно	1. Постоянно	1. До бетонирования	1. До бетонирования; на бетонорастворном узле; непосредственно перед подачей в выработку
2. До и после установки крепи	2. До и после установки крепи		2. После бетонирования

## Проверяющие

1. Сменный инженер	1. Сменный инженер	1. Сменный инженер	1. Горный мастер
2. Горный мастер	2. Горный мастер	2. Горный мастер	2. Бригадир и звеньевые
3. Бригадир и звеньевые	3. Бригадир и звеньевые	3. Бригадир и звеньевые	3. Выборочно — техник управления

## Документация

1. Книга нарядов	1. Книга нарядов	1. Книга нарядов	1. Акты на скрытые работы
			2. Журнал контроля качества работ

табл. 10.2, а возведение крепи в горизонтальных и наклонных горных выработках — в табл. 10.3.

#### 10.4. ПРИЕМОЧНЫЙ КОНТРОЛЬ

Испытания контрольных образцов с целью определения предела прочности бетона при сжатии и обработку получаемых результатов следует производить в соответствии с ГОСТ 10180—78. Определение прочности бетона при сжатии непосредственно в крепи должно производиться механическими неразрушающими методами в соответствии с требованиями ГОСТ 22690.0—77, ГОСТ 22690.1—77, ГОСТ 22690.2—77, ГОСТ 21243—75.

Расположение контролируемых участков при неразрушающем контроле должно быть указано проектной организацией в рабочих чертежах конструкции крепи или установлено шахтостроительным управлением совместно с проектной или научно-исследовательской организацией в зависимости от гидрогеологических условий залегания пород, геометрических размеров, назначения, технологии возведения крепи и результатов обследования ее. Контроль прочности бетона на сжатие следует осуществлять в соответствии с требованиями ГОСТ 18105—86. «Бетоны. Правила контроля прочности». Нестатистический контроль прочности бетона недопустим.

Контроль прочности бетона в соответствии с ГОСТ 18105—86 должен проводиться статистическим методом, позволяющим достичь постоянства принятой при расчете конструкций обеспеченности нормативных сопротивлений бетона.

При статистическом методе контроля требования к прочности бетона назначают с учетом фактической однородности прочности, характеризуемой величиной коэффициента вариации прочности бетона. При этом на предприятиях, изготавливающих и применяющих бетон с высокой однородностью, при сохранении требуемой прочности бетона может быть снижен расход цемента.

Контроль прочности бетона проводят по партиям. Партия бетона — контролируемый объем бетона одного производственного состава, изготовленный за установленное стандартами время и относящийся к одному технологическому комплексу.

Статистический контроль прочности бетона может проводиться с использованием для определения показателей однородности результатов контроля предыдущих партий бетона.

Контроль прочности бетона производится по результатам испытаний контрольных образцов или по результатам определения прочности бетона в крепи неразрушающими методами. В том случае, если нет возможности получить необходимое для вычисления статистических характеристик число результатов, допускается применять нестатистический контроль прочности бетона.

При контроле прочности бетона по образцам единичным значением, учитываемым при статистической обработке, является среднее значение прочности серии образцов, определяемой по ГОСТ 10180—78.

При контроле прочности бетона по образцам их изготовление

из отобранных проб и испытание проводят в соответствии с ГОСТ 10180—78.

Пробой называется порция бетонной смеси одного состава, отобранная из одного замеса или одной транспортной емкости (автобетоновоз, автосамосвал, шахтная вагонетка, контейнер и др.). Из пробы изготавливается одна или несколько серий образцов.

Серией образцов называется группа контрольных образцов-кубов, изготовленных из одной пробы бетонной смеси, твердеющих в одинаковых условиях и испытываемых в одном возрасте. Их твердение должно происходить в нормальных естественно-влажностных условиях.

В виде исключения допускается применять нестатический контроль прочности бетона для единичной конструкции монолитной крепи с общим объемом бетонирования до  $25 \text{ м}^3$  в сутки, когда нет возможности получить достаточное число результатов, необходимых для вычисления статистических характеристик.

По согласованию с проектной организацией, а также на объектах с общим объемом работ менее  $50 \text{ м}^3$ , получающих бетонную смесь с бетонорастворного узла, расположенного на расстоянии не более 50 км, допускается не проводить контроль прочности бетона по образцам на месте укладки, а использовать данные контроля прочности бетона центральной строительной лаборатории предприятия — изготовителя смеси.

Определение прочности бетона на сжатие неразрушающими методами должно производиться в соответствии с ГОСТ 18105—86.

При возведении крепи горных выработок в условиях положительных температур керны выбуриваются и испытываются в возрасте 28 сут, а при необходимости обеспечения специальных требований — в более ранние сроки.

При проходке стволов способом замораживания керны выбуривают после выдерживания бетона не менее 28 сут при принятой по проекту.

При необходимости по указанию центральной строительной лаборатории изготавливаются, кроме основных сроков испытания 7 и 28 сут, дополнительные серии образцов для испытания в другие сроки.

Число контрольных образцов в каждой серии должно быть, как правило, три.

На бетонорастворных узлах ежедневно следует отбирать не менее одной пробы бетонной смеси от каждого состава, приготовленного в смесителях, загружаемых через одну группу дозаторов.

На месте укладки бетонной смеси следует отбирать пробы для изготовления контрольных образцов от каждой партии бетона объемом не более  $100 \text{ м}^3$ . Изготавливают шесть образцов-кубов, которые хранятся в условиях твердения бетона в конструкции. При хранении образцов и транспортировке их в



центральную строительную лабораторию для испытаний в установленные сроки принимаются меры к предохранению их от разрушений, сколов, трещин, попадания влаги.

Образцы нормального твердения испытывают в сроки, предусмотренные проектом. Сроки испытаний контрольных образцов, выдерживаемых в условиях твердения конструкций, назначаются центральной строительной лабораторией в соответствии с фактическими условиями твердения бетона, с учетом достижения к моменту испытания распалубочной прочности, проектной марки и т. д.

При проходке вертикальных стволов диаметром до 6 м контрольные образцы в количестве 6 шт. отбираются на каждые 12 м ствола, при диаметре ствола более 6 м образцы отбираются на каждые 8 м ствола.

Образцы изготавливаются на месте укладки смеси, хранятся в условиях нормального твердения и испытываются в возрасте 7 и 28 сут. Прочность их должна соответствовать данным проекта.

При возведении крепи стволов с помощью металлической призабойной створчатой опалубки необходим строгий, систематический контроль прочностных показателей бетона в ранние сроки (его распалубочной прочностью). В этом случае для производственного контроля прочности бетона в сроки, установленные проектом производства работ для распалубки бетонной крепи стволов, необходимое число бетонных образцов для испытания на сжатие устанавливается центральной строительной лабораторией треста, но из объема смеси, расходуемой не менее чем на одну опалубку.

Согласно СНиП III—Б.9—69, прочность бетона к этому времени должна быть не менее 0,8 МПа.

Отбор проб бетонной смеси для испытания бетона на водонепроницаемость производится на бетонорастворном узле в тех случаях, когда к бетону предъявляются требования к указанному параметру; изготовление образцов производится не реже одного раза в квартал или при изменении показателей составляющих бетонной смеси и в эти же сроки — на месте укладки при возведении крепи.

Для конструкций толщиной 150 мм и более определение водонепроницаемости производят на контрольных образцах-цилиндрах диаметром и высотой 150 мм или на образцах в виде усеченного конуса в соответствии с методикой, изложенной в ГОСТ 12730.5—84. На каждый срок испытания изготавливают по шесть контрольных образцов.

За показатель водонепроницаемости принимают наибольшее давление, при котором на четырех образцах из шести еще не наблюдается просачивание воды. Водонепроницаемость может определяться на приборе любой конструкции, обеспечивающей подвод воды к нижней поверхности образца.

Среднюю прочность бетона в партии  $R_m$  вычисляют как сред-

нее арифметическое единичных результатов определения прочности на сжатие по формуле

$$R_m = \sum_{i=1}^n R_i/n, \quad (10.1)$$

где  $R_i$  — единичный результат (средняя прочность бетона серии образцов конструкции крепи или участка крепи);  $n$  — число единичных результатов (серий образцов, конструкции крепи или участков крепи, испытанных при контроле каждой партии).

При вычислении средней прочности рекомендуется исключать выпадающие результаты определения прочности в соответствии с ГОСТ 18105—86.

Продолжительность изготовления партии бетона не должна превышать 1 мес. От каждой партии бетона отбирают в течение срока ее изготовления не менее 15 проб, при нестатическом контроле — 2 пробы.

Число проб, отбираемых от каждой партии бетона, следует принимать, как правило, постоянным в течение контролируемого периода.

Однородность прочности бетона характеризуется среднеквадратическим отклонением  $S$  и коэффициентом вариации  $V$ . При контроле по образцам определение показателей однородности по прочности производят только на бетонном заводе.

Определение показателей однородности прочности бетона проводят отдельно для бетона каждого технологического комплекса, в который допускается объединять две секции на бетонорастворных узлах.

Объединение допускается, если выполняются следующие условия:

максимальный из средних по партиям коэффициент вариации на каждой линии не превышает 12%;

разность между максимальным и минимальным значениями фактической средней прочности на объединяемых секциях не превышает 5%.

К одному технологическому комплексу могут относиться бетоны одной марки, отличающиеся наибольшей крупностью заполнителей, подвижностью бетонной смеси не более чем в 2 раза и расходом цемента не более чем на  $\pm 15\%$  от среднего значения.

При контроле по образцам определение показателей однородности по прочности производят только на бетонном заводе.

При определении прочности бетона на образцах для нерегулярно выпускаемых составов бетона допускается на одном и том же бетонорастворном узле принимать значение коэффициента вариации по данным контроля бетона другого состава, приговаривая к тому же технологическому комплексу бетоны одинакового материала и отличающегося для бетонов марки до 150 не более чем на одну марку, а для бетонов марки 200 и выше — на 10 МПа.

Среднее квадратическое отклонение  $S_{мп}$  для каждой партии

бетона или отдельно принимаемой конструкции вычисляют по формуле

$$S_m = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (R_i - R_m)^2}{n-1}} \quad (10.2)$$

Если результаты отдельных определений при вычислении средней прочности признаются выпадающими, то их не учитывают при определении среднеквадратического отклонения прочности бетона в партии.

Коэффициент вариации прочности бетона  $V_m$  (в процентах) в партии или в отдельной конструкции (крепи) вычисляют по формуле

$$V_m = \frac{S_m}{R_m} 100.$$

Требуемая прочность бетона  $R_r$  назначается в зависимости от величины коэффициента вариации прочности бетона и числа серий контрольных образцов или контролируемых участков крепи.

Требуемая прочность бетона при нормировании ее по маркам

$$R_r = \frac{K_r}{100} R_n \quad (10.3)$$

где  $K_r$  — коэффициент требуемой прочности, принимаемый по ГОСТ 18105—86;  $R_n$  — нормируемая прочность бетона (марочная, отпускная и др.).

Требуемая прочность бетона — минимально допустимые значения средней прочности в возрасте 28 сут, устанавливаемые центральной строительной лабораторией с учетом величины коэффициента вариации и объема контроля.

Нормируемая прочность — это прочность бетона, заданная в технической документации, утвержденной в установленном порядке.

Партия бетона подлежит приемке, если фактическая прочность в партии  $R_m$ , определяемая по результатам испытания контрольных образцов на бетонорастворном узле, не ниже требуемой прочности ( $R_m \geq R_r$ ), а прочность каждой отдельной серии образцов крепи не ниже  $0,78 R_n$ .

Проверка стабильности вариации прочности бетона производится в соответствии с ГОСТ 18105—86.

На бетонном заводе для назначения требуемой прочности бетона в партии используют значение коэффициента вариации, рассчитанное по результатам испытания контрольных образцов принимаемой партии в проектном возрасте с учетом указания ГОСТ 18105—86 в части проверки стабильности вариации прочности бетона.

Коэффициент требуемой прочности бетона  $K_T$  приведен в табл. 10.4.

Таблица 10.4

Коэффициент вариации, %	$K_T$ , % нормируемой прочности	Коэффициент вариации, %	$K_T$ , % нормируемой прочности	Коэффициент вариации, %	$K_T$ , % нормируемой прочности
5	82	10	93	15	108
6	84	11	96	16	111
7	86	12	99	17	115
8	88	13	101	18	119
9	91	14	104	19	123
				20	127

Контроль качества бетона в крепи может осуществляться: отбором кернов способом выбуривания и испытания их на прочность и, если это необходимо, на водонепроницаемость;

определением водопоглощения бетона путем нагнетания воды в скважины после выбуривания кернов или выбуривания скважин, без обязательного извлечения кернов;

неразрушающими методами контроля прочности бетона.

Выбуривание кернов производят в соответствии с требованиями проекта производства работ или специальных указаний нормативных документов, а также при сомнении в качестве уложенного бетона по требованию заказчика. Выбуривание кернов производят в таких местах, чтобы снижение их прочности, жесткости и трещиностойкости были минимальными. Участки для выбуривания следует выбирать в местах, свободных от арматуры. Выбуривать образцы из бетонной крепи следует алмазными дисковыми пилами и коронками.

Скважины, образовавшиеся от высверливания кернов, следует непременно заделывать бетоном такого же состава, как и возводимая крепь, но приготовленным на щебне фракции 5—10 мм. Для зачеканки скважин можно принять и цементно-песчаный раствор состава 1:1:0,4 (по массе) с введением необходимого количества добавки или с использованием напрягающих цементов.

При контроле неразрушающими методами определение прочности бетона в крепи может производиться механическими способами или ультразвуковым импульсным способом.

В табл. 10.5 приведены стандартные методы испытания бетона в конструкциях.

В табл. 10.6 приведены характеристики ультразвуковых импульсных приборов, питающихся от сети переменного тока.

Определение прочности бетона в конструкции бетонной крепи неразрушающими методами производят по градуировочным зависимостям, предварительно установленным в соответствии с требованиями действующих государственных стандартов на эти методы.

Выбор единичного значения при неразрушающих методах определения прочности регламентирован ГОСТ 18105—86.

## Стандартные методы испытания бетона в конструкциях

Метод	Испытание	Основные приборы	Нормативный документ, определяющий методику испытания	Наименование ГОСТа
Пластической деформации	Вдавливание штампа в поверхность бетона	КМ, ДПГ-4 ДПГ-5, ПМ	ГОСТ 22690.0—77	«Бетон, тяжелый. Общие требования к методам определения прочности без разрушения приборами механического действия»
			ГОСТ 22690.1—77	«Бетон тяжелый. Метод определения прочности по отскоку и пластической деформации»
		Эталонный молоток Кашкарова	ГОСТ 22690.2—77	«Бетон тяжелый. Метод определения прочности эталонным молотком Кашкарова»
Отрыв со скалыванием	Вырывание из массива анкерного устройства с куском бетона	ГПНВ-5, ГПНВ-4	ГОСТ 21243—75	«Бетоны. Определение прочности методом отрыва со скалыванием»
Отрыва	Отрыв дисков, приклеиваемых к испытываемой поверхности	ГПНВ-5 со стальными дисками	ГОСТ 22690.3—77	«Бетон тяжелый. Методы определения прочности отрывом»
Отскока	Измерение упругости отскока	КМ, склерометры Шмидта	ГОСТ 22690.1—77	«Бетон тяжелый. Методы определения прочности по отскоку и пластической деформации»
Скалыванием ребра конструкции	Скалывание участка бетона на ребре конструкции	ГПНВ-5 с устройством «УРС»	ГОСТ 22690.4—77	«Бетон тяжелый. Метод определения прочности скалыванием ребра конструкции»
Определение прочности на сжатие и водонепроницаемость	Выбуривание, выпиливание и испытание кернов, кубов или цилиндров из тела бетонной крепи	Станок ИЭ—1801 с алмазными сверлами. Алмазные круги и пилы, дисковые сегменты	ГОСТ 10180—78	«Бетоны. Методы определения прочности на сжатие и растяжение»
Ультразвуковой	Определение скорости прохождения ультразвука в бетоне	УКБ-1 (допускается), УКБ-1М, УФ-90П, УК-10П УК-16П «Бетон-8УРЦ», УК-12П «Бетон-5»	ГОСТ 17624—87	«Бетоны. Ультразвуковой метод определения прочности»

## Характеристики ультразвуковых импульсных приборов

Тип прибора	Диапазон измерения времени	База прозвучивания, мс	Вид индикации и система отсчета	Масса, кг
УКБ-1И, УКБ-1М	0—5500	100—5000	ЭЛТ	16
УФ-90ПЦ	15—999	100—1000	Цифровая автоматическая индикация	6,5
УК-10П	5,3—5600 в ручном режиме, до 9999 в автоматическом режиме	100—2000	Электронно-лучевая трубка и цифровая автоматическая индикация	8
УК-16П	10—999,5	100—1000	Цифровая автоматическая индикация (в единицах времени и единицах прочности бетона)	6,0
«Бетон-8УРЦ»	10—999,5	100—1500	Цифровая автоматическая индикация	5,5
УК-12П	20—999,5	100—1500	То же	6,5
«Бетон-5»	0—399,8	100—1500	Лампа АСВР (автоматическая сигнализация времени развертки) Шкалы дискретного отсчета $\times 0,1$ ; $\times 1$ ; $\times 10$	8

Среднюю прочность бетона в партии  $R_m$  вычисляют как среднее арифметическое единичных результатов определения прочности по формуле 10.2.

При определении прочности бетона неразрушающими методами число контролируемых участков должно быть не менее девяти в партии и не менее трех в каждой контролируемой конструкции.

Расположение контролируемых участков при неразрушающем контроле указывается проектной организацией в рабочих чертежах конструкции крепи или устанавливается шахтостроительным управлением с соответствующей проектной или научно-исследовательской организацией в зависимости от геометрических размеров, назначения, технологии возведения крепи и результатов обследования ее (ГОСТ 18105—86).

Число измерений на контролируемом участке должно намечаться в зависимости от применяемого метода неразрушающего контроля по действующим государственным стандартам на методы контроля.

При определении прочности неразрушающими методами значение среднеквадратического отклонения вычисляется с учетом погрешности градуировочной зависимости, определяемой в соответствии с требованиями действующих стандартов на методы неразрушающего определения прочности по формуле

$$S_m = K_n \sqrt{S_{mn}^2 + \frac{S_r^2}{p}}, \quad (10.4)$$

где  $S_{mn}$  — среднеквадратическое отклонение прочности бетона в партии, определяемое по формуле (10.1);  $p$  — коэффициент, рав-

ный числу контролируемых участков в конструкции крепи;  $S_T$  — среднеквадратическое отклонение градуировочной зависимости;  $K_n$  — поправочный коэффициент, определяемый при контроле сборных конструкций по ГОСТ 18105—86 (при контроле монолитных конструкций  $K_n=0,9$ ).

При контроле неразрушающими методами определение показателей однородности следует производить по результатам испытания прочности бетона в крепи.

Приемку бетона осуществляют путем сравнения средней фактической прочности бетона в бетонной крепи с требуемой прочностью, рассчитанной по формуле (10.3).

Результаты испытаний исходных материалов, данные пооперационного контроля приготовления бетонной смеси, ее транспортирования и укладки, испытания контрольных образцов бетона и бетона в крепи должны быть занесены в соответствующие карты и журналы.

#### 10.5. КОНТРОЛЬ КАЧЕСТВА НАБРЫЗГБЕТОНА

Качество набрызгбетона (прочность на сжатие и растяжение, модуль упругости, сцепление, морозостойкость, водонепроницаемость, плотность и т. д.) в возрасте 28 и 180 сут следует определять в соответствии с действующими ГОСТами путем испытания образцов размером  $10 \times 10 \times 10$  см или  $10 \times 10 \times 40$  см, специально изготовленных или выпиленных из плит. Из конструкции крепи выбуриваются не менее трех образцов на каждые 50 м закрепленной выработки, а также при изменении исходных материалов или условий производства работ.

В ранние сроки прочность набрызгбетона следует определять неразрушающими методами контроля. Набрызгбетон неудовлетворительного качества (оплывы, отслоения, выкрошивания, мелкие отдельные трещины и т. п.) необходимо удалять сразу же после обнаружения дефектных мест, очистить и промыть водой, а затем отремонтировать методом набрызга. В процессе набрызгбетонирования следует наблюдать за давлением набрызгбетонной струи, которое зависит в основном от расстояния сопла до бетонируемой поверхности и давления сжатого воздуха, подаваемого к машине. Работы по возведению набрызгбетона должны быть фиксированы в журнале контроля производства набрызгбетонных работ.

#### 10.6. КОНТРОЛЬ КАЧЕСТВА ПРОИЗВОДСТВА РАБОТ ПРИ ВОЗВЕДЕНИИ АНКЕРНОЙ КРЕПИ

Контроль качества установки анкеров должен осуществляться лицами надзора путем проверки соответствия расположения анкеров паспорту крепления, дозировки составляющих бетонной смеси, ее подвижности, а также полноты заполнения шпуров этой смесью. Контроль прочности бетона, используемого для ус-

тановки железобетонных анкеров, производится путем испытания на сжатие серий образцов — кубов с ребром  $7,0 \times 7,0 \times 7,0$  см в возрасте 28 сут.

Изготавливать серию образцов необходимо на каждый закрепляемый объект. Контроль прочности затвердевшего раствора патронированного вяжущего следует определять путем испытаний образцов-кубов с ребром  $3,0 \times 3,0 \times 3,0$  см в возрасте 1 ч и 28 сут, изготовленных из той же смеси, что и партия патронов. До испытания образцы хранятся в естественно-влажностных условиях.

Контроль прочности закрепления штанг при неполном заполнении шпура раствором или бетоном должен осуществляться путем выдергивания штанг через 1 и 28 сут после их установки. В каждый срок следует проводить не менее трех испытаний. Испытание на прочность закрепления штанг путем выдергивания при полном заполнении шпура бетоном (раствором) не производится. Контроль прочности закрепления штанг в ненарушенном массиве при полном заполнении шпура должен осуществляться по результатам испытания контрольных образцов путем определения удельного сцепления штанги с бетоном (МПа) по формуле

$$\tau = ck\sqrt{R}, \quad (10.5)$$

где  $c$  — коэффициент, равный для штанг из гладкой круглой стали 1,0—1,25; для штанг со стержнем из стали периодического профиля — 2,5—3,3;  $k$  — коэффициент, учитывающий неравномерность распределения касательных напряжений по длине арматуры (для стали периодического профиля  $k=1$ ; для гладкой —  $k=0,6 \div 3,3$ );  $R$  — прочность бетона на сжатие, МПа.

Если при установке анкеров допущено вытекание бетонной смеси из шпура или контрольные образцы при испытании показали марку бетона (раствора) менее заданной, то эти участки крепи следует браковать и перекреплять.

## II. ОРГАНИЗАЦИОННО-ТЕХНИЧЕСКИЕ МЕРОПРИЯТИЯ ПО СНИЖЕНИЮ РАСХОДА ЦЕМЕНТА

Организационно-технические мероприятия по снижению расхода цемента должны содержать: оснащение предприятий, выпускающих бетонные и железобетонные изделия, товарный бетон и раствор; автоматизированные склады; машины и оборудование для приемки, разгрузки и перевозки цемента; автоматические системы дозирования компонентов и регулирования технологических процессов; средства контроля качества продукции.

К числу значительных потерь цемента относятся потери, связанные с неудовлетворительной организацией транспортных и складских работ. Потери цемента при транспортировании в цементовозах, включая потери при погрузочно-разгрузочных работах, в 10 раз меньше, чем при транспортировании в крытых вагонах, и в 40 раз меньше, чем в открытом подвижном составе.



Отсутствие достаточного количества силосов у потребителя и нарушение ритмичности поставки цемента приводит к смешению цемента разных поставщиков, видов и марок и нерациональному их применению вследствие вынужденного использования его по наименьшей активности. Перерасход цемента при этом составляет 12—14%. Предприятия должны получать и использовать в требуемом объеме рекомендуемые марки цемента, так как использование цемента на марку ниже рекомендуемой увеличивает его расход на 10—14%, а использование высокопрочных цемента в бетонах низких марок не позволяет полностью использовать их активность. Не следует применять портландцементы и сульфатостойкие портландцементы с минеральными добавками, так как это приводит к значительному увеличению расхода цемента за счет повышенной водопотребности бетонной смеси.

В проектах сооружения шахт следует учитывать промежуточные марки тяжелого бетона (250, 350 и 450), так как это позволяет экономить в среднем около 55 кг цемента на 1 м<sup>3</sup> конструкции.

Предприятиям, выпускающим нерудные материалы, необходимо предусматривать в годовых планах увеличенный объем производства обогащенного песка с модулем крупности 1,5 и выше.

Введение укрупняющих добавок при использовании мелкозернистых песков и минеральных тонкодисперсных добавок дает возможность значительно сократить расход цемента (табл. 11.1).

Особое значение следует придать широкому применению в производстве отходов и вторичных продуктов промышленности, прежде всего золошлаковым отходам, золы-уноса, шлаков. Применение золы-уноса в бетонах взамен части цемента позволяет снизить расход цемента на 10—15%.

Для приготовления бетонной смеси следует применять чистый крупный заполнитель. Каждый процент загрязненности щебня равнозначен дополнительному расходу примерно 1% цемента.

Таблица 11.1  
Среднее снижение расхода цемента при обогащении природного песка (%)

Вид укрупняющей добавки	Модуль крупности песка	
	1,5—2	1—1,2
Песок природный:		
средний	5	5
крупный	15	12
Каменный отсев классифицированный	20	15
Отходы горно-обогатительных комбинатов:		
классифицированные	5	5
шлаки тепловых электростанций	5	5
гранулированные шлаки с $m \geq 1$ т/м <sup>3</sup>	5	5

Низкое качество заполнителей приводит к перерасходу цемента в среднем до 10%.

Весомость отдельных источников потерь в процентах (при общем объеме потерь и неэкономном использовании цемента) можно приближенно оценить по данным, приведенным ниже.

Использование цемента разных видов и марок без учета конкретных условий производства, использования их не по назначению и смешивания . . . . .	5—10
Использование цемента горячих и с признаками ложного схватывания . . . . .	3—5
Применение цемента с повышенной нормальной густотой, с активностью ниже марочной . . . . .	5—7
Использование крупных заполнителей недостаточной прочности . . . . .	12—15
Применение заполнителей с повышенным содержанием пылевидных частиц . . . . .	10—12
Применение заполнителей неоптимального зернового состава . . . . .	8—12
Несовершенство оборудования для разгрузки транспортных средств из-за неполного их опорожнения и несовершенство конструкции приемных устройств . . . . .	4—6
Хранение и внутривозовское транспортирование цемента . . . . .	1—3
Дозирование цемента, приготовление бетонной смеси и ее транспортирование . . . . .	2—5
Несовершенство оборудования и методов контроля технологических операций, свойств материалов, бетонной смеси и прочности бетона . . . . .	6—10

Особенно эффективным средством снижения расхода цемента являются комплексные добавки и суперпластификаторы. Применение пластифицирующих добавок дает возможность снизить расход цемента до 20 кг на 1 м<sup>3</sup> бетона. Целесообразно обеспечить производство бетонов и растворов с применением пластифицирующих добавок не менее 60%.

Для снижения расхода цемента целесообразно осуществлять: привязку и внедрение на бетонорастворных узлах технологических линий для хранения, приготовления, транспортирования и дозирования водных растворов химических добавок;

применение приствольных или приствольных заглубленных бетонорастворных узлов, обеспечивающих возможность применения для возведения крепи вертикальных стволов бетонных смесей с осадкой конуса 10—12 см;

транспортирование (при возможности) бетонных смесей по стволу в специальных контейнерах — бадьях, что позволит приносить смеси с осадкой конуса менее 10 см;

применение вибраторов при укладке бетонной смеси за опалубку.

Сравнительные испытания бетона следует производить при формировании кубиков в высококачественных формах, удовлетворяющих ГОСТ 22685—77. При этом прочность бетона выше на 10—15%, чем при испытаниях кубиков, отформованных в обычно используемых на предприятиях некачественных формах; это обуславливает завышенный расход цемента в среднем на 20—30 кг/м<sup>3</sup> бетона.

При обработке результатов испытания образцов масштабный фактор для перехода от кубиков размером 10×10×10 см к

кубикам размером  $15 \times 15 \times 15$  см повышен до 0,95, что позволяет снизить нормативный расход цемента на 3—3,5%.

Важнейшим резервом экономии расхода цемента методами технического нормирования является повышение однородности бетона. Если статистическим анализом результатов испытания бетона установлена его повышенная однородность (ГОСТ 18105—86), то требуемая прочность может быть снижена по отношению к нормируемой на 10—17%, что позволяет уменьшить производственную норму расхода цемента на 6—7%.

При разлаженной технологии вследствие низкой однородности бетона возможен перерасход цемента до 8—10%.

Производственные нормы должны учитывать конкретные условия производства бетонных (растворных) работ на каждом предприятии и шахте и устанавливать расход цемента с учетом специфических особенностей данного производства.

Статистический метод оценки прочности бетона позволяет снизить расход цемента на 3,5% за счет правильного учета и повышения однородности бетона. Внедрение неразрушающих методов контроля прочности бетона обеспечивает сокращение расхода цемента до 5% вследствие выявления сверхнормативной прочности бетона.

## 12. ТЕХНИКА БЕЗОПАСНОСТИ ПРИ ПРОИЗВОДСТВЕ БЕТОННЫХ РАБОТ

При производстве бетонных работ следует строго соблюдать правила техники безопасности, приведенные в СНиП III-4—80 «Техника безопасности в строительстве».

Установка опалубки, транспортирование бетонной смеси, укладка и уплотнение при возведении крепи горных выработок должны производиться с соблюдением «Правил безопасности в угольных и сланцевых шахтах».

Территория бетонорастворного узла должна содержаться в чистоте. Проезды и проходы в ночное время должны быть освещены в соответствии с «Указаниями по проектированию электрического освещения строительных площадок» (СН-81—80).

Проходы и проезды должны иметь твердое покрытие, обеспеченный водоотвод и ограждение, отделяющее проезжую часть от проходов.

Паропроводы, краны, вентили при использовании острого пара для подогрева материалов должны иметь теплоизоляцию.

Ремонтные работы в бункерах и закромах при обогреве материалов паром производятся после полного их охлаждения и при отсутствии в них заполнителей.

Площадки и подмости для обслуживания бетоносмесительных установок или бетоносмесителей, рабочие лестницы и приямки ограждаются перилами высотой 1 м. Лестницы, ведущие к механизмам, должны быть с врезными ступенями и ограждены перилами.

Эстакады должны иметь проход не менее 0,8 м шириной, свободный от оборудования и коммуникаций. Ремонт и очистка эстакад производятся после прекращения движения транспорта.

Светильники для производственных помещений, переносные лампы должны иметь напряжение от 12 до 36 в.

Помещения, в которых производятся работы с пылевидными и химическими веществами (цемент, зола-уноса, добавки), должны обеспечиваться вентиляцией или специальными устройствами в соответствии с требованиями «Норм проектирования промышленных предприятий».

Вентиляционные устройства должны содержаться в полной исправности, систематически осматриваться и подвергаться очистке. Контроль за состоянием вентиляции должен осуществляться только лицами, подготовленными в этой области. Журнал эксплуатации вентиляционных устройств хранится у главного механика завода или механика бетонрастворного узла.

Запыленные помещения не реже раза в месяц должны осматриваться сотрудниками санитарно-эпидемиологической службы.

Рабочие, занятые приготовлением бетонной смеси, должны пройти специальный инструктаж по технике безопасности и промышленной санитарии.

При приготовлении бетонной смеси во время работы механизмов запрещается очистка барабанов и корыт смесительных устройств. Помогать выгрузке бетонной смеси из барабана во время работы смесителя с помощью каких-либо ручных средств (лопат) не разрешается.

Очистка приямков под загрузочными ковшами смесителей допускается только после закрепления ковша в поднятом положении.

Весь персонал бетонрастворного узла должен быть ознакомлен с условными обозначениями звуковых сигналов для пуска или остановки механизмов.

У рабочего места или в смесительном отделении должна быть вывешена инструкция о порядке пуска и остановки двигателя и значении сигналов.

При паропрогреве материалов коммуникации паропрогрева, вентили и краны тщательно изолируются с целью предупреждения ожогов.

Ремонт паропроводов выполняется только при снятии давления и отключении их от магистрали.

Приготовление бетонной смеси с химическими добавками производится с соблюдением мер против ожогов, повреждений, раздражений слизистой оболочки, отравления. Химические добавки вводятся в состав бетонной смеси в виде растворов рабочей концентрации. Персонал, занятый приготовлением концентрированных растворов химических добавок, должен быть обеспечен резиновыми сапогами и рукавицами, защитными комбинезонами и очками, противогазом или респиратором.

При производстве работ с применением суперпластификатора необходимо соблюдать правила безопасности согласно требованиям СНиП III-4—80 «Техника безопасности в строительстве».

Помещения, где происходят работы, должны быть обеспечены вентиляцией. Суперпластификатор не имеет запаха, не выделяет при хранении вредных газов и паров, малотоксичен.

Приготовление раствора химических добавок должно производиться под наблюдением технического персонала бетонорастворного узла лицами не моложе 18 лет, прошедшими медицинское освидетельствование и ознакомленными с правилами техники безопасности.

К работам по приготовлению водных растворов добавки нельзя допускать лиц, имеющих повреждения кожи рук. В случае попадания раствора добавки на кожу ее надо смыть теплой водой. Запрещается принимать пищу в помещении, где хранятся и готовятся растворы добавок.

Химические добавки должны храниться в специально выделенном закрытом помещении. Емкости для хранения добавок должны быть снабжены надписями с указанием наименования добавки, ее химической формулы, плотности раствора. Емкости с раствором нитрита натрия или нитрата натрия с хлористым кальцием должны иметь надпись «Яд».

Автосамосвалы должны иметь страхующую упорную штангу. Без ее установки запрещается работать под поднятым кузовом.

При загрузке самосвала бетонной смесью не допускается присутствие людей в кузове.

Разгрузка самосвала на ходу и движение с поднятым кузовом не разрешаются.

При разгрузке бетонной смеси с бровки котлована транспортные средства не должны находиться ближе 1 м от нее.

Перед укладкой бетонной смеси за опалубку в вертикальных стволах проверяется надежность крепления гибких (горшковых) труб к карманам металлической опалубки.

При транспортировании бетонной смеси в вагонетках рельсовые пути систематически следует очищать от бетона и грязи.

При укладке бетонной смеси с добавкой, придающей ей высокую электропроводность, должен быть обеспечен систематический контроль за состоянием электроинструментов и электропроводки в соответствии с требованиями СНиП III-4—80 «Техника безопасности в строительстве».

При работе с пневматическими вибраторами, уплотняющими бетонную смесь за опалубкой, работающий персонал должен быть защищен очками, одет в резиновые сапоги и снабжен резиновыми перчатками.

При возведении бетонной крепи вертикальных стволов снятие (отрыв) призабойной металлической опалубки на всю высоту и уборку породы под опалубкой следует производить только по достижении бетоном распалубочной прочности. Отрыв опалубки

должен производиться только с помощью средств стяжных секций и без применения ручного труда; использование динамического воздействия на опалубку для отрыва ее запрещается.

Рабочие и ИТР, выполняющие работы по установке анкеров и нанесению набрызгбетона, должны быть ознакомлены с принципами работы этих видов крепи и паспортом крепления под расписку.

Производить оборку кровли и стен выработки перед установкой крепи, а также проверять состояние возведенной крепи надлежит выполнять только под руководством лица технического надзора.

Запрещается пользоваться установками, работающими под давлением, при отсутствии и неисправности манометров и предохранительных клапанов.

Смазка оборудования или отдельных его узлов, подтягивание соединений в трубопроводах, а также ликвидация «пробок» в шлангах должны производиться после снятия давления воздуха и отключения от электросети.

В местах нанесения покрытий источники света должны быть расположены так, чтобы на рабочие поверхности не падали тени от работающего оборудования.

Все осветительные приборы, расположенные в зоне работы сопловщика, должны иметь защитные колпаки из небьющегося стекла.

При работе с добавками (ускорителями схватывания) следует соблюдать правила работы с едкими веществами. Вблизи мест, где производятся работы, должны находиться бак с чистой водой и специальные нейтрализующие растворы для оказания первой помощи.

К работе на машине ПБМ следует допускать лиц, изучивших инструкцию по эксплуатации машины и прошедших соответствующий инструктаж.

Рабочие, обслуживающие машину, должны быть снабжены касками, защитными щитками для лица и спецодеждой, при производстве работ должны пользоваться респираторами.

При эксплуатации машины ПБМ запрещается:  
производить любые работы, связанные с включением машины, при отсутствии сопловщика или машиниста;

производить ремонт машины в процессе ее работы;  
эксплуатировать машину при давлении в сосуде свыше 0,28 МПа (по показанию манометра);

работать на машине без сигнализации между сопловщиком и машинистом.

При образовании «пробок» в смесепроводе следует прекратить транспортирование смеси, закрыть вентиль подачи сжатого воздуха, простучать смесепровод на участке предполагаемого засорения, после чего произвести продувку.

К работам по применению шлакощелочного набрызгбетона (ШШНБ) могут быть допущены только те рабочие, которые

прошли соответствующее обучение по правилам пользования ШШНБ и сдали техминимум.

Лица, непосредственно связанные с приготовлением набрызг-бетонной смеси, должны работать в брезентовых костюмах, защитных очках и респираторах, так как шлакощелочной набрызгбетон содержит в своем составе щелочной компонент, раздражающе действующий на дыхательные пути и кожный покров.

Необходимо соблюдать требования безопасности и производственной санитарии, установленные ГОСТ 2263—79, ГОСТ 10690—73 на щелочные компоненты, требования ТУ—12 УССР 7—044—84, а также нормы и правила, установленные «Правилами техники безопасности и производственной санитарии в промышленности строительных материалов».

При работе с раствором жидкого стекла следует не допускать попадания его в глаза, на слизистые оболочки и кожу; на месте производства работ должен быть в наличии запас чистой питьевой воды и специального нейтрализующего раствора (0,5—1%-ный раствор уксусной кислоты), с помощью которых при попадании на тело жидкого стекла следует сразу же его смыть.

### **13. ОБЯЗАННОСТИ, ПРАВА И ОТВЕТСТВЕННОСТЬ СТРОИТЕЛЬНЫХ ЛАБОРАТОРИЙ**

#### **13.1. ОРГАНИЗАЦИЯ ЛАБОРАТОРНОГО КОНТРОЛЯ. ОБЩИЕ ПОЛОЖЕНИЯ**

Строительные лаборатории являются структурными подразделениями шахтостроительных трестов по производству бетонных работ для возведения крепи горных выработок. Основной задачей строительных лабораторий является контроль за качеством исходных материалов, поступающих на бетонорастворный узел, изготовлением бетонной смеси, ее транспортированием, укладкой, качеством монолитной бетонной или железобетонной крепи горных выработок и изготовлением и применением сборных элементов крепи.

Осуществление указанного контроля лабораториями не снимает ответственности с производственно-технического персонала шахтостроительных организаций за качество выполняемых работ, применяемых материалов, крепления горных выработок.

Лаборатория руководствуется действующим законодательством, строительными нормами и правилами, стандартами, техническими условиями, инструкциями и другими нормативными документами по строительству.

Строительные лаборатории осуществляют контроль за производством бетонных работ в течение всего периода строительства шахты.

Заведующие строительными лабораториями подчиняются главным инженерам трестов, а в методическом отношении — головной лаборатории комбината. В шахтостроительных управлениях, территориально удаленных от трестов более чем на 100 км, создаются строительные лаборатории управлений или лабораторные контрольные посты, которые подчиняются главному инженеру управления, а в методическом отношении — и заведующему строительной лабораторией треста.

Структура и штаты строительных лабораторий устанавливаются соответствующим министерством (ведомством) с учетом условий, специфики и объемов работ бетонрастворного узла и предприятий по производству железобетонных и бетонных изделий и конструкций.

Численность инженерно-технического персонала строительных лабораторий шахтостроительных и шахтопроходческих трестов приведена в табл. 13.1.

Таблица 13.1.

Численность строительных лабораторий

Трест	Объемы строительно-монтажных работ по генподряду, млн. руб. в год, не более			
	40	25	15	9
Общестроительный	10	8	7	6
Специализированный	9	7	6	5

Примечание. Численность ИТР строительных лабораторий может уточняться в зависимости от объемов работ.

Работники лаборатории должны быть обеспечены спецдеждой в соответствии с установленными нормами. Лаборатории должны быть обеспечены строительными нормами и правилами, стандартами и технической литературой, а также оборудованием, приборами, инвентарем.

Для доставки проб, исходных материалов, бетонных образцов на испытания, систематического и действительного контроля за качеством производства бетонных работ, строительным лабораториям трестов транспорт должен выделяться по их заявкам.

### 13.2. ФУНКЦИИ СТРОИТЕЛЬНЫХ ЛАБОРАТОРИЙ

На строительные лаборатории трестов возлагаются:  
 проверка наличия паспортов на исходные материалы, отбор проб бетонной смеси на бетонрастворном узле и у ствола шахты для определения осадки конуса и изготовления бетонных образцов;

испытание образцов в установленные сроки;  
 испытание бетонных образцов (кернов), отобранных непосредственно из бетонной крепи;  
 испытание бетона в крепи неразрушающими методами;



установление соответствия качества бетона требованиям стандартов и технических условий;

подготовка необходимых результатов испытаний для предъявления рекламаций в случае поступления на бетонорастворный узел некачественных и не отвечающих требованиям стандартов и технических условий исходных материалов (цемента, песка, щебня, химических добавок) для приготовления бетонной смеси;

периодический контроль за правильным складированием и хранением исходных материалов (при этом не снимается ответственность с производственного персонала);

выборочный контроль за соблюдением норм расхода и правильным расходованием цемента и других материалов, участие в разработке прогрессивных норм расхода цемента;

подбор составов разных марок бетона, раствора на различных цементах, применяемых в шахтном строительстве для возведения крепи горных выработок, и выдача их после утверждения главным инженером на бетонорастворном узле;

определение влажности заполнителей, уточнение расхода материалов на один замес бетоно- и растворомешалки с учетом влажности песка и щебня, периодический контроль за соблюдением составов, точности дозирования материалов, времени перемешивания бетонных и растворных смесей;

расчет концентрации рабочих водных растворов, химических добавок, контроль за дозированием и приготовлением концентрированных и рабочих растворов при введении в бетон отдельных и комплексных добавок — ускорителей твердения, пластифицирующих, противоморозных и других;

представление главному инженеру результатов испытаний бетона, раствора, предусмотренных стандартами, техническими условиями и другими соответствующими нормативными документами;

периодический контроль за обеспечением заданных технологических режимов дозаторов, бетоносмесителей, растворосмесителей;

изучение причин, вызывающих недостаточно хорошее качество крепи горных выработок, и разработка мероприятий по их устранению;

проведение по заданию главного инженера наблюдений за состоянием крепи;

контроль за транспортированием, разгрузкой и укладкой бетонной и растворной смесей;

контроль за набором прочности монолитного бетона;

участие в испытаниях местных материалов, отходов промышленности, контроль за поступающими из отвалов материалами; проведение опытно-экспериментальных работ, направленных на экономию цемента, металла и других материалов, совершенствование технологии производства бетонных (растворных смесей) и контроль за их состоянием;

проведение лабораторных, опытно-экспериментальных работ

по внедрению новых эффективных химических добавок; проведение (при отсутствии необходимого оборудования) специальных видов испытаний бетонов: на морозостойкость, водонепроницаемость, коррозионностойкость, усадку — в учебных и научно-исследовательских институтах;

участие во внедрении передового опыта, новых материалов, эффективных добавок, новой технологии, в отработке существующей технологии производства бетонных работ, а также в проверке новых машин и механизмов для дозирования материалов, приготовления и укладки бетонов, в обобщении передового опыта работы лабораторий и организаций по контролю за качеством работ;

освоение и внедрение математических и статистических методов оценки и контроля качества бетона;

участие в разработке технологических карт, плана организационно-технических мероприятий и схем управления качеством бетона и раствора; ведение журнала отбора проб, испытаний материалов, подбора составов бетона, раствора и их испытаний, составление месячных годовых планов работы лаборатории и схем лабораторного контроля, подготовка материалов текущей отчетности, составление документации по итогам выполненных испытаний, опытных работ, кратких квартальных и годовых отчетов о работе лабораторий с отражением в них организации лабораторного контроля, качества применяемых материалов, бетона, раствора;

учет наличия существующих в лаборатории оборудования и приборов, определение потребности в них, составление заявок на их приобретение;

соблюдение техники безопасности и правил эксплуатации измерительных приборов, оборудования, организация проведения проверок, ремонта и наладки их, освоение и внедрение новых приборов и оборудования;

укомплектование лабораторий нормативной, справочной и технической литературой, изучение новых методов подбора состава бетона и раствора, а также оценки и контроля качества, систематическое ознакомление с материалами периодической печати;

составление заключений по проектам стандартов, норм, правил, инструкций, технических условий и изобретений в части, касающейся работы лаборатории, с проведением в необходимых случаях опытно-экспериментальных работ.

Строительные лаборатории трестов должны осуществлять контроль за работой лабораторий управлений, контрольных лабораторных постов, методическое руководство и оказывать помощь в подборе составов бетонов, проведении испытаний материалов и т. д.

Начальники строительных лабораторий имеют право: давать устные и письменные указания по вопросам, входящим в компетенцию лабораторий (руководителям участков, произ-

водителям работ, начальникам контрольных лабораторных постов, мастерам и начальникам бетонорастворного узла).

Указания лаборатории обязательны для выполнения и могут быть отменены только письменным распоряжением главного инженера треста. О невыполнении указаний начальник лаборатории должен:

немедленно докладывать руководству треста;

приостанавливать производство бетонных работ (приготовление бетонной смеси, ее транспортирование, подготовительные работы к возведению крепи, укладку и др.), осуществляемых с нарушением норм, правил, стандартов и технических условий, и немедленно докладывать об этом главному инженеру треста;

привлекать в случае необходимости (по согласованию с главным инженером треста) для консультаций, составления заключений, проведения лекций специалистов и ученых других организаций.

Начальники строительных лабораторий несут ответственность за:

выполнение возложенных на лабораторию функциональных обязанностей;

соблюдение действующего законодательства и нормативно-методических документов;

соблюдение стандартных методов испытаний, качество проводимых испытаний и опытно-экспериментальных работ;

достоверность результатов испытаний, правильность и объективность выдаваемых заключений;

правильность расчетов и выдаваемых на бетонорастворном узле подобранных составов бетона, раствора, смазок;

объективный и действительный контроль за качеством бетонных, арматурных, антикоррозионных, гидроизоляционных и других работ, соблюдение технологических процессов и результаты проводимых проверок;

достоверность информации о новых материалах, новой технологии, новых эффективных добавках в бетон и раствор;

достоверность подготовленных материалов испытаний для рекламаций;

своевременное ведение и правильное заполнение журналов испытаний материалов;

исправное содержание, правильную эксплуатацию и сохранность лабораторного оборудования;

своевременную проверку, ремонт и наладку оборудования; безопасность труда при лабораторных работах.

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Баженов Ю. М.* Технология бетона. М., Высшая школа, 1978.
2. *Баженов Ю. М., Комар А. Г.* Технология бетонных и железобетонных изделий. М., Стройиздат, 1984.
3. *Вольнец Н. П., Дьяченко Н. Г., Лошанюк В. И.* Справочник инженера-технолога предприятий сборного железобетона. Киев, Будивельник, 1978.
4. *Гелескул М. Н., Каретников В. Н.* Справочник по креплению капитальных и подготовительных горных выработок. М., Недра, 1982.
5. *Глуховский В. Д., Пахомов В. А.* Шлакощелочные цементы и бетоны. Киев, Будивельник, 1978.
6. *Гузев А. Г., Гудзь А. Г., Пономаренко А. К.* Технология строительства горных предприятий. Киев — Донецк, Высшая школа, 1986.
7. *Домбровский В. Д., Корнгольд Е. А.* Проектирование предприятий сборного железобетона. Киев, Будивельник, 1982.
8. *Ерофеев Л. М., Мирошникова Л. А.* Крепление капитальных горных выработок. М., изд. ЦНИЭИуголь, 1981.
9. *Косков И. Г.* Новые материалы и конструкции крепи горных выработок. М., Недра, 1987.
10. *Москвин В. М.* Коррозия бетона и железобетона. Методы их защиты. М., Стройиздат, 1980.
11. *Неразрушающие методы контроля качества железобетонных конструкций.* Тр. НИИЖБ. М., Стройиздат, 1972.
12. *Пащенко А. А., Сербин В. П., Старчевская Е. А.* Вяжущие материалы. Киев, Высшая школа, 1985.
13. *Рагинов В. Б., Иванов Ф. М.* Химия в строительстве. М., Стройиздат, 1977.
14. *Рекомендации по применению суперпластификатора С-3 в бетоне.* М., изд. НИИЖБ, 1979.
15. *Рекомендации по применению полиэтиленовых листов для гидроизоляции стволов калильных и соляных шахт.* Донецк, Донецкий Промстройинипроект Госстроя СССР, ВНИИОМШС, Шахтспецстрой, 1978.
16. *Рояк С. М., Рояк Г. С.* Специальные цементы. М., Стройиздат, 1983.
17. *Руководство по тепловой обработке бетонных и железобетонных изделий.* М., Стройиздат, 1974.
18. *Руководство по технологии формования железобетонных изделий.* М., Стройиздат, 1977.
19. *Руководство по применению бетонов с противоморозными добавками.* М., Стройиздат, 1980.
20. *Руководство по применению химических добавок в бетоне.* М., изд. НИИЖБ, 1980.
21. *Руководство по проектированию подземных горных выработок и расчету крепи.* М., Стройиздат, 1983.
22. *Справочник механика-шахтостроителя.* Под редакцией Д. И. Малюкова. М., Недра, 1986.
23. *Справочник инженера-шахтостроителя.* Под редакцией В. В. Белого. М., Недра, 1983.
24. *Степанов Б. В., Русанова Н. Г., Волянский А. К.* Технология бетонных и железобетонных изделий. Киев, Высшая школа, 1982.
25. *Технические указания по возведению монолитно-прессованных бетонных обделок тоннелей при шитовой проходке.* ВСН 146—68, Минтрансстрой СССР.
26. *Установка УПБ-5 пневматической подачи бетона.* — Шахтное строительство, 1987, № 7, с. 28.
27. *Чехов А. П., Сергеев А. П., Дибров Г. Д.* Справочник по бетонам и растворам. Киев, Будивельник, 1983.
28. *Шихненко И. В., Власенко И. А., Бондирчук А. В.* Справочник по бетонным работам. Киев, Будивельник, 1987.

# СОДЕРЖАНИЕ

Предисловие	3
1. Бетонные и железобетонные крепи горных выработок	4
1.1. Требования к бетонам подземных конструкций	4
1.2. Крепь вертикальных стволов	6
1.2.1. Монолитная бетонная крепь	6
1.2.2. Железобетонная крепь	7
1.2.3. Податливые крепи	8
1.2.4. Комбинированные крепи стволов в сложных гидрогеологических условиях	8
1.2.5. Крепь сопряжений стволов	12
1.2.6. Крепь устьев стволов шахт	15
1.3. Крепь горизонтальных горных выработок	16
1.3.1. Бетонная крепь	16
1.3.2. Металлобетонная крепь	21
1.3.3. Набрызгбетонные крепи	27
1.4. Сборные бетонные и железобетонные крепи горных выработок	30
1.4.1. Сборная железобетонная крепь вертикальных стволов	30
1.4.2. Сборные бетонные и железобетонные крепи горизонтальных горных выработок	32
1.4.3. Анкерные крепи	41
1.5. Тампонаж закрепного пространства и упрочнение породного массива	43
2. Бетон для подземного шахтного строительства	44
2.1. Бетонные смеси и бетон	44
2.2. Свойства бетона	45
3. Материалы для бетонов	54
3.1. Цемент	54
3.2. Заполнители	72
3.2.1. Мелкий заполнитель	73
3.2.2. Крупный заполнитель	75
3.3. Вода	79
3.4. Добавки	80
3.5. Шлакощелочное вяжущее	87
4. Составы тяжелых бетонов и методы их подбора	92
4.1. Методы подбора составов бетона	92
4.2. Составы тяжелых бетонов	96
5. Технология приготовления, транспортирования и укладки бетонных смесей	99
5.1. Технология приготовления бетонных смесей	99
5.2. Транспортирование и укладка бетонных смесей	102
5.3. Технология приготовления водных растворов химических добавок и их расчет	106
5.4. Приготовление и транспортирование бетонных смесей в зимнее время	110
6. Эффективные бетоны для возведения монолитных и сборных видов крепей горных выработок	115
6.1. Быстротвердеющие бетоны марок М350 — М400 для крепи вертикальных стволов шахт	115
6.2. Бетоны с добавками золы-уноса	115
6.3. Бетоны мелкозернистые и с добавкой гранитного отсева	118

6.4. Бетоны и активированные растворы для возведения крепи стволов и сопряжений, проходимых способом замораживания и в условиях вечной мерзлоты . . . . .	120
6.5. Бетоны с повышенной водонепроницаемостью . . . . .	127
6.6. Бетоны высокопрочные М600 — М800 для элементов сборной крепи . . . . .	129
6.7. Бетоны с добавками суперпластификаторов и модифицированных лигносульфонатов . . . . .	131
7. Технология заводского изготовления сборной железобетонной и бетонной крепи . . . . .	135
7.1. Требования к исходным материалам . . . . .	135
7.2. Изготовление арматурных каркасов . . . . .	136
7.3. Установка закладных деталей . . . . .	141
7.4. Подготовка форм . . . . .	142
7.5. Приготовление бетонной смеси . . . . .	143
7.6. Укладка бетонной смеси в формы . . . . .	144
7.7. Формование элементов сборной железобетонной и бетонной крепи . . . . .	145
7.8. Тепловая обработка элементов крепи . . . . .	153
7.9. Контроль качества готовой продукции . . . . .	157
7.10. Методы испытаний . . . . .	158
7.11. Погрузка и транспортирование крепи . . . . .	159
8. Эффективные виды растворов и бетонов для облегченных видов крепи, тампонажа закрепного пространства . . . . .	162
8.1. Цементные и цементно-песчаные растворы . . . . .	162
8.2. Растворы для тампонажа закрепного пространства при бурении вертикальных стволов малого диаметра и скважин большого диаметра . . . . .	163
8.3. Бетоны и растворы на неорганических вяжущих для анкерной крепи . . . . .	167
8.4. Составы и технология приготовления смеси для железобетонной анкерной крепи . . . . .	168
8.5. Составы и технология приготовления быстросхватывающихся безусадочных растворов для патронов анкерной крепи . . . . .	169
8.6. Составы бетонных смесей для набрызгбетонной крепи на основе цемента и шлакощелочных вяжущих . . . . .	170
9. Коррозия бетона . . . . .	174
10. Контроль качества бетонных и растворных работ . . . . .	178
10.1. Организация контроля . . . . .	178
10.2. Входной контроль . . . . .	179
10.3. Операционный контроль . . . . .	188
10.4. Приемочный контроль . . . . .	196
10.5. Контроль качества набрызгбетона . . . . .	
10.6. Контроль качества производства работ при воздействии анкерной крепи . . . . .	196
11. Организационно-технические мероприятия по снижению расхода цемента . . . . .	197
12. Техника безопасности при производстве бетонных работ . . . . .	200
13. Обязанности, права и ответственность строительных лабораторий . . . . .	204
13.1. Организация лабораторного контроля. Общие положения . . . . .	204
13.2. Функции строительных лабораторий . . . . .	205
Список литературы . . . . .	209

**Бетоны и растворы для подземного шахтного строитель-**  
**ства: Справочное пособие/О. С. Докукин, И. Г. Косков,**  
**В. П. Друцко, С. А. Бернштейн.— М.: Недра, 1989.— 211 с.:**  
**ил.**

ISBN 5—247—00519—8

Рассмотрены условия эксплуатации, перспективные конструкции и области применения бетонных и железобетонных крепей. Приведены характеристики традиционных и новых видов вяжущих. Показано использование различных добавок, обуславливающих снижение расхода цемента и повышение долговечности крепей. Описаны методы подбора оптимальных составов и контроля качества бетонов (растворов), применяемое оборудование и средства механизации работ.

Для инженерно-технических работников горнодобывающих и шахтостроительных предприятий.

\*2502010000—351  
Б  $\frac{043(01)}{208-89}$

ББК 33.141

СПРАВОЧНОЕ ИЗДАНИЕ

Докукин Олег Семенович  
Косков Иван Григорьевич  
Друцко Виталий Павлович  
Бернштейн Слава Ароновна

## БЕТОНЫ И РАСТВОРЫ ДЛЯ ПОДЗЕМНОГО ШАХТНОГО СТРОИТЕЛЬСТВА

Заведующий редакцией *Т. И. Королева*  
Редактор издательства *Е. И. Волков*  
Технические редакторы *Е. Л. Финкельштейн, С. Г. Веселкина*  
Корректор *Л. В. Зайцева*  
ИБ №7022

---

Сдано в набор 22.02.89. Подписано в печать 21.08.89. Т-08722. Формат 60X88<sup>1</sup>/<sub>16</sub>.  
Бумага офсетная № 2. Гарнитура Литературная. Печать офсетная. Усл. печ. л. 13,2.  
Усл. кр.-отт. 13,5. Уч.-изд. л. 14,3. Тираж 4260 экз. Заказ 3341/1248-9. Цена 70 коп.

---

Ордена «Знак Почета» издательство «Недра» 125047 Москва, пл. Белорусского вокзала, 3  
Набрано в ордена Октябрьской революции и ордена Трудового Красного Знамени МПО «Первая  
Образцовая типография» Государственного комитета СССР по печати. 113054 Москва, Валовая, 28.

Московская тип. № 8, РГПО «Союзбланкоиздат», 107078 Москва, Каланчевский гуп., дом 3/5



**ВНИМАНИЮ СПЕЦИАЛИСТОВ!**

## **СПОСОБЫ ОХРАНЫ ГОРНЫХ ВЫРАБОТОК НА ОСНОВЕ ЛОКАЛЬНОЙ РАЗГРУЗКИ ПОРОДНОГО МАССИВА ОТ ПОВЫШЕННЫХ НАПРЯЖЕНИЙ**

В Донецком политехническом институте разработаны способы охраны горных выработок, использующие несущую способность породного массива, реализация которых позволяет уменьшить конечные смещения, контура выработки, предупредить пучение пород почвы, снизить материалоемкость и трудоемкость крепления, повысить безопасность работ. Способы внедрены на шахтах Донбасса и дают экономический эффект от 20 до 100 руб. на 1 м выработки.

Для внедрения предлагаются следующие разработки (прогнозно-расчетные методы оценки устойчивости и способы охраны).

1. **Способ возведения временной набрызгбетонной крепи** предназначен для повышения устойчивости горных выработок благодаря вовлечению в совместную работу с крепью упрочненного приконтурного массива. Нанесение набрызгбетонного покрытия осуществляют сразу после обнажения контура выработки, а постоянная крепь возводится с отставанием 10—30 м. Это позволяет возводить постоянную крепь вне призабойного пространства, что обеспечивает увеличение темпов проведения выработки. Применение данного способа снижает материалоемкость и трудоемкость крепления на 20—30%, увеличивает темпы проведения выработок в 1,2—1,5 раза. Рекомендации по этому способу включают: расчет необходимой толщины временной набрызгбетонной крепи и протяженности участка, поддерживаемого ею до возведения постоянной крепи; выбор средств механизации для возведения набрызгбетонной крепи с учетом возможного их изготовления в шахтных мастерских; обоснование технологии крепления; расчет параметров постоянной крепи.

2. **Метод расчета параметров ремонта (перекрепления) выработок**, поддерживаемых податливыми металлическими крепями, реализация которых позволяет сократить число перекреплений и снизить затраты на поддержание выработок на 30—60%. Рекомендации по этому методу включают определение времени начала ремонта, размеров выработки после ремонта, несущую,

способность крепи, устанавливаемой после ремонта, протяженности участков выработки, примыкающих к месту ремонта, в пределах которых необходимо производить усиление крепи.

3. Методика учета степени нарушенности массива в местах мелкочаплитудных (до 5 м) разрывных геологических нарушений, позволяющая обосновать параметры поддержания выработок в пределах зон влияния нарушения и снизить затраты на сооружение и поддержание выработок в пределах этих зон в 1,5—2 раза. Методика включает в себя оценку размеров зон влияния нарушений по длине выработки, определение нагрузки на крепь и обоснование параметров поддержания выработки в пределах этих зон.

4. Способ повышения устойчивости сопряжений горизонтальных и наклонных горных выработок заключается в выборе последовательности проведения сопрягающихся выработок и дифференцированном применении в них способов разгрузки массива и крепи усиления. Применение способа позволяет уменьшить затраты на поддержание на 30%. Рекомендации включают в себя: определение размеров зон взаимовлияния сопрягаемых выработок; выбор последовательности сооружения сопрягаемых выработок; расчет параметров крепи сопряжений.

По предлагаемым способам охраны горных выработок Донецкий политехнический институт может обеспечить выполнение следующих видов работ:

обоснование параметров способов охраны для конкретных горно-геологических условий;

разработку технологии и выбор средств механизации для реализации способов;

проведение опытной эксплуатации с обучением рабочих и инженерно-технических работников технологии реализации способов;

осуществление авторского надзора при внедрении результатов работы;

оценку технико-экономических показателей результатов внедрения способов.

Авторы разработок: К. В. Кошелев, Ю. А. Петренко, А. О. Новиков, Н. В. Игнатович, В. И. Каменец.

С предложениями обращаться по адресу: 340000, г. Донецк, улица Артема, 58, Донецкий политехнический институт, кафедра горной геомеханики.

# КРЕПЬ ИЗ КРУПНОРАЗМЕРНЫХ КЛИНОВЫХ БЛОКОВ

ВСЕСОЮЗНЫЙ  
НАУЧНО-ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ  
ИНСТИТУТ ОРГАНИЗАЦИИ  
И МЕХАНИЗАЦИИ СТРОИТЕЛЬСТВА

## ПРЕДЛАГАЕТ

КБМ-5 — крепь из крупноразмерных железобетонных элементов (клиновых блоков)

КБМ-5 — состоит из крупноразмерных гладкостенных лоткового блока с криволинейной водоотливной канавкой для самоочищения и рядовых клиновых блоков

КБМ-5 — изготовлен из бетона повышенной прочности

КБМ-5 — минимальное время установки

КБМ-5 — повышенная устойчивость выработки

Если для проведения выработок в неустойчивых горных породах Вы используете щитовые проходческие комплексы, то для крепления этих выработок Вам просто необходимо приобрести КБМ-5!

С предложениями обращайтесь по адресу: 310092, Харьков, ул. Отакара Яроша, 18, ВНИИОМШС

70 коп.

НЕДРА