



СИБИРСКИЙ ФЕДЕРАЛЬНЫЙ УНИВЕРСИТЕТ
SIBERIAN FEDERAL UNIVERSITY



Е. П. Волков, А. Н. Анушенков
РАЗРАБОТКА ТЕХНОЛОГИИ ЗАКЛАДКИ
ГОРНЫХ ВЫРАБОТОК
ЛИТЫМИ ТВЕРДЕЮЩИМИ СМЕСЯМИ
НА ОСНОВЕ ХВОСТОВ ОБОГАЩЕНИЯ

Министерство науки и высшего образования Российской Федерации
Сибирский федеральный университет

Е. П. Волков, А. Н. Анушенков

**РАЗРАБОТКА ТЕХНОЛОГИИ ЗАКЛАДКИ
ГОРНЫХ ВЫРАБОТОК
ЛИТЫМИ ТВЕРДЕЮЩИМИ СМЕСЯМИ
НА ОСНОВЕ ХВОСТОВ ОБОГАЩЕНИЯ**

Монография

Красноярск
СФУ
2020

УДК 622.27(07)

ББК 33.3я73

В676

Р е ц е н з е н т ы:

А. Г. Михайлов, доктор технических наук, заведующий лабораторией проблем освоения недр ИХХТ СО РАН;

А. В. Никитин, кандидат технических наук, руководитель направления «Открытые горные работы» ООО «НТЦ «ГЕОТЕХНОЛОГИЯ»»

Волков, Е. П.

В676 Разработка технологии закладки горных выработок литыми твердеющими смесями на основе хвостов обогащения : монография / Е. П. Волков, А. Н. Анушенков. – Красноярск : Сиб. федер. ун-т, 2020. – 176 с.
ISBN 978-5-7638-4336-1

Приведены результаты исследований твердеющих закладочных смесей при различных технологиях приготовления. Описана технология закладки горных выработок литыми твердеющими смесями на основе хвостов обогащения.

Предназначена для магистрантов, аспирантов, научных сотрудников и инженерно-технических работников, специализирующихся в области горного дела.

Электронный вариант издания см.:
<http://catalog.sfu-kras.ru>

УДК 622.27(07)
ББК 33.3я73

ISBN 978-5-7638-4336-1

© Сибирский федеральный
университет, 2020

|| ОГЛАВЛЕНИЕ

ВВЕДЕНИЕ	4
Г л а в а 1. ТЕОРЕТИЧЕСКИЙ ОБЗОР ИССЛЕДУЕМОЙ ПРОБЛЕМЫ	6
1.1. Современное состояние закладочных работ	6
1.2. Существующие технологии приготовления твердеющих смесей на основе хвостов обогащения	39
1.3. Способы повышения качества твердеющих смесей на основе хвостов обогащения	45
1.4. Обоснование рациональных способов воздействия на материалы твердеющих смесей на основе хвостов обогащения.....	65
Г л а в а 2. ПОВЫШЕНИЕ ПРОЧНОСТНЫХ И РЕОЛОГИЧЕСКИХ СВОЙСТВ ТВЕРДЕЮЩИХ СМЕСЕЙ НА ОСНОВЕ ХВОСТОВ ОБОГАЩЕНИЯ.....	68
2.1. Нормативная прочность закладочного массива.....	68
2.2. Подбор составов закладочных смесей.....	93
2.3. Лабораторные исследования закладочных смесей.....	99
Г л а в а 3. ИЗУЧЕНИЕ МЕХАНИЗМА ВОЗДЕЙСТВИЯ НА КОМПОНЕНТЫ ЛИТЫХ ТВЕРДЕЮЩИХ СМЕСЕЙ И РАЗРАБОТКА ТЕХНОЛОГИИ ЗАКЛАДКИ ТВЕРДЕЮЩИМИ СМЕСЯМИ НА ОСНОВЕ ХВОСТОВ ОБОГАЩЕНИЯ	112
3.1. Изучение механизма гомогенизирующего и активирующего воздействия на компоненты твердеющих смесей.....	112
3.2. Разработка устройства для активации и гомогенизации компонентов смеси	117
3.3. Технология приготовления закладочных смесей с применением гидроударно-кавитационного смесителя	120
3.4. Проведение испытаний разработанной технологии закладки ..	128
Г л а в а 4. МЕТОДИКА ЭКОНОМИЧЕСКОЙ ОЦЕНКИ ТЕХНОЛОГИИ ПРИГОТОВЛЕНИЯ ЗАКЛАДКИ	151
4.1. Экономическая оценка целесообразности применения закладочных смесей	151
4.2. Сравнительная экономическая эффективность использования закладочных смесей	158
ЗАКЛЮЧЕНИЕ.....	160
СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ	171

|| ВВЕДЕНИЕ

В мировой практике добычи полезных ископаемых все более возрастает роль геотехнологий с закладкой выработанного пространства твердеющими смесями.

Постоянное увеличение объемов добычи минерального сырья вызывает практическую необходимость решения проблемы размещения растущих объемов отходов горного производства. Ужесточение требований законодательства об охране окружающей среды, экономические санкции за наносимый ущерб природе, особенно в зонах успешного земледелия, могут привести в отдельных регионах к полному прекращению горных работ.

Применение же систем разработки с закладкой открывает широкие возможности для утилизации в выработанном пространстве не только собственных отходов горно-обогачительного предприятия, но и отходов металлургических, энергетических и химических производств, обеспечивая при этом минимальные деформации подрабатываемого массива и сохранность земной поверхности.

Кроме того, использование твердеющей закладки на подземных рудниках позволяет: успешно решать проблему управления горным давлением, снижая потенциальную опасность его проявления в статической и динамической формах; пересмотреть традиционные нормативы вскрытия и подготовки месторождений к эксплуатации, приблизив стволы к рудным залежам, минимизируя объемы породной проходки квершлагов, расстояния подземного транспорта добытой руды; освоить восходящий порядок отработки месторождений без оставления охранных и других целиков различного назначения; повысить в несколько раз полноту и качество извлечения руд из недр.

Однако существуют определенные экономические ограничения широкого освоения этой прогрессивной технологии. В большинстве случаев для формирования закладочного массива используется специально добываемый заполнитель и портландцемент, имеющие высокую стоимость. В некоторых районах даже получение наполнителя может оказаться трудно разрешимой экономической проблемой.

Вместе с тем многие из накопившихся отвальных продуктов могут быть эффективно использованы не только как наполнители, но и как вяжущие материалы. В последние годы выявлена возможность частичной и нередко полной замены цементов другими материалами.

Необходимость совершенствования существующих закладочных комплексов и технологий разработки месторождений полезных ископаемых с закладкой выработанного пространства твердеющими смесями на основе хвостов обогащения обусловили проведение исследований, результаты которых представлены в настоящей монографии.

Глава 1 || ТЕОРЕТИЧЕСКИЙ ОБЗОР ИССЛЕДУЕМОЙ ПРОБЛЕМЫ

1.1. Современное состояние закладочных работ

При выемке рудных залежей на больших глубинах наибольшее распространение получили системы разработки с закладкой. Заполнение выработанного пространства закладочными смесями в сочетании с разгрузкой массива позволяет регулировать возникающие в призабойной зоне напряжения, способствует постепенному деформированию вмещающих пород без срыва крупных структурных блоков и тем самым снижению вероятности горных ударов. Исключаются пожары при добыче сульфидных руд.

Из других достоинств этих геотехнологий отмечаются высокие показатели качества и полноты извлечения запасов полезного ископаемого из недр, надежное поддержание земной поверхности без заметных ее деформаций, возможность утилизировать отходы горного и обогащательного производств. Системы разработки с закладкой выработанного пространства широко используются при отработке залежей сложной формы с ценными рудами, а также при залегании рудных тел под охраняемыми природными, производственными и социальными объектами. Сравнительно высокая себестоимость добычи минерального сырья с закладкой компенсируется незначительным разубоживанием, более полным извлечением добываемого полезного ископаемого, возможностью селективной его выемки с оставлением в недрах части породных включений.

Закладка выработанного пространства используется в любых сложных горнотехнических и геомеханических условиях. Ее применение обусловлено разнообразными целями (табл. 1.1).

С ростом ценности извлекаемых полезных компонентов, повышением законодательных требований к охране земной поверхности, утилизации отходов промышленности от горно-металлургической до бытовой, увеличением глубины горных работ область применения технологий добычи руд с закладкой будет постоянно расширяться.

Литая твердеющая смесь содержит вяжущее вещество, мелкозернистый заполнитель и воду. Для повышения скорости твердения смеси, улучшения показателя транспортабельности в ее состав вводят активизаторы и пластификаторы (табл. 1.2).

Цементные вяжущие применяются на многих рудниках России и мира. Это обусловлено рядом преимуществ его использования: минимальными

сроками твердения относительно других вяжущих, простотой технологий приготовления ЛТС, сокращением капитальных затрат на строительство закладочного комплекса.

Таблица 1.1

Цель и условия применения закладки

Цель	Условия
Повышение полноты и качества извлечения руд	Отработка охранных целиков. Селективная выемка, разработка месторождений сложной морфологии. Разработка месторождений ценных руд
Разработка месторождений в сложных горнотехнических условиях	Сильнообводненные месторождения. Неустойчивые руды и вмещающие породы. Разработка пожароопасных месторождений. Разработка глубоких горизонтов
Интенсификация разработки месторождений	Совместная разработка открытым и подземным способами. Опережающая разработка. Восходящая разработка
Улучшение условий труда	Разработка удароопасных месторождений
Охрана окружающей среды	Охрана недр, земли, лесных массивов, водных бассейнов. Утилизация отходов производства

Таблица 1.2

Назначение и виды материалов для приготовления ЛТС

Назначение	Материалы
Вяжущее	Портландцемент, молотые металлургические шлаки, золы уноса, ангидрит, гипс, цеолит и др.
Активизаторы	Цемент, известь, гипс, шламы, ангидрит, доменные шлаки, щелочные отходы производства и др.
Пластификаторы	Глина, известняк, хлорное железо, хлористый кальций, серноокислый натрий, сульфидно-спиртовая барда и др.
Заполнитель	Хвосты обогащения, песок, дробленая порода шахтных отвалов, отвальные шлаки, гравий и др.
Несущая среда и реагент процесса твердения	Сбросовые воды рудника, обогатительной фабрики, техническая вода

В разное время на рудниках испытывали и применяли разнообразные вяжущие материалы, способные полностью или частично заменить цемент, который достаточно дорогостоящий продукт. Наибольшее распространение получили шлаковые вяжущие.

Структура литой твердеющей закладки (ЛТЗ) такова, что 85–90 % ее составляет заполнитель с водой. Качество заполнителя во многом обуславливает характеристику возводимого массива.

Основные требования к заполнителям: предел прочности их должен быть на 10–15 % выше нормативной прочности закладки, отсутствие вредных примесей, транспортабельность и экономичность. По экологическим и экономическим факторам необходимо стремиться использовать в качестве заполнителя отходы обогатительной фабрики и рудника.

Повышению прочности ЛТЗ, улучшению ее транспортабельности способствует введение в смесь пластифицирующих добавок. Их используют для ускорения твердения ЛТС, повышения текучести раствора, экономии цемента, повышения водоудерживающей способности смеси.

Активизаторы повышают гидравлическую активность вяжущего. Эффективными активизирующими свойствами обладают ангидрит, известь, золы уноса, цемент и др.

Наряду со свойствами компонентов ЛТЗ на ее качество большое влияние оказывает технология производства и тип применяемого оборудования. Используемые в настоящее время на горных предприятиях закладочные комплексы с цементным вяжущим однотипны и представляют собой бетоносмесительные устройства (рис. 1.1). Закладочные комплексы разнообразны, и в них объединяются средства для измельчения, приготовления и транспорта смесей, как правило, на основе комплексных вяжущих.

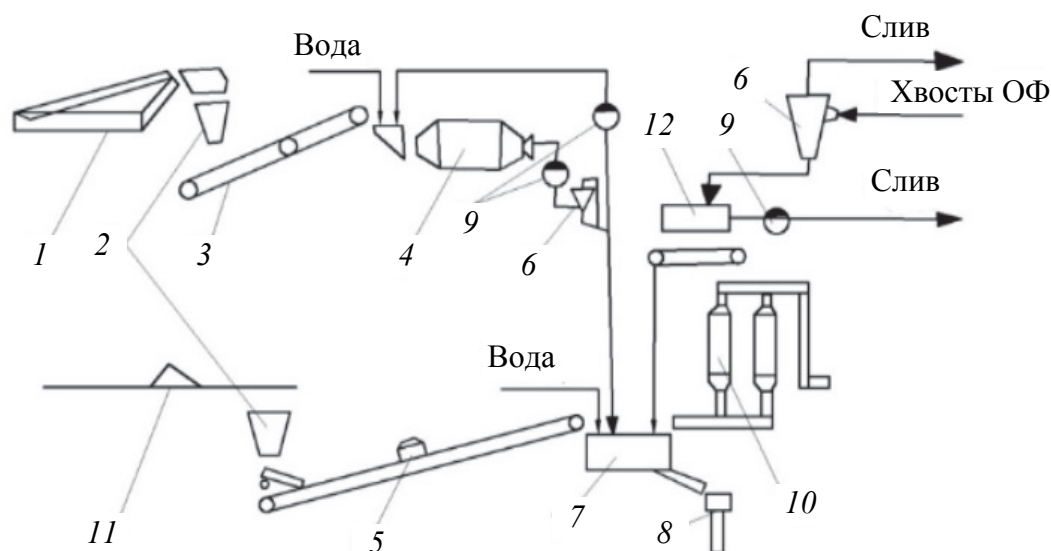


Рис. 1.1. Технологическая схема закладочного комплекса литой смеси: 1 – склад для гранулированного доменного шлака; 2 – загрузочные бункеры; 3 – конвейер; 4 – шаровая мельница; 5 – весы; 6 – гидроциклоны; 7 – смеситель; 8 – трубопровод; 9 – насос; 10 – цементный склад; 11 – склад заполнителя; 12 – вакуум-фильтр

Вода для закладки не должна содержать в большом количестве вредных кислотных примесей, агрессивных к бетону. Для приготовления ЛТС

применяют воду с показателем кислотности больше 4, содержание сульфатов менее 2,7 г/л и других солей не более 5 г/л. Слегка щелочные воды ускоряют процесс схватывания.

Применяемые в приготовлении ЛТС материалы подвергаются предварительной переработке и требуют: цемент, золы ТЭЦ – доизмельчения для повышения активности; шлаки – мокрого измельчения; заполнители (скальные породы) – дробления, измельчения; хвосты обогащения – обезвоживания и дешламации.

Приготовление ЛТС предусматривает процесс подготовки шихты, включающий подачу компонентов смеси в закладочный комплекс (ЗК), дозирование их, измельчение и перемешивание в смесительных устройствах. Готовые твердеющие смеси подаются в выработанное пространство трубопроводным транспортом.

Большое значение в получении качественного твердеющего раствора отводится вяжущему. Формирование сложного вяжущего из различных компонентов осуществляется в процессе измельчения материалов. Эти процессы оказывают решающее влияние на однородность и подвижность смеси, характер протекающих в ней физико-химических процессов (на скорость гидратации вяжущего, кинетику твердения и т. д.). Приобретенные в процессе приготовления ЛТС свойства должны сохраняться в течение всего времени ее транспортирования и укладки в выработанном пространстве.

Выполненные научно-исследовательские работы [1–24], применение новых решений в промышленности показали, что наилучшие результаты в производстве ЛТС достигаются при мокром способе ее приготовления в шаровой мельнице, когда процессы измельчения и перемещения компонентов закладки в растворе вяжущих совмещены [16–44]. Этот способ позволяет получить высокую степень активности тонкоизмельченного вяжущего (до 55 % частиц крупностью не выше 70 мкм) с образованием центров повышенной активности.

Литая твердеющая закладка благодаря своим достоинствам получила наиболее широкое распространение на подземных рудниках в сложных горнотехнических условиях на больших глубинах. Основными преимуществами этого способа являются:

- возможность создать искусственный массив требуемой прочности и обеспечить надежное поддержание подрабатываемого горного массива и земной поверхности;
- возможность полной автоматизации приготовления и трубопроводного транспорта ЛТС;
- использование в качестве вяжущего и заполнителя отходов металлургического и горно-обогатительного производства.

В числе недостатков отмечают:

- большие капитальные затраты на оборудование и строительство закладочного комплекса;
- сравнительно высокие издержки производства, достигающие 20–30 % в себестоимости добычи полезного ископаемого.

Твердеющая закладка была применена впервые в Кузбассе. Систему разработки, предложенную И. Н. Казниным в 1937 г., испытывали на крутом пласте шахты «Центральная». Угольные целики заменили бетонными столбами со сводчатой бетонной потолочиной в камере. В качестве вяжущего вещества использовали цемент марки 250–300 в количестве 250–280 кг/м³, заполнителем служили песок и горелые породы отвалов. Приготавливаемый на поверхности бетон спускали в шахту на глубину 50 м по трубам, затем транспортировали к месту укладки конвейером РТ-60 или самотеком по металлическим решатакам.

Были отработаны три опытные камеры, в двух из которых возвели бетонный свод. Бетонные столбы, свод и ребра свода оказались достаточно прочными, разрушений в течение года не было. Потери угля и его зольность при данной системе разработки в сравнении с обычной камерной системой значительно снизились, возросла производительность труда забойщиков.

В последующие годы твердеющая закладка нашла широкое применение на рудниках цветной металлургии.

На руднике «Текели» разработка верхних горизонтов крутой залежи системами с обрушением вызвала пожар по всему шестому горизонту. В 1960 г. на руднике внедрили камерные системы разработки с твердеющей и гидравлической закладкой выработанного пространства, исключаящие опасность самовозгорания руд. Блок длиной 50–60 м и шириной, равной мощности рудного тела (до 45–60 м), делят на 8 камер, отрабатываемых в две-три очереди с последующей закладкой бетоном. Камеры последней очереди заполняют гидрозакладкой.

Бетонную смесь готовят на поверхности, транспортируют по трубам самотечным и самотечно-пневматическим способами. Закладку подают в камеры со стороны лежачего бока. Качество закладки определяют с помощью проб, из которых изготавливают контрольные кубики. Кроме того, через 6–9 месяцев после окончания закладочных работ бурят контрольные скважины с отбором бетонного керна и испытывают его на прочность при сжатии. Прочность закладочного массива из-за расслоения и неточности дозировки материалов колеблется от 15 до 275 кг·с/см², составляя в среднем 50–60 кг·с/см² (для бетона с расходом цемента марки 250 в количестве 300 кг/м³, песчано-гравийной смеси 1 м³/м³ при водоцементном отношении, равном 1). Допустимая площадь обнажения составляет 1200–1300 м².

Применяемые для закладки камер последней очереди глинистые пульпы содержат 50–100 кг цемента, 400 л воды и 1 м³ глины на 1 м³ смеси. Прочность их достигает 5–15 кг·с/см² в двухмесячном возрасте. Производительность закладочного комплекса от 50 до 180 м³/ч. Простои комплекса составляют до 39 % от общей продолжительности смен, в том числе 16 % из-за неисправности оборудования и 12 % вследствие закупорки бетоновода. Производительность труда при производстве закладочных работ 14–16 м³ бетона на человека в смену.

Для нового автоматизированного бетонного завода проектом принят следующий состав бетона на 1 м³ смеси: 250 кг цемента марки 300; 0,65 м³ дробленого известняка крупностью 5–20 мм; 0,65 м³ песка; 250 л воды. Прочность бетона указанного состава в месячном возрасте составляет до 100 кг·с/см².

Система разработки с полной закладкой выработанного пространства твердеющими смесями позволила устранить последствия эндогенного пожара, из года в год наращивать добычу, значительно снизить потери и разубоживание руды, повысить производительность труда.

На Гайском руднике применение систем разработки с твердеющей закладкой обусловлено совместной разработкой месторождения крутого залегания.

Первоначально камеры закладывали бетоном с поверхности через скважины. Прочность бетона составляла 100–115 кг·с/см² в 28-дневном возрасте (через скважины было опущено около 85 000 м³ бетона).

В 1964 г. на Гайском руднике применили твердеющую закладку, в которой были использованы шлаковые вяжущие с активизирующими добавками и местные пески. Закладку готовили на закладочной установке, расположенной на промплощадке рудника. Производительность установки 50 м³/ч.

Гранулированные доменные шлаки со склада траншейного типа загружают скреперными установками через грохоты в рабочие бункера, откуда подают вибропитателями на транспортер В-500 и далее в шаровую мельницу. Помол шлаков мокрый, тонкость помола 65–75 % класса –0,075 мм. Из мельницы пульпа поступает в двухвальный смеситель непрерывного действия, куда транспортером подают также пески. Здесь смесь доувлажняют до подвижности 12 см. Количество песка и шлака, подаваемых транспортерами, контролируют автовесами ЛМТ, с которыми сблокирована световая сигнализация. Цемент подают в смеситель из силосов шнековым питателем.

Готовый раствор поступает по лотку-траншее в воронку бетоновода, проложенного в скважине. Высота вертикального става 170 м. Внутренний диаметр труб 289 мм. Вертикальный став соединяют с горизонтальным

при помощи колена с углом поворота 90° . Производительность установки ограничивается производительностью узла помола шлаков. Качество раствора контролируют в лаборатории. В последнее время от изготовления и испытания контрольных кубов отказались, перейдя на опробование бетона в массиве (бурение скважин с отбором керна и испытанием его на сжатие).

Закладочную смесь подают в камеры с вышележащего горизонта. Она поступает с фланга камеры и располагается слоями. Перед дозакладкой камеры производят маркшейдерскую съемку кровли и выбирают способ дозакладки.

Дозакладку ведут через трубы или скважины, подводящие раствор к высшей точке купола. Полноту заполнения камер контролируют скважинами. Усадка закладки (в последнем слое) не превышает 5–10 мм. Прочность массива колеблется от 20 до 200 кг·с/см², составляя в среднем 50 кг·с/см².

На Первомайском руднике (Россия) разрабатываются в первую очередь ценные руды, расположенные внутри контура железных руд, ближе к лежащему боку (месторождение представлено мощным крутым рудным телом), в результате чего значительная часть железных руд попадает в зону сдвижения боковых пород. Применение твердеющей закладки обеспечило надежное длительное поддержание подрабатываемого массива, создало благоприятные условия для наиболее полного извлечения из целиков ценных руд и, кроме того, позволило на нижних горизонтах перейти на бесцеликтовую схему отработки рудных тел.

Закладочную смесь подают по трубам на глубину до 850 м. В состав 1 м³ закладочной смеси входят 1200 кг песка, 400 кг молотого шлака и 350–370 л воды. Тонкость помола шлака 42–50 % класса –0,075 мм. В песке содержится 15–35 % глинистых и пылеватых частиц. Содержание гальки крупностью 50–100 мм составляет 5–10 %. Плотность песка 2,6 т/м³, шлака 2,56 т/м³; объемная масса, соответственно, 1,35–1,4 и 0,9–1 т/м³.

Схема приготовления закладочной смеси сходна со схемой, применяемой на Гайском руднике, с той лишь разницей, что на рассматриваемом руднике в смесь не добавляют активизирующие добавки. Производительность смесителя 50 м³/ч, производительность мельницы 18–20 т/ч.

Закладочную смесь транспортируют самотеком по трубам. Вертикальный трубопровод сварной, горизонтальный – сварной или на быстроразъемных соединениях.

Прочность закладочного массива в зависимости от возраста колеблется от 50 до 120 кг·с/см², в среднем составляет 80 кг·с/см² в шестимесячном возрасте.

На Лениногорском комбинате (Казахстан) закладку применяют с 1966 г. Закладочная установка непрерывного действия расположена над дневной поверхностью и состоит из смесителя С-543 с регулируемой про-

изводительностью от 15 до 30 м³/ч, двух приемных бункеров для мелкого и крупного заполнителей емкостью по 75 м³, двух приемных бункеров для цемента емкостью по 120 т и промежуточного бункера емкостью 25 т.

В двухвальный смеситель подают инертные заполнители, цемент и воду, дозируемую калиброванным краном. Готовая закладочная смесь поступает по наклонной течке в воронку бетоновода, проложенного в скважине. Высота вертикального става трубопровода 172 м, максимальная длина горизонтального става 320 м. Внутренний диаметр труб 139 мм. Для промывки и очистки от закладочной смеси во время образования пробок бетоновод через каждые 25–30 м соединяют с воздушной и водяной магистралями патрубками диаметром 18 мм. Под вертикальным ставом имеется сбросное устройство для аварийного разъединения вертикального и горизонтального ставов. Транспорт закладочной смеси самотечный.

Количество материалов, подаваемых в смеситель, соответствует определенному составу твердеющей смеси. В начале закладочного цикла подают только раствор (смесь цемента, хвостов и воды) и лишь через 15–20 мин добавляют крупный заполнитель. Цикл закладочных работ заканчивают в обратном порядке, бетоновод в течение 10–15 мин тщательно промывают. В камеры закладочную смесь подают через восстающие высотой до 30 м или скважины диаметром 145 мм с углом наклона 56–85°. Смесь падает на почву камеры, образуя в ней воронку, в которой дополнительно перемешивается, и затем растекается по камере. Жидкая смесь хорошо заполняет все пустоты и трещины, чего нельзя достичь при использовании жестких смесей, так как угол падения камер не превышает 50–70°. Состав смеси на 1 м³ закладки: 244 кг цемента марки 400; 0,894 м³ песка и хвостов; 0,240 м³ щебня; 240 л воды.

При заполнении камеры на выходе смеси из трубы отбирают пробы, изготавливают кубики и испытывают их на прочность в возрасте 28, 60 и 90 сут. Средняя кубиковая прочность бетона при сжатии в возрасте 28 сут составляет 50–60 кг·с/см² (ожидаемая шестимесячная прочность 120–140 кг·с/см²). Производительность труда рабочих 10,2 м³/чел.-смену.

На руднике «Центральный Кансай» (Таджикистан) твердеющую закладку применяют для разработки сближенных крутых рудных тел при опережающей выемке богатых руд. Система разработки – горизонтальные слои с закладкой выработанного пространства бутобетоном. В качестве вяжущего применяют портландцемент марки 200. Состав песчано-цементного раствора 1:6 (по объему). Руду вынимают слоями высотой 2 м при максимальном отставании закладки 3 м. Высота камеры 36 м, ширина 6 м.

Породу, извлекаемую при проходческих работах, доставляют к рудоспуску и выгружают в него, туда же подают песчано-цементный раствор. Закладочная смесь перемешивается при падении по рудоспуску. Затем

смесь вручную перекидывают к месту укладки и разравнивают. Прочность закладочного массива при этом от 3 до 25 кг·с/см², что объясняется плохим перемешиванием компонентов, неудовлетворительной дозировкой и низким качеством инертных материалов (содержание породной мелочи до 18 %). Производительность закладочных работ из-за слабой механизации низкая.

На Тасеевском руднике (Россия) при отработке юго-западной части рудной зоны, залегающей в пойме реки Унды, необходимо было предотвратить обрушение земной поверхности. В связи с этим рудную залежь отработывали системой разработки с полной закладкой выработанного пространства. Угол падения рудного тела 30–80°, мощность от 15 до 40 м.

Для отделения закладочного массива от массива руды при выемке целиков возводили бетонные опоры. Вертикальные щели для искусственных целиков заполняли жестким бетоном через закладочные окна с вышележащего горизонта. Бетон подвозили электровозами АК-2у в опрокидных вагонетках.

Твердеющую смесь готовили на подземной закладочной установке в бетономешалке емкостью 270 л. Гравий с песком в соотношении 1,7:1 смешивали на поверхности и доставляли в шахту по скважине, обсаженной трубами с внутренним диаметром 280 мм. Цемент доставляли в вагонах со съемными бортами. Состав бетона на 1 м³ закладочной смеси: 192 кг цемента, 0,8 м³ гравия, 0,67 м³ песка, 160 л воды. Предел прочности закладочного массива при одноосном сжатии в возрасте 34 сут 69 кг·с/см².

Производительность труда рабочих с учетом подготовки щели к закладке 2,63 м³/чел.-смену.

На руднике «Миргалимсай» (Казахстан) для закладки выработанного пространства применяли пульпу, состоящую из 30 % обожженных тонкозернистых хвостов и 70 % необожженных при соотношении твердого к жидкому 1,8:1. Оставляемая в закладочном массиве вода обеспечивала затвердевание смеси. Прочность последней в возрасте 28 сут 12–14 кг·с/см², закладочный массив получался монолитным, способным выдержать значительные обнажения.

На Красногвардейском руднике (г. Красноуральск) разрабатывают крутопадающие тела системами подэтажных ортов с закладкой выработанного пространства твердеющими смесями. Рудное тело разбивают на блоки шириной 25 м (средняя камера имеет ширину 9 м, крайние – по 8 м). Между отработываемыми камерами всегда оставляют рудный, искусственный или комбинированный целик шириной 16 м.

В качестве закладочного материала используют кислые гранулированные шлаки находящегося поблизости Красноуральского химического завода. Состав 1 м³ твердеющей закладочной смеси: 120 кг цемента, 2300 кг кислого гранулированного шлака. Шлак и цемент смешивают с водой при

совместном мокром помоле в шаровой мельнице с производительностью 10–15 м³/ч. Пульпа из мельницы поступает в трубопровод диаметром 100 мм и подается самотеком в закладываемые камеры. Высота вертикального става 200 м, горизонтального 300–400 м с последующим перепадом у закладываемых камер на 60 м. В камеры закладка поступает через скважины.

Поверхностный закладочный комплекс весьма прост. Из двух открытых складов гранулированный шлак подают скреперными лебедками в два бункера, откуда через шибер с дозирующим отверстием – на ленту транспортера. Сверху на шлак, находящийся на ленте, насыпают цемент через питатель барабанного типа, и весь материал попадает в мельницу.

Излишняя вода дренирует из камер по трещинам, специальных дренажных устройств нет. Воду при промывке трубопровода в период остановки комплекса сливают на закладочную смесь, что приводит к ее расслоению, снижает прочность. Проектная прочность закладочного массива в возрасте 6 месяцев 40–60 кг·с/см², фактическая – находится на уровне до 20–30 кг·с/см².

Казгипроцветмет, ВНИИЦветмет и Унипромедь обосновали целесообразность добычи руд с твердеющей закладкой на Ново-Березовском и Белоусовском рудниках (Россия), а также на ряде медных и бокситовых рудников Урала.

Твердеющая закладка позволяет сохранить от нарушения земную поверхность, снизить потери и разубоживание полезных ископаемых, применить высокоэффективные системы разработки при выемке целиков, снизить производственный травматизм на очистных работах, значительно повысить производительность труда рабочих, сократить объем перевозок и переработки пород и расходы на профилактическое заиливание, уменьшить капитальные затраты на вскрытие месторождений.

Большинство подземных рудников в России работают на глубине более 500 м. В подобных условиях управление горным давлением, сдвижением подрабатываемого массива становится решающим фактором успешной работы предприятий. Радикальным средством решения этой проблемы является применение систем разработки с закладкой выработанного пространства твердеющими смесями. Кроме того, освоение технологий с закладкой позволяет повысить полноту и качество извлечения запасов, утилизировать отходы различных производств, сохранять гидрологический режим и земную поверхность регионов добычи полезных ископаемых.

Существующие закладочные комплексы разделяются на поверхностные и подземные, участковые и постоянные общерудничные. Участковые закладочные комплексы или установки применяются при автономной отработке удаленных участков месторождений. Производительность их не превышает 300 м³ готовой смеси в сутки. Постоянно традиционный состав

закладки – цемент, песок, щебень, что обуславливает ее высокую стоимость.

Постоянные общерудничные закладочные комплексы имеют, как правило, крытый склад материалов, дробильное и помольно-смесительное отделения. Готовый материал ЛТС подается по трубопроводу, проложенному в стволе шахты или в специально оборудованных скважинах.

В настоящее время определился круг систем разработки угольных пластов с твердеющей закладкой, используемых или рекомендуемых для применения в условиях шахты.

В технологической схеме длинношпуровой системы разработки, рекомендуемой для крутых пластов ($45-90^\circ$) мощностью 2–4,5 м, выемка ведется подэтажами высотой 20–50 м. Подэтажи отрабатываются камерами шириной 6–30 м. После отбойки и выгрузки угля из камеры производится её закладка твердеющей смесью. Между камерами оставляют угольные целики шириной 2–3 м, что имеет целью увеличить фронт выемки за счет одновременной отработки камер. Прочность закладочного массива камер первой очереди регламентируется условием устойчивости обнажения по восстановлению 30–50 м.

Технологическая схема камерно-столбовой выемки пластов мощностью более 1,5 м комбайнами «Темп» предусматривает деление этажа на подэтажи высотой 20–50 м. Мощность наклонного слоя до 2 м, ширина первичных (ПК) и вторичных (ВК) камер 6–30 м. Слои извлекаются в нисходящем порядке. После выемки каждого слоя выработанное пространство его заполняется твердеющей закладкой с предварительным монтажом арматуры из металлической ленты с расстоянием между ее нитями 0,5 м. Ленты ориентированы по падению и располагаются у почвы слоя. Вторичные камеры извлекают после выемки в подэтаже всех первичных.

Порядок выемки подэтажей оказывает существенное влияние на величину напряжений и деформаций в угольных и искусственных целиках.

В процессе развития очистных работ от вентиляционного штрека сдвижения кровли и деформации горных конструкций системы разработки следует ожидать постоянными на период выемки всех этажей. Процесс развития работ от откаточного штрека к вентиляционному будет сопровождаться нарастанием нагрузок и деформаций по мере выемки подэтажей. Поддержание устойчивости угольных и особенно искусственных целиков в верхнем подэтаже будет весьма затруднено.

В рассматриваемой технологической схеме прочность закладочного массива следует определять при выемке первичных камер по площади обнажения слоя закладочного массива, который испытывает растягивающие нагрузки собственного веса; на стадии выемки вторичных камер определя-

ется также прочность на растяжение по площади обнажения подработанного слоя закладки и обнажения бокового борта его.

Разработка мощных крутых пластов по комбинированной технологии с литой твердеющей и гидравлической закладкой подэтажами в нисходящем порядке осуществляется первоочередной выемкой нечетных подэтажей высотой 7,5–10 м с твердеющей закладкой. При этом выемка ведется полосами шириной 3,5–5,5 м, высотой 2,5 м с использованием механогидравлического комбайна К 56 МГ. При отработке четных подэтажей в первую очередь извлекаются крутонаклонные полосы шириной 4–5 м на полную мощность пласта, которые заполняются твердеющей закладкой, образуя барьерные целики, разделяющие секции. Длина секции 15–20 м. Отбойка угля в секциях ведется гидромониторами.

В процессе выемки секций четных подэтажей происходит обнажение твердеющего закладочного массива с возникновением следующего состояния:

- обнажена потолочина нечетного этажа с размерами $\ell_0 \times m$, где ℓ_0 и m – длина секции и мощность пласта соответственно; массив закладки армирован металлическими полосами;
- обнажены борта крутонаклонных барьерных целиков с размерами $m \times h$ (h – высота подэтажа);
- потолочный массив и крутонаклонные полосы твердеющей закладки пригружены смещающимися породами почвы и кровли, а также отжимом более прочного угольного массива смежной секции.

Разработка мощных крутых пластов наклонными слоями в нисходящем порядке с механогидравлической выемкой их полосами по простиранию с литой твердеющей закладкой формирует закладочный массив, нагружаемый собственным весом и перпендикулярными пласту напряжениями. После выемки каждой полосы над забоем сооружается сводчатая крепь-перемычка, выше которой возводится закладочный массив, постоянно подкрепленный. Обнажение потолочины производится при переносе арок крепи после выемки слоя. При этом потолочина остается обнаженной на всей длине крыла поля и нагружена собственным весом.

В технологических схемах разработки мощных крутых пластов горизонтальными слоями в восходящем порядке выемка ведется от откаточного горизонта. Пласт вынимается сразу на полную мощность (до 5 м) или полосами по простиранию. После выемки полосы, наклоненной от места подачи закладки к флангу под углом 4–5°, выработка полностью заполняется твердеющей закладкой. В процессе очистной выемки обнаженной является верхняя поверхность закладочного массива, на которой располагается технологическое оборудование, и борт смежной по мощности заполненной закладкой полосы. Механические свойства закладочного массива для данных технологических схем должны обеспечивать устойчивость верти-

кального обнажения высотой 2,5 м; верхний слой должен соответствовать удельному давлению на него используемого оборудования.

За рубежом твердеющую закладку впервые применили в 1924 г. на руднике «Бракпан» в рудном бассейне Витватерсранд (ЮАР). Затем схватывающиеся смеси стали широко применять на горнорудных предприятиях Финляндии, Канады, США, Польши, Франции, Японии и ряда других зарубежных стран.

На руднике «Оутокумпу» (Финляндия) с 1954 г. отработывали медно-цинковые линзы с частичной закладкой выработанного пространства бетоном. Рудное тело имело пологое падение, мощность 10–12 м. Породы висячего бока были представлены кварцитами, склонными в глубоких частях рудного тела к обрушению.

Поддержание кровли было вызвано необходимостью максимального извлечения руд, расположенных под дном озера. Ширина камер и целиков 8 м, длина 50–100 м. Камеры располагали по падению. В верхней части рудного тела в контакте с висячим боком проходили выработки шириной 8 м и высотой 2,4 м, ведущие к очистному забою. Кровлю крепили штангами.

После отработки камерных запасов извлекали рудные целики. Предварительно в камеру подавали закладочный материал самотеком по трубам диаметром 150 мм, проложенным с поверхности в скважинах. Трубы футеровали резиной. Скважины, располагаемые через 100 м одна от другой, бурили станками ударно-канатного бурения. Глубина скважин 200–250 м. В качестве закладочного материала применяли тощий бетон из двух частей песка и одной части хвостов обогатительной фабрики при расходе цемента 120 кг на 1 м³ закладки. Водоцементное отношение 2–2,5. Прочность образцов закладки на сжатие в 3-месячном возрасте составляла 30 кг·с/см². Производительность комплекса 20 м³/ч.

Попытки получить твердеющую закладочную смесь из шлака медеплавильного завода и хвостов обогатительной фабрики с высоким содержанием серы и железа обработкой их рудничными кислотными водами не увенчались успехом. На контакте закладочного массива с рудой образовывалась небольшой толщины твердая корка, которая часто ломалась, и закладочный материал смешивался с отбитой рудой.

Искусственные опоры были достаточно устойчивы. После извлечения рудных целиков между камерами, заложенными твердеющей закладочной смесью, выработанное пространство заполняли несвязным песком, подаваемым гидротранспортом через скважины, пробуренные с поверхности. Твердеющая закладка на руднике «Оутокумпу» обеспечила извлечение 95 % руды, предотвратила обрушение налегающих пород и прорыв озерных вод в подземные выработки.

На рудниках в Польше применяют вариант системы разработки с однослойной выемкой длинными заходками. Надштрековые целики не оставляют. Участок месторождения разбивают на десятиметровые ленты по три заходки в каждой. В первую очередь отрабатывают и заполняют твердеющей закладкой заходки, расположенные друг от друга на расстоянии 10 м. После схватывания и частичного твердения бетона отрабатывают и закладывают бетоном средние заходки (вторая очередь). Затем отрабатывают и закладывают дробленным доломитом заходки третьей очереди. Ширина заходов первой и второй очередей 4 м, третьей очереди 3 м. Заходки крепят неполными крепежными рамами.

Закладочный комплекс располагают под землей на расстоянии 300–500 м от разрабатываемого участка. Закладочная машина – двухкамерная, её производительность $40 \text{ м}^3/\text{ч}$. Инертные материалы транспортируют сжатым воздухом под давлением $1,5\text{--}2 \text{ кг}\cdot\text{с}/\text{см}^2$, цементное молоко подают бетононасосами под давлением $2\text{--}2,5 \text{ кг}\cdot\text{с}/\text{см}^2$. Материалы смешивают в насадке, располагаемой в 5–8 м от забоя, и дозируют на каждые 16 м^3 бетона. Состав 1 м^3 закладочной смеси: цемент (марки 250) 160 кг, песок 500 кг, доломит (фракции 12–30 мм) $0,6\text{--}0,65 \text{ м}^3$ (в массиве), вода 150 л. Сухой закладочный материал транспортируют по тем же трубам, что и твердеющую смесь. В ее состав входят те же материалы, за исключением цемента и воды. После окончания работ трубопровод продувают сжатым воздухом и промывают водой. Хорошие результаты дает смешивание материалов непосредственно в трубопроводе с пропуском сухой смеси через водный заслон, размещенный в трубопроводе.

Цемент к стволу шахты доставляют в автоцистернах и разгружают сжатым воздухом в два бункера. Под землю цемент подают в закрытых вагонах. Доломит с песком доставляют в автосамосвалах к бункерам у ствола, затем ленточным конвейером к перепускной трубе и далее в вагонах к закладочному узлу. Затраты на комбинированную закладку (50 % твердеющей и 50 % сухой) составляют 20–25 % от полной себестоимости добычи.

На руднике «Ожел Бялы» (Польша) на участках, разрабатываемых системами с твердеющей закладкой, проходят транспортные и трубные штреки и водоотстойники; участок разрезают ортами на ленты шириной 25 м. Ленты вынимают из ортов короткими заходками в две полосы. Одну из них шириной 10 м закладывают бетоном, вторую шириной 12 м – песком. Крепление заходов сплошное деревянное. Заходки под бетон отрабатывают с опережением на 15–20 м. Разработку ведут сразу на всю мощность рудного тела. Заходки закладывают после выемки руды и возведения перемычек.

Орты заполняют гидрозакладкой (песок) секциями по 5–6 м, возводя фильтрующие перемычки. Твердеющую смесь готовят на поверхности

и доставляют к месту укладки по трубам диаметром 150 мм самотеком за счет статического напора столба смеси в вертикальном стае закладочного трубопровода. Высота вертикального стаа трубопровода 70 м.

Состав 1 м³ твердеющей смеси следующий: 200–220 кг цемента марки 250, 200 кг доломита фракции 12–30 мм, 1000 кг песка и 200–400 л воды. Закладочные материалы перемешивают в смесителе непрерывного действия с производительностью 50 м³/ч. Для лучшей транспортировки, дополнительного перемешивания и очистки трубопровода от закладочной смеси в трубопровод через каждые 30–50 м вмонтированы пневмоэжекторы и сопла для подачи воды. Расход сжатого воздуха составляет 4–10 м³ на 1 м³ закладочной смеси. Прочность бетона на одноосное сжатие 144 кг·с/см², что объясняется большим (до 40 %) содержанием глинистых и илистых частиц в песке.

В последние годы на руднике «Ожел Бялы» применяют схему с раздельной подачей гидротранспортом инертных материалов и цементного молока. Компоненты смешивают в трубопроводе у заходки после удаления гидроциклоном излишков воды.

На руднике «Норанда» (Канада) разрабатывают месторождение камерами больших размеров с последующей их закладкой для поддержания боковых пород и выемки руды из целиков. После отбойки и выпуска руды в дучках над горизонтом грохочения устраивают перемычки и закладывают камеры шлаками отражательных печей. Единственным местным закладочным материалом был шлак металлургического завода.

Целики отрабатывали наклонными или горизонтальными слоями. Смесь в шахту к контрольной станции подавали по главному закладочному восстающему. В качестве вяжущего вещества использовали пирротиновые хвосты, которые сгущали, обесшламливали и подавали самотеком по нескольким скважинам диаметром 47,6 мм. После каждого цикла подачи закладки скважины промывали водой. Хвосты смешивали со шлаком в следующей пропорции: гранулированный шлак – 72 %, шлак из отвалов – 25 %, пирротиновые хвосты – 3 %. Хвосты содержали 56–58 % пирротина. Закладочную смесь к месту укладки доставляли конвейером или самотеком по закладочным восстающим и разравнивали скрепером. Полноту подбуртовки обеспечивали намывом закладки гидравлическим способом. В процессе окисления сульфидов, который длился до 3 месяцев и сопровождался значительным тепловыделением, происходило твердение закладки. Полученная таким способом твердеющая закладка допускала обнажения стенки длиной 91 м и высотой 6 м почти без обрушения закладочного массива. В горизонтальной плоскости закладочный массив допускал устойчивые обнажения размером 6×18 м. Массив был настолько тверд, что позволял укреплять в нем штыри для подвески скреперных блоков.

На руднике «Квемонт» (Канада) также применяли твердеющую закладку из пирротиновых хвостов при разработке крутого рудного тела, часть которого была расположена под водоемом. Камеры отрабатывали системой подэтажных штреков с последующей закладкой. Ширина камер 9 м, целиков 6 м. Целики извлекали системой горизонтальных слоев с закладкой. Основным назначением закладки было предотвратить сдвигание вмещающих пород.

В качестве инертных материалов применяли смесь гравия, породы и шлака. После перемешивания смесь подавали в подземный бункер. Богатые пирротином хвосты обогатительной фабрики подавали по трубам и использовали как вяжущий материал. Закладочную смесь готовили под землей и транспортировали в выработки конвейерами.

На руднике «Джеффри» (Канада) бетонную смесь готовили на поверхности. От бетонного завода смесь пневмонагнетателями доставляли на расстояние 90 м к стволу, далее по вертикальному трубопроводу на глубину 125 м самотеком и по горизонтальному (317 м) трубопроводу пневмонагнетателем. При больших расстояниях подачи подключали дополнительный нагнетатель. Для крепления выработок применяли бетон прочностью $321 \text{ кг} \cdot \text{с}/\text{см}^2$ в 28-дневном возрасте. Несмотря на значительный расход цемента ($625 \text{ кг}/\text{м}^3$), себестоимость приготовления бетона была примерно равна себестоимости получения закладки на Текелийском и Зырянском рудниках (Казахстан).

На руднике «Сулливан» (Канада) твердеющую закладку применяли для обеспечения полноты извлечения рудных целиков. Ранее на руднике применяли камерные системы разработки с длиной камер 30–60 м, причем большую часть руды из целиков извлечь было невозможно. Часть камер на верхних горизонтах заполняли породой или обрушали; камеры на нижних горизонтах заполняли гидрозакладкой. С 1949 г. около 60 % руды на руднике добывали из междукамерных целиков, для чего при отработке камерных запасов часть камер заполняли твердеющей пирротиновой закладкой, аналогичной применявшейся на руднике «Норанда». С 1949 по 1954 г. уложили 836 тыс. м^3 твердеющей закладки. Смесь готовили на поверхности и доставляли к бункерам в вагонах, а от бункеров – конвейерами к закладочным восстающим. В выработанное пространство смесь подавали по восстающим самотеком. Испытывали также пневматический способ транспортировки закладочного материала. Как и на руднике «Норанда», твердение закладочного массива сопровождалось его разогреванием и выделением вредных газов.

На руднике «Лидвуд» (США) пологое рудное тело разрабатывали камерно-столбовой системой с оставлением изолированных целиков высотой от 3 до 15 м. Позднее решили извлечь на верхних горизонтах ранее ос-

тавленные целики богатой свинцовой руды, заменив их искусственными бетонными опорами. Последние представляли собой железобетонные колонны, которые опирались на бетонные основания высотой 0,6 м. Между вершиной колонны и кровлей оставляли пространство высотой 0,4 м, в котором устанавливали винтовые распорные домкраты через 40 см друг от друга по окружности колонны. Для сооружения опор применяли бетон состава 1:2:4 (цемент : песок : щебень).

В процессе работы конструкцию опор и способ их нагружения изменили. Искусственные опоры стали возводить из железобетонных колец высотой 0,3 м. Центральную часть опоры и пространство между последним кольцом и кровлей заполняли бетоном. Искусственную опору предварительно нагружали системой из шести треугольных гидродомкратов, укладываемых в основание целика. Ход гидродомкратов 19 мм, развиваемое рабочее давление $490 \text{ кг}\cdot\text{с}/\text{см}^2$. При площади поперечного сечения опоры $2,48 \text{ м}^2$ площадь участка, эффективно обслуживаемого домкратами, равна $1,6 \text{ м}^2$. Перед вводом в работу опору обжимали стальными обручами, что способствовало созданию условий всестороннего сжатия и повышению несущей способности конструкций. До возведения искусственных опор кровлю выработок крепили штанговой крепью. Искусственные предварительно нагруженные опоры успешно заменяли рудные целики, позволяя извлечь оставленную в них ценную руду.

На золоторудной шахте «Чемпион-Риф» (Индия), которая разрабатывала крутые жильные месторождения мощностью до 3 м, длиной 8 км, 85 % руды добывали на глубине свыше 2400 м, причем горные работы вели на глубине до 3300 м. Месторождение разрабатывали системой наклонных слоев в направлении снизу вверх с закладкой выработанного пространства. Высота слоя до 2,5 м. Перед началом очистных работ в блоке возводили искусственные междуэтажные и междукамерные целики из твердеющей закладки. Применяли также систему наклонных слоев с закладкой выработанного пространства бутобетоном – гранитными бутами на цементном растворе – без предварительного возведения искусственных межблоковых и междуэтажных целиков. Твердеющая закладка позволила успешно разрабатывать месторождение на значительной глубине.

Наиболее распространенным типом закладочных смесей, используемым в нашей стране и зарубежье, является твердеющая закладка (табл. 1.3). При этом литые и пастовые закладочные смеси содержат воду, преимущественно мелкозернистый заполнитель и вяжущее. Литые смеси отличаются от пастовых повышенным содержанием воды, большей пластичностью и подвижностью.

Таблица 1.3

Твердеющие закладочные смеси, используемые в практике закладочных работ

Рудник	Вид закладки по технологии производства	Вязущее	Заполнители	Расход вяжущих, кг/м ³	Прочность при одноосном сжатии, МПа
«Ачисайский» (Казахстан)	Литая	Цемент	Хвосты обогащения, до 100 % частиц фракции -0,43 мм	100-140	1,42-4,9 через 30-165 сут
«Гайский» (Россия)	Литая	Цемент + молотый доменный гранулированный шлак	Хвосты обогащения	40-210 (цемент) + 360 (шлак)	0,2-2,3 (28 сут), 1,0-5,3 (180 сут)
«Карсон» фирмы «Инко Садбери» (Канада)	Пастовая	Цемент	Хвосты флотации	60	0,65 (28 сут)
«Граунд Майн» (Германия)	Пастовая	Цемент	Хвосты флотации (0,025-0,05 мм) : отходы тяжелосреднего обогащения (3-30 мм) = 1:1	66	2,0 через 90 сут
Рудники Жезказгана (Казахстан)	Литая	Цемент + зола	Порода + хвосты	190 (цемент) + 35 (зола)	3,5 через 210 сут
«Заполярный» (Россия)	Бетонная	Цемент	Песок + щебень	350-500	~20,0 МПа
«Зыряновский» (Казахстан)	Бетонная	Цемент	Песчано-гравийная смесь	102	5-9 через 30-40 сут
Рудники Иртышского полиметаллического комбината (Казахстан)	Литая	Цемент	Хвосты	250	4,1 (90 сут)

Окончание табл. 1.3

Рудник	Вид закладки по технологии производства	Вязущее	Заполнители	Расход вяжущих, кг/м ³	Прочность при одноосном сжатии, МПа
«Крейтон» фирмы «Инко Садбери» (Канада)	Пастовая	Цемент	Хвосты	50–120	0,4–0,8 через 14 сут
«Каульды» (Узбекистан)	Литая	Цемент + зола	Песок + отходы мраморного карьера		4,3–5,1 через 28–360 сут
«Керетти» (Финляндия)	Литая	Цемент	Гравий + хвосты обогащения	110	0,6 МПа
«Красногвардейский» (Россия)	Литая, мельничный способ производства	Цемент + шлак	(помол в мельнице)	120 + 2300	2–3 через 180 сут
«Люпин» (северо-западные территории Канады)	Пастовая	Цемент	Текущие хвосты флотации	60–132	0,4–0,8 через 14 сут; 0,9–1,2 (28 сут)
«Макасса» (Канада)	Литая	Цемент + зола	Хвосты + песок	66–330 (цемент) + зола	0,6–3,4
«Малеевский» (Казахстан)	Литая, «мельничный» способ производства	Цемент	Легкая фракция тяжелых суспензий обогатительных фабрик	250	5,0 (180 сут)
«Миргалимсайский» (Казахстан)	Литая	Обоженные хвосты (30 %)	Хвосты (70 %)	–	1,2–1,4 (28 сут)
«Норильский никель» (Россия)	Литая, мельничный способ производства	Цемент (клинкер) + шлак + ангидрит	Щебень	60–180 (80–300) + 600–800 + 350–900	4–5 (180 сут)
«Октябрьский» Бурибаевского рудоуправления (Россия)	Литая	Цемент	Дробленая порода + глина	180–240	Ниже проектных показателей
«Орловский» (Казахстан)	Литая	Цемент	Песок хвостов + дробленая порода проходческих забоев	230	4,5

«Риддер-Сокольский» (Казахстан)	Литая	Цемент	Песок + хвосты	100–200	
Североуральский-бокситовый рудник (СУБР, Россия)	Литая	Цемент + шлак или зола	Дробленая порода отвалов	100–200 (цемент) + 150 (шлак или зола)	2,6–8,0 (180 сут)
«Текели» (Казахстан)	Бетонная, материалы сухими подаются пневмотранспортом и смешиваются с водой перед выработкой	Цемент	Песок + дробленая пустая порода (известняк)	250	До 10 (180 сут)
	Пульпа подается пневмотранспортом	Цемент	Глина	50–100	0,5–1,5 через 60 сут
«Тишинский» (Казахстан)	Литая	Цемент	Отсев+хвосты	360–475	10–14 (360 сут)
«Узельгинский» Учалинского ГОКа (Россия)	Литая, мельничный способ производства	Цемент + доменный граншлак	Отсев дробильно-сортировочных фабрик (диабаз)	90–335	1,0–11,0 (180 сут)
«Улудак» (Турция)	Литая	Цемент	Отход от производства мрамора + хвосты		
«Умбозеро» Левозерского ГОКа (Россия)	Литая	Цемент + молотые хвосты	Хвосты	165+450	
Учалинский подземный рудник (Россия)	Литая, мельничный способ производства	Цемент	Отсев дробильно-сортировочных фабрик (диабаз)	100–400	1,0–11,0 (180 сут)
«Фанькоу» (Китай)	Литая	Цемент	Хвосты	100–300	
«Яковлевский» (Россия)	Литая	Цемент	Песок	150	5–6 МПа через 180 сут

Известны несколько способов получения литой твердеющей закладки [1–5, 12–14, 20, 27–38]. Один из способов заключается в том, что мелкозернистый или мелкодробленный наполнитель подается в смеситель, куда одновременно дозируются вяжущее и вода. Другой способ состоит в том, что крупнозернистый наполнитель, вода, цемент или комбинация из материалов, образующих вяжущее (например, ангидрит, шлак), одновременно подаются в шаровые мельницы. При переработке в шаровой мельнице происходит доизмельчение вплоть до тонкодисперсных фракций всех твердых компонентов смеси, разогрев ингредиентов закладки за счет энергии разрушения и перемешивание всех компонентов. Данный способ получил название «мельничный способ» производства закладки. Он впервые разработан на рудниках Талнахского месторождения и с успехом применяется на рудниках Урала и Восточного Казахстана.

«Мельничный способ» производства закладки наиболее перспективен для закладочных комплексов, производящих закладку в суровых климатических условиях, где затраты на растепление компонентов закладки очень высокие.

Пастовые твердеющие закладочные смеси достаточно широко распространены за рубежом – в Канаде, Германии, Австралии. Их технология приготовления основана на использовании хвостов обогащения и включает обезвоживание хвостов в гидроциклонах и перемешивание их с цементом. При этом смеси характеризуются низким водосодержанием и малой подвижностью. Несмотря на очевидные достоинства данной технологии, она имеет ряд недостатков: пастовые смеси однородного гранулометрического состава трудно поддаются перекачке по трубам ввиду недостаточного содержания в них тонкой фракции. В то же время значительный объем тонкой фракции требует больших затрат по обезвоживанию закладочного материала. Технология производства пастовой закладки связана с высокими капитальными и энергетическими затратами. Возрастают требования к контролю за процессом приготовления закладки из-за малых допусков в отклонении дозировки: для твердого $\pm 0,5\%$, для воды $\pm 0,25\%$.

Для приготовления твердеющей закладки применяют только неорганические вяжущие вещества – тонкоизмельченные материалы, способные при затворении водой образовывать тесто, постепенно твердеющее и превращающееся в камневидное тело. Неорганические вяжущие вещества (в дальнейшем для краткости они будут именоваться просто вяжущими веществами или вяжущими материалами) должны обладать способностью смачиваться водой, образовывать с ней тестообразную массу и переходить из вязкопластичного состояния в твердое без постороннего воздействия.

В горнорудной промышленности используют многие из известных вяжущих материалов: цементы, известь, гипс, ангидрит, молотые гранули-

рованные шлаки, котельные золы и золоунос ТЭЦ, пирротинсодержащие хвосты обогатительных фабрик и др. Чаще применяют сложные вяжущие, состоящие из нескольких компонентов. Поскольку при разработке месторождений полезных ископаемых практически неизбежны притоки вод в подземные выработки, вяжущие вещества, используемые для приготовления твердеющей закладки, должны твердеть и длительное время сохранять прочность как на воздухе, так и в воде.

Прочность вяжущих веществ колеблется в широких пределах: от нескольких единиц до 7 МПа и более в месячном возрасте.

По прочностным показателям вяжущие материалы разделяют на марки, условно характеризующие их прочность при сжатии в МПа при стандартном методе испытаний.

Процесс твердения, т. е. превращение вяжущего теста в камневидное тело, происходящий в результате физико-химических превращений, можно условно разделить на два периода: схватывание и собственно твердение. Момент начала загустевания и потери пластичности вяжущего теста соответствуют началу схватывания. Величина срока начала схватывания имеет существенное значение, так как операции приготовления, транспортировки и укладки твердеющих смесей можно производить лишь тогда, когда смесь еще не начала схватываться. Окончанием схватывания следует считать момент полного загустевания и превращения вяжущего теста в камневидное тело, еще не обладающее значительной прочностью. В дальнейшем происходит твердение материала в результате продолжающихся физико-химических процессов, сопровождающееся ростом прочности.

В качестве вяжущего вещества или активизирующей добавки в составе сложного вяжущего широко используют различные цементы, главной составной частью которых являются силикаты и алюминаты кальция, образующиеся при высокотемпературной обработке сырьевых материалов. Наибольшее значение имеет портландцемент, получаемый из клинкера с элементарным химическим составом: 62–68 % CaO, 18–26 % SiO₂, 4–9 % Al₂O₃, 0,3–6 % Fe₂O₃.

Кроме этих основных компонентов в цементе обычно присутствуют в небольших количествах сернистый кальций, окись магния, алкалоиды и некоторые другие вещества. По минералогическому составу в цементном клинкере выделяют четыре главнейших минерала: 3CaO·SiO₂, 2CaO·SiO₂, 3CaO·Al₂O₃, 4CaO·Al₂O₃·Fe₂O₃.

От содержания в цементном клинкере C₃S и C₂S зависит большинство прочностных характеристик цемента. Суммарное содержание C₃S и C₂S обычно находится в пределах 70–80 %. При высоком содержании C₃S и низком C₂S прочность нарастает быстрее, тепловыделение больше, чем при обратном соотношении. Трехкальциевый алюминат вызывает го-

раздо большее тепловыделение, чем такое же количество других компонентов, и очень быстро твердеет.

Для производства твердеющей закладки следует применять цементы с невысоким содержанием C_3S и C_2S , так как при твердении больших масс закладки значительное тепловыделение может привести к интенсивному разогреву массива и трещинообразованию из-за температурных напряжений.

На скорость гидратации цемента влияет тонкость его помола. Более тонкое измельчение повышает скорость гидратации и твердения цемента, вызывает быстрое теплообразование.

При изыскании эффективных местных вяжущих веществ на Алтын-Топканском руднике Ленинградским горным институтом исследовано несколько составов романского цемента и глинит-цемента. Эффективными оказались составы романского цемента: 60 % известняка и 40 % глины и глинит-цемента при 30 % глины и 70 % извести-пушонки. Существенное увеличение активности указанных вяжущих материалов достигали добавкой 25 % портландцемента.

Следует отметить, что цементы являются довольно дорогим и дефицитным вяжущим материалом. К тому же промышленность РФ выпускает в основном высокомарочные цементы, тогда как для приготовления твердеющей закладки предпочтительнее применять низкомарочные. Поэтому при изыскании эффективных составов твердеющей закладки особое внимание необходимо уделять дешевым низкомарочным вяжущим веществам, получаемым на основе местных материалов и отходов производства.

Доменные гранулированные шлаки являются одним из наиболее эффективных видов сырья для производства местных вяжущих веществ для твердеющей закладки. Они представляют собой силикатные и алюмосиликатные расплавы, получаемые при выплавке чугуна и обрабатываемые в мелкозернистое состояние путем быстрого их охлаждения. Вяжущие свойства доменных шлаков обусловлены тем, что их химический состав близок к составу портландцемента. В отличие от последнего в гранулированных шлаках содержится меньше CaO , но больше SiO_2 , Al_2O_3 и других окислов. Из молотого гранулированного доменного шлака получают вяжущее с активностью 200–300 кг·с/см².

Из основных окислов окись кальция и глинозем повышают гидравлическую активность шлака, кремнезем снижает ее. Увеличение содержания MgO свыше 15 % также ведет к снижению помола, который оценивается по остаткам на ситах №021 (900 отв/см²) и №0085 (4900 отв/см²): величина остатков не должна превышать, соответственно, 1 и 10 % веса пробы.

Так как требуемая прочность искусственных целиков обычно не превышает 100–120 кг·с/см², а чаще достаточной является прочность 30–60 кг·с/см², более рациональным является применение низкомарочных цементов, од-

ним из положительных свойств которых является незначительное снижение прочности закладочного массива при увеличении водоцементного отношения. При высокой обводненности горных выработок применяют различные естественные и искусственные активные минеральные добавки: диатомиты трепелы, опоки, глиежи, пеплы, туфы, пемзы, трассы, кремнеземистые отходы, обожженные глины, топливные золы и шлаки, кислые и основные доменные гранулированные шлаки. Если при измельчении цементного клинкера вводится 20–35 % активных добавок осадочного происхождения или 30–45 % активных добавок вулканического происхождения, получаемый продукт носит название пуццоланового портландцемента. Последний эффективно твердеет во влажных условиях и в воде. Цемент, получаемый совместным помолом портландцементного клинкера (30 %) и доменного гранулированного шлака (70 %), носит название шлакопортландцемента. Схватывание и твердение шлакопортландцемента происходит медленнее, чем портландцемента, при более низком тепловыделении.

Применяется также сульфатированный шлаковый цемент, содержащий около 80 % гранулированного доменного шлака, до 5 % портландцементного клинкера и 15–17 % ангидрита. Тонкость помола определяется до остатка не более 5 % на сите с размером отверстий 0,09 мм.

Применение сульфатированного шлакового цемента особенно предпочтительно на рудниках с сульфатной агрессией рудничных вод ввиду того, что он обладает повышенной сульфатостойкостью.

Доменные шлаки. Выход шлака при выплавке 1 т чугуна составляет около 320 кг. В настоящее время почти все пригодные к переработке доменные шлаки подвергают грануляции, часть из них поступает в закладку.

Химический состав шлаков, %: основных CaO – 44–50, Al₂O₃ – 10; кислых CaO – 35–42, Al₂O₃ – 12–15. Гидравлическая активность шлаков зависит от коэффициентов качества, модуля основности и модуля активности.

Структура и фазовый состав затвердевших шлаков зависят от химического состава, в частности от основности и условий охлаждения.

По степени пригодности для закладки гранулированные шлаки разделены на три группы. К группе I отнесены основные и кислые шлаки 1-го сорта, к группам II и III — соответственно, шлаки 2- и 3-го сортов.

По зерновому составу гранулированные шлаки близки к среднезернистому песку. Их насыпная плотность 1 т/м³, плотность в массиве 2,7 т/м³, влажность 3–7 %, предел прочности зерен на сжатие 10–70 МПа.

Гранулированные шлаки активизируют измельчением до удельной площади поверхности 2500–3000 см²/г. Шлаки группы I приобретают активность до 15–20 МПа и выше без активизирующей добавки или с небольшим ее количеством (порядка 1–2 % портландцемента или другого активизатора). Шлаки групп II и III требуют более высокого расхода активизи-

зирующего вещества – 5–10 % портландцемента или извести. Более тонкий помол повышает активность, но экономически нецелесообразен из-за большого расхода электроэнергии.

Если активность гранулированного шлака излишне высока, то применяют наполнитель в виде глинистой добавки. На Гайском ГОКе для закладки в доменный граншлак с добавкой цемента 10 % подавали природные пески с содержанием глины до 25–30 %.

Доменные шлаки, непригодные для грануляции, поступают в отвалы, в них содержатся преимущественно кристаллические компоненты.

При одинаковых показателях основности и активности отвальные шлаки имеют незначительную связующую способность. Наиболее полно исследованы шлаки Магнитогорского и Криворожского металлургических комбинатов. Доменный отвальный шлак представляет собой смесь щебня фракции 10–120 мм (40–70 %), песка до 5 мм (25–50 %), пылевидных частиц (10–15 %) и кусков размером до 300 мм (5–7 %).

Гидравлическая активность шлака небольшая (порядка 1–1,4 МПа), поэтому в обычном виде он непригоден для закладки. Свежий шлак способен увеличиваться в объеме при твердении, разрушая цементный камень. В большей мере этот недостаток присущ доменной муке – продукту силикатного распада шлака. Шлаки старых отвалов (более 5 лет) почти не расширяются в объеме.

В качестве активизатора пригодны клинкер, цемент, щелочные компоненты (NaOH, Na₂SO₄), содовый плав азотно-тукового производства и др.

Увеличение дисперсности до удельной площади поверхности 3000 см²/г повышает активность вяжущих на 20–30 %. Добавление к отвальному шлаку 50 % граншлака позволяет получить смешанное вяжущее достаточной активности.

Сталеплавильные шлаки. Выплавка 1 т стали сопровождается выходом 150–200 кг шлака. Основную часть (88 %) составляет мартеновский шлак.

Шлаки включают оксиды многих элементов. Состав их непостоянен, но изменяется в небольших пределах.

В шлаках содержится 15–20 % железа, в том числе около 7 % в виде скрапа и около 8 % – застывших капель. Большую часть содержащегося в шлаке железа можно извлекать магнитной сепарацией, что облегчает измельчение шлака.

По химическому составу сталеплавильные шлаки близки к портландцементу, оксид кальция в них связан в алюмосиликаты, силикаты, приобретающие после активации (измельчение, включение активизирующих добавок) гидравлическую активность.

Фазовый состав мартеновских шлаков более сложен, чем доменных. Это обусловлено большим разнообразием сырьевых материалов, включающих легирующие добавки, раскислители и т. д.

Особенность этих шлаков – их способность к самораспаду, в результате которого образуется более 90 % порошкообразного материала, что облегчает последующий процесс активации шлаков.

Все пробы содержат большое количество мелкой фракции. Материал крупнее 20 мм составляет около 50 %, 40 мм – около 30 %. Однако в шлаке имеются куски крупнее 90 мм, достигающие размера в поперечнике до 300–400 мм, которые необходимо отсортировать или дробить. По дробимости в цилиндре в сухом состоянии мартеновский шлак относится ко II классу прочности.

Шлаки обладают слабыми вяжущими свойствами порядка 0,5–1,5 МПа. После активации цементом в количестве 10–20 % и тонкого измельчения до удельной площади поверхности зерен 2500 см²/г они (шлаки) приобретают более высокую активность.

Топливные зола и шлак. Тепловые электростанции страны, работающие на твердом топливе, ежегодно выдают в отвалы около 70 млн т золы и шлака, в том числе обожженную породную фракцию и несгоревшие частицы (5–10 %). Выход золы на 1 т угля – 10–40 %. Топливо перед сжиганием измельчают до пылевидного состояния, температура сжигания 1200–1400 °С. Пылевидные частицы улавливаются электрофильтрами. Количество зол составляет около 85 %, остальное – шлак. Промышленность производит известково-зольное вяжущее, содержащее 65–85 % золы, 10–30 % извести и до 5 % гипса.

Наибольшую ценность представляет зола с электрофильтров. Ее удельная площадь поверхности 3000–3500 см²/г.

Качество шлака и золы снижается в процессе их гидравлического удаления, которое применяется почти на всех тепловых станциях страны. Только стеклофаза сохраняет активные свойства, но ее содержится около 3 %, поэтому материал нуждается в тонком помоле.

Переход на сухое золоулавливание сопряжен с большими дополнительными капиталовложениями, но позволяет получить материал более высокого качества, пригодный для изготовления низкомарочных вяжущих.

Зола представлена преимущественно изотропным материалом, подобным стеклу гранулированного шлака. Наличие в ней кварца, глинозема, кальцита, а иногда скоплений кристаллов гидросиликатов и гидроалюминатов кальция обуславливает способность золошлаковых отходов вступать в химическую реакцию с другими минеральными добавками. В результате взаимодействия гидрата оксида кальция со стеклофазой золы образуются гидратные новообразования, обеспечивающие прочность цементного камня.

Шлаки котельных установок обладают низкой гидравлической активностью и для использования в закладке нуждаются в существенной активации путем тонкого измельчения и введения большого количества цемента, извести и других активизаторов.

Шлаки цветных металлов. Гранулированные никелевые шлаки могут служить вяжущим веществом.

Шлаки представлены преимущественно стекловидной массой. Вяжущие свойства низкие, так как кристаллическая и стекловидная составляющие в обычном виде с водой взаимодействуют слабо. Активизация цементом и известью до 20 % от массы шлака не всегда позволяет получить смесь высокой прочности.

Эффективными активизаторами являются щелочи и соли щелочных металлов: сода, поташ, щелочь натрия. Оптимальный их расход – 5–10 % от массы шлака. Таким образом получается вяжущее с активностью 10 МПа в нормальных условиях, а при пропаривании (90 °С) – еще выше. Особенность вяжущего – способность вступать во взаимодействие с глинистыми компонентами природного песка с образованием гидроалюмосиликатов натрия.

Граншлаки комбината «Печенганикель» фракцией до 5 мм имеют неправильную форму. Плотность 3,12–3,24 г/см³, насыпная плотность 1,05–1,70 г/см³. Активизируют известью (57–60 % СаО) и гипсом (90 % СаSO₄·2H₂O). Количество активной СаО в вяжущем составляет 10–15 %, а СаSO₄·2H₂O – около 7 %.

Активизирующими добавками служат отходы химического производства: содопоташная смесь, содощелочной плав, метасиликат натрия и др.

Оптимальная тонкость измельчения никелевых шлаков соответствует удельной площади поверхности зерен – 2500 см²/г. Повышение расхода активизаторов малоэффективно. Сроки схватывания никелевого шлака с активизаторами: начало – 4 ч, окончание – 23 ч.

Нефелиновые шламы. Химический состав, %: СаО – 56; Al₂O₃ – 2,8; MgO – 1,4; SiO₂ – 9,8; Fe₂O₃ – 4,2 и др. Небольшая гидравлическая активность (десятые доли МПа) обусловлена наличием 80 % двухкальциевого силиката; проявляется она после тонкого измельчения.

Добавление 3 % гипса повышает активность при возрасте 3 месяцев с 0,31 до 1 МПа, т. е. более чем в три раза, а при добавлении 5 % гипса – до 1,6 МПа. Присоединение 13 % извести повышает активность до 1,84 МПа.

Процесс твердения нефелиновых шламов сопровождается умеренным выделением тепла и интенсивно протекает в течение первых 7–10 сут. В дальнейшем прочность увеличивается очень медленно, что не исключает возможности их применения в закладке.

Прочие связующие материалы. Фосфогипс – отход сернокислой переработки фосфатной руды в виде шлама с высоким содержанием воды.

Химический состав фосфогипса, %: CaO – 34; SiO₂–11; PO₂ – 46; Al₂O₃ – 0,42 и др. В результате его обжига в течение 2 ч при температуре 850 °С, добавки 10 % извести и тонкого помола получают вяжущее вещество активностью свыше 6 МПа к возрасту твердения 6 месяцев. Обжиг удаляет воду, химически связанную с CaSO₄.

Отходы обогащения руды, содержащей карбонаты и силикаты, после обжига при температуре 300–1000 °С и помола также приобретают гидравлическую активность. В результате обжига образуются CaO, MgO, Al₂O₃ и др.

Химический состав термофосфорных шлаков, %: SiO₂ – 36,50–43,97; CaO – 45,55–47,00; MgO – 1,92–3,80; Fe₂O₃ – 0,78–2,00; P₂O₅ – 0,57–1,50; F₂ – 1,82–2,70; SiO₃ – 0,46–0,90; пересчет F₂ на CaF₂ – 3,74–5,74; модули основности 0,986–1,080, активности 0,03–0,07.

Способ получения вяжущего путем обжига и помола отходов обогащения является, по существу, технологией приготовления романцемента, давно снятой с производства вследствие низкой ее эффективности. При обжиге хвосты спекаются в монолит, поэтому их необходимо вновь измельчать.

В отвалах породы (сланцы, известняки и др.) в результате самовозгорания подвергаются обжигу, после тонкого помола и добавки 5–25 % порландцемента или 20–40 % извести в них проявляется активность 3–15 МПа.

Пирротиновые отходы обогащения содержат 6 % пирита, 56 % пирротина. В результате окисления пирротина смесь цементируется в монолит прочностью 3 МПа при возрасте твердения 9–12 месяцев. Отходы Норильской обогатительной фабрики позволили получить вяжущее активностью 1,8 МПа при низком содержании пирротина (менее 20 %).

Гипс, или двухводный сульфат кальция, является водной сернокислой солью кальция CaSO₄·2H₂O (кристаллизационной).

Химический состав гипса, %: CaO – 28–32; SO₃ – 38–46; SiO₂ – 0–5,78; Al₂O₃+Fe₂O₃ – 0,03–1,9; MgO – 0–2,4; H₂O – 17–20,6 (кристаллизационная).

Используется безводный сернокислый кальций – ангидрит, встречающийся чаще всего вместе с гипсовым камнем, содержит до 7 % кристаллизационной воды.

Химический состав, %: CaO – 39,0–40,8; SO₃ – 55–58; SiO₂ – 0,1–0,48; Al₂O₃+F₂O₃ – 0,03–3,6; MgO – 0,1–2,27.

На угольных шахтах Кузбасса в качестве вяжущего пригодны гранулированные шлаки, зола ТЭЦ, шламы аглофабрик, горелые породы и др.

Заполнители. В 1 м³ закладки входит 0,9–0,95 м³ заполнителя, который служит жесткой основой, уменьшает усадку и тепловыделение, повышает плотность смеси.

Основные требования к заполнителям: предел прочности должен быть не менее чем на 10–15 % выше нормативной прочности закладки, небольшая растворимость в воде, низкий коэффициент увеличения в объеме во влажной среде, отсутствие вредных примесей и экономичность. Крупность заполнителя зависит от способа возведения и транспортирования закладки и характеризуется модулем крупности. Заполнителями служат природные пески, отходы обогащения, отвалы породы и др.

Одинаковый модуль крупности могут иметь пески с различным соотношением частных остатков на стандартных ситах. Поэтому применяется второй критерий – полный остаток на сите с размером отверстий 0,63 мм. Пылевидными считаются частицы песка фракцией 0,05–0,005 мм, глинистыми – менее 0,005 мм.

Мелкозернистую и пылевидную фракции также можно использовать для закладочных работ, однако вследствие большой удельной площади поверхности заполнителя увеличивается расход вяжущих. Суммарная площадь поверхности зерен в единице объема обратно пропорциональна их диаметру. Крупный песок требует меньшего количества вяжущего раствора для обволакивания зерен.

Средний размер зерен песков: крупных – 0,5 мм, средних – 0,35 мм, мелких и очень мелких – 0,25 мм.

Хвосты рудообогатительных фабрик. Средняя крупность, мм, хвостов обогащения руд: железных 0,03–0,66; молибденовых 0,095–0,3; полиметаллических 0,05–0,3. Отходы обогащения выдают в виде пульпы с соотношением Т:Ж от 1:20 до 1:30. Их необходимо обезвоживать, так как суммарное количество воды в 1 м³ закладки не превышает 400–500 л, много воды поступает со шлаком из мельницы, поэтому влажность заполнителя не должна превышать 15 %. Пульпу сгущают в гидроциклонах до 12–60 % твердого, в вакуум-фильтрах до влажности 17 %.

Хвосты обогащения были использованы в твердеющей закладке в 1970 г. на подземном Гайском руднике. Была заполнена одна камера вместимостью 7 тыс м³. Испытания керна показали, что закладочный массив имел прочность не ниже, чем с природным песком.

Хвосты содержат некоторое количество флотореагентов: фенол, полиакриламид, ксантогенат и др. Содержание их до 100 % от обычного расхода на 9 % снижает прочность смеси на основе доменных граншлаков. В отвальных хвостах флотореагентов мало. Ксантогенат разлагается на улетучивающийся изобутиловый спирт и щелочь, которая способствует увеличению активности вяжущего. Наличие в некоторых хвостах СаО (до 11,5 %) также повышает активность вяжущего.

Пригодность отвальной породы для использования ее в качестве заполнителя устанавливается путем испытания ее на прочность, размягчение при увлажнении, наличие вредных примесей.

Наличие в отвальных породах склонных к самовозгоранию компонентов – пирита и органических соединений – не препятствует применению их в закладке вследствие незначительной газопроницаемости.

Металлургические шлаки. Большое количество граншлаков, например никелевых, медных и других, позволяет использовать их в закладке как заполнитель. По гранулометрическому составу шлаки близки к песку. Шлаки медеплавильного и никелевого производства характеризуются повышенной плотностью, их сложно транспортировать по трубопроводам, целесообразно применять в смеси с природным песком, содержащим большое количество глинистого материала, на сравнительно небольшое расстояние по горизонтали.

Отходы обогащения калийных солей включают галит, кальцит, полигалит, лайгбейнит, а также нерастворимый остаток (2–6 %). Содержание K_2O составляет 1–3 %. Крупность до 0,5 мм имеет 85–95 % материала. Влажность первоначальная 10–18 %, остаточная – 6–10 % (рассолоотдача 4–8 %). Плотность в массиве 1,6–1,8 т/м³, угол естественного откоса 40°, коэффициент фильтрации 0,1–0,3 м/сут.

Выход отходов, %, на Калушской фабрике (Прикарпатье): галита – 45, гипса – 4,5 и промытого ила – 30 (с Т:Ж = 1:1), т. е. 80 % от объема добываемой руды.

Вязущую активность калийных отходов повышают магнезиальный цемент и каустический магнезит, негашеная известь отдельно или в смеси с хлористым кальцием, а также доменный гранулированный шлак, известняк, сульфат натрия, смесь золы и хлористого кальция.

Использование пластификаторов позволяет повысить транспортабельность, улучшить заполнение выработанного пространства вследствие меньшего угла растекания смеси. Наиболее эффективной, дешевой и доступной из них является глина, содержащаяся во многих природных песках. Глинистая фракция создает смазывающий слой на стенках трубопровода. Содержание глины ограничивается требованиями к прочности закладки. Этот пластификатор применяют на многих рудниках. Оптимальное количество глины – 10–5 % от массы вяжущего.

Существенного улучшения реологического состояния смесей можно достичь в результате применения стандартных пластификаторов, выпускаемых серийно для промышленности стройматериалов.

Пластифицирующие добавки применяют для повышения текучести растворов, экономии цемента и придания искусственному камню большей прочности (за счет уменьшения водоцементного отношения). К этой группе относят сульфитно-дрожжевую бражку, пластификатор адипиновый, водорастворимый и др. Особо высокими пластифицирующими свойствами обладают суперпластификаторы С-3 и С-4.

К пластифицирующе-воздухововлекающим относят мылонафт, нейтрализованный черный контакт (натриевый), этилосиликонат натрия, омыленную растворимую смолу и др. Воздухововлекающие добавки – омыленный древесный пек, синтетическая поверхностно-активная добавка, смола древесная омыленная и др. Газообразующие добавки обеспечивают образование в массиве равномерно распределенных замкнутых пор и вводятся для повышения морозостойкости и водонепроницаемости бетона.

Ускорители твердения – это сульфат натрия, нитрат натрия, хлорид кальция.

Комплексные добавки – это их сочетания. Сочетание ускорителей с пластифицирующей добавкой позволяет нейтрализовать отрицательное влияние вторых на твердение смесей. Для составов с цементными вяжущими наиболее эффективны поверхностно-активные вещества и электролит.

Эффективен карбонатный гидрофобизирующий пластификатор, состоящий из смеси тонкодисперсного известняка и мылонафта. Добавление молотого известняка с размером зерен меньше 0,085 мм в количестве 20–25 % повышает прочность цементного камня, позволяет сократить расход вяжущего. Продукты гидратации вяжущего и известняка, взаимодействуя между собой, улучшают прочностные свойства закладки. Количество мылонафта – не более 0,08 % от массы вяжущего.

Гидрофобизирующее поверхностно-активное вещество – сульфитно-спиртовая барда при дозировке 0,1–0,2 %.

В качестве пластифицирующей добавки применяют гидролизованную кремнийорганическую жидкость – свободный водно-спиртовой раствор этилсиликата натрия в количестве 0,05–1,0 %.

В качестве пластификаторов применяют суглинки и шламы обогатительных фабрик.

Активизаторы – это вещества, которые повышают гидравлическую активность вяжущего, способствуют разрыву гидратных пленок вокруг зерен активной фазы, усиливая процесс связывания воды и гидратов извести. Известно большое количество таких добавок (портландцемент, цементная пыль, известь или другой, отщепляющий известь материал).

Портландцемент применяют для активации доменных, сталеплавильных и котельных шлаков, нефелиновых шламов. Один процент портландцемента повышает активность доменного гранулированного шлака на 10 %. Известь в таких же объемах эффективнее цемента. Процесс схватывания шлакопесчаной смеси, содержащей большое количество глины, значительно ускоряется после добавления 2–4 % строительного гипса. Перерасход гипса ухудшает качество смеси.

Добавка хлористого кальция CaCl_2 в количестве 2 % массы портландцемента или доменного гранулированного шлака увеличивает проч-

ность смеси лишь в начальный период. Аналогичное влияние оказывает сернокислый натрий. Хлористое железо, введенное в смесь в размере 1–2 %, обеспечивает прирост прочности на 20–35 %.

Для никелевых шлаков лучшим активизатором является щелочь натрия (7–10 %), смесь соды (5 %) с известью (40 %), содощелочной плав.

Калийные отходы активизируют каустическим магнезитом (2 %), негашеной известью (2,5 %), смесью извести (1,5 %) и хлористого кальция (1,5 %). Начало схватывания 3–5 ч.

Замедлители схватывания. Схватывание цементов наступает спустя 1 ч после затворения их водой, что не всегда удовлетворяет технологии закладочных работ. Замедлителями схватывания являются глина, которая смещает начало схватывания до 4–5 ч, серная кислота, сернокислое железо, отходы обогащения калийных солей. В насыщенных соляных растворах значительно ослабляются вяжущие свойства цемента, шлака, золы и гипса.

Наполнители – тонкодисперсные вещества, добавление которых в цемент до 10 % не снижает его активности. На закладочных работах наполнители служат для снижения излишне высокой активности цемента до нормы, при этом увеличивается общее количество вяжущего без больших дополнительных затрат.

Вода для закладки. Рудничные воды нередко содержат значительное количество растворенных в них кислот или солей, агрессивных к бетону. Так, на медноколчеданных рудниках вода имеет сернокислую реакцию (показатель кислотности достигает 1). Наличие вредных примесей в воде отрицательно воздействует на бетон: происходит выщелачивание портландцемента. Исключение – шлаковые цементы, устойчивые к сернокислой агрессии при показателе кислотности < 1 . Для бетонов применяют воду с показателем кислотности ≥ 4 , содержание сульфатов не должно превышать 2,7 г/л в пересчете на ионы SO_3 , а других солей – не более 5 г/л. Сточные воды с примесями растительных масел не пригодны для бетонных работ. Слегка щелочные воды не влияют на бетон, но ускоряют процесс схватывания. Мерой активной кислотности воды служит величина рН – водородный показатель, равный логарифму концентрации водородных ионов. Если $pH < 7$, то вода кислая; если > 7 , то щелочная. Для воды железорудных шахт $pH = 6–8$.

Наличие в шахтной воде свободной углекислоты до 15–20 мг/л и ее солей не опасно для цемента.

Смеси на основе шлаковых цементов, в которых свободная гидроокись кальция выделяется в небольшом количестве и которые содержат некоторое количество трехкальциевого алюмината, устойчивы против агрессивного воздействия минерализованных вод. Аналогичным свойством обладают вяжущие из молотых шлаков, близкие по химическому составу к шлаковому цементу. Вода с кислой реакцией ($pH = 1$) не вызывает ослабления образцов смеси,

а применение щелочной воды, в том числе содержащейся в хвостах обогащения гидрооксида кальция, даже ускоряет процесс твердения.

Наиболее широко для приготовления твердеющей закладочной смеси используются следующие типы вяжущих материалов: цементный, шлаковый, зольный, ангидритовый.

Цементный тип получил широкое распространение в практике закладочных работ. В настоящее время цементные смеси успешно применяются на многих рудниках. Главным недостатком цемента как вяжущего является его высокая стоимость.

Отдельные рудники – крупные потребители цемента для закладочных работ рассматривали вопрос об организации его производства собственными силами. Свинцово-цинковый рудник «Фанькоу» (Китай), добывающий системами с закладкой примерно 1 млн т руды в год, имеет в своем составе цементный завод с двумя вращающимися печами. Себестоимость собственного цемента примерно в 2 раза меньше, чем покупного. На Норильском ГМК построен завод по производству цемента, который используется в процессе приготовления закладочных смесей.

Бесцементный или бесклинкерный тип закладки упоминается в технической литературе довольно часто, но по существу описываемый тип закладки относится к малоцементным композициям, которые содержат в своем составе цемент и какую-либо активную минеральную добавку или шлак.

Закладочные смеси различаются не только типом вяжущего, но и типом заполнителя. При производстве закладочных смесей используются заполнители, применение которых в строительной промышленности зачастую не допускается. Технических условий на заполнители для закладки не существует. В качестве заполнителя закладочных смесей используются как природные материалы, так и отходы производства.

Выбор заполнителя определяется главным образом запасами, стоимостью его добычи, подготовки и транспорта, а также принятым способом транспортировки закладочной смеси. В практике закладочных работ получили наиболее широкое использование дробленые породы вскрыши, хвосты обогащения, отсева дробильно-сортировочных фабрик, породы от проходческих работ и т. п.

Закладочные работы являются составной частью горных работ, формирующих основные статьи затрат в себестоимости добываемой руды [36, 37]. По опыту работы основных горнодобывающих предприятий, применяющих системы с закладкой выработанного пространства, затраты на закладочные работы составляют 30 % затрат на горные работы. Следовательно, минимизация стоимости закладочной смеси при сохранении ее основных технологических параметров с попутным решением экологических проблем является актуальной и неотъемлемой частью повышения эффективности разработки месторождений системами с закладкой выработанного пространства.

1.2. Существующие технологии приготовления твердеющих смесей на основе хвостов обогащения

Гидравлическая закладка подземных рудников состоит из классифицированных хвостов обогатительной фабрики, пустой породы или аллювиальных песков. Закладка из хвостов готовится обезвоживанием потока хвостов обогатительной фабрики до пульпы с содержанием 65–70 % твердых с последующим прохождением ее через гидроциклоны для удаления шламов и получения песковой фракции для закладки. Закладочная смесь гидравлически закачивается с поверхности через сеть труб и шпуров к горной выработке.

Хорошие гидравлические закладки имеют коэффициент фильтрации в диапазоне 7×10^{-8} м/с – $7,8 \times 10^{-5}$ м/с.

Чтобы увеличить силу сцепления в гидравлической закладке, добавляются цемент и другие связующие. Надо отметить, что прочность закладки снижается с ростом содержания воды, а содержание воды, необходимое для транспортировки этой закладки, намного превышает количество, требуемое для гидратации цемента. Поэтому, чтобы уменьшить расход цемента и связующих добавок, предприятия стремятся снизить содержание воды в закладке.

Пастообразная закладка является закладкой с высокой плотностью (> 70 % твердых).

Чтобы закачать материал с такой плотностью, составной частью этого материала должна быть тонкая фракция. Как правило, содержание тонких фракций (> 20 мкм) должно быть минимум 15 % по весу. Пастообразная закладка закачивается насосами поршневого типа, такими же какие используются для закачивания бетона. Для приготовления пастообразной закладки часто могут быть использованы полностью все хвосты обогатительной фабрики. Конечный продукт имеет меньший коэффициент пустотности, поэтому закладка более плотная. Частицы в пастообразной смеси не будут высаживаться из смеси, если созданы условия для того, чтобы смесь в баке или трубопроводе оставалась в стационарном состоянии. Она может быть помещена в горные выработки со связующими добавками или без них в зависимости от требуемой прочности закладки.

Основными недостатками пастообразной системы закладки в сравнении с обычными установками гидравлической закладки являются более высокие капитальные затраты, чувствительность пасты к малым изменениям воды и крупности зерна, что требует технического проектирования более высокого уровня для контроля давления в трубопроводах.

Рассмотрим закладочные смеси, используемые на подземных рудниках ведущих зарубежных никелевых компаний. Компания Inco (Отделение Sudbury) постоянно вела работы по созданию прочных закладочных смесей и снижению затрат на их изготовление и транспортировку. Так, на руднике Crean Hill в 1980-х гг. проводились исследования по использованию закладки высокой плотности. Компания испытывала закладку с содержанием 75–80 % твердых. Преимущества такой смеси состоят в меньшем содержании воды и снижении на 15 % использования цемента. Высокая плотность смеси делает ее более прочной, и для такой смеси легче, чем для закладок с меньшей плотностью, контролировать прочность на сжатие. Кроме того, снижается утечка воды из заложенных выработок, что ведет к снижению затрат.

Теоретически подобная идея была заложена в 1980-х гг. в исследование пастообразной закладки на руднике Levack (в настоящее время закрыт). Пастообразная закладка, исследованная там, – это смесь, которую можно транспортировать насосом; она состояла из 50 % дробленой до $\frac{3}{4}$ дюйма пустой породы и 50 % хвостовых шламов –325 меш, содержащих 15 % воды. Содержание воды имеет большое значение: при слишком низком содержании (< 14 %) закладочную смесь невозможно подавать насосом, при слишком высоком содержании (> 19 %) смесь разделяется.

За последние несколько лет канадской горной промышленностью основательно разработана подземная пастообразная закладка, зарекомендовавшая себя экономически эффективной высококачественной закладкой, альтернативной каменной и гидравлической закладкам. Некоторые канадские рудники, в том числе рудники Coleman (в 2001 г. закрыт) и Garson компании Inco, установили такие системы.

Inco Research and Technology сосредоточила свое внимание на исследовании продуктов с высокой плотностью и новых связующих материалов для быстрого размещения и увеличения прочности и ускорения производственного цикла.

На всех рудниках в Sudbury, кроме рудника Garson, используется гидравлическая закладка.

На руднике Mc Creedy East используется гидравлическая закладка из цементированного и нецементированного аллювиального песка с добавлением классифицированных хвостов, а также горной породы. Максимальное содержание цемента в цементированной закладке 10 %. Суточная производительность по закладке 1800 т.

На руднике Copper Cliff South используется гидравлическая закладка, состоящая из хвостов и горной породы в соотношении 10:1 или 30:1 и 10 % цемента.

На руднике Creighton гидравлическая закладка состоит из хвостов обогатительной фабрики, горной породы и цемента; на руднике Stobie – из хвостов обогатительной фабрики и 5–7 % цемента.

Хвосты – это крупная фракция обогатительной фабрики Clarabelle, Обычно для закладки используется смесь из 70 % песковой фракции и 30 % воды.

На руднике Garson пастообразная закладка состоит из пустой породы, в качестве связующего вещества используется шлак – 3 % по весу.

На руднике Thompson (Отделение Manitoba) для закладки используют крупную фракцию хвостов обогатительной фабрики Thompson, которая выделяется в гидроциклонах в количестве 2–3 тыс. т/сут в виде пульпы с содержанием твердого 65 % (называемую песками), в смеси с цементом. Соотношение песок:цемент в закладочной смеси составляет от 20:1 (в нижней части заполняемого пространства) до 25:1 (в верхней части отработанного блока). По оценке канадских специалистов прочность такой закладки после схватывания до 0,42 МПа.

На руднике Birchtree используется закладка из горной породы с цементом или без него. Цементированная закладка содержит 3,5 % цемента и порошковой золы. На рудник поставлены две отдельные полностью автоматизированные модульные закладочные системы.

Обе установки включают бункера-накопители цемента с коллектором пыли, винтовые конвейеры для доставки связующего материала в коллоидальный смеситель, современный насос и полностью автоматизированную систему контроля. Первая система построена на 2500-литровый четырехвалковый коллоидальный смеситель, а вторая система включает 1000-литровый двухвалковый смеситель.

Кроме перечисленного выше оборудования на вторую установку поставлены 20-тонный бункер-накопитель с пневмонасосом и воздушный компрессор.

В компании Falconbridge отвальные хвосты контрольной флотации фабрики Strathcona поступают в гидроциклоны для отделения из нее шламовой фракции, которая направляется в хвостохранилище. Пески гидроциклонов используются для приготовления здесь же на фабрике закладочных смесей с заданным соотношением хвостов и цемента, которое поддерживается автоматически. Полученные закладочные смеси подаются на подземные рудники частично насосами в виде пульпы, частично транспортируются автомашинами в виде кека после фильтрации пульпы на барабанных фильтрах. Количество отвальных хвостов, используемых в подземных рудниках для закладки выработанного пространства, составляет до 45 % от общего количества руды, поступающей на фабрику.

На руднике Fraser используется закладка из хвостов с цементом и без цемента. В цементированной закладке содержится 5–8 % цемента.

На руднике Craig также используется закладка из классифицированных хвостов с цементом и без него.

На руднике Lockerby используется закладка из классифицированных хвостов и пустой породы с 10 % цемента.

Китайская никелевая компания Jinchuan Nonferrous Metals Corp. в 1985–1992 гг. в кооперации со Швецией и Австралией проводила исследования цементированной закладки горных выработок на механизированном участке. В 1997 г. после пяти лет исследований и испытаний была установлена и успешно введена в действие система закачивания пастообразной закладки. В настоящее время вся руда Jinchuan добывается с использованием метода цементированной закладки.

Основным изменением в технологии подготовки закладки компании WMC был ввод модульных непрерывных смесительных систем. Это дало возможность WMC с низкими капитальными затратами построить на двух подземных никелевых рудниках Junction в Kambalda и Perseverance в Leinster системы с высокой скоростью закладки, использующие накопленные хвосты из старых хвостохранилищ. Капитальные затраты на такие установки могут составлять треть или четверть от капитальных затрат на обычные установки по приготовлению пастообразной закладки. Но производственные затраты немного выше, так как они несут дополнительные транспортные расходы. Это значит, что такие установки подходят для рудников малого или среднего размера или для короткого периода расширения мощности на рудниках большего размера. Модульный характер этих установок означает, что они могут легко перемещаться в другое место или даже на другие рудники.

На медно-урановом руднике Olympic Dam выработки закладываются цементированной смесью горной породы, хвостов обогатительной фабрики, цемента и порошковой золы от сгорания топлива.

Практика и обзор существующей литературы показали, что применение закладки выработанного пространства в определенных горно-геологических условиях является не только технически целесообразным, но и экономически оправданным при разработке месторождений.

Анализ изученности и состояния вопроса производства литых твердеющих смесей на горных предприятиях, применяемых систем разработки с закладкой выработанного пространства показывает, что в этой области накоплен большой теоретический и практический опыт.

При этом особую важность приобретают системы с закладкой при разработке месторождений ценных руд на больших глубинах и в зонах тектонических нарушений, где борьба с постоянно возрастающим горным давлением и возникающими горными ударами невозможна без использования в системах разработки прочных искусственных массивов. Однако высокая стоимость твердеющих смесей, технологии их приготовления и способы доставки в выработанное пространство являются основными факторами, сдерживающими широкое их применение.

В настоящее время достигнуты значительные успехи в развитии техники и совершенствовании технологии ведения закладочных работ.

Однако применение многими горными предприятиями высокомарочных цементов и дорогостоящих инертных заполнителей значительно повышает стоимость закладки, при этом только частично используются технологии повышения активности вяжущего. Переход на низкомарочные вяжущие (цемент и молотые гранулированные шлаки), изыскание новых экономически выгодных технологий производства закладочных смесей, а также использование вяжущих и заполнителей, в качестве которых можно применять хвосты обогатительных фабрик, несомненно, будет способствовать распространению систем с закладкой в практике горных работ. Это является актуальной задачей, решение которой позволит значительно расширить сырьевую базу многих горных предприятий, повысить эффективность их работы и решить вопросы охраны окружающей среды.

В настоящее время объем отходов обогащения, накапливающихся в процессе эксплуатации рудных месторождений, достиг сотни миллионов кубических метров (табл. 1.4). Это сопровождается изъятием из сфер сельскохозяйственного, лесного и других фондов значительных площадей ценных земель для размещения хвостохранилищ (рис. 1.2).

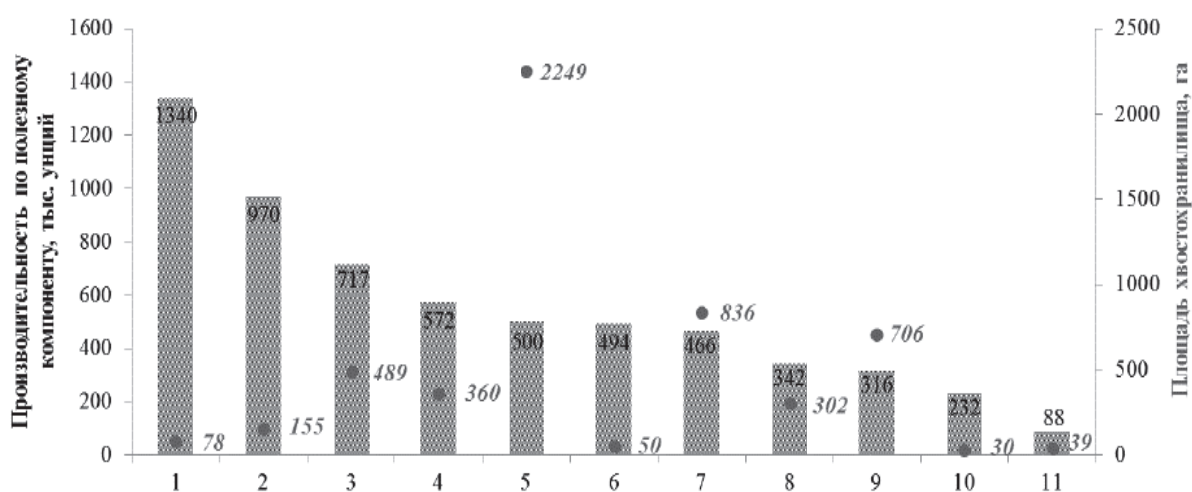


Рис. 1.2 Площади хвостохранилищ при производительности горно-обогатительных предприятий со сроком эксплуатации: 1 – 14 лет (Cortez Gold Mine); 2 – 23 года (Yanasocha Mine); 3 – 23 года (Takwa Mine); 4 – 4 года (Pueblo Viejo Gold Mine); 5 – 29 лет (Paracatu Mine); 6 – 16 лет (Geita Gold Mine); 7 – 37 лет (ОАО «Васильевский ГОК»); 8 – 16 лет (Morila Gold Mine); 9 – 27 лет (Kalgoorlie Mine); 10 – 21 год (Cripple Creek & Victor Gold Mine); 11 – 10 лет (Боголюбовское месторождение)

Хвостохранилище наносит существенный вред окружающей среде. В первую очередь это связано с загрязнением поверхностных и грунтовых вод, а также воздушной среды и почвы. Присутствует риск тяжелых последствий в случае разрушения дамбы хвостохранилища, о чем свидетель-

ствуется информация, опубликованная Комитетом Международной комиссии по крупным хвостовым дамбам, о произошедших за последние 45 лет 221 инциденте, 135 из них были авариями, в результате которых было выброшено 41,9 млн м³ жидких отходов, распространившихся на значительные расстояния, что вызвало обширные разрушения и человеческие потери.

Таблица 1.4

**Земли, отчуждаемые под хвостохранилища
некоторых горно-обогатительных комбинатов**

Объект	Площадь хранилища, га	Объем накопленных отходов, млн м ³	Складирование отходов, млн т/год
ОАО «Алмалыкский ГМК» (Узбекистан), МОФ №1	800	400	27
ОАО «Алмалыкский ГМК» (Узбекистан), сектор МОФ	1550		
ОАО «Алмалыкский ГМК» (Узбекистан), сектор СОФ	431		
ОАО «Александринская горнорудная компания» (Челябинская обл.)	55	5,06	2
ОАО «Апатит», АНОФ-2 (г. Кировск, Мурманская обл.)	780	720	160
ОАО «Апатит», АНОФ-3 (г. Кировск, Мурманская обл.)	1800		110
ТОО «Корпорация «Казахмыс»» ПО «Балхашцветмет» (Казахстан)	1760	200	24
Металлургический завод по производству чугуна «ПАНГ ПЕТ» (Союз Мьянмы Бирма)	18	1	0,6
ОАО «Бокситогорский глинозем» (Ленинградская обл.)	80	16,2	0,3
ОАО «Васильевский ГОК», хвостохранилище флотации (Казахстан)	620	144	236
ОАО «Васильевский ГОК», хвостохранилище сорбции (Казахстан)	216	6,5	
ОАО «Архангельскгеолдобыча», ГОК на базе месторождения алмазов им. В. П. Гриба (Архангельская обл.)	305	25	4,5
ОАО «ГМК «Дальполиметалл»», центральная обогатительная фабрика (Приморский край)	51,8	13,3	8,7
АО «ЗГОК», АО «Казцинк», ОФ (Казахстан)	250	80	2,7
АО «Маднеули», ОФ (Грузия)	48	27,7	1,7
ЗАО «Северо-западная фосфорная компания» (Мурманская обл.)	280	48	6
ОАО «Учалинский горно-обогатительный комбинат» (Башкортостан)	105	35	5,2

В связи с этим решение проблемы использования полной фракции отходов обогащения в закладку, а соответственно, сокращения объёмов жидких отходов и площадей, изымаемых под их хранение, обеспечит экологическую и технологическую безопасность ведения работ. Решение данной проблемы остаётся актуальным для ЗФ ПАО «ГМК «Норильский никель»» при размещении хвостов обогащения Талнахской обогатительной фабрики.

1.3. Способы повышения качества твердеющих смесей на основе хвостов обогащения

Большое значение при приготовлении закладочных смесей имеет активация вяжущих, воды и смеси в целом, обеспечивающая повышение прочности закладочного массива и снижение расхода цемента.

Применяемые в современной технологии закладочных работ способы активации твердеющих смесей могут подразделяться на группы по разным классификационным признакам (табл. 1.5).

Таблица 1.5

Классификация способов повышения активности исходных материалов твердеющей закладочной смеси

Способы активации	Механизмы	Варианты исполнения
Механическая активация	Мельницы Дезинтеграторы	Шаровые, стержневые, трубные В присутствии воды, по безводной схеме
	Дробилки	Щековые, конусные, молотковые
Виброактивация	Вибросмесители, вибромельницы, турбулентные активаторы	Горизонтальные, вертикальные
	Виброгрохоты Вибротранспортные установки	Роторно-пульсационные аппараты с электровозмущением, с пневмовозмущением
Электроактивация	Электромагнитная	Омагничиватели трансформаторного типа, немагнитные прокладки в магнитопроводе
	Электрохимическая	Электродиализ, диафрагменные электролизеры
Химическая активация	Поверхностно-активные вещества (ПАВ) в смесях Реагентная очистка вод	Гидрофобные, гидрофильные По виду компонентов
Комбинированные способы активации	Совмещение двух или нескольких способов, рациональный подбор соотношения компонентов и другие способы активации	Одного, двух или более классов

Прочность бетонов на домолотом цементе при увеличении его удельной поверхности на 1000–2000 см²/г возрастает по сравнению с бетонами на исходном цементе в первый день твердения в 1,5–2 раза, затем нарастание прочности замедляется и к возрасту 28 дней составляет всего 15–40 %.

Для каждого типа вяжущего существует определенная тонина помола, обеспечивающая максимальную прочность закладки.

В настоящее время на горнорудных предприятиях достигнута стабильная тонина доизмельчения шлаков на уровне 55–60 % содержания фракции –0,074 мкм, что позволяет сократить расход вяжущих на 1 м³ закладки – шлаков на 100 кг, цемента на 35 кг.

Достоинством доизмельчения вяжущих как метода активации является его эффективность в сочетании с простотой технологии. К недостаткам можно отнести дороговизну и громоздкость оборудования.

Применяется сухой и мокрый домол вяжущего. Сухой домол в наибольшей мере повышает активность цемента в образцах из цементного теста. Прочность образцов из раствора повышается не так значительно, меньше всего эффект активации сказывается на прочности бетонов.

Мокрый домол, сопровождающийся глубокой гидратацией, дает возможность механически удалять с цементных зерен продукты гидратных новообразований, благодаря чему существенно увеличивается количество геля в цементном тесте и обнажаются свежие поверхности зерен у цемента. Влага, равномерно распределяющаяся вокруг цементных зерен, интенсифицирует процессы структурообразования и твердения цемента.

Мокрый домол цемента может производиться на бегунах, в шаровых мельницах и переоборудованных бетономешалках, в вибромельницах с мелющими телами, в специально сконструированных механизмах. Схемы включения их в технологические цепи бетонозакладочного комплекса аналогичны схеме сухого помола.

Для предварительной активации цемента в жидкой среде эффективно применение роторно-пульсационных агрегатов, в которых цементная пульпа под давлением многократно пропускается через специальное устройство, представляющее собой неподвижный и вращающийся диски с отверстиями. При вращении между дисками то возникают, то захлопываются отверстия и в пульпе создается сложное, волновое движение, вызывающее измельчение цементных зерен. В аппарате можно эффективно готовить композиционные вяжущие мокрого помола с использованием суперпластификаторов, активных наполнителей, микрокремнезема и других добавок, добиваясь высокой гомогенизации смеси.

Эффективность помола при сухом и мокром способах можно повысить добавкой абразивного кварцевого материала (песка или отходов обогатительных фабрик) в количестве 20–30 % от вяжущего.

Перспективным способом активации закладочных смесей является виброобработка их в процессе приготовления.

Виброобработку цементного теста рекомендуется производить при $V/C = 0,8-0,9$ его нормальной плотности в зависимости от состава цемента. При больших значениях V/C части твердой фазы оказываются сильно раздвинутыми водной прослойкой и вибрация приводит к расслоению смеси без существенного эффекта активации.

Разработан ряд конструкций виброактиваторов непрерывного действия, которые включаются в технологическую схему закладочного комплекса.

Вертикальный вибросмеситель применяется для активации смеси после смешивания ее в обычном лопастном смесителе. Смесь поступает в приемную воронку вибросмесителя и, проходя по грузонесущему органу, подвергается воздействию вибрации. Амплитуда колебаний рабочего органа 0,6 мм, частота вибрации 50 Гц. Активация смеси в вибросмесителе повышает прочность образцов на 33 %, снижает расход цемента при постоянной прочности на 20 % и водовяжущее отношение на 20–25 %.

На Лениногорском полиметаллическом комбинате создан горизонтальный виброактиватор, состоящий из рамы, лотка и вибратора. Лоток снабжен на выходе горловиной с делителями потока, а перегородками разделен на мелкие каналы, сообщающиеся через окна, расположенные в перегородках на разных уровнях. Прочность смеси увеличивается в 1,5–2 раза, расход цемента при постоянной прочности массива снижается на 20–25 %.

В некоторой степени эффект, аналогичный виброактивации, достигается при способе турбулентной активации, заключающемся в создании в потоке водного раствора вяжущего градиента скорости, турбулентного режима движения, что вызывает частые интенсивные соударения зерен вяжущего и удаление гидратных пленок.

Эффективность турбулентной активации зависит от консистенции смеси, времени активации и конструктивных особенностей активаторов. Способ применяется для обработки водных растворов вяжущего и готовой смеси на мелком заполнителе.

Турбулентная активация ускоряет процесс гидратации и позволяет добиться высокой степени однородности смеси. Эффект активации более значителен в ранние сроки твердения. Обработанная в турбулентном активаторе смесь не отделяет воду, имеет высокую сопротивляемость расслаиванию и повышенную прочность.

Сотрудниками ДжекказганНИПИцветмета, КазПТИ и Лениногорского комбината разработан смеситель-активатор ДКПЛ-1 для приготовления гомогенных тиксотропных твердеющих смесей. Предварительно отдозированные и перемешанные компоненты закладочной смеси (цемент, запол-

нителю и вода) через загрузочный патрубок попадают на вращающиеся стержни ротора. Поскольку стержни ротора на наружной и внутренней окружности вращаются с различной скоростью, то и взаимодействующие с ними частицы компонентов смеси приобретают различную скорость и направление движения. В результате соударения со стержнями резко снижаются силы сцепления между частицами смеси, и она переходит в состояние геля. Одновременно происходит разрушение зерен, повышение активности вяжущего и текучести смеси, улучшение прочностных и упругих характеристик искусственного массива. Смеситель-активатор прошел промышленные испытания на руднике им. 40-летия ВЛКСМ.

Включение смесителя-активатора в технологическую цепь бетонозакладочных комплексов позволило приготовить и транспортировать в устойчивом режиме самотеком закладочную смесь с содержанием твердого по массе до 93 %, что привело к уменьшению расхода воды на 100–110 л/м³.

Эффект виброактивации закладочной смеси обратим: после прекращения вибрирования разрушенные связи между частицами восстанавливаются и вязкость смеси повышается. Это позволяет применять определенные средства вибровоздействия на закладочный материал на всем протяжении транспортирования.

Под механической активацией понимают увеличение способности материала вступать во взаимодействие с другими веществами и материалами. Механическую активацию применяют для улучшения технических характеристик материалов средней твердости. Однако в связи с высокой энергоемкостью процесса и недостаточной стойкостью рабочих органов механические активаторы еще не получили широкого распространения. Процессы измельчения и активации в таких аппаратах различаются по величине энергетических и эксплуатационных затрат. Наиболее широко используется механическая активация различных материалов в шаровых мельницах, где повышение активности твердых тел достигается разрушением их структуры. Эффективность измельчения оценивают по приращению общей поверхности измельченного материала. Так, при активации в мельнице удельная поверхность доменных шлаков увеличивается до 3000 см²/г, что повышает активность материала на 20–30 %. Лежалые шлаки также необходимо предварительно активировать.

Эффективность процесса измельчения оценивают эксплуатационными и энергетическими затратами при обеспечении максимального выхода фракций требуемой крупности. В шаровой мельнице при измельчении материала под действием удара измельчающих тел-шаров невозможно создать воздействие большой мощности, поэтому выход активной фракции не превышает 40–45 % исходного объема. Наибольшие затруднения возникают при измельчении различных отходов производства – металлургических

шлаков, зол горелых пород, шламов аглофабрик. Измельчение этого сырья требует применения специальных методов активации или более совершенных измельчительных агрегатов.

Наиболее эффективны для механической активации различных видов сырья механические дезинтеграторы, в которых используются силы инерции рабочих органов при высоких скоростях вращения, что увеличивает выход активной фракции при меньшем расходе электроэнергии.

В дезинтеграторе материал измельчается лопастями, закрепленными на роторах, жестко насаженных на валах двух электродвигателей. Роторы вращаются в противоположных направлениях с суммарной линейной скоростью 450 м/с. В дезинтеграторах частицы измельчаемого материала получают при скорости более 250 м/с удары на порядок большей силы, чем в шаровых мельницах.

Исходный материал подвергают классификации по классу –20 мм и дозатором непрерывного действия подают в дезинтеграторную установку.

Обработанный материал с воздухом высасывается в бункер-успокоитель, где он отделяется от пылевидных фракций. Воздушный поток, содержащий пыль, выбрасывается из верхней части бункера-успокоителя и направляется в циклон, где пыль отделяется от воздуха и возвращается обратно. Материал из бункера-успокоителя дозируется шнековым дозатором в пневмотранспортную систему и сжатым воздухом подается в расходный бункер, затем на расфасовку или в технологический процесс. При необходимости, например для активации гранулированных шлаков, в рабочий орган дезинтегратора подают воду, а продукт дезинтеграции используют в виде смеси с водой или раствора.

Промышленные дезинтеграторные установки снабжены металлоуловителями, питателем с регулируемой подачей воздуха в рабочую камеру и предназначены для сухого размола, но могут работать и в водном режиме.

Эффективность работы дезинтегратора определяют выходом фракции крупностью –0,08 мм.

Для радикального изменения свойств измельчаемых материалов применяют универсальные дезинтеграторы, в которых твердые тела разрушаются по поверхностям спайности под действием мощных ударов рабочих органов. После обработки в дезинтеграторах многофазных материалов улучшается качество активного продукта и повышается его выход.

Дезинтегратор ДУ-65 применяют на рудниках для измельчения и активации добавок к цементу.

Для обработки шлака применяют в основном 4-рядные лопастные роторы с негативным защитным слоем, а также 3-рядные лопастные самофутерующиеся роторы. Ориентировочный удельный расход металла составляет 0,24 кг на 1 т гранулированного шлака. Использование активиро-

ванных шлаков при закладочных работах позволяет снизить расход цемента М400 на 1 м³ смеси в 2,5 раза.

Для сверхтонкого помола применяются бисерные мельницы. Наиболее производительные из них – дисковые центробежные, в которых рабочим элементом является диск, установленный на вертикальной оси с небольшим наклоном, вращающийся внутри рабочей камеры, заполненной измельчающей средой – бисером. В качестве материала для измельчающей среды использовались стеклянные шарики крупностью 1360 мкм, шарики карбида вольфрама крупностью 1500 мкм и шарики циркона крупностью 500, 800 и 1300 мкм. Измельченный материал после выхода из мельницы имеет крупность зёрен 50 % класса 1 мкм.

В Восточном Казахстане основным производителем цветных и благородных металлов является ТОО «Казцинк». Одним из самых передовых и крупных горнодобывающих предприятий ТОО «Казцинк» является Малеевский рудник Зыряновского горно-обогатительного комплекса.

Малеевское месторождение расположено в восточном Казахстане в 17 км от г. Зыряновска. Малеевское месторождение относится к колчеданно-полиметаллическому промышленному типу. Главными рудными компонентами являются свинец, цинк, медь; попутными – золото, серебро, кадмий, висмут, индий, селен, теллур, сурьма, мышьяк и другие элементы. Основные полезные компоненты в рудах Малеевского месторождения: свинец, цинк, медь – по сумме металлов составляют 12 %.

На месторождении выделяются семь субпараллельных рудных зон, вытянутых в северо-западном направлении: Платовская, Октябрьская, Малеевская, Родниковская, Бобровская, Холодная, Луговая.

Наиболее крупной из изучаемых рудных зон является Родниковая, верхняя ее часть выклинивается в 300 м от поверхности. Погружается зона в северо-западном направлении под углом 25–30°. Мощность зоны порядка 120–380 м. Ширина ее в центральной части равна 900 м, прослеженная длина по простиранию превышает 1500 м. В пределах зоны выделено 19 рудных тел, основными являются два – 6 и 7-е.

Малеевская рудная зона выходит на поверхность, погружается она в северо-западном направлении под углом 32–35°. Мощность зоны – порядка 65–220 м, ширина ее изменяется от 300 до 150 м. Длина по простиранию – 1300 м.

Малеевское месторождение сложено преимущественно крепкими и весьма крепкими скальными породами и крепкими монолитными рудами, характеризуется незначительной естественной нарушенностью массива.

Породы и руды месторождения в основном классифицируются как весьма устойчивые и устойчивые (70 %), средней устойчивости (25 %) и неустойчивые – до 5 %.

Малеевское месторождение вскрыто четырьмя вертикальными стволами шахт «Малеевская», «Скиповая», «Вентиляционная», «Воздуховыдающая». Между стволами пройдена сеть горно-капитальных выработок, обеспечивающих вскрытие и отработку запасов в этажах 9–16 горизонтов, вентиляцию, закладку, транспортировку руды, породы и материалов.

Большую часть запасов месторождения, расположенных в этажах 9–16, предусматривается отработать системами разработки с закладкой выработанного пространства: этажно-камерной системой разработки с закладкой (камеры I очереди) и поэтажно-камерной системой разработки со сплошной выемкой руды в восходящем порядке (камеры II–IV очередей) и закладкой (рис. 1.3).

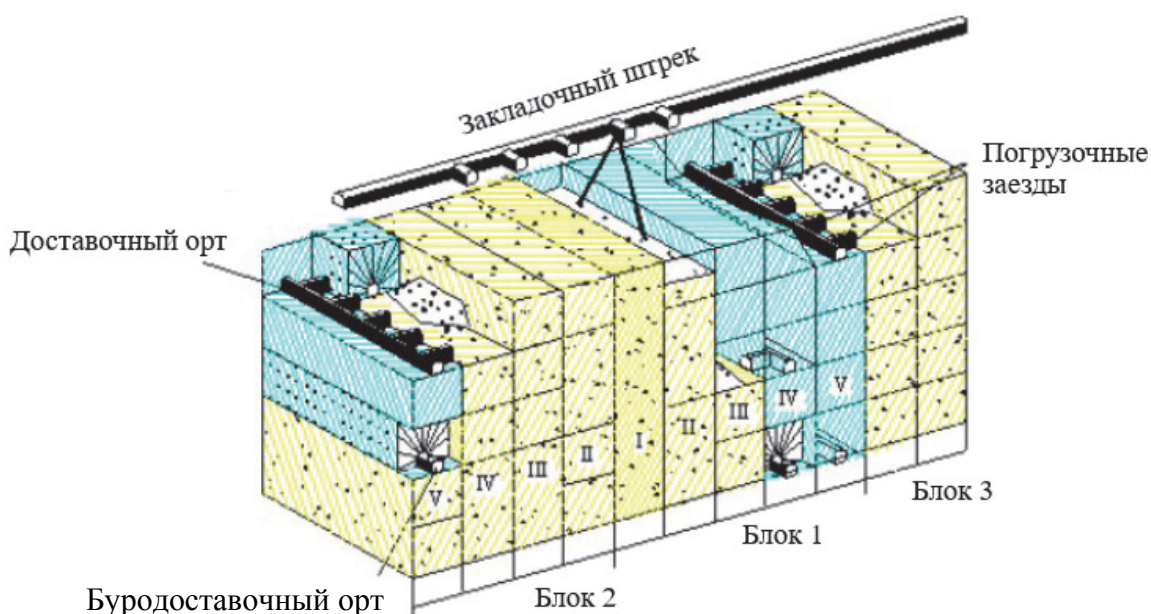


Рис. 1.3. Схема отработки блока поэтажно-камерной системой разработки со сплошной выемкой руды и закладкой

Для отработки запасов руды на 9–11 этажах предусматриваются системы разработки с закладкой: камерная, поэтажных штреков, столбовая с однослойной выемкой руды полосами по восстанию. Отработка запасов руды, расположенных на 5–9 этажах, предусмотрена системами этажного обрушения и сплошной выемки руды по падению.

Нормативная прочность закладочного массива в зависимости от принятых систем разработки и геомеханических размеров выемочных единиц приведена в табл. 1.6.

На Малеевском руднике время твердения закладки принимается при горизонтальном обнажении закладочного массива с заездом на него самоходного оборудования 1 месяц, при вертикальном обнажении закладочного массива – 3 месяца.

Нормативная прочность закладочного массива

Система разработки	Высота вертикального обнажения, м	Нормативная прочность закладки, МПа
Многоступенчатая сплошная поэтажно-камерная	12–13	2,5–3
Многоступенчатая сплошная этажно-камерная	До 70	4
Камерно-целиковая четырехстадийная	До 70	5
Сплошная слоевая выемка руды вертикальными лентами	До 8	1,5–2

Подача закладки с поверхностного бетонозакладочного комплекса (БЗК) в шахту в объеме 500 тыс. м³ в год осуществляется в самотечном режиме при следующем основном составе закладочной смеси: цемент М400 – 60 кг/м³; граншлак молотый, класс –0,08–120 кг/м³; граншлак молотый, класс +0,08–120 кг/м³; пески отвалыные +2,5–470 кг/м³; легкая фракция +2,5–705 кг/м³; вода – 460 кг/м³ закладки.

Закладочную смесь на руднике готовят на объединенном комплексе БЗК-1, 2 (рис. 1.4).

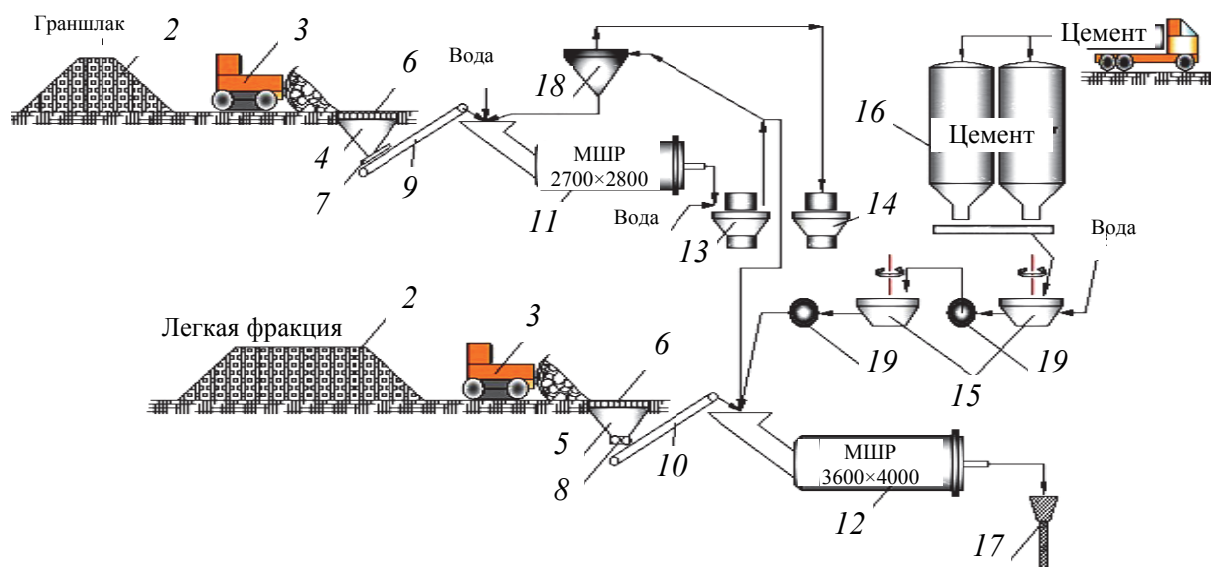


Рис. 1.4. Технологическая схема БЗК Малеевского рудника: 1, 2 – отвалы граншлака и легкой фракции; 3 – бульдозер; 4, 5 – приемные бункера; 6 – колосниковая решетка; 7 – шибер; 8 – питатель; 9, 10 – ленточные конвейеры; 11 – мельница МШР 2700×2800; 12 – мельница МШР 3600×4000; 13, 14 – насосы; 15 – устройство дозирования и приготовления цементного молока «ХАННИ»; 16 – расходные бункера цемента; 17 – закладочная скважина; 18 – гидроциклон ГЦ-350; 19 – перекачной насос

Технология приготовления закладочной смеси включает следующие операции: на БЗК-1 прием граншлака на открытый склад и загрузка его в приемный бункер, дозированная подача граншлака из бункера и транспортировка его в мельницу; помол граншлака в мельнице с дозированной подачей в неё дополнительной воды; подача в слив мельницы дополнительной воды до Т:Ж – 55:45 и транспортирование его центробежным насосом в мельницу БЗК-2; технологический контроль за процессом измельчения граншлака и подготовки его к перекачиванию на БЗК-2; на БЗК-2: прием заполнителя на открытый склад и разгрузка его в расходный бункер; дозированная подача заполнителя из бункера и транспортировка его в мельницу; прием цемента из автоцементовозов в расходные емкости и дозированная подача его в агрегат приготовления цементного молока; подача приготовленного цементного молока в мельницу; подача в мельницу измельченного граншлака в виде пульпы, перекачиваемой с БЗК-1; дозированная подача (при необходимости) дополнительной воды в мельницу; совместный помол компонентов и приготовление закладочной смеси в мельнице; подача смеси в приемную воронку трубопровода и её транспортирование к месту укладки; технологический контроль за процессом приготовления закладочной смеси.

Транспортировка граншлака в приемный бункер на БЗК-1 осуществляется с технологической площадки склада граншлака при помощи бульдозера по команде бункеровщика. Подаваемый песок предварительно отсеивается через грохот, установленный над приемным бункером. Некондиционный граншлак (не прошедший сквозь грохот) складывается в отвал отходов, подрешетный продукт поступает в приемный бункер.

Граншлак, просеянный через грохот, поступает на ленточный конвейер и далее транспортируется по ленточному конвейеру в приемную воронку мельницы МШР 2,7×2,8 БЗК-1. Транспортировка граншлака от слива мельницы БЗК-1 в мельницу МШР 3,6×4,0 БЗК-2 осуществляется при помощи центробежного насоса.

Количество подаваемого граншлака в мельницу контролируется с помощью весов, установленных на ленточном конвейере БЗК-1, и регулируется при помощи преобразователя частоты вращения ленточного конвейера БЗК-1 в соответствии с технологической картой состава закладочной смеси закладываемой выемочной единицы. Отсев измельченного граншлака крупнее класса –0,08 мм осуществляется с помощью гидроциклона. Недоизмельченный граншлак (в виде пульпы) при помощи центробежного насоса подается обратно в мельницу МШР 2,7×2,8. Измельченный граншлак в мельнице до класса –0,08 мм не менее 50 % по массе при плотности пульпы молотого граншлака не менее 1750 г/л из мельницы самотеком по-

стует в накопительную емкость и уже из емкости при помощи центробежного насоса подается в мельницу МШР 3,6×4,0 БЗК-2.

Требуемый часовой расход компонентов закладочной смеси устанавливается на основании применяемого состава смеси с учетом возможной производительности закладочного комплекса и фактической влажности закладочных материалов.

Уровень производительности закладочного комплекса определяют:

- по производительности мельницы БЗК-1 при измельчении граншлака до содержания класса –0,08 мм на уровне 50 %;
- по содержанию в разгрузке мельницы БЗК-2 крупного класса.

Дозирование твердых компонентов закладочной смеси осуществляется по массе материала с учетом его влажности с помощью весовых дозаторов и конвейерных весов.

Дозирование воды и пульпы цементного молока осуществляется объемным методом с регистрацией расхода расходомерами.

Расход воды в составе закладочной смеси дополнительно корректируют по плотности закладочной смеси, определяемой плотномером или же весовым способом.

Процесс приготовления смеси на закладочном комплексе может осуществляться в автоматическом и ручном режимах работы.

Автоматический режим работы закладочного комплекса производится с помощью программного компьютерного управления и включает:

- автоматический запуск и остановку комплекса;
- автоматическую подачу компонентов закладочной смеси в зависимости от заданной производительности и заданного состава закладочной смеси;
- регистрацию текущих и суммируемых значений показателей расхода твердых и жидких компонентов смеси, плотности цементного молока, закладочной смеси;
- архивизацию всех параметров работы закладочного комплекса за длительный период работы;
- регистрацию уровней закладочных материалов в расходных ёмкостях;
- выдачу аварийного сигнала при сбоях в технологии закладочных работ.

Модель управления БЗК основана на рецептуре приготовления смеси. В зависимости от требуемой производительности в систему вводятся данные по удельным нормам компонентов на 1 м³ смеси. Система пересчитывает уставки подаваемых в смесь компонентов и в автоматическом режиме поддерживает требуемый объем и плотность.

Работа закладочного комплекса в ручном режиме производится согласно утвержденной главным инженером рудника «Технологической карте мельничного способа приготовления закладочной смеси и подачи её

в выработанное пространство» и в соответствии с утвержденными рабочими инструкциями для рабочего персонала закладочного комплекса.

Определение и регистрация рабочих параметров технологии приготовления закладочной смеси в ручном режиме работы осуществляется машинистами мельниц и лаборантами закладочного комплекса.

Полное приготовление закладочной смеси осуществляется в мельнице МШР-3,6×4,0 БЗК-2 путем смешивания всех компонентов: песка (хвостов); цементного молока (цемента, затворенного водой); молотого граншлака (в виде пульпы); молотой легкой фракции (в виде пульпы).

Суздальское золоторудное месторождение расположено в Жано-Семейском районе Восточно-Казахстанской области в 70 км от г. Семей.

Суздальское месторождение представлено тремя рудными зонами: 1–3, 2 и 4 размерами по простиранию 900, 800 и 600 м, глубиной оруденения 470, 300 и 320 м соответственно. Рудная зона 4 удалена от рудных зон 1–3 и 2 на расстояние 900 м, что предопределяет отдельную ее отработку с формированием обособленной схемы вскрытия с определением трасс транспортирования горной массы, вентиляции и запасных механизированных выходов. Суздальское месторождение представлено окисленными и первичными сульфидными рудами.

Крепость пород по шкале проф. М. М. Прододьяконова варьирует от 5 до 11, среднее значение 7–9. Для массива скальных пород характерна неравномерная трещиноватость. Высокая трещиноватость позволяет отнести массив месторождения к тектонически нарушенному.

Объемная плотность вмещающих пород от 2,64 до 2,73 т/м³ (средняя 2,7 т/м³); объемная плотность руды от 2,58 до 2,83 т/м³ (средняя 2,75 т/м³). Естественная влажность руд изменяется в пределах 0,2–0,3 %. Коэффициент разрыхления 1,6–1,7.

По прочности пород и низкому коэффициенту хрупкости месторождение относится к неудароопасным. По причине большого (30–60 %) содержания двуоксида кремния месторождение относится к силикозоопасным.

Схема разработки месторождения следующая: рудные зоны и тела по падению разделяют на этажи высотой 40 м; этажи и рудные тела отрабатывают в нисходящем порядке; порядок развития фронтов очистных работ на этажах последовательно-параллельный с последовательной подготовкой выемочных блоков и параллельным развитием в них фронтов очистной выемки; группу сближенных рудных тел в этаже отрабатывают последовательно в направлении от лежачего бока к висячему боку рудных тел месторождения; для поддержания непрерывного фронта очистных работ один-два этажных горизонта находятся в очистной выемке, один – в подготовке очистных блоков.

Рудные зоны 1–3 предусматривается обрабатывать системами разработки с обрушением налегающих пород и закладкой выработанного пространства с применением самоходного оборудования, рудную зону 4 – системами с обрушением налегающих пород.

На данном этапе развития горных работ при отработке рудных тел мощностью 3–15 м с углами падения более 50° проводится промышленная проверка системы подэтажного обрушения с послойным торцовым выпуском руды с высотой подэтажей 7,5 и 15 м и широким применением самоходного оборудования.

В настоящее время руководство АО «ФИК “Алел”» планирует отказаться от мельничного способа приготовления закладки из-за его достаточно высокой стоимости и ставит задачу разработки технологии приготовления закладки смесителями на поверхностном комплексе и транспортирования закладочной смеси до мест ее укладки в выработанное пространство самоходными миксерами. Укладка смеси в выработанное пространство предусмотрена бетоноукладчиками с крупностью инертного заполнителя до 20 мм с подачей смеси в выработанное пространство до 80 м.

Специалистами АО «ФИК “Алел”» был обоснован выбор наиболее рационального основного технологического оборудования для ведения закладочных работ в условиях Суздальского рудника, а именно; бетоно-растворосмесительной установки MB-30WS производства МЕКА производительностью 30 м³/ч готового бетона (рис. 1.5), горно-шахтной машины фирмы PAUS UNI 50-3 миксер (рис. 1.6) и компактного прицепного насоса для подачи мелкозернистого бетона P 715 Putzmeister (рис. 1.7).

Технические данные миксера: дизельный двигатель фирмы DEUTZ мощностью 115 кВт при 2300 об/мин, грузоподъемность 5,5 т, объем миксера смесителя 4,5 м³, общая масса 18 500 кг, объем смесителя 4,5 м³, полезный объем 3,5 м³. Скорость движения: 1-я передача – 5 км/ч; 2-я передача – 10 км/ч; 3-я передача – 20–25 км/ч. Угол преодолеваемого подъема 40°.

Техническая характеристика прицепного насоса для подачи мелкозернистого бетона P 715 фирмы Putzmeister приведена в табл. 1.7.

Трубопроводный транспорт весьма чувствителен к остановкам и перерывам, из-за которых бетонная смесь в трубопроводах загустевает и частично схватывается. Это вызывает аварии и значительные непроизводительные затраты по разборке и очистке бетонопроводов. По этой причине доставка бетонной смеси миксерами должна быть бесперебойной. Практика строительных работ показывает, что при перерыве более, чем на 30 мин, смесь во избежание образования пробок в бетоноводе должна активизироваться путем периодического включения бетононасоса. Таким образом, одним миксером возможна работа только на расстояние до 0,35 км. В дальнейшем для нормальной работы закладочного комплекса необходима работа с двумя миксерами.



Рис. 1.5. БСУ MB-30WS (в процессе монтажа)



Рис. 1.6. Горно-шахтная машина фирмы PAUS UNI 50-3 миксер

Бакырчикское золоторудное месторождение расположено в северо-восточной части Республики Казахстан, в поселке Ауэзов Жарминского района Восточно-Казахстанской области, в 90 км к юго-западу находится областной центр г. Усть-Каменогорск, в 170 км к северо-востоку находится г. Семипалатинск.

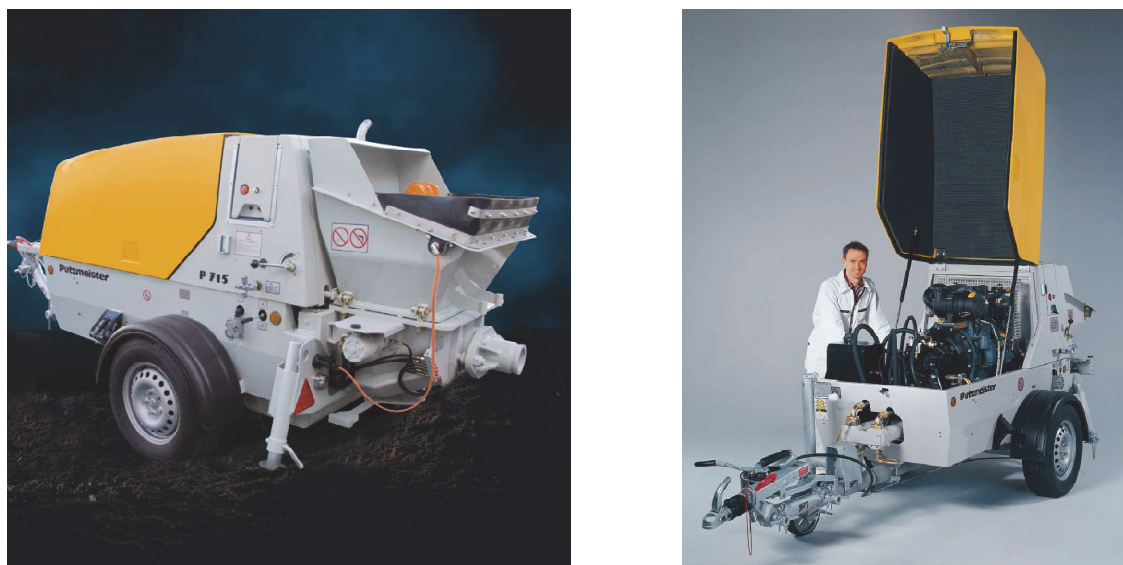


Рис. 1.7. Прицепной насос для подачи мелкозернистого бетона Р 715

Таблица 1.7

Техническая характеристика насоса для подачи мелкозернистого бетона Р 715

Показатель	Модель			
	Р 715 TD	Р 715 SD	Р 715 TE	Р 715 SE
Объем подачи, м ³ /ч	4–17,4	4–17,4	4–18,2	4–18,2
Давление подачи (теоретическая), бар	68	68	68	68
	2-цилиндровый поршневой насос с гидравлическим приводом			
Диаметр плунжера, мм	700	700	700	700
Ход за минуту	max 27	max 27	max 27	max 27
	3-цилиндровый дизельный двигатель Deutz F3M 2011, электродвигатель 30 кВт, 400 В, 50 Гц			
Максимальная фракция, мм	16	16	16	16
Напорный патрубок	4,5" SK	4,5" SK	4,5" SK	4,5" SK
Объем бункера	250/280 л с резиновой накладкой воротникового типа			
Вес, кг	1850	1700	1800	1650
Длина, мм	4568	2948	4568	2948
Ширина, мм	1511	1162	1511	1162
Высота, мм	1749	1518	1636	1402
Высота загрузки, мм	1378	1142	1378	1142

Основной вид деятельности ТОО «Бакырчикское горнодобывающее предприятие» – добыча и переработка золотосодержащей руды. Разработка месторождения была начата в 1956 г. Руда месторождения является упорной и труднообогатимой из-за связи золота с сульфидами, наличия органического углерода и высокого содержания мышьяка. По этой причине долгое время не удавалось внедрить приемлемую технологию получения золота, позволяющую достичь высокой степени его извлечения.

Довольно сложные горно-геологические условия Бакырчикского месторождения, характеризующиеся невысокой устойчивостью и прочностью пород и руд, обуславливает применение систем разработки с закладкой выработанного пространства.

Закладку выработанного пространства предусмотрено производить твердеющими смесями. В качестве основной технологии закладочных работ сотрудниками ДГП «ВНИИцветмет» рекомендован мельничный способ подготовки закладочных компонентов с приготовлением закладочной смеси заданных параметров на крупном заполнителе в уравнительном смесителе с последующей доставкой трубопроводным транспортом в выработанное пространство в самотечном и принудительном режимах.

Твердеющая смесь приготавливается на БЗК, расположенном по рекомендации ДГП «ВНИИцветмет» на поверхности вблизи ствола «Восточный-Вентиляционный».

Основными процессами технологии возведения искусственных массивов являются:

- подготовка выработанного пространства к закладке;
- армирование и изоляция выработанного пространства;
- возведение искусственного массива, обеспечивающего нормативную прочность и подпор вышележащего массива.

Твердеющая смесь в выработанное пространство заходок подается самотечным транспортом с поверхности по трубам, проложенным до закладочного горизонта по скважинам и далее по закладочным восстающим, доставочным штрекам и слоевым разрезным ортам (штрекам) в очистные заходки.

После выемки руды в заходке из нее удаляют воду и подводят к ней бетонопровод. Для исключения вредного влияния взрывов на закладочный массив на почве заходки оставляют слой рудной мелочи.

Практически на всех горнодобывающих предприятиях для обеспечения устойчивости искусственной кровли в очистных заходках и нарезных слоевых выработках применяют различные виды инвентарной крепи: стойки с подхватами, рамы, арочную крепь или армировку искусственного массива (особенно на сопряжениях).

В основу разработки нового типа армировки искусственной кровли на Бакырчикском руднике положены принципы штангования слоистого искусственного массива, испытывающего усилия от собственного веса слоя непосредственной кровли и удержания отслоившихся её элементов жёсткой металлической сеткой. При этом решается задача повышения безопасности ведения горных работ за счёт подхвата всей площади обнажаемого закладочного массива, исключения выпадения его отслоившихся и растрескавшихся кусков.

В обрабатываемом блоке подготавливается выработка с параметрами 3,5×4,0 м (высота×ширина). На почву выработки, на подсыпку из рудной мелочи высотой 100 мм и над этой рудной мелочью на высоте порядка 50 мм укладывают металлическую сетку с параметрами ячеек 100×100 мм. Металлическая сетка представляет жестко сваренную конструкцию, укладываемую поперёк выработки полосами 4000×1200 мм. Вдоль выработки на высоте 2800 мм закрепляется железная проволока диаметром 6 мм. Перед закладкой заходки в устье её устанавливают изолирующую перемычку. При длине заходов более 25 м следует устанавливать промежуточные технологические перемычки высотой не менее 2 м, препятствующие расслаиванию смеси при растекании под углом 3–5°. Закладку заходов производят так, чтобы высота твердеющей смеси, поданной за один прием, была не менее 1,5 м. После схватывания твердеющей смеси в несущем слое заполняют оставшуюся часть выработанного пространства. Перерыв между первой и второй дозами должен быть не менее 15–20 ч.

В качестве основной технологии закладочных работ рекомендован мельничный способ подготовки закладочных компонентов с приготовлением закладочной смеси заданных параметров на крупном заполнителе в уравнительном смесителе с последующей доставкой трубопроводным транспортом в выработанное пространство в самотечном и принудительном режимах.

В связи с отсутствием на близлежащей территории естественных месторождений песчано-гравийной смеси принято решение об использовании техногенных источников в качестве инертного заполнителя твердеющей закладочной смеси. Компонентами смеси являются инертный заполнитель в виде дробленой породы отвалов рудника, портландцемент марки 400 и техническая вода.

Рекомендовано (вариант 2) приготовление твердеющих закладочных смесей с использованием доменных гранулированных шлаков в качестве компонента сложного вяжущего.

Закладочное хозяйство подземного рудника Бакырчик включает в себя дробильно-сортировочный участок на отвале № 5–6 производительностью 520 тыс. т дробленой породы в год; центральный склад цемента

вместимостью 1400 т; бетонозакладочный комплекс 1-й очереди (БЗК-1) производительностью 100 тыс. м³ закладочной смеси в год; бетонозакладочный комплекс 2-й очереди (БЗК-2) производительностью 400 тыс. м³ твердеющей закладочной смеси в год. В функции дробильно-сортировочного участка входят добыча породы, ее дробление с разделением на товарные фракции и отгрузка готового материала на бетонозакладочные комплексы БЗК-1 и БЗК-2.

Добыча породы осуществляется экскаватором с погрузкой в автосамосвал, который доставляет ее на площадку хранения. Бульдозер подает породу на неподвижную грохотную решетку с ячейкой 400×400 мм, смонтированную над бункером вместимостью 50 т. Породу крупностью более 400 мм убирают с решетки на площадку хранения для вторичного дробления накладными зарядами ВВ. Породу крупностью меньше 400 мм накапливается в бункере, а затем питателем подается на двухситовой виброгрохот с ситами 75 и 20 мм.

Фракции размером 75–400 мм конвейером подают в щековую дробилку для дробления до крупности –75 мм, а фракции размером 20–75 мм из-под сита виброгрохота конвейером доставляют непосредственно на площадку хранения готового материала крупностью 20–75 мм. Фракции крупностью 0–20 мм из-под сита виброгрохота конвейером доставляют, соответственно, на площадку хранения готового материала крупностью 0–20 мм.

После дробления породы в щековой дробилке и грохочения ее на виброгрохоте фракции –75 мм конвейером доставляют на площадку хранения готового материала крупностью 20–75 мм. Породу крупностью 20–75 мм используют для подачи в инерционные конусные дробилки типа КИД, расположенные на бетонозакладочных комплексах БЗК-1 и БЗК-2.

Порода крупностью 0–20 мм используется для питания мельницы МШР на закладочном комплексе БЗК-2 и частично на комплексе БЗК-1 (при достижении на нем производительности 100 тыс. м³ смеси в год).

С площадок хранения готовый материал доставляют автосамосвалами с погрузкой его экскаватором или колесным погрузчиком.

Для обеспечения закладочных работ в количестве 400 тыс. м³ в год необходимо переработать ориентировочно 520 тыс. т породы.

Технологическая схема бетонозакладочного комплекса 2-й очереди (БЗК-2) с годовым объемом 300 тыс. м³ закладки предусматривает производство, доставку и хранение закладочных материалов, приготовление на их основе твердеющей закладочной смеси и ее транспортировку в выработанное пространство.

В качестве основного технологического оборудования приняты шаровая мельница и уравнильный смеситель, на базе которых разработана универсальная технология закладочных работ по мельнично-смесительному

способу приготовления закладочных смесей на крупном заполнителе с возможностью оперативного трансформирования схемы технологического процесса в зависимости от применяемых закладочных компонентов.

Доставку закладочных смесей в выработанное пространство предусматривается осуществлять в самотечном и принудительном режимах по системе магистральных и участковых трубопроводов.

Линия трубопроводного транспорта предназначена для приема закладочной смеси заданных параметров и подачи ее по системе магистральных (вертикальный и горизонтальный ставы) и участковых трубопроводов в выработанное пространство в самотечном и принудительном режимах транспорта.

Вертикальный трубопровод оборудуется сбросным клапаном для его освобождения от смеси в аварийных ситуациях, опорным столем и переходом на горизонтальный участок, а также контрольно-измерительными приборами расхода, плотности, давления, скорости и т. д.

Горизонтальный трубопровод собирается из отдельных секций длиной по 8 м с помощью быстросъемных соединений, прокладывается по борту выработки на высоте 0,5–1 м, снабжается пневмоврезками и оборудуется переключателями потока для обеспечения непрерывности подачи смеси в закладочные выработки.

Параллельно закладочному трубопроводу прокладываются трубопроводы воды и сжатого воздуха, необходимые для ликвидации возможных «пробок».

В помещении закладочных скважин должен размещаться бетононасос для принудительной подачи закладочных смесей по существующей системе трубопроводов.

Подготовка инертного заполнителя на фракции крупностью –75 и –20 мм осуществляется на дробильно-сортировочном участке, откуда автотранспортом доставляется на площадку хранения БЗК-2, где формируется в штабеля и раздельно подается в расходные бункера. Цемент из склада цементовозами доставляется в расходные силосы закладочного комплекса. Граншлак доставляется автотранспортом на площадку хранения комплекса, где при помощи погрузчика или бульдозера формируется в штабель и подается в расходный бункер. Подача воды осуществляется по водопроводу от существующей системы водоснабжения рудника.

Рассмотрим технологию приготовления закладочной смеси на основе цемента (вариант 1).

Фракция крупностью –20 мм из расходного бункера в отдозированном виде ленточным конвейером в объеме 69,1 т/ч подается в загрузочную воронку шаровой мельницы МШР.

Одновременно из расходного силоса дозатором подается в репульпатор цемент, где он затворяется водой и самотеком по трубопроводу в виде цементного молока в объеме 37,6 т/ч подается в мельницу.

В мельнице происходит измельчение, активация и приготовление песчаноцементной пульпы, которая самотеком или с помощью насоса в объеме 106,7 т/ч подается в смеситель.

Одновременно фракция крупностью –75 мм из расходного бункера в отдозированном виде подается в дробилку КИД, откуда готовый продукт крупностью –5(10) мм ленточным конвейером в объеме 20 т/ч подается в уравнивательный смеситель, где происходит его перемешивание с ПЦП и приготовление твердеющей закладочной смеси заданных параметров в объеме 65 м³/ч.

Рассмотрим технологию приготовления закладочной смеси на основе сложного вяжущего (вариант 2).

Фракция крупностью –20 мм и граншлак из расходных бункеров в отдозированном виде отдельно конвейерами подаются в шаровую мельницу МШР, где происходит измельчение, активация и приготовление цементношлаковой пульпы в объеме 97,6 т/ч, которая самотеком или с помощью насоса подается в смеситель.

Из расходного силоса дозатором подается цемент в репульпатор, где он затворяется водой и в виде цементного молока по трубопроводу самотеком в объеме 11,8 т/ч также подается в смеситель.

Одновременно фракция крупностью –75 мм из расходного бункера в отдозированном виде подается в дробилку КИД, откуда готовый продукт крупностью –5(10) мм ленточным конвейером поступает в уравнивательный смеситель, где происходит его перемешивание с цементным молоком и цементношлаковой пульпой и приготовление закладочной смеси заданных параметров в объеме 65 м³/ч.

Подготовленные к закладке пустоты должны быть изолированы от действующих выработок перемычками, тип и конструкцию которых следует принимать в соответствии с паспортом.

При длине заходки более 25 м закладку следует вести отдельными секциями. Между секциями необходимо возводить технологические перемычки. Закладку заходов (секций) необходимо вести таким образом, чтобы объем твердеющей смеси, подаваемой за один прием, обеспечивал возможность формирования нижнего несущего слоя толщиной 1,5 м у перемычки. Несущий слой необходимо армировать по типовым паспортам. Недозалив под кровлю заходов необходимо устранять по специальным проектам.

Анализ закладочных комплексов на рудниках показал, что принципиально их конструктивное оформление и технология приготовления ЛТС отличается не существенно. Закладочные комплексы на рудниках Финлян-

дии, Канады, Польши, Австралии, Ирландии включают в схему дополнительные устройства для перемешивания и гомогенизации ЛТС перед подачей в трубопровод [1–69].

От выбранных способов и параметров доставки закладочных смесей зависит качество возводимого искусственного массива. Широкое распространение получило транспортирование закладочной смеси самотечным и самотечно-пневматическим способами.

Существующая традиционная технология трубопроводного транспорта ЛТС требует существенного усовершенствования. Важной задачей является создание способов и средств управления реологическими свойствами смесей. Это позволит повысить надежность трубопроводного транспорта и сохранить приданные, технологически необходимые реакционные свойства ЛТС до твердения в выработанном пространстве.

Анализируя существующий опыт закладочных работ [36–69], можно сделать вывод, что расширению области использования систем разработки с закладкой твердеющими смесями будет способствовать вовлечение в производство дешевого вяжущего и заполнителя на основе отвальных продуктов. Это шлаки и шламы металлургических и машиностроительных заводов, хвосты обогащения и породы вскрыши, золы уноса и шлаки теплоэнергетики.

Известно [70–78], что при измельчении материалов их энергетический уровень и реакционные свойства заметно возрастают. Такое повышение физико-химической активности продуктов измельчения является следствием механоактивации. Однако существующее оборудование закладочных комплексов не обеспечивает достижение этих эффектов.

В производстве ЛТС измельчение и перемешивание шихты является важнейшими технологическими процессами. От способа, места и вида смешивания компонентов закладки зависят ее физико-механические свойства, влияющие на состояние смеси и качество возводимого массива. Поэтому наряду с важным значением компонентов, входящих в состав ЛТС, на ее свойства определяющее влияние оказывает технология ее производства и вид применяемого при этом оборудования [70–87].

Практически все действующие сегодня в горной промышленности закладочные комплексы работают в непрерывном режиме приготовления твердеющих смесей. При этом дробление и измельчение материала закладки производят на стадии подготовки шихты. Опыт применения таких технологий на ЗК рудников показал, что не достигается повышения активности исходных материалов, прочностных и реологических характеристик. Значительная масса используемого цемента не участвует в реакции гидратации. Ядра зерен более 10 мкм остаются не смоченными водой, играя роль микрозаполнителя.

Основным направлением снижения себестоимости закладочных работ является использование отвальных продуктов различных производств в качестве вяжущих и заполнителей. Механические свойства конкретного состава твердых ингредиентов ЛТС могут существенно меняться от режима их активации и водосодержания, определяющих прочность и транспортабельность твердеющих смесей.

Разработка технологии приготовления закладки с использованием полной фракции хвостов обогащения позволит не только снизить издержки производства горных предприятий, но и повысить экологическую безопасность добывающих минеральное сырье регионов.

1.4. Обоснование рациональных способов воздействия на материалы твердеющих смесей на основе хвостов обогащения

Особенностью сульфидных хвостов как наполнителя при приготовлении твердеющих видов закладки является высокое содержание серы до 30–35 % и значительное содержание (до 35–40 %) шламов с крупностью частиц менее 44 мкм.

Впервые затвердевающая сульфидная закладка была применена на рудниках Канады в 1935 г.

Установлено, что природные сульфиды вследствие их химического и минерального состава проявляют различную активность. Их состояние определяется процессом окисления, который неодинаков для различных сульфидных минералов и зависит от физических условий его протекания.

Интенсивность окисления сульфидов зависит главным образом от количества кислорода и воды. Она ускоряется или замедляется при изменении соотношений этих компонентов.

Все вяжущие вещества, затвердевающие в процессе гидратации или окисления, вызывают повышение температуры.

В случае применения сульфидных материалов температура закладочного массива зависит от их активности, тонкости измельчения и качества, а также от равновесия между энергией, освобожденной и рассеянной в процессе окисления. Температура нагревания в течение окисления контролируется регулированием скорости химической реакции и увеличением рассеивания тепла.

Самозатвердевание отдельных сульфидов при окислении проявляется в наибольшей степени при наличии пирротина. Однако не все типы пирротинов являются вяжущими.

Их эффективность зависит от естественной активности и может изменяться под воздействием как физических, так и химических факторов.

Скорость процесса затвердевания определяется такими факторами, как минеральное строение и тонкость измельчения, и может быть изменена добавлением других сульфидов или щелочных пород.

Окисление пирротина способствует относительно быстрому образованию окисленного материала, содержащего гидрат окиси железа и различные сульфаты, которые образуют смешанные кристаллические сростания, цементирующие сульфидные частицы, повышающие прочность закладки.

Когда эти процессы происходят между закладочным материалом и сульфидными частицами, возникает сцепление. Плотная укладка материала в смесях оптимального состава создает хорошие контакты между частицами, являющимися в дальнейшем кристаллическими центрами новообразований разрастающейся кристаллической решетки создаваемого массива.

На Учалинском руднике хвосты являются отходом процесса флотации сульфидных руд. Процесс флотации протекает в щелочной среде, и хвостовая пульпа сбрасывается в хвостохранилище с $\text{pH} = 11$. Щелочность воды в хвостохранилище постепенно уменьшается за счет выщелачивания серы из хвостов, но в целом она остается слабощелочной, что позволяет использовать ее на обогатительной фабрике в качестве оборотной технологической воды. В отдельные моменты при большом поступлении кислых подотвальных вод в хвостохранилище вода в нем может стать слабокислой с $\text{pH} = 6,7$.

Таким образом, хвосты, поступающие на закладочном комплексе в смеситель, в момент приготовления твердеющей смеси будут иметь щелочную или слабокислую реакцию, что не скажется отрицательно на схватывании и на начальном периоде твердения.

Однако в процессе твердения возможно выщелачивание серы из материала хвостов, что может привести к образованию существенно кислой среды и в результате к прекращению процесса твердения. Поэтому был проведен эксперимент по установлению характера изменения среды хвостов с течением времени.

Затвердевший в подземных условиях массив закладки, как правило, имеет влажность порядка 15 %. Под длительным воздействием влаги происходит выщелачивание серы из материала хвостов с образованием серной кислоты. В строительной индустрии это явление недопустимо, так как образовавшаяся серная кислота, длительное время воздействуя на бетон и особенно железобетон, отрицательно влияет на материал бетона, металлическую арматуру и в результате приводит к уменьшению прочности бетонных и железобетонных конструкций.

Следует отметить, что этот процесс достаточно длительный и может существенно влиять на состояние строительных конструкций, срок службы которых рассчитан на десятилетия. Сохранение прочности закладочного массива необходимо на период от 1 до 5 лет, пока не будет отработана соседствующая с ним руда. За пределами этого срока вопрос о прочности закладочных массивов теряет свой смысл. За указанный период закладочный массив, даже в случае образования в нем кислой среды, не потеряет своей прочности, что подтверждается практикой рудников, применяющих хвосты обогащения сульфидных руд для закладки. Наиболее показателен опыт рудника Пюхасалми, где хвосты содержат 32,9 % серы, что сопоставимо с хвостами Учалинской ОФ. Исследования влияния серы показали, что ионная сернистая коррозия при крупномасштабных закладочных работах не проявляется, однако она представляет проблему для торкретирования.

Результаты лабораторных исследований показали, что использование хвостов обогащения позволяет получить составы закладки, по прочности и удельному расходу вяжущего равноценные применяемым в настоящее время составам закладки на основе молотого диабаз.

С экономической точки зрения использование хвостов предпочтительнее, так как это позволяет уменьшить затраты на подготовку инертного материала для закладки и в некоторой степени сократить затраты на эксплуатацию хвостохранилища, повысить экологическую безопасность района.

Лабораторные исследования хвостов, отобранных с пляжа хвостохранилища, показали, что в момент приготовления закладки водная суспензия хвостов была нейтральной, а с течением времени она становилась слабокислой, но при этом водородный показатель не достигал предельных значений, регламентированных гостами для бетонов.

Следовательно, высокое содержание серы в хвостах не создает условий, препятствующих процессам твердения закладки или ведущих к интенсивному разрушению затвердевшего закладочного массива.

Глава 2 | ПОВЫШЕНИЕ ПРОЧНОСТНЫХ И РЕОЛОГИЧЕСКИХ СВОЙСТВ ТВЕРДЕЮЩИХ СМЕСЕЙ НА ОСНОВЕ ХВОСТОВ ОБОГАЩЕНИЯ

2.1. Нормативная прочность закладочного массива

Нормативная прочность – это прочность, при которой возможно безопасное обнажение закладочного массива горной выработкой заданных размеров в принятые проектом сроки. Определяется расчетным способом и указывается в проектах на отработку выемочного участка с учетом обнажения: в боку очистной выработки в зависимости от высоты обнажения, в кровле очистной выработки в зависимости от ширины пролета выработки. По существу, это директивная прочность искусственного массива. Снижение фактической прочности ниже нормативной величины недопустимо по правилам безопасности, а превышение ее нежелательно по экономическим соображениям, так как сопровождается перерасходом цемента. Однако обеспечить строго постоянное качество закладочного массива технически невозможно вследствие непостоянства качества исходных материалов, включая цемент и песок, неизбежных отклонений в их дозировании для приготовления закладочной смеси, расслоения смеси в процессе ее размещения в выработанном пространстве, неравномерного распределения вяжущего, различных условий дренажа (вблизи перемычек и рудоспусков смесь прочнее).

Поэтому отклонение величины фактической прочности от нормативного (проектного) значения допускается лишь в большую сторону и может достигать различных значений в зависимости от конкретных условий.

В практике рудников прочность закладки изменяется в очень широких пределах: от 2–3 до 5–6 МПа и более в зависимости от глубины горных работ и принятой схемы разработки. Качество искусственного массива тесно связано с затратами на его возведение. Чем прочнее материал, тем он дороже. Это ограничивает область применения данной технологии. В решении поставленной задачи целесообразно рассматривать взаимодействие искусственного и естественного горного массивов и, учитывая опыт рудников и современные знания в области горного дела, определить направления в обосновании нормативной прочности искусственного массива.

Известно несколько гипотез, объясняющих интенсивность и характер проявления горного давления.

Наибольшее распространение получила гипотеза свода, которая математически обоснована М. М. Протодяконовым. Горный массив рассматривается как материал, разбитый трещинами на отдельные куски, внешняя связь между которыми слабее, чем внутри них. При проведении выработки образуется свод давления, воспринимающий нагрузки от вышележащих пород. П. И. Цимбаревич рекомендовал увеличивать расчетную ширину выработки за счет возникающих в боках призм сползания, а К. Кегель считал, что свод разгрузки описывается кривой, соединяющей точки начала сдвижения пород каждого слоя.

Гипотеза деформаций, предусматривающая взаимодействие горного массива и крепи (закладки), выдвинута Р. Феннером, развита К. В. Руппнейтом и другими исследователями. Здесь используются методы механики сплошных сред (упругих, изотропных, анизотропных, упругопластических, упруговязких и др.).

В гипотезе балок (плит) слой породы рассматривается как балка с заделанными концами и равномерно нагруженная собственным весом. Наиболее полное развитие эта гипотеза получила в работах В. Д. Слесарева, который, используя теорию изгиба балок, предложил расчетные методы определения ширины камеры, толщины потолочины и др.

К недостаткам двух отмеченных гипотез относится неудовлетворительная основательность использования закона Гука, так как горные породы неоднородны, анизотропны, их деформации отличаются определенным своеобразием. Кровля состоит не из одного, а из нескольких слоев, которые могут иметь различные прочность и взаимосвязь.

Наличие тектонических напряжений может изменить схему распределения напряжений. Установлено, что горизонтальные напряжения иногда превышают вертикальные, которые, в свою очередь, оказываются в несколько раз выше гравитационных напряжений.

Фактическое распределение напряжений в горном и искусственном массивах вокруг выработок устанавливаются непосредственным измерением; используя методы разгрузки или моделирования деформации пород, его можно определить также замерами в шахтных условиях или в процессе моделирования.

Характер и интенсивность проявления горного давления, а следовательно, и величина нормативной прочности во многом зависят от принятой последовательности добычных работ в пределах выемочного участка, этажа, блока. При разработке месторождений камерными системами с монолитной закладкой горизонтальные и пологие месторождения, а также мощные месторождения неправильной формы целесообразно обрабатывать в две

или три стадии. Первоначально между очистными камерами первой очереди оставляют такие же по размерам целики, которые извлекают во второй стадии. Нередко оставляют междублоковый (панельный) целик, который извлекают в третьей стадии. В рудах средней устойчивости при небольшой прочности искусственного массива между обрабатываемыми камерами оставляют два целика рудных или искусственных. В этом случае число стадий отработки блока (участка) возрастает до четырех, что увеличивает общую протяженность фронта добычных работ.

Месторождения крутого залегания обычно обрабатывают в две стадии: вначале камеры первой очереди, затем оставленные между ними целики (камеры второй очереди). Камеры нижележащего этажа располагают со смещением по отношению к верхним камерам, т. е. применяют шахматный порядок отработки. Целики основания камеры (блока) обрабатывают совместно с основными запасами или после них для сокращения общей продолжительности обнажения искусственного массива в кровле камеры.

При системах со слоевой выемкой и монолитной закладкой месторождение делят на секции, каждая из которых обрабатывается как самостоятельный участок. Как только расстояние между двумя секциями сократится до 100–150 м, приступают к отработке оставшегося целика. Отработку ведут от середины целика к его флангам, чтобы уменьшить влияние горного давления на добычные выработки.

Во всех случаях выработанное пространство сразу же после извлечения отбитой руды заполняют закладочным материалом.

В результате отработки камеры (слоя) происходят перераспределение напряжений в горном массиве и его деформации. В кровле и почве выработок создаются зоны пониженных напряжений, а у стенок – зоны концентрации напряжений. Задача о распределении напряжений вокруг горной выработки прямоугольного сечения более сложная в сравнении с выработкой круглого сечения. Здесь имеют значение соотношение сторон, форма кровли, закругления углов и др. В частности, придавая кровле сводчатую форму, как бы вырезают частично или полностью зону растягивающих напряжений. Увеличение высоты камер не повышает концентрацию напряжений вокруг нее, а даже уменьшает.

Вокруг одиночной камеры распределения напряжений наиболее близко соответствуют гипотезе свода, т. е. согласуются с принципами распределения усилий в сооружениях арочного типа.

Наибольшие напряжения концентрируются в опорах свода, т. е. вблизи стенок камеры, а породы кровли в пределах определенной зоны имеют лишь небольшие растягивающие напряжения, снижающиеся до нуля. У основания камеры образуется разгруженная от горного давления зона обратного свода. Не испытывают существенного давления также породы

у стенок камеры, т. е. вблизи поверхностей их обнажения. При правильно выбранных параметрах очистная камера не обрушается, хотя горный массив вблизи поверхностей обнажения деформируется: кровля и стенки камер прогибаются в сторону свободного пространства до 10–20 см и более, что нетрудно установить инструментальными съемками. В отдельных случаях происходит поднятие почвы камеры, однако в целом отработанная камера находится в состоянии устойчивого равновесия.

Величина рассмотренных деформаций возрастает со временем вследствие проявления ползучести горного массива и других факторов.

При групповом расположении камер ширина междукамерного целика часто принимается равной ширине камеры. Глубина распространения опорного давления может достигать двухкратного размера пролета камеры. Поэтому в междукамерном целике опорное давление смежных камер суммируется и обычно увеличивается вдвое по сравнению с одиночной камерой. Для повышения устойчивости междукамерных целиков их ширину увеличивают вдвое, т. е. действующие смежные камеры разделяют не одним, а фактически двумя целиками. При выемке камер второй очереди, когда отрабатывают один из междукамерных целиков, второй целик будет испытывать подпор со стороны искусственного массива, возведенного в первичной камере, что повышает его несущую способность. Однако увеличение числа стадий отработки приводит к увеличению расстояния между отрабатываемой камерой и ближайшим рудным междукамерным целиком, что сопровождается повышением напряженного состояния кровли отрабатываемых камер второй и третьей очередей и ростом нагрузки на смежные искусственные целики и тем самым приводит к увеличению нормативной прочности.

В результате выемки двух смежных и последующих камер напряжения $\sigma_{сж}$ в междукамерном целике достигают максимального значения соответственно силе тяжести всего столба пород, поддерживаемых этим целиком:

$$\sigma_{сж} = S \gamma H / 100, \quad (2.1)$$

где S – коэффициент, учитывающий отношение площади поддерживаемой целиком кровли к площади целика (если ширина камеры равна ширине ленточного целика, то $S = 2$).

При ленточных целиках напряжения

$$\sigma_{сж} = \frac{b+a}{b} \cdot \frac{\gamma H}{100}, \quad (2.2)$$

где a – ширина камеры, м; b – ширина целика, м.

В формулах (2.1), (2.2) и им подобных γ – плотность пород, т/м³; H – глубина разработки, м; 100 – размерный (т/Н) переводной коэффициент из системы МКГСС в СИ при исчислении напряжений в мегапаскалях.

Если целики расположены вблизи сплошного горного массива, то напряжения в них несколько меньше максимально возможных (в среднем на 10 %). Следовательно, площадь подработки не оказывает существенного влияния на величину напряжений в рудных целиках. Это естественно, так как рудный целик до выемки смежных камер постоянно находится в напряженном состоянии. Увеличение напряжений в два раза, происходящее при выемке смежных камер, не вызывает существенных деформаций целика, представленного материалом высокой прочности, поэтому здесь почти не проявляется защитное влияние нетронутого горного массива.

Увеличение высоты целиков от 40 до 160 м не вызывает существенного изменения напряжений в них. По мнению проф. С. Г. Борисенко, в целиках высотой от 250 м и шириной 15–20 м продольного изгиба не возникает.

Если ширина целиков больше их высоты, прочность целиков возрастает за счет сил трения и сцепления в контактных зонах почвы и кровли, а также из-за проявления условий объемного сжатия.

Разработку крутых месторождений камерной системой с последующей закладкой осуществляют в две стадии. Первоначально извлекают запасы из камер и в каждой возводят искусственный целик. Между камерами по простиранию оставляют такой же длины или большего размера междукамерный целик. Его извлекают во второй стадии с последующей монолитной или комбинированной закладкой. Каких-либо других рудных целиков (в кровле, основании камеры) не оставляют.

Напряженно-деформированное состояние горного массива вокруг одиночной камеры здесь характеризуется смещением в сторону выработанного пространства пород висячей и лежачей сторон на 15–25 см и более в зависимости от размера камеры, свойств пород и других факторов. Опорное давление также концентрируется в пределах зоны камер второй очереди. Поскольку камеры второй очереди имеют значительную длину, опорное давление в них имеет меньшую величину, чем в рассмотренном выше случае нагружения междукамерных целиков. Здесь над камерой первой очереди также образуется зона разгрузки, ограниченная сводом естественного равновесия пород. В пределах этой зоны действуют растягивающие напряжения, вызванные массой пород, заключенных в своде. Наиболее полное распределение напряжений исследовано в работах проф. С. Г. Борисенко, в которых разработан метод расчета на прочность междукамерных целиков. Отсутствие междуэтажных рудных целиков при применении систем с твердеющей закладкой обуславливает концентрацию напряжений

только в массиве камер второй очереди. Значительные размеры междукамерных целиков при небольшой их толщине (выемочной мощности) повышают их несущую способность, как это отмечено выше.

Имеется решение задачи расчета на прочность целиков при разработке крутых месторождений приближенными методами, используемыми в строительной механике и сопротивлении материалов.

Натурными наблюдениями и исследованиями на моделях из эквивалентных материалов и оптически активных материалов, нагруженных в центрифуге, установлено, что под действием деформирующихся пород висячей стороны возникает опорное давление, которое через междукамерный целик передается на породы лежащей стороны, как бы вдавливая в них рудный целик. Над камерой формируется зона разгрузки, ограниченная сводом естественного равновесия.

При отработке двух и более смежных по простиранию камер можно предположить, что нагрузка на междукамерный целик создается призмой сдвижения пород висячей стороны. На призму сдвижения действует сила тяжести пород, заключенных в «клине», $R_{кл}$, вес призмы сползания Q , сила $R_{в.п}$ со стороны пород висячей стороны и реакция междукамерного целика P . Силы и $R_{кл}$, и $R_{в.п}$ отклонены от нормали под углом внутреннего трения φ , так как по поверхностям призмы сдвижения действуют силы трения. С целью упрощения расчетов принимаются допущения, что сила направлена параллельно боковым поверхностям призмы, ее криволинейные очертания заменены прямолинейными, что не оказывает существенного влияния на точность расчета.

После построения плана сил реакция целика в расчете на единицу его длины по простиранию

$$P = \frac{Q \cdot \sin(\beta - \varphi)}{\cos \varphi}, \quad (2.3)$$

где β – угол сдвижения пород.

Нагрузка на междукамерный целик равна величине реакций, умноженной на сумму ширины целика a и камеры b . Сечение целика равно произведению его ширины и высоты призмы сдвижения B .

Целик будет достаточно прочным, если напряжения сжатия, возникающие в целике, будут равны допустимым напряжениям, т. е.

$$\sigma_{сж} = P(a + b) / aB. \quad (2.4)$$

Этот метод с учетом соответствующей величины коэффициента запаса дает довольно надежные результаты.

Рудные и искусственные целики при совместном их размещении оказывают взаимное влияние на несущую способность, что необходимо

учитывать при определении величины нормативной прочности монолитной закладки. Их взаимодействие изучали Л. М. Костюченко, А. Л. Требуков, В. Н. Калмыков и многие другие.

Степень влияния целиков зависит от состояния закладочного материала, его физико-механических свойств.

Известно, что в результате длительного нагружения напряжения и деформации в рудных и искусственных целиках изменяются по своему численному значению. Здесь проявляется процесс непрерывной пластической деформации материала или ползучести пород и закладки, а также процесс изменения напряжений во времени при неизменной деформации – релаксации напряжений.

Ползучесть материала учитывается при определении величины длительной прочности. Релаксация, или выравнивание, напряжений описывается формулой

$$\sigma = \sigma_0 C^{-\frac{t}{T}} = \sigma_0 \exp\left(-\frac{t}{T}\right), \quad (2.5)$$

где σ_0 – первичное напряжение, МПа; t – продолжительность релаксации; T – время, характеризующее быстроту релаксации.

Заполнение выработанного пространства закладочным материалом для возведения искусственного массива оказывает механическое воздействие на окружающий горный массив. Характер возведения во многом определяется состоянием закладочного материала. Первоначально закладочный материал представляет собой пластичный (жидкий) вяжущий раствор, частицы которого в течение 2–6 ч цементируются между собой и с вмещающим горным массивом. Затем в течение длительного времени материал твердеет, достигая к трех- или шестимесячному возрасту величины нормативной прочности, которая чаще всего находится в пределах от 2 до 5 МПа. На этом этапе увеличение прочности материала не останавливается, оно продолжается длительное время, исчисляемое десятками лет, но его в расчет обычно не принимают.

Пластичный раствор оказывает давление на боковые стенки и основание добычной камеры, которое распределяется по гидростатическому закону и составляет

$$\sigma_{ст} = \gamma_0 h / 100, \quad (2.6)$$

где γ_0 – плотность закладочного материала, т/м³; h – высота заполнения закладочным материалом камеры, м; 100 – переводной коэффициент.

Таким образом, уже на первой стадии формирования закладочный материал оказывает боковое давление на междукамерные целики, что повышает их прочность.

По мере твердения закладочного материала возрастают силы реакции боковому давлению междукамерных целиков, которые усиливаются со временем вследствие проявления ползучести горного массива. Необходимо отметить, что закладочный массив в этот период еще не воспринимает внешней нагрузки вследствие устойчивости потолочины и наличия в верхней части камеры свободного пространства от недозакладки или усадки закладочного материала. Горизонтальная составляющая от силы тяжести искусственного массива пропорциональна коэффициенту бокового отпора, высоте и плотности закладки.

Процесс твердения закладочного материала сопровождается выделением тепла, которое, аккумулируясь в искусственном массиве, вызывает повышение температуры массива до 60–80 °С. В результате в искусственном массиве, а отчасти и во вмещающем горном массиве возникают напряжения температурного характера. Искусственный массив стремится увеличить свои линейные размеры, создавая дополнительное давление на боковые породы (руды) и основание блока. Напряжения теплового происхождения

$$\sigma_t = 0,1\omega \cdot \Delta t \cdot E, \quad (2.7)$$

где ω – коэффициент линейного теплового расширения закладочного материала; Δt – прирост температуры, °С.

Температурные напряжения могут достигать значительной величины. Так, если принять $\omega = 12,6 \cdot 10^{-5}$; $E = 2,8 \cdot 10^3$; $\Delta t = 40$ °С, то $\sigma_t = 1,41$ МПа, т. е. температурные напряжения иногда превышают предел прочности закладочного материала на одноосное сжатие. При этом искусственный массив не разрушается, так как подвергается объемному сжатию, а его поры полностью заполнены водой (со временем вода испаряется и поры заполняются газом). Продолжительность существования температурных напряжений в закладочных массивах большого объема (10–12 тыс. м³ и более) иногда исчисляется несколькими месяцами. Наиболее высокая температура отмечается через 8–15 сут после заполнения камеры закладочным материалом.

В период отработки смежных камер и после заполнения их закладочным материалом нагрузка от массы вышележащего горного массива передается на рудный междукамерный целик и смежный горный массив. Закладочный материал внешней вертикальной нагрузки не воспринимает из-за частичной недозакладки и меньшего модуля упругости. Наличие искусственных массивов вокруг рудного целика повышает его прочность. Степень упрочнения зависит от ширины и прочности искусственного массива. Ориентировочно степень упрочнения рудных целиков закладкой можно определить по величине допустимых напряжений в вертикальной

плоскости при заполненной закладочным материалом камере σ'_z и при свободной камере σ_z , т. е. коэффициент упрочнения

$$K_{\text{упр}} = \sigma'_z / \sigma_z. \quad (2.8)$$

Под действием вертикальной нагрузки рудный целик деформируется в направлении осей z и x , что вызывает боковое давление на искусственный целик, который, оказывая сопротивление, упрочняет рудный целик. Пользуясь паспортом прочности, можно определить значение σ_z и σ'_z , тогда

$$K_{\text{упр}} = \frac{\sigma_y (1 + \sin\varphi)}{\sigma_{\text{сж}} (1 - \sin\varphi)} + 1, \quad (2.9)$$

где σ_y – напряжения в целике по оси y ; $\sigma_{\text{сж}}$ – предел прочности рудного массива на сжатие; φ – угол внутреннего трения руды.

Таким образом, решение задачи сводится к определению σ_y . Для этого рассмотрим процесс разрушения рудного целика, находящегося в окружении искусственного массива. По прочности закладочный материал обычно уступает рудному массиву. Нагружение рудного целика до определенной величины вызывает его деформацию, проявление сдвижений по линиям скольжения. Предельное напряжение рудного целика σ_y можно определить по максимальному сопротивлению закладочного массива боковому отпору, используя теорию предельного равновесия.

Этому сдвигению противодействует закладочный материал. В первый период величина противодействия определяется массой закладочного материала, поэтому возникающие напряжения

$$\sigma'_y = P_3 \cos\omega, \quad (2.10)$$

где P_3 – давление закладочного материала на рудный целик; ω – угол трения на контакте закладочного материала с рудным целиком.

После схватывания материала и в период его дальнейшего твердения возникают температурные напряжения σ''_y , которые усиливают общее противодействие рудному целику, повышая его прочность, т. е.

$$\sigma_y = \sigma'_y + \sigma''_y. \quad (2.11)$$

Напряжения σ''_y являются переменной величиной, зависящей от уровня температуры закладочного массива, и действуют лишь в течение нескольких месяцев, что необходимо учитывать при планировании порядка выемки запасов руды из камер различных очередей.

Заполнение выработанного пространства сыпучим или твердеющим материалом небольшой прочности повышает несущую способность междукамерных целиков в 1,5–2 раза.

По мере дальнейшего твердения искусственного массива возрастает его способность к сопротивлению деформациям рудного целика, т. е. условия нагружения рудного целика приближаются к условиям всестороннего сжатия в такой же степени, как прочность искусственного массива приближается к прочности рудного целика. Зависимость напряжений в рудном σ_p и искусственном σ_3 целиках можно представить через их модули упругости:

$$\sigma_p = \sigma_3 E_p / E_3 . \quad (2.12)$$

Характер разрушения рудных целиков изменяется. В целиках между заложеными сыпучим материалом или твердеющей смесью небольшой прочности вместо пирамиды разрушения первоначально проявляются продольные трещины, разделяющие целик на самостоятельные части, которые затем разрушаются. Возникновение таких трещин обусловлено недостаточным сопротивлением закладочного материала, особенно в верхней части камеры, что приводит к раскалыванию целика. При монолитной закладке высокой прочности материал рудного целика под действием горного давления постепенно уплотняется за счет объема трещин и пор, а несущая способность может возрасти практически беспредельно. В условиях объемного сжатия имеет значение деформация целиков, точнее, степень их сжатия, а не прочность, хотя последняя оказывает влияние на компрессионные свойства материала.

Отработка рудных междукамерных целиков (камер второй и последующих очередей) вызывает новое распределение сил горного давления, изменяет воздействие искусственного массива на окружающую среду. Сущность этого сложного процесса заключается в передаче нагрузок с рудных целиков на искусственные опоры. Технология разработки включает два варианта: камера второй очереди пустая или заполнена закладочным материалом.

По мере выемки рудного целика породы кровли, прогибаясь, опускаются на смежные искусственные массивы, которые в этот момент впервые начинают воспринимать вертикальную внешнюю нагрузку. Породы кровли в результате прогиба расслаиваются. Величина расслоения снижается по мере удаления от свободного пространства камеры. Над очистной камерой второй очереди образуется сводообразная зона разгрузки, а еще выше – вторая зона разгрузки вследствие прогиба пород кровли над искусственными целиками, вызванного наличием свободного пространства между закладочным материалом и кровлей, а также деформацией искусст-

венного целика (усадкой под нагрузкой). Напряжения, действующие в вертикальной плоскости, вызванные массой основной толщи вышележащих пород (выше зоны разгрузки), перераспределяются на смежные рудные междукамерные целики, которые находились в распоре с горным массивом в верхней и нижней частях, увеличивающемся по мере выемки очистных камер. Повышение концентрации напряжений в рудных целиках обычно не оказывает вредного воздействия, так как они находятся в условиях, близких к объемному сжатию. Иногда при невысокой крепости руды сравнительно большой площади подработки в рудных целиках под воздействием высокого опорного давления появляются первые признаки процесса их разрушения, затрудняющие последующую отработку. Для частичной разгрузки рудных целиков следует ускорить передачу нагрузок на искусственные опоры путем ослабления верхней части рудных целиков проведением продольной выработки или взрывания нескольких параллельных скважин.

Искусственные массивы испытывают при этом нагрузки двух видов: вертикальную от массы деформированных пород, заключенных в пределах свода разгрузки, и боковой распор со стороны рудных целиков. Оба вида нагрузок имеют незначительные величины и не требуют применения закладочного материала большой прочности.

Выемка второго и последующих междукамерных целиков вызывает дальнейшее изменение напряженно-деформированного состояния горного и искусственного массивов. Над каждой камерой второй и последующих очередей образуется местная зона смещения пород, размеры и формы которой не зависят от общего числа отработанных камер в этаже (панели). Одновременно увеличиваются размеры общего свода сдвижения пород, опирающегося на фланговые междукамерные целики. Высота этого свода возрастает по мере увеличения общего пролета сплошной подработки и достигает земной поверхности. Напряжения в искусственном массиве достигают значения, определяемого величиной силы тяжести столба пород. Первоначальные граничные точки расслоения пород в зоне сдвижения располагаются вблизи прямой линии, проведенной под углом $\alpha = 45 + \varphi/2$, где φ – угол внутреннего трения пород, град.

Как только зона сдвижения пород достигнет земной поверхности, что наблюдается при достаточно большом пролете подработки, угол α становится равным углу сдвижения пород.

Следовательно, по мере сплошной отработки камер второй очереди одним очистным забоем над отработанным пространством возникает зона разгрузки пород, за пределами которой основания свода опираются с одной стороны на ближайший рудный целик, с другой – на сплошной искусственный массив. Обе зоны опорного давления размещаются на участках,

в которых материал опор находится в условиях всестороннего сжатия, т. е. способен воспринимать повышенные нагрузки. Искусственные целики, граничащие с отрабатываемой очистной камерой, испытывают сравнительно небольшие напряжения, так как они не всегда в этот период соприкасаются с кровлей, обладают высокими компрессионными свойствами и могут деформироваться в сторону открытого пространства. Для их нагружения необходимо, чтобы породы кровли опустились на них, т. е. сдвинулись на величину, равную сумме высот недозакладки и компрессионного сжатия. А этому препятствуют ближайший рудный целик и сплошной искусственный массив.

Изменением ширины разгруженной зоны можно регулировать величину опорного давления и нагружения в пограничных искусственных целиках, применять для их возведения закладочный материал небольшой прочности. Следовательно, целесообразен сплошной последовательный порядок выемки междукамерных целиков, обеспечивающий возможность сокращения до минимума нормативную прочность монолитной закладки. Выработанное пространство следует заполнять закладочным материалом сразу же после выпуска руды, сокращая до предела период простоя камеры в открытом состоянии.

На большинстве рудников выемку камерных запасов осуществляют таким образом, чтобы между ними оставалось два целика (рудных или искусственных). В результате при выемке камер третьей очереди ширина зоны разгрузки увеличивается на 10–15 м (на ширину одной камеры), что приводит к еще большему увеличению опорного давления, но повышает устойчивость целиков к динамическим нагрузкам, возникающим при взрывной отбойке руды. Это имеет значение, когда масса одновременного взрываемого заряда достигает 1–1,5 т (в расчете на одно замедление), а общая масса взрывчатого вещества (ВВ), расходуемого на отбойку одного слоя руды, – 4–5 т.

Нередко допускается отработка участков в четыре стадии. Завершающим этапом является выемка междублоковых или панельных (продольных) целиков. В них концентрируются особенно высокие напряжения. В устойчивых породах кровли между панельными целиками возникает зона разгрузки. Опорное давление сосредоточивается в панельных целиках, а искусственный массив, расположенный между ними, оказывается свободным от внешней нагрузки или нагруженным весьма умеренно. В таких условиях также можно использовать закладочный материал невысокой прочности.

Месторождения крутого залегания отрабатывают в две стадии, располагая камеры в шахматном порядке. Первоначально создают камеры, необходимые для возведения искусственных целиков. Их длина обычно

принимается равной длине основных камер исходя из технологических соображений – применения одной системы разработки. Если используют закладочный материал высокой прочности, то размеры искусственных целиков сокращают, при этом во вторичных камерах допустимо применение низкомарочной закладки.

Изменение напряженно-деформированного состояния горного массива вокруг очистных камер также зависит от принятого порядка отработки запасов. Здесь первоначально в результате выемки камер первой очереди формируется зона смещения пород всячего бока. Опорное давление проявляется на участках камер второй очереди. Закладочный материал в камерах первой очереди в начальный период не нагружен вообще, а затем по мере твердения смеси и проявления ползучести пород в нем возникают напряжения, вызванные массой сдвигающихся в сторону искусственного массива пород всячего бока. В результате увеличивается высота свода естественного равновесия.

Вторая (последняя) стадия отработки – это выемка запасов междукамерных целиков при последовательном порядке ведения горных работ одним очистным забоем на участке этажа, которая осуществляется под защитой свода повышенных напряжений, расположенного за зоной разгрузки. Поэтому примыкающие к очистной камере участки искусственных массивов не будут испытывать высокого горного давления. По мере увеличения площади подработки свод сдвижения пород всячего бока увеличивается, достигает земной поверхности и формируется в призму сползания. В этот момент на искусственный массив передается нагрузка от массы всех вышележащих пород.

Допустим и другой порядок выемки междукамерных целиков – одновременно несколькими очистными забоями (камерами). По мере выемки рудного целика опорное давление перемещается на смежные искусственные целики, которые имеют значительные размеры по падению и простиранию (50×50 м и более) при небольшой мощности. Мощность можно рассматривать как высоту целика, воспринимающего частично или полностью нагрузки пород всячего бока. Центральная часть искусственного целика испытывает объемное сжатие и является основным ядром, обладающим повышенной несущей способностью. Участки искусственного целика вблизи поверхностей обнажения прогибаются в сторону свободного пространства, поэтому испытывают сравнительно небольшое напряжение, величина которого возрастает к середине массива.

В итоге можно заключить, что в определении нормативной прочности монолитной закладки необходимо учитывать два вида напряженно-деформированного состояния горного и искусственного массивов.

Первоначальное напряженно-деформированное состояние, имеющее место на фронте очистной выемки, т. е. когда очистная камера находится под защитой рудного массива (целика) и смежные искусственные массивы воспринимают нагрузку лишь от массы пород, заключенных внутри свода естественного равновесия.

Окончательное напряженно-деформированное состояние, свойственное участкам, удаленным от разгружающего влияния рудных целиков, где на искусственный массив воздействует весь столб пород до поверхности.

Порядок отработки очистных камер в пределах этажа, панели и всего месторождения следует принимать таким, чтобы на участках производства добычных работ имел место первый вид напряженно-деформированного состояния. Важное значение здесь имеет интенсивность очистных работ, скорость подвигания фронта очистной выемки камер, особенно последней очереди, обеспечивающая снижение отрицательного влияния фактора длительного времени.

Учитывая все эти закономерности, можно избежать применения материала высокой прочности, повысить качество методов инженерных расчетов искусственных целиков и массивов, улучшить процесс управления горным давлением.

Нормативная прочность закладочного материала для пологих месторождений. Нормативную прочность устанавливают в зависимости от горнотехнических условий, для которых предназначена монолитная закладка. Эти условия подразделяются на три типа:

- сплошной искусственный массив на участке постоянного (установившегося) горного давления;
- искусственные целики (опоры из закладки) также в зоне постоянного горного давления;
- искусственные целики, граничащие с обрабатываемыми камерами последних очередей, т. е. находящиеся во фронтальной зоне отработки последних рудных целиков.

Этот участок характеризуется постепенным нарастанием напряжений и деформаций в окружающем очистную камеру массиве, точнее, в зоне разгрузки, за пределами которой проявляется опорное давление.

Для первых двух типовых условий обоснование нормативной прочности производится с помощью инженерных расчетов, характеризуемых довольно высокой надежностью. Относительно третьего типа можно сказать, что эта задача имеет лишь приближенное решение. Основную сложность представляет собой определение величины нагрузки от массы пород кровли, которая воспринимается искусственными целиками, или определение высоты свода, который очерчивает границы расслоения горного массива.

Существует несколько методов расчета нормативной прочности:

1. Сплошной искусственный массив, нагруженный всей массой пород до земной поверхности, находится в условиях всестороннего сжатия. Величина внешней нагрузки является постоянной и связана с γH . Материал закладки не имеет обнаженных поверхностей, он не может перемещаться в свободное выработанное пространство, т. е. здесь исключены поперечные деформации. По мере роста горного давления закладочный материал деформируется в продольной оси, уплотняется за счет уменьшения объема пор. Первоначальная структура материала может даже разрушаться, но сопротивление закладки сжатию возрастает по мере увеличения нагрузки. Для таких условий монолитную закладку рассчитывают по величине допустимого сдвижения земной поверхности на подрабатываемых участках. Здесь критерием качества искусственного массива являются его компрессионные свойства, а не предел прочности. Разумеется, что чем прочнее материал, тем ниже его компрессионные свойства. Однако для закладочных работ можно подобрать смеси с низкими компрессионными свойствами, но небольшой прочности или даже находящиеся в сыпучем состоянии. Для этого подбирают такую смесь фракций различной крупности, чтобы ее пустотность оказалась минимальной. Пустоты в сыпучем материале можно заполнить глинистыми или илистыми частицами, применяя метод тампования, что также снизит сжимаемость материала.

Таким образом, сплошные искусственные массивы рассчитывают по допустимым деформациям в зависимости от величины допустимых смещений и деформаций земной поверхности.

2. Искусственные целики, находящиеся в зоне постоянного горного давления, рассчитывают как колонны на одноосное сжатие. Нормативная прочность, МПа, монолитной закладки по условию устойчивости

$$\sigma_{\text{н}} = K_3 \frac{\gamma H + \gamma_0 h_0}{100} K_{\text{т}} K_{\text{п}} K_{\text{в}}, \quad (2.13)$$

где $K_3 = 1,3-1,5$ – коэффициент запаса; γ_0 и γ – соответственно, плотность горного и искусственного массивов, т/м³; H и h_0 – высота столба пород до поверхности и искусственного целика, м; $K_{\text{т}}$ – технологический коэффициент; $K_{\text{п}}$ – коэффициент, учитывающий соотношение площади кровли, поддерживаемой одним целиком, к площади целика; $K_{\text{в}}$ – коэффициент, учитывающий фактор времени, при длительном нагружении $K_{\text{в}} = 0,5-0,7$; 100 – см. (2.1), (2.2).

В свою очередь, технологический коэффициент

$$K_{\text{т}} = 1/K_1 K_2 K_3 K_{\text{ф}}, \quad (2.14)$$

где $K_1 = 0,7$ – коэффициент, учитывающий отрицательное влияние взрывных работ на прочность монолитной закладки; $K_2 = 0,9$ – коэффициент,

учитывающий неоднородность состава закладки; $K_3 = 1,4$ – коэффициент, учитывающий увеличение прочности закладки в шахтных условиях за счет фильтрации воды в окружающий массив и уплотнения под действием силы собственной тяжести; K_ϕ – коэффициент формы; если $b \geq h_0$, то $K_\phi = \sqrt{b/h_0}$, при $b \leq h_0$ $K_\phi = (0,4-0,6)b/h_0$ (b – ширина искусственного целика, м).

По данным проф. С. Г. Борисенко, если высота целика в 1,5–3 раза превышает его ширину, то прочность его остается неизменной, поэтому K_ϕ можно не учитывать. В формуле все составляющие можно определить с высокой степенью надежности, кроме коэффициента неоднородности состава смеси, слагающей искусственный целик. Нередко этот показатель колеблется в очень широких пределах, что зависит от качества закладочных работ, а конкретнее, от точности дозирования исходных компонентов.

3. Искусственные целики, находящиеся в зоне очистных работ в пределах защитного влияния рудных целиков или горного массива, рассчитываются на нагрузки, возникающие от смещения пород внутри свода естественного равновесия. Задача сводится к определению высоты свода разгрузки в конкретных условиях, численное значение которой меньше γH . Точных методов решения поставленной задачи еще нет, несмотря на многочисленные попытки их изыскания.

Существует метод определения высоты и площади сечения свода в зависимости от величины угла сдвижения пород и ширины пролета камеры. Угол сдвижения пород α достаточно надежно установлен теоретически, а также многочисленными инструментальными съемками границ сдвижения подрабатываемых пород. В среднем

$$\alpha = 45 + \varphi/2, \quad (2.15)$$

где φ – угол внутреннего трения пород, град.

Высота свода

$$h_c = 0,5l \cdot \operatorname{tg}(45^\circ + \varphi/2), \quad (2.16)$$

где l – пролет свода, м.

Однако расчет высоты выполнен для определения высоты треугольника, а не свода, поэтому для коррекции результата необходимо ввести коэффициент $K_c = 0,5$, величина которого установлена графическим методом. В окончательном виде

$$h_c = 0,5l \cdot K_c \cdot \operatorname{tg}(45^\circ + \varphi/2). \quad (2.17)$$

Если принять $\varphi = 25^\circ$, $l = 50$ м, тогда $\operatorname{tg} \alpha = 1,53$, $h_c = 12,5$ м, т. е. получаем результат, близкий по своему значению к высоте свода, установленной по методу проф. С. Г. Борисенко.

Недостаток метода состоит в том, что он не учитывает глубину разработки, которая, по мнению ряда исследователей, оказывает влияние на высоту свода.

По величине свода нетрудно установить нагрузку на искусственный массив и, следовательно, нормативную прочность.

Общая удельная нагрузка на искусственный массив

$$Q = P_{\text{закл}} + P_{\text{ест}}, \quad (2.18)$$

где $P_{\text{закл}}$ и $P_{\text{ест}}$ – соответственно, сила тяжести искусственного (закладочного) и горного (естественного) массивов.

Если принять, что отработка запасов ведется через один рудный или искусственный целик, а ширина камер равна 15 м, то ширина свода будет равна суммарной ширине одной обрабатываемой камеры и двух граничащих с ней по обеим сторонам искусственных массивов. Обнаженные по продольной стороне искусственные целики деформируются в направлении свободного пространства, поэтому более податливы и могут воспринимать только небольшую нагрузку, заключенную в пределах свода. За зоной свода, т. е. за пределами граничных искусственных целиков, закладочный материал и передовой рудный целик находятся в условиях объемного сжатия, поэтому в них концентрируется опорное давление, заключенное в основаниях свода. Следовательно, ширина свода составит 45 м. На ряде рудников применяется иной порядок выемки камерных запасов – через два целика. В этом случае ширина свода при заключительной выемке запасов блока в последовательном порядке остается такой же, как при выемке через один целик, т. е. 45 м. Отработку камер третьей очереди здесь целесообразно вести также одним очистным забоем в выемочном участке с тем, чтобы рабочая камера отделялась от рудного целика лишь одним искусственным целиком. Это позволит использовать защитное влияние консоли пород кровли для управления горным давлением.

Степень надежности искусственных массивов, граничащих с обрабатываемой камерой,

$$n = \frac{0,1\sigma \cdot K_{\Phi}}{S \cdot \gamma \cdot K_c \cdot \frac{l}{4} \cdot \text{tg } \alpha + \gamma_0 \cdot h_3}, \quad (2.19)$$

где S – коэффициент, учитывающий соотношение ширины свода к суммарной ширине двух граничащих с камерой искусственных целиков; при ширине камеры 15 м $S = 45$; при 30 м $S = 1,5$.

Отсюда необходимая условно-мгновенная прочность, МПа, искусственного массива во фронтальной зоне очистной выемки

$$\sigma_{\text{мг}} = \frac{0,1n(K_c \cdot \gamma \cdot S \cdot l \cdot \text{tg } \alpha + \gamma_0 \cdot h_3)}{K_{\text{ф}}}, \quad (2.20)$$

где n – коэффициент запаса прочности.

Учитывая длительный характер нагружения искусственных целиков, нормативная прочность, МПа, закладки

$$\sigma_{\text{мг}} = \frac{0,1n(K_c \cdot \gamma \cdot S \cdot l \cdot \text{tg } \alpha + \gamma_0 \cdot h_3)}{K_{\text{ф}} \cdot K_{\text{дл}}}, \quad (2.21)$$

где $K_{\text{дл}} = 0,6$ – коэффициент, учитывающий длительность нагружения закладочного массива.

Нормативная прочность закладочного материала для месторождений крутого залегания. Месторождения крутого залегания при устойчивых рудах и породах обрабатываются в две стадии. Первоначально извлекают запасы камер, в которых предусмотрено возвести искусственные целики, затем обрабатывают оставшиеся между ними рудные целики.

В целях удобства ведения горных работ используется одна система разработки для камер первой и второй очереди, их размеры принимают одинаковыми. Если закладка комбинированная, то из экономических соображений размеры искусственных целиков сокращают до минимума, исходя из величины допускаемых напряжений. Особенность таких целиков состоит в том, что их ширина и длина (по простиранию и падению) значительно превосходят высоту (мощность). Здесь существенное влияние на прочность оказывают силы сцепления по контактам с боковыми породами, а также условия работы их центральных участков в объемно-напряженном состоянии. Разрушающая нагрузка интенсивно возрастает по мере уменьшения соотношения высоты к диаметру образцов, что необходимо учитывать при определении нормативной прочности закладочного материала.

В основу определения нормативной прочности монолитной закладки целесообразно принять исследования проф. С. Г. Борисенко по обоснованию прочности рудных целиков крутых месторождений. Здесь также нет строгих методов решений, поэтому используются приближенные методы, используемые в строительной механике и сопротивлении материалов.

В основу расчета можно принять следующие исходные положения:

- в камерах первой очереди искусственный массив испытывает лишь небольшие напряжения от сил собственной тяжести, температурного расширения и проявления ползучести пород висячей стороны;
- нагрузки от массы вышележащих пород начинают интенсивно перераспределяться на искусственные целики в период выемки разделяющих их рудных целиков (камер второй очереди).

Условия работы искусственных целиков подразделяются на три типа: сплошная закладка, искусственные целики при большой площади подработки и искусственные целики во фронтальной зоне очистных работ.

Сплошная закладка рассчитывается по допустимому коэффициенту компрессии, а искусственные целики в зоне очистных работ – по устойчивости обнажений.

Для определения нагрузок, действующих на искусственный массив, можно пользоваться расчетной схемой сил, основанной на принципе предельного равновесия, предложенной проф. С. Г. Борисенко. В результате подработки породы висячего бока сдвигаются в сторону выработанного пространства, образуется свод расслоившихся (сместившихся) пород, который по мере увеличения площади подработки увеличивается и достигает земной поверхности. В этот момент происходит раскрытие свода, что сопровождается усилением нагрузок на искусственный массив. Свод формируется в призму сдвижения.

Расчетная схема сил включает силу тяжести Q призмы сдвижения, силу $R_{в.п}$ со стороны треугольника пород зоны сдвижения, силу $R_{кл}$ – реакцию пород висячего бока на призму сдвижения и реакцию со стороны искусственного массива P . Силы $R_{кл}$ и $R_{в.п}$ действуют под углом внутреннего трения φ , что обусловлено проявлением сил трения по поверхностям призмы. Для упрощения расчетов допускается, что сила P действует параллельно боковым поверхностям призмы, а криволинейные очертания призмы заменены прямолинейными. Такие допущения допустимы для инженерных расчетов. Из построенного плана сил определяется величина реакции со стороны искусственного массива

$$P = \frac{Q \sin (\beta - \varphi)}{\cos \varphi},$$

где Q – сила тяжести призмы сдвижения; β – угол сдвижения пород; φ – угол внутреннего трения.

По величине удельной нагрузки на искусственный массив нетрудно определить допускаемый коэффициент компрессии искусственного массива и при необходимости – нормативную прочность. Если выработанное пространство поддерживается искусственными целиками, то расчет ведется на устойчивость их обнажений по схеме.

Породы висячего бока в период последовательной выемки камер второй очереди работают как консоль, зажата смежным рудным целиком, а свободный ее участок опирается на сплошной искусственный массив. Над обрабатываемой камерой в результате деформаций обнажений закладки и пород висячего бока образуется свод разгрузки, сила тяжести пород которого передается на обнаженные участки искусственного массива.

Многочисленными натурными съемками с помощью глубоких скважин и исследованиями на моделях установлено, что зона сдвижения пород всяческого бока при их подработке имеет неправильную форму.

Следовательно, искусственные целики, граничащие с отрабатываемой камерой, испытывают нагрузки лишь от части пород, заключенных в призме сдвижения и «клине», формирующемся при значительной площади подработки, превышающей критическую величину, когда свод равновесия достигает земной поверхности. Задача сводится к определению размеров свода вторичного сдвижения пород, формирующегося над отрабатываемой камерой. Это будет свод с открытым в средней его части основанием в отличие от общего свода сдвижения пород, переходящего по мере роста площади подработки в призму сдвижения.

Иными словами, над каждой отрабатываемой камерой второй очереди формируются две зоны сдвижения пород: первая – общая за счет местного сдвижения пород в открытых камерах первой очереди и компрессионного сжатия закладки, приводящего к дальнейшему смещению пород; вторая – зона последующего смещения пород, вызванного отработкой междукламерного целика. Размер их смещения значительный. Первоначально породы на участке подработки смещаются до соприкосновения с искусственным массивом, затем они дополнительно прогибаются в сторону свободного очистного пространства, расположенного между искусственными целиками за счет упругих свойств пород и деформации закладки. В итоге возрастает общее смещение земной поверхности. Для расчета устойчивости искусственных обнажений достаточно учесть нагрузку от массы пород, заключенных во вторичном своде, сформированном над открытой камерой, который, разумеется, значительно меньше призмы сползания.

Высоту свода вторичного сдвижения пород всячей стороны можно установить по величине угла сдвижения пород. Расчет устойчивости обнажений искусственных целиков сводится к определению нормативной прочности участков, непосредственно примыкающих к открытому выработанному пространству.

Если принять, что зона смещения пород имеет форму призмы с высотой, равной высоте свода, тогда давление массы пород зоны смещения на пограничных с камерой участках искусственного массива будет в расчете на единицу длины по простиранию

$$q = \gamma(S_1 + S_2). \quad (2.22)$$

Удельная нагрузка, приходящаяся на единицу площади участка,

$$Q_1 = q \cdot \sin(\beta_1 - \varphi) / B \cdot \cos \varphi. \quad (2.23)$$

Суммарная удельная нагрузка

$$Q = n(Q_1 + Q_2). \quad (2.24)$$

Необходимая прочность искусственного массива

$$\sigma_n = n(Q_1 + Q_2)S. \quad (2.25)$$

Если длина камеры 40 м, а длина рассчитываемых смежных участков 20 м, тогда $S = 2$.

Нормативная прочность, МПа, с учетом длительного характера нагружения монолитной закладки

$$\sigma_n = n_1 \frac{(Q_1 + Q_2)}{K_{дл}} S, \quad (2.26)$$

где $K_{дл} = 0,6$ – коэффициент, учитывающий длительность нагружения. Принимая длину камеры 40 м, высоту этажа $h_3 = 60$ м, $\alpha = 60^\circ$, $\beta = 60^\circ$, $\varphi = 25^\circ$, $n_1 = 2$, получим $\sigma_n = 1,7$ МПа.

Нормативная прочность монолитной закладки должна удовлетворять требованиям взрывного нагружения, оказывающего отрицательное влияние на устойчивость обнажений. Разумеется, технология взрывной отбойки руды в слоях, имеющих непосредственный контакт с монолитной закладкой, принимается такой, чтобы обеспечить минимум затрат, включающих ущерб от подрывки закладочного материала в отбиваемую руду (транспорт, обогащение и др.). Иногда величина этого ущерба оказывается значительной, в частности при подрывке большого объема закладки, снижении извлечения металла на обогатительной фабрике из-за наличия в руде цемента и существенного разрушения искусственных целиков.

Вредное воздействие взрывов можно ослабить за счет оставления защитных рудных слоев по границе с закладкой, изменения очередности и массы одновременно взрываваемых зарядов ВВ.

Для решения поставленной задачи необходимо знать: закономерности изменения интенсивности волн напряжений в горном и искусственном материале; коэффициенты преломления и отражения на границе двух сред (руда – закладка); прочность материалов, воспринимающих динамические нагрузки.

В целом задача сводится к определению допустимого взрывного нагружения на искусственный массив, нормативная прочность которого определена по условиям устойчивости обнажений при статическом нагружении или допустимому коэффициенту компрессии.

Из теории упругости известно, что нормальное напряжение

$$\sigma_r = \rho C_p V, \quad (2.27)$$

где ρ – плотность пород; C_p – скорость продольной волны; V – скорость смещения материала.

Можно допустить, что нормальное напряжение, возникающее от взрыва ВВ, не должно превышать нормативную прочность монолитной закладки.

Максимальные напряжения зависят от расстояния:

$$\sigma_x = K_\sigma R_{\text{пр}}^{-n}, \quad (2.28)$$

где K_σ – структурно-технологический коэффициент, зависящий от свойств среды, способа взрывания и массы ВВ; n – степень затухания; $R_{\text{пр}}$ – приведенное расстояние от заряда ВВ, м.

Значения коэффициента K_σ , полученные путем обработки результатов исследований методом наименьших квадратов, для зарядов ВВ различной массы составляют:

Масса заряда, кг	0,4	0,6	0,8	1,2	1,6
K_σ	241	319	397	485	550

Показатель степени затухания n во всех случаях составил 2,3, т. е. в исследуемых расстояниях степень затухания напряжений, распространяющихся в рудном массиве, является постоянной при различных по массе зарядов ВВ.

При взрывании зарядов в руде на границе «руда – закладка» происходит отражение и преломление энергии волн напряжений. Напряжения в проходящей волне на границе раздела уменьшаются и составляют 0,204 от напряжений в падающей волне вследствие разности акустической жесткости материалов. Массовая скорость смещения в проходящей волне увеличивается на 36 % по сравнению со скоростью смещения в руде.

Математическая обработка и анализ экспериментальных данных показывают, что изменение максимальных напряжений с расстоянием в проходящей волне по закладке описывается уравнением

$$\sigma_x^{\text{закл}} = \frac{\sigma_x^{\text{пр}} \cdot R^2 \cdot 10^{-1}}{(R + R_3)^2}, \quad (2.29)$$

где $\sigma_x^{\text{пр}}$ – напряжение в проходящей волне на границе «руда – закладка», МПа; R_3 – расстояние от границы «руда – закладка» до точки наблюдения, м; R – расстояние от взрыва до закладки, м.

Согласно теории механики сплошных сред напряжения падающей и проходящей волн связаны зависимостями

$$\sigma_x^{\text{пр}} = \frac{2H_2}{H_1 + H_2} \sigma_x^{\text{п}}, \quad (2.30)$$

$$\sigma_x^{\text{пр}} = K_{\text{п}} \cdot \sigma_x^{\text{п}}, \quad (2.31)$$

где H_1, H_2 – акустические жесткости сред; $K_{\text{п}}$ – коэффициент преломления.

Вычисленный коэффициент преломления для исследуемых условий при переходе волн напряжений из руды в закладку составил 0,263, что на 29 % выше полученного экспериментально.

Изменение напряжения, возникающего в массиве, в зависимости от размеров удлиненных зарядов, массы ВВ и расстояния аппроксимируется формулой

$$\sigma_x = \frac{55,5 R_{\text{пр}}^{-2,3}}{1 + 0,015 l_3 / \alpha}. \quad (2.32)$$

При относительной длине заряда более 100 мм максимальные напряжения остаются постоянными в пределах исследуемых приведенных расстояний. Следовательно, при диаметре заряда 100 мм на величину максимального напряжения при близких расстояниях оказывает влияние длина заряда до 10 м. Поэтому рекомендуется отбойку руды между искусственными массивами производить скважинами, пробуренными на всю высоту камеры.

С увеличением относительной величины воздушных промежутков интенсивность напряжений снижается до определенного значения, затем возрастает, а показатели n и K'_σ можно аппроксимировать формулами

$$n = 2,4 m^2 - 2,3 m + 2,3; \quad (2.33)$$

$$K''_\sigma = K'_\sigma (5,32 m^2 - 4,07 n + 1), \quad (2.34)$$

где m – относительная длина воздушного промежутка.

Известно, что при одновременном взрывании нескольких удлиненных зарядов происходит наложение полей напряжений. Рассмотрим взаимодействие полей напряжений в слое среды, проходящем перпендикулярно оси одинаковых по величине зарядов.

Поле напряжений от каждого заряда:

$$\sigma_x = \frac{55,5}{1 + 0,015 l_3 / \alpha} = \left(\frac{\sqrt[3]{Q}}{R} \right)^n; \quad (2.35)$$

$$\sigma_x = 0,1 K'_\sigma \cdot Q^{n/3} \cdot R^{-n}. \quad (2.36)$$

Допуская, что максимальные значения напряжений в точку A придут одновременно и в одной фазе, то общее напряжение можно представить суммой напряжений от каждого взрыва, расстояние от которых изменяется на величину a .

$$\sum \sigma_x = 0,1 K'_\sigma \cdot Q^{n/3} \left\{ R^{-n} + (R+a)^{-n} + \dots + [R+(K-1) \cdot a]^n \right\}, \quad (2.37)$$

где K – количество скважин; a – расстояние между ними.

Формулу (2.37) можно записать в виде

$$\sigma_x = 0,1K'_\sigma \cdot Q^{n/3} \frac{1}{a(n-1)} \left\{ \frac{1}{R^{n-1}} - \frac{1}{[R + (K-1) \cdot a]^{n-1}} \right\}. \quad (2.38)$$

Формулы (2.37) и (2.38) дают близкие результаты при $R > a$.

Общее напряжение в точке A при взаимодействии полей напряжений от зарядов

$$\sigma_x^0 = 2\sigma_x \frac{r}{R} = 2\sigma_x \cdot \cos \beta. \quad (2.39)$$

Здесь

$$R = \sqrt{r^2 + \frac{a^2}{4}} = \frac{r}{2} \sqrt{4 + t^2},$$

где t – коэффициент сближения зарядов относительно расстояния до плоскости, параллельной линии зарядов, в которой лежит точка A .

Расстояние плоского фронта волны от линии скважин зависит только от степени затухания волн с расстоянием:

$$t = 2 \left(\frac{2}{2^{n+2} - 1} \right). \quad (2.40)$$

Коротко замедленное взрывание снижает общий сейсмоэффект взрывов в сравнении с мгновенным взрыванием. Экспериментально установлено, что коэффициент снижения сейсмичности в зависимости от продолжительности аппроксимируется экспонентой

$$C = e^{-0,01N\tau}, \quad (2.41)$$

где N – число замедлителей; τ – период замедления, мс.

С увеличением числа замедлителей и периода замедления сейсмоэффект снижается и приближается к эффекту от взрыва одной замедляемой группы.

Исследования показали, что сейсмоэффект взрыва снижается при шахматном расположении скважин, применении воздушных промежутков, короткозамедленном взрывании и оставлении рудной корки толщиной от 1 до 1,5 м с целью сокращения разубоживания закладкой. Экономически эффективнее веерное расположение скважин с разделением на полувееры при шахматном заложении скважин. При массовых взрывах отбойку рекомендуется вести по клиновой схеме с максимальным числом замедлителей с интервалами не менее 25 мс.

Искусственный массив будет устойчив, если динамический предел прочности материала на разрыв

$$[\sigma_{p.d}] \geq \sigma_x^{\text{закл}} K_0, \quad (2.42)$$

где K_0 – коэффициент отражения волн напряжения от противоположной стороны целика, соприкасающейся с воздухом выработанного пространства.

Ранее отмечалось, что максимальное напряжение на границе «руда–закладка» создает взрыв только одной близлежащей скважины. Если скважины располагаются веером, в расчет напряжений падающей волны рекомендуется закладывать величину из уравнения (2.35).

Напряжение в проходящей волне

$$[\sigma_{p.d}] = \frac{0,2RK_0K_{\Pi}K'_{\sigma}C_{\text{пр}}C_{\text{кз.в}}R^{-n}Q^{n/3}}{2(R+R_3)} \text{arc tg} \frac{b(M-1)}{2(R+R_3)}, \quad (2.43)$$

где $C_{\text{кз.в}}$ – коэффициент короткозамедленного взрывания.

Зная предел прочности закладки на растяжение при динамическом нагружении и размеры искусственного целика R_3 , можно определить допустимое число взрывааемых слоев. Если известно число взрывааемых слоев, можно определить предельно допустимую общую массу $Q_{\text{об}}$ взрываемого ВВ, кг, за один массовый взрыв по уравнению

$$Q_{\text{об}} = QL_3 \frac{M}{100 \alpha}, \quad (2.44)$$

где L_3 – общая длина заряженной части скважинных зарядов в допустимом количестве рядов (вееров) скважин, взрывааемых за один массовый взрыв.

Для монолитной закладки, применяемой на большинстве рудников, предел прочности на растяжение при статическом нагружении находится в пределах 0,6–2 МПа. По данным Ю. М. Баженова, предел прочности бетона на растяжение при динамической нагрузке в сравнении с пределом прочности при статической нагрузке увеличивается в 1,8–2 раза. Поскольку закладка при статической нагрузке ведет себя, подобно бетону, можно считать, что при динамической нагрузке это подобие соблюдается.

Для закладки с $[\sigma_{p.c}] = 1,3$ МПа предельно допустимая масса заряда составляет порядка 5 т. Она позволяет осуществлять безопасное взрывание через один искусственный целик шириной 15 м. Если увеличить ширину целика до 30 м, т. е. взрывание вести через два целика, массу заряда можно увеличить. Сохраняя массу заряда при взрывании через два целика, можно снизить прочность закладки и, следовательно, ее себестоимость.

Результаты исследований проверены в промышленных условиях на Гайском руднике при отработке камеры 02–03 между искусственными массивами. Смежный целик 02 шириной 15 м представлен закладкой, имеющей прочность на растяжение 1,2 МПа (на сжатие 4,1 МПа). Смежная с целиком камера была свободной. Один скол на обратной стороне целика произошел при взрыве зарядов общей массой 7976 кг, т. е. превышающей расчетную в 1,59 раза.

2.2. Подбор составов закладочных смесей

С целью изучения закономерности повышения прочностных и реологических свойств ЛТС с использованием полной фракции хвостов обогащения и обоснования рационального способа воздействия на материалы твердеющих смесей нами проведены исследования в условиях закладочного комплекса шахты «Комсомольская» рудника «Комсомольский» ЗФ ПАО ГМК «Норильский никель».

Шахта «Комсомольская» входит в состав рудника «Комсомольский» и обрабатывает медно-никелевые руды Галнахско-Октябрьского месторождения слоевой и камерно-целиковой системами разработки с последующей закладкой выработанного пространства твердеющими смесями с применением самоходного погрузочно-доставочного, бурового и вспомогательного оборудования.

В настоящее время объектом отработки являются три промышленных типа руд: сплошные (богатые), медистые (вкрапленные и прожилково-вкрапленные в породах, вмещающих интрузию) и вкрапленные. Сплошные руды образуют пологопадающие линзо- и пластообразные залежи различной мощности от 3–4 до 15–20 м. Они локализованы по нижнему контакту интрузии, реже в её приподошвенной части или в подстилающих породах в непосредственной близости от интрузии. По преобладающему минералу различаются пирротиновые, халькопиритовые (талнахитовые, моихукитовые), кубанитовые руды.

Для отработки запасов поля шахты «Комсомольская» применяются сплошные слоевые и камерные системы разработки с закладкой выработанного пространства.

С целью изучения технологий приготовления закладочных смесей с использованием мелкодисперсного заполнителя (хвостов обогащения) проведены исследования их составов двумя способами:

- приготовление твердеющих смесей с использованием лопастного смесителя;

- приготовление твердеющих смесей с использованием шаровой мельницы.

Перед подбором составов закладочных смесей были проведены исследования по определению фактического содержания воды в породной части хвостов, отбираемых из проб, для проведения лабораторных испытаний. Полученные результаты важны для дальнейшего расчета необходимого количества воды при затворении образцов [88–90].

При этом была отобрана проба хвостов, определены ее объем и плотность. Затем из пробы была выведена вода высушиванием и определена масса на электронных весах (точность измерения 0,1 г), объем и плотность сухих хвостов. Плотность сухих хвостов составила 1,82 г/см³.

Далее в высушенные хвосты постепенно добавляли воду. В каждой серии фиксировались количество добавленной воды, объем пробы и ее вес; определялась плотность жидких хвостов. По результатам исследований составлена диаграмма для определения количества воды в хвостах Талнахской обогатительной фабрики (ТОФ), содержащихся в отобранной пробе, в зависимости от ее плотности (рис. 2.1).

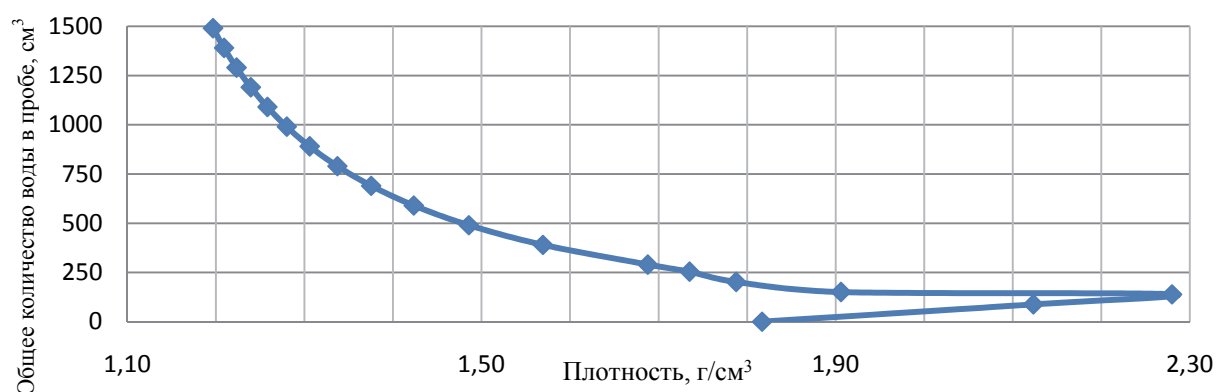


Рис. 2.1. Зависимость количества воды в пробе хвостов ТОФ от их плотности

Минимальное значение плотности, равное 1,82 г/см³, внизу графика соответствует значению плотности насыпных хвостов после их обезвоживания. Постепенное добавление воды приводит к заполнению пор предварительно сухого состава хвостов при одновременном уменьшении объема пробы за счет растекания увлажненных частиц. Это приводит к увеличению плотности увлажненных хвостов. Плотность увеличивается до максимального значения, которое соответствует стадии максимального смачивания хвостов. По данным лабораторных исследований плотность при этом составляет 2,28 г/см³.

Затем при появлении воды, покрывающей объем полностью смоченной пробы, плотность влагосодержащих хвостов начинает равномерно уменьшаться. График построен до плотности хвостов 1,2 г/см³, которая со-

ответствует предельно-минимальной плотности хвостов, поступающих в бак приема хвостов на закладочном комплексе.

На основании полученной зависимости определяется фактический объем воды в одном литре хвостов (рис. 2.2) и необходимое количество воды для подбираемого состава закладочной смеси. График зависимости построен для реальных условий (плотность хвостов, подающихся на производство закладочных смесей, должна быть не менее $1,2 \text{ г/см}^3$).

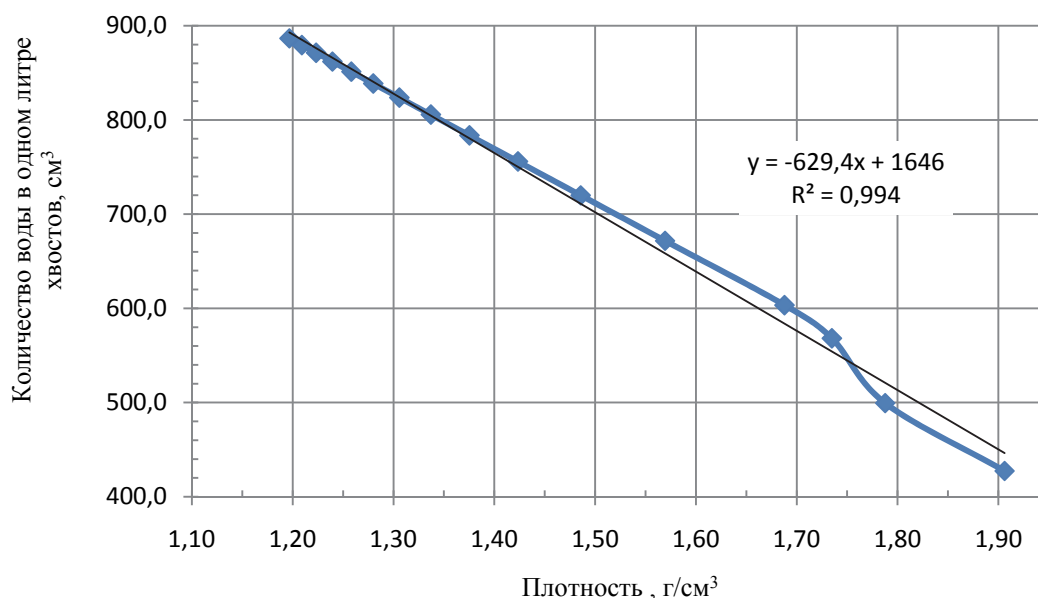


Рис. 2.2. Зависимость количества воды в 1 л хвостов ТОФ от их плотности

Учитывая что зависимость изменения плотности влагосодержащих (текучих) хвостов от количества воды в одном литре должна иметь прямой характер, в качестве расчетной графической зависимости принята прямая.

При этом зависимость количества воды в 1 л хвостов V от плотности влагосодержащих хвостов γ определяется по формуле

$$V = - 629,4\gamma + 1646. \quad (2.45)$$

Данная формула применима в интервале $2,28 > \gamma > 1,2 \text{ г/см}^3$.

Составы и рецептуры закладочных смесей были подобраны исходя из следующих условий:

- достижение необходимой прочности в контрольные сроки твердения закладочного бетона согласно действующему «Регламенту технологических производственных процессов при ведении закладочных работ на рудниках ЗФ ОАО ГМК «Норильский никель» (РТПП-045-2015);
- обеспечение самотечного режима при существующих схемах и параметрах подземной сети бетонопроводов.

Основные требования – удовлетворительная кинетика твердения закладочного бетона и реологические свойства, обеспечивающие нормативные прочностные, транспортировку смесей по подземным бетоноводам и равномерную укладку в выработки по всей их протяженности и объемам.

Реологические свойства закладочной смеси должны отвечать требованиям: величина расплыва по Суттарду – не менее 180 мм, осадка конуса 10–12 см, предельное напряжение сдвига – не более 18 кг/м², коэффициент расслаивания – не более 1,3.

Свойства и характеристики закладочных материалов должны обеспечивать возможность получения по заданной технологии закладочных смесей, удовлетворяющих изложенным выше требованиям.

В качестве вяжущего материала для приготовления закладочных смесей используется портландцемент М300, М400 или М500 по ГОСТ 30515–97, ГОСТ 10178–85.

Характеристики цемента: истинная плотность – 3,09 т/м³; тонкость помола – 85 % от массы пробы; содержание S₀₃ – не менее 1 %, но не более 3,5 %; прочность при изгибе/сжатии в возрасте 28 сут – 5,2/38,2 МПа; сроки схватывания (начало/конец) – 2³⁵ /3³⁵ ч/мин.

Ангидрит используется в качестве слабовяжущего материала, позволяющего уменьшить расход цемента и улучшить при этом реологические свойства составов смесей. Химический состав ангидрита показан в табл. 2.1.

Таблица 2.1

Химический состав ангидрита

Окислы	Содержание, %
H ₂ O	1,08
SiO ₂	6,32
Al ₂ O ₃	1,78
Fe ₂ O ₃	1,35
CaO	35,42
MgO	2,97
S ₀₃	45,25

Истинная плотность – 2,84 т/м³. Компонентный состав: карбонаты Ca и Mg – 12 %, ангидрит + гипс – 78 %, глинистые – 9,5 %.

Вещественный состав и истинная плотность породных хвостов, получаемых в настоящее время на ТОФ, а также качественно-количественные показатели в отвальном продукте, выделенном из смеси медистых и вкрапленных руд, представлены в табл. 2.2.

В табл. 2.3 приведены данные по содержанию и распределению цветных металлов, серы, железа и породы по классам крупности в породных хвостах ТОФ, выделяемых из шихты богатых медно-никелевых руд.

Таблица 2.2

**Истинная плотность, вещественный
и химический составы породных хвостов ТОФ**

Показатель	Значения показателей для породных хвостов, выделенных		
	из шихты богатых руд		из медистых и вкрапленных руд
	общие	песковая часть	
Выход от руды, %	25,0	20,0	85,0
Содержание, %:			
никеля	0,35	0,25	0,10
меди	0,08	0,07	0,12
серы	7,17	6,10	2,95
железа	26,90	26,87	4,99
кобальта	0,021	0,018	0,006
оксидов:			
кремния	28,29	29,15	32,61
кальция	8,67	8,94	22,15
магния	5,51	5,75	10,37
алюминия	7,73	7,87	7,41
Массовая доля, г/т:			
халькопирита	Следы	Следы	0,64
пентландита	0,80	0,70	0,42
пирротина	12,49	8,0	0,84
магнетита	13,14	17,4	0,51
породы	73,57	73,9	97,59
платины	0,26	0,20	0,32
палладия	0,87	0,76	0,98
родия	0,11	0,095	0,032
рутения	0,044	0,036	0,0106
суммы платиноидов	1,284	1,091	1,3426
золота	0,034	0,031	0,101
Среднее значение истинной плотности, т/м ³	3,36	3,38	2,89

Компоненты смеси обладают различными физико-механическими свойствами, гранулометрическим составом, в том числе измельчаемостью и способностью к тонкому диспергированию в водной среде. Кроме этого, при подаче компонентов в лопастной смеситель или мельницу, при подготовке их к измельчению образуется различное количество узких фракций крупности, измельчаемость которых также различна. Поэтому определение закономерности совместного измельчения поликомпонентных по составу и крупности продуктов твердеющей закладки сводится также к оценке взаимного влияния содержания узких классов крупности и содержания разнопрочных и разноплотных материалов на общие показатели их совместного

измельчения, набор прочности по контрольным срокам твердения приготовленной смеси и ее транспортабельность по трубопроводному транспорту.

Таблица 2.3

Содержание и распределение цветных металлов, серы, железа и породы в породных хвостах ТОФ, выделяемых из шихты богатых медно-никелевых руд

Класс крупности, мм	Выход, %	Массовая доля, %					Извлечение, %				
		нике- ля	меди	серы	же- леза	по- роды	нике- ля	меди	серы	же- леза	поро- ды
Более 0,140	11,24	0,23	0,15	3,39	13,00	83,23	7,85	21,13	5,47	5,45	14,21
Менее 0,140, но более 0,100	9,85	0,26	0,07	4,62	18,73	76,32	7,76	8,63	6,53	6,89	11,42
Менее 0,100, но более 0,074	12,03	0,27	0,05	5,68	23,09	70,91	9,85	7,50	9,80	10,37	12,96
Менее 0,074, но более 0,063	9,66	0,26	0,04	5,89	30,56	63,25	7,61	4,88	8,16	11,02	9,28
Менее 0,063, но более 0,045	7,88	0,22	0,04	5,25	33,44	61,05	5,24	4,00	5,94	9,84	7,31
Менее 0,045, но более 0,030	22,51	0,29	0,07	9,70	39,64	50,30	19,79	19,75	31,33	33,31	17,20
Менее 0,030, но более 0,019	6,00	0,19	0,06	3,78	17,55	78,42	3,45	4,50	3,25	3,93	7,15
Менее 0,019, но более 0,010	4,56	0,18	0,06	4,23	18,23	77,30	2,48	3,38	2,77	3,10	5,35
Суммарный класс более 0,010	83,73	0,25	0,07	6,10	26,85	66,73	64,03	73,77	73,25	83,91	84,88
Менее 0,010	16,27	0,73	0,13	11,46	26,49	61,19	35,97	26,23	26,75	16,09	15,12
Исходная проба	100,0	0,33	0,08	6,97	26,79	65,83	100,00	100,00	100,0	100,0	100,0

Содержание твердого в пульпе определяется, исходя из обеспечения необходимой подвижности закладочной смеси при транспортировании ее по трубам. Для определения подвижности смеси необходимо отбирать пробы. Величина распыла по Суттарду должна быть не менее 180 мм.

Методика проведения лабораторных исследований предусматривает изучение свойств исследуемых составов, их прочностных характеристик на основании новообразований в процессе гидратации. Испытание составов твердеющих закладочных смесей планируется проводить по схемам приготовления твердеющих смесей ХЦ и АХЦ в лабораторных условиях с использованием:

- лопастного смесителя,
- шаровой мельницы.

Подбор составов закладочных смесей произведен согласно требованиям РТПП – 045 – 2015.

Состав материалов на 1 м³ закладочной смеси рассчитывают из выражений:

при составах ХЦ

$$\frac{Ц}{\gamma_{ц}} + \frac{Х}{\gamma_{х}} + В = 1; \quad (2.46)$$

при составах АХЦ

$$\frac{Ц}{\gamma_{ц}} + \frac{Х}{\gamma_{х}} + \frac{А}{\gamma_{а}} + В = 1, \quad (2.47)$$

где Ц, Х, А и В – содержание цемента, хвостов обогащения ГОФ, ангидрита и воды, т/м³; $\gamma_{ц}$, $\gamma_{х}$, $\gamma_{а}$ – удельный вес цемента, хвостов, ангидрита, т/м³.

Удельное количество цемента в составах ХЦ, исследуемых через перемешивание в лопастном смесителе и при использовании шаровой мельницы, принято: 170, 240, 320 и 400 кг/м³.

Для исследования составов АХЦ приняты составы с расходом цемента 170, 240 и 320 кг/м³, ангидрита 400 и 600 кг/м³.

2.3. Лабораторные исследования закладочных смесей

Для испытания приготавливаемой закладочной смеси на сжатие подготавливались образцы-кубики размером 10×10×10 см.

Образцы изготавливались и испытывались сериями. Число образцов в серии принято равным 3. Для построения графиков твердения закладки испытания образцов производились за периоды твердения 3, 7, 28 и 90 сут.

Пробы для изготовления образцов-кубиков на каждом текущем этапе лабораторных исследований отбирались на выходе из лопастного смесителя и мельницы ёмкостью 2 л.

Отобранной пробой заполняли специальные формы, перед использованием которых их внутренние поверхности покрывались тонким слоем смазки (дизельное топливо, моторное или индустриальное масло), не оставляющей пятен на поверхности образцов. После укладки смеси в форму верхнюю часть образца заглаживали мастерком.

Непосредственно после изготовления образцов-кубиков в формах их маркировали и переносили в хранилище.

Образцы, предназначенные для твердения в нормальных условиях, после изготовления до их извлечения хранились в формах, покрытых влажной тканью, исключая возможность испарения из них влаги, в помещении с температурой воздуха 20±5 °С.

При определении прочности образцов на сжатие их извлекали из форм не ранее чем через 48–72 ч. После этого образцы помещались на стеллажи и хранились до испытаний при той же температуре $20 \pm 5^\circ\text{C}$ и относительной влажности воздуха $95 \pm 5\%$. В этих условиях образцы были выдержаны до испытания в разопалубленном виде.

Перед испытанием образцы осматривались, устанавливая наличие дефектов в виде сколов рёбер, раковин и инородных включений.

Образцы, имеющие трещины, сколы ребер глубиной более 10 мм, раковины диаметром более 10 мм и глубиной более 5 мм, а также следы расслоения, испытанию не подлежали. Наплывы затвердевшей смеси на рёбрах опорных граней образцов были удалены.

На образцах выбирали и отмечали грани, к которым должны быть приложены усилия в процессе нагружения. Опорные грани образцов-кубиков выбирались так, чтобы сжимающая сила при испытании была направлена параллельно слоям укладки закладочной смеси в формы.

Максимальное усилие, достигнутое в процессе испытания, принималось за разрушающую нагрузку.

Прочность образцов-кубиков при сжатии определялась как среднее арифметическое значение в серии из трёх образцов по двум наибольшим по прочности образцам.

Прочность образцов-кубиков при сжатии вычисляется с точностью до 0,1 МПа для каждого образца по формуле

$$\sigma_{\text{куб}} = \frac{P}{S} 0,1, \quad (2.48)$$

где $\sigma_{\text{куб}}$ – прочность закладки в соответствующем возрасте набора прочности, МПа; P – разрушающая нагрузка, кг; S – средняя рабочая площадь образца, см^2 .

Исследования составов ХЦ с использованием лопастного смесителя. Для приготовления лабораторных образцов твердеющей закладки была создана установка (рис. 2.3) [91].

Лабораторные испытания составов ХЦ проводились с применением лопастного смесителя лопастного типа объемом 50 л.

Время смешивания во всех экспериментах принято 10 мин. Сразу после окончания смешивания производилось определение растекаемости смеси по Сутгарду (рис. 2.4) и измерялась ее плотность.

Исследуемые составы, удельный расход материалов, плотность твердеющей смеси, ее транспортабельность и контрольные характеристики прочности представлены в табл. 2.4. Кинетика твердения составов ХЦ с применением лопастного смесителя изображена на рис. 2.5. Результаты испытаний образцов на прочность представлены на рис. 2.6.

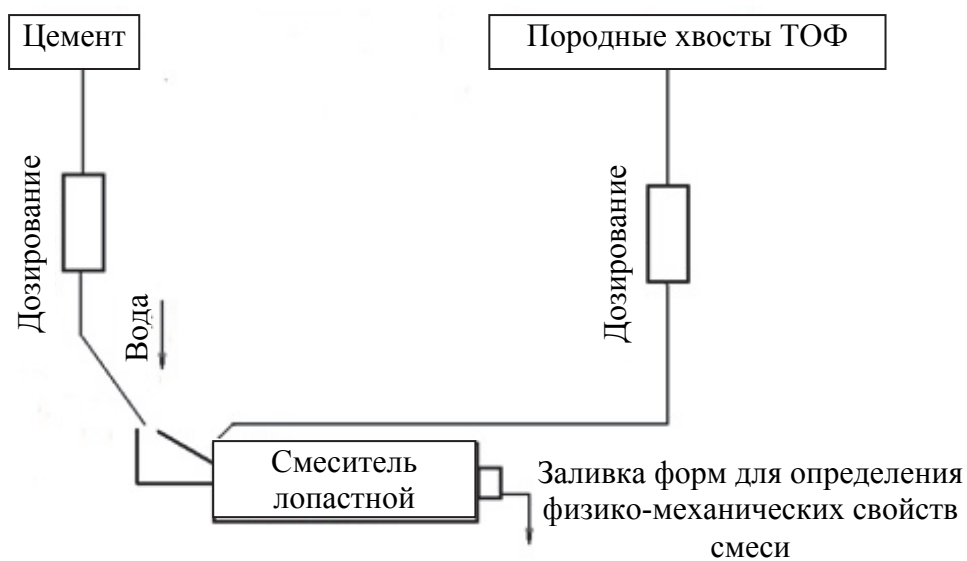


Рис. 2.3. Схема приготовления твердеющей смеси ХЦ в лабораторных условиях с использованием лопастного смесителя



Рис. 2.4. Определение растекаемости закладочной смеси (вискозиметр Сутгарда)

Таблица 2.4

**Составы с использованием хвостов и цемента
с применением лопастного смесителя (ХЦ)**

Расход материалов, кг/м ³ (л)			$\gamma_{тв}$ смеси, т/м ³	Расплав по Су- тарду, мм	Характеристика прочности в контрольные сутки, МПа			
Хвосты ТОФ	Цемент	Вода			3	7	28	90
1246	170	500	1,92	206	–	0,3	0,8	1,25
1183	240	500	1,92	225	0,3	0,55	1,5	2,1
1112	320	500	1,93	244	0,45	0,85	2,0	3,05
1039	400	500	1,94	246	0,75	1,35	3,1	4,0

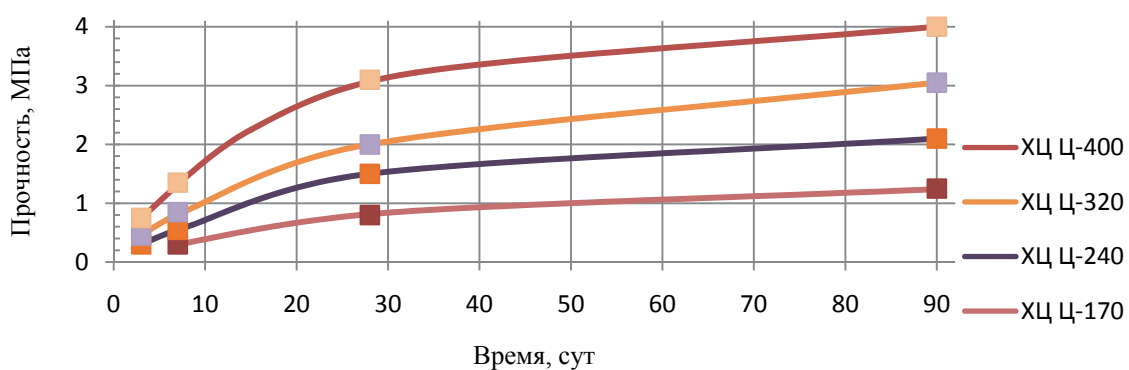


Рис. 2.5. Кинетика твердения составов ХЦ с использованием лопастного смесителя



Рис. 2.6. Испытание образцов на прочность составов ХЦ с использованием лопастного смесителя

Исследования составов ХЦ с использованием шаровой мельницы. Лабораторные испытания составов ХЦ проводились с применением шаровой мельницы [91–93].

Для приготовления лабораторных образцов твердеющей закладки была создана установка (рис. 2.7, 2.8).

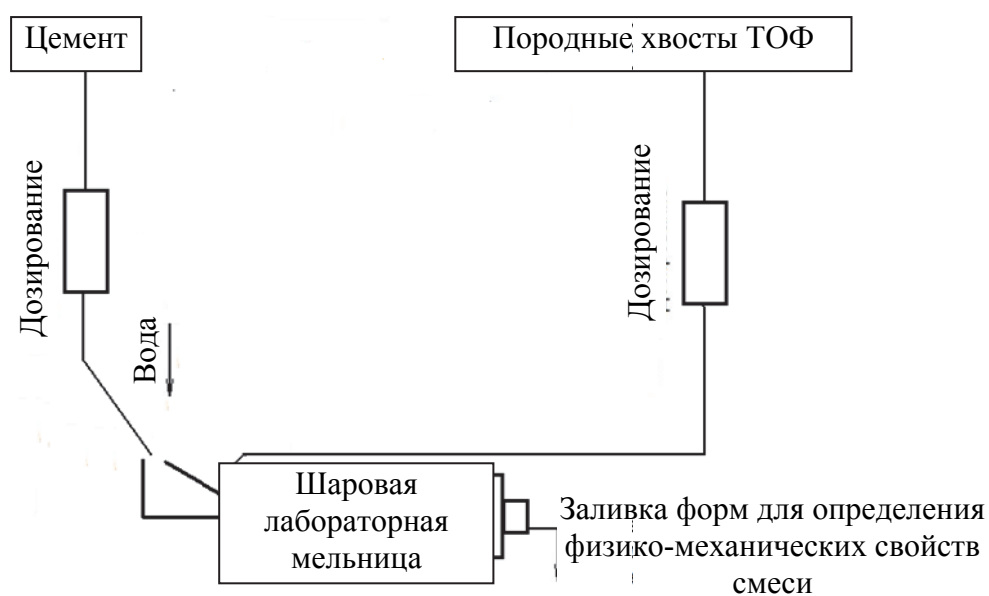


Рис. 2.7. Схема приготовления твердеющей смеси ХЦ в лабораторных условиях с использованием шаровой мельницы

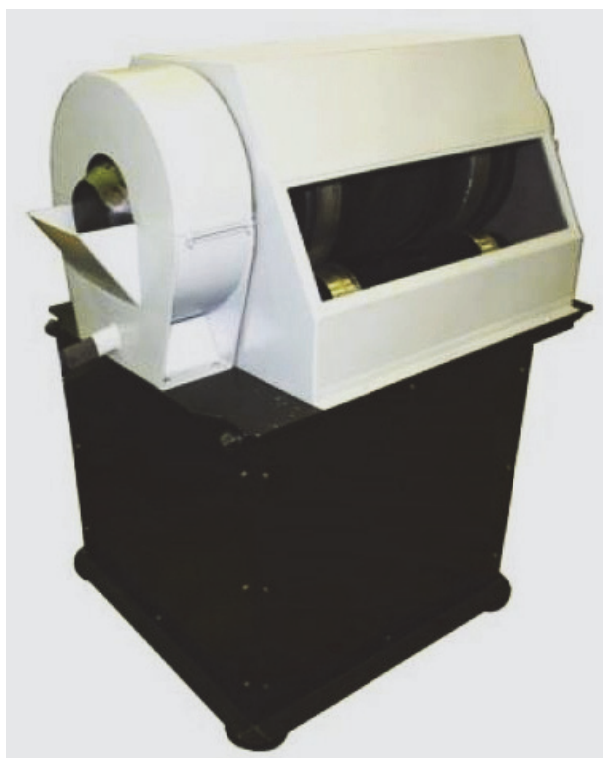


Рис. 2.8. Шаровая мельница МШЛ-50Н (48 МЛ)

Для помола в мельнице применялись цельбепсы (рис. 2.9), каждый весом 120 г. Их объем принимался из расчета 1/3 от объема исследуемого состава смеси. При замешивании 25 л смеси вес цельбепсов составил 39 кг.



Рис. 2.9. Цельбепсы

Время замешивания во всех экспериментах принято 10 мин. Сразу после окончания замеса производилось определение растекаемости смеси по Суттарду и измерялась ее плотность.

Составы и результаты исследований представлены в табл. 2.5. Кинетика твердения составов ХЦ с применением шаровой мельницы изображена на рис. 2.10. Результаты испытаний образцов на прочность представлены на рис. 2.11.

Таблица 2.5

**Составы с использованием хвостов и цемента
с применением шаровой мельницы (ХЦ)**

Расход материалов, кг/м ³ (л)			$\gamma_{\text{тв}} \text{ смеси, т/м}^3$	Расплыв по Суттарду, мм	Характеристика прочности в контрольные сутки, МПа			
Хвосты ТОФ	Цемент	Вода			3	7	28	90
1246	170	500	1,92	200	–	0,35	0,95	1,5
1183	240	500	1,92	220	0,3	0,55	1,25	2,0
1111	320	500	1,93	240	0,6	1,2	2,25	3,3
1039	400	500	1,94	242	1,5	2,25	3,3	4,7

Исследования составов АХЦ с использованием лопастного смесителя.
Для приготовления лабораторных образцов твердеющей закладки АХЦ была создана установка (рис. 2.12).

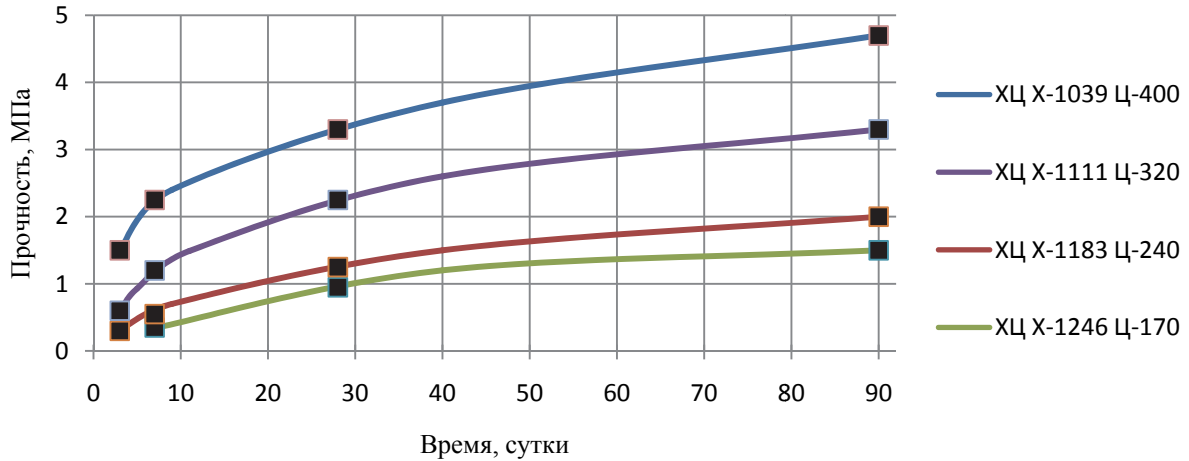


Рис. 2.10. Кинетика твердения составов ХЦ с использованием шаровой мельницы



Рис. 2.11. Испытание образцов на прочность составов ХЦ с использованием шаровой мельницы

Для выполнения лабораторных исследований был получен ангидрит крупностью –100 мм. Предварительно ангидрит доводился до крупности –2 мм (табл. 2.6) в щековой дробилке (рис. 2.13) и после грохочения использовался для приготовления закладочной смеси.

Методика исследований составов АХЦ аналогична исследованиям составов ХЦ в лопастном смесителе.

Составы и результаты исследований представлены в табл. 2.7. Кинетика твердения составов АХЦ с применением лопастного смесителя изображена на рис. 2.14. Результаты испытаний образцов на прочность представлены на рис. 2.15.

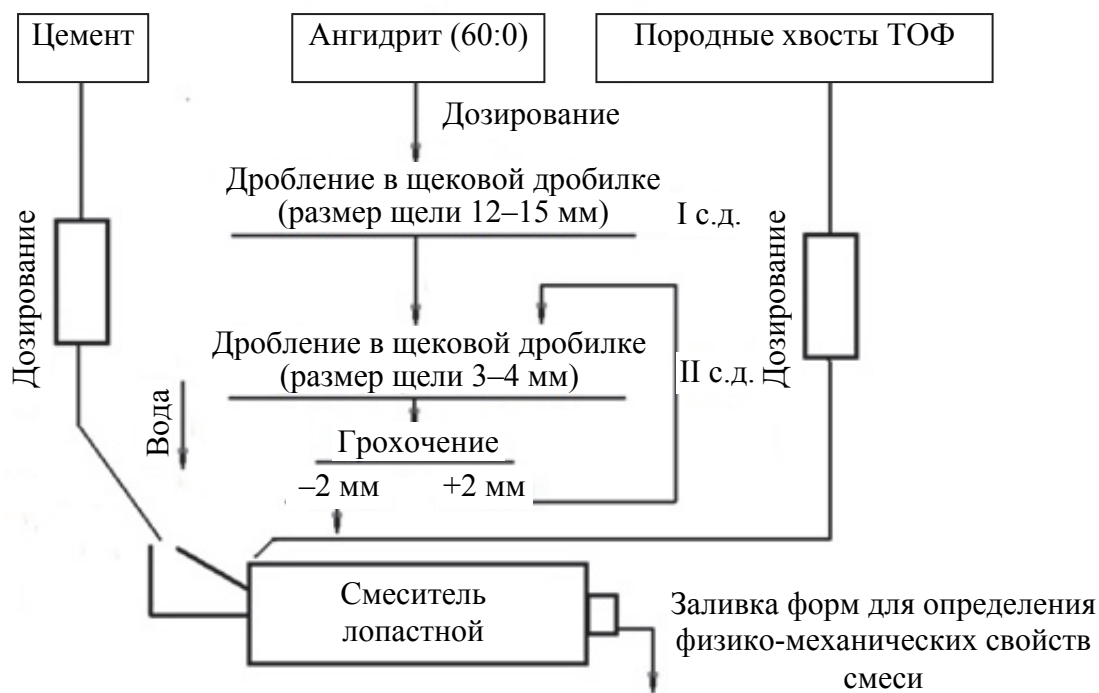


Рис. 2.12. Схема приготовления твердеющей смеси АХЦ в лабораторных условиях с использованием лопастного смесителя



Рис. 2.13. Щековая дробилка

Таблица 2.6

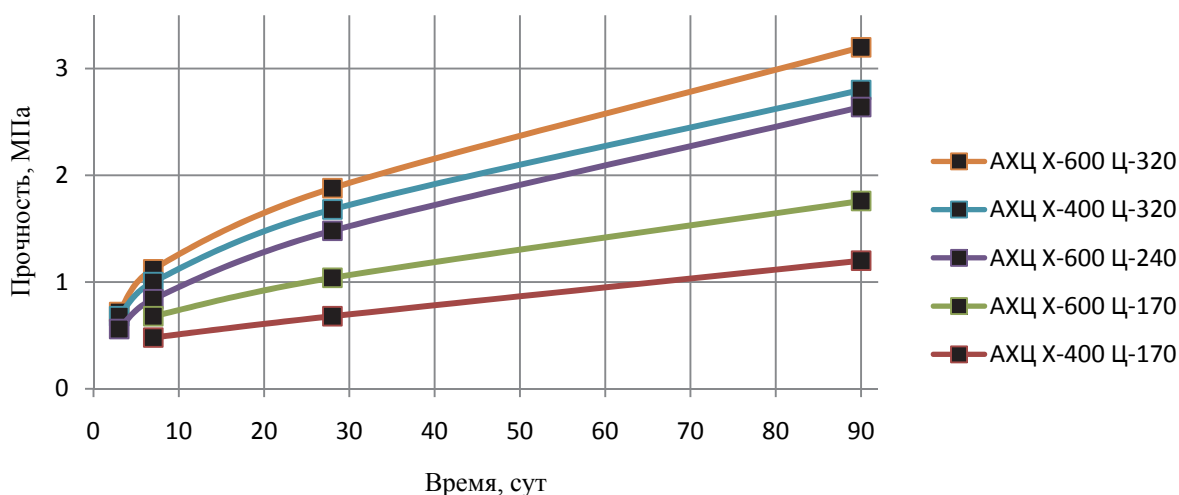
Результаты гранулометрического состава ангидрита

Классы крупности, мм	Выход ангидрита в щековой дробилке	
	г	%
+2,5	27,7	2,77
+1,25	236,9	23,69
+0,5	239,7	23,97
+0,315	65,9	6,59
+0,16	132,4	13,24
-0,16	297,4	29,74
Итого	1000	100

Таблица 2.7

Составы с использованием ангидрита, хвостов и цемента (АХЦ)
с применением лопастного смесителя

Расход материалов, кг/м ³ (л)				$\gamma_{\text{тв}} \text{ сме-}$ си, т/м ³	Распływ по Су- тарду, мм	Характеристика прочности в контрольные сутки, МПа			
Ангидрит	Хвосты ТОФ	Цемент	Вода			3	7	28	90
400	853	170	500	1,92	200		0,5	0,7	1,2
600	657	170	500	1,93	203		0,7	1,0	1,8
600	594	240	500	1,93	220	0,6	0,8	1,5	2,6
400	718	320	500	1,94	223	0,7	1,0	1,7	2,8
600	521	320	500	1,94	225	0,7	1,1	1,9	3,2

Рис. 2.14. Кинетика твердения составов АХЦ
с использованием лопастного смесителя

Исследования составов АХЦ с использованием шаровой мельницы. Методика исследований составов АХЦ аналогична исследованиям составов с использованием лопастного смесителя (рис. 2.16).



Рис. 2.15. Испытание образцов на прочность составов АХЦ с использованием лопастного смесителя

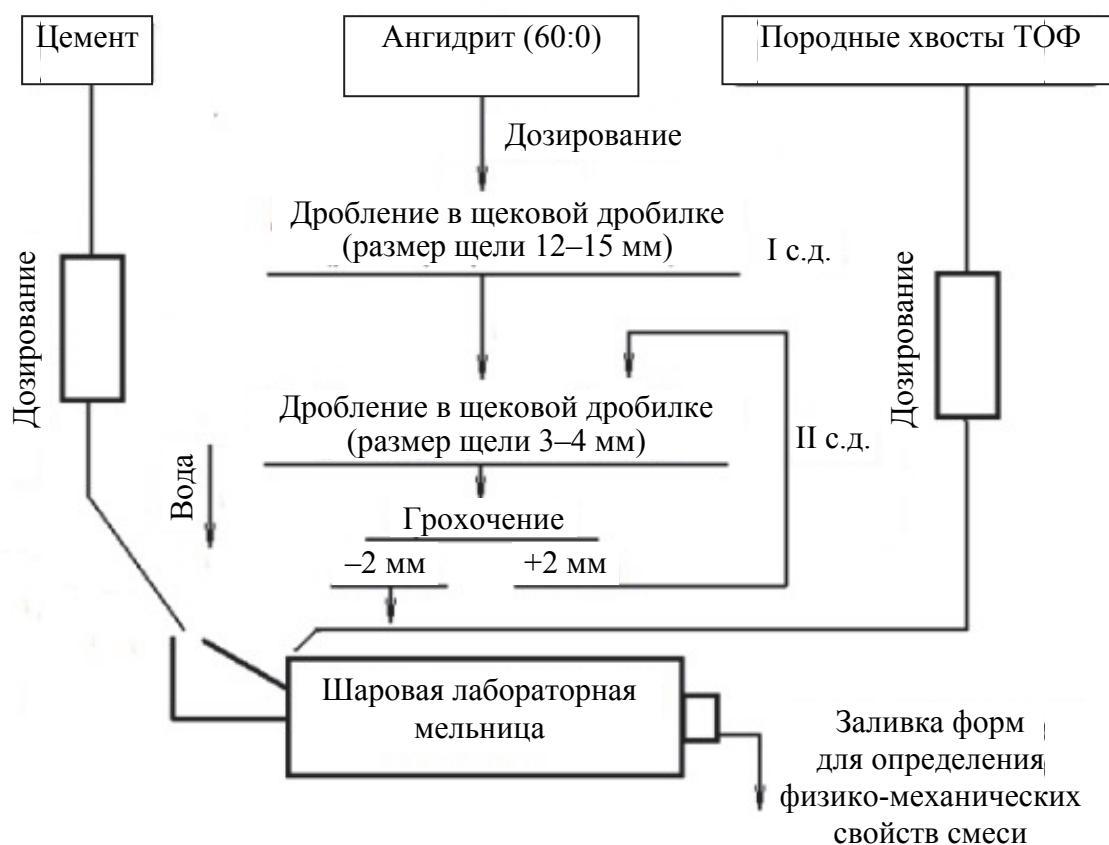


Рис. 2.16. Схема приготовления твердеющей смеси АХЦ в лабораторных условиях с использованием шаровой мельницы

Составы и результаты исследований представлены в табл. 2.8. Кинетика твердения составов АХЦ, приготовляемых в шаровой мельнице, изображена на рис. 2.17. Результаты испытаний образцов на прочность представлены на рис. 2.18.

Таблица 2.8

**Составы с использованием ангидрита, хвостов и цемента (АХЦ)
с применением шаровой мельницы**

Расход материалов, кг/м ³ (л)				$\gamma_{\text{тв}}$ смеси, г/м ³	Распływ по Сут- тарду, мм	Характеристика прочности в контрольные сутки, МПа			
Ангидрит	Хвосты ТОФ	Цемент	Вода			3	7	28	90
400	853	170	500	1,92	195	–	0,6	0,85	1,5
600	657	170	500	1,93	198	–	0,85	1,3	2,2
600	594	240	500	1,93	215	0,7	1,05	1,85	3,3
400	718	320	500	1,94	218	0,85	1,25	2,1	3,5
600	521	320	500	1,94	220	0,9	1,4	2,35	4,0

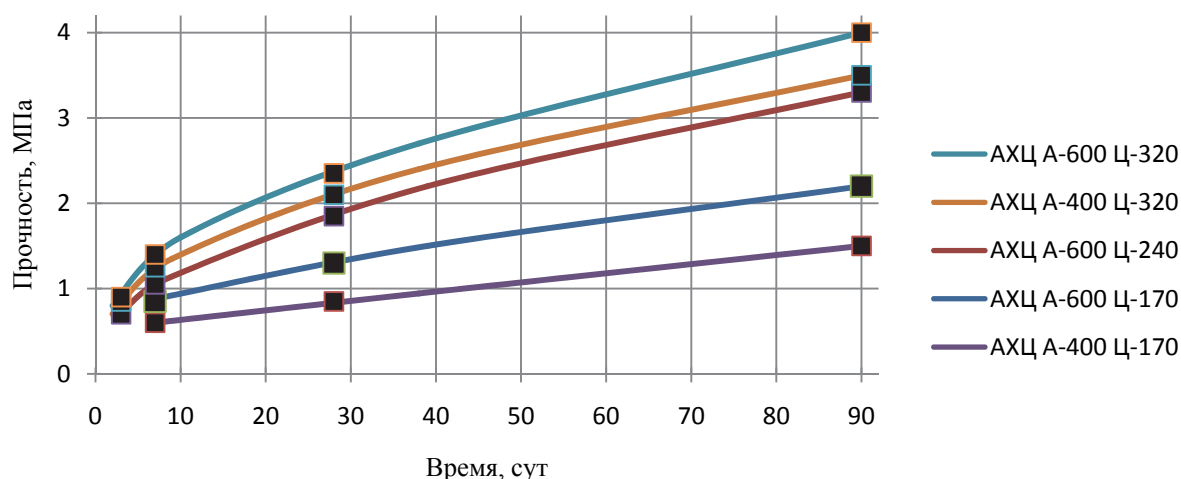


Рис. 2.17. Кинетика твердения составов АХЦ с использованием шаровой мельницы

Совместный анализ процессов кристаллизации по срокам набора прочности при различных расходах компонентов смеси с применением рассматриваемых технологий приготовления ЛТС показал, что в зависимости от соотношения компонентов в составе смеси, подаваемой в смеситель и шаровую мельницу, происходит перераспределение главенствующих фаз структурных образований гидратированных смесей [94].

Установлено, что составы АХЦ, твердеющие за счет кристаллизации в них ангидрита и новообразований, в процессе взаимодействия хвостов обогащения с цементом и ангидритом после активации набирают макси-

мум прочности (распределение фаз структурных образований представлено в табл. 2.9).



Рис. 2.18. Испытание образцов на прочность составов АХЦ с использованием шаровой мельницы

Таблица 2.9

Распределение фаз структурных образований

Формула, минерал		Состав ХЦ, д. ед.			Состав АХЦ, д. ед.		
		Сутки твердения					
		3	7	28	3	7	28
SiO ₂	Quartz	4,2	6,1	8,4	4,7	6,2	9,8
CaMgSi ₂ O ₆	Diopside	14,2	16,7	28,3	3,1	7,1	9,3
Ca(SO ₄) (H ₂ O) ₂	Gypsum	15,2	16,2	19,3	38,3	48,5	61,7
Ca ₆ Al ₂ (SO ₄) ₃ (OH) ₁₂ 26H ₂ O	Ettringite	8,1	8,9	13,8	8,9	13,9	15,8

Анализ результатов исследований показал существенную зависимость прочности составов закладки с использованием полной фракции хвостов обогащения и их транспортабельности от технологии измельчения и перемешивания компонентов смеси, позволил установить рациональный способ приготовления закладки в шаровых мельницах.

Основные закономерности при производстве ЛТС в шаровой мельнице совместного приготовления многокомпонентных твердеющих смесей, когда мельница является активным смесителем, заключаются в том, что во время измельчения и перемешивания смеси в водной среде формируется определенное соотношение активной гомогенной части компонентов закладки, которое влияет на ее прочностные и реологические свойства и управляется процентным содержанием компонентов в шихте закладки на входе в мельницу. Это позволяет заключить, что количественное и грану-

лометрическое соотношение компонентов в смеси закладки оказывает большое влияние на ее прочность и транспортабельность.

Технологии производства с использованием лопастного смесителя и шаровой мельницы позволяют обеспечить гидратирование компонентов смесей и прохождение процессов кристаллизации. Однако при этом низкая интенсивность совместного перемешивания компонентов смеси не обеспечивает полную гомогенизацию материалов ЛТС с дисперсной частью хвостов обогащения, что ведет к повышению расхода дорогостоящего вяжущего и снижению набираемой прочности составами закладки.

Для обеспечения гомогенности и активности компонентов исследуемых составов ЛТС необходимо создать условия интенсивной обработки материалов, обеспечивающие эффективную гомогенизацию и активацию материалов ЛТС с использованием полной фракции хвостов обогащения, проявление вяжущих свойств мелкодисперсных фракций хвостов обогащения и повышение вскрытия зёрен цемента в технологии их приготовления.

**ИЗУЧЕНИЕ МЕХАНИЗМА ВОЗДЕЙСТВИЯ
НА КОМПОНЕНТЫ ЛИТЫХ
ТВЕРДЕЮЩИХ СМЕСЕЙ И РАЗРАБОТКА
ТЕХНОЛОГИИ ЗАКЛАДКИ
ТВЕРДЕЮЩИМИ СМЕСЯМИ НА ОСНОВЕ
ХВОСТОВ ОБОГАЩЕНИЯ****3.1. Изучение механизма гомогенизирующего
и активирующего воздействия
на компоненты твердеющих смесей**

Гидромеханические процессы воздействия на различные системы лежат в основе многих технологий и производств самых различных отраслей промышленности: химической, нефтехимической, угледобывающей, горнорудной, микробиологической, пищевой, фармацевтической, парфюмерной, лакокрасочной, машиностроительной и многих других. Основную долю среди них занимают процессы переработки систем «жидкость – жидкость» и «жидкость – твердое тело». Гидромеханическое воздействие наиболее эффективно осуществляется в аппаратах с периодическим прерыванием потока обрабатываемой среды.

Средствами эффективного воздействия на материалы ЛТС при их производстве являются гидродинамические бесприводные активаторы и активаторы напорного действия.

Гидродинамический активатор безнапорного действия осуществляет интенсивное механическое воздействие на ЛТС, используя энергию ее потока. Механическое воздействие производится импульсами, преобразующими часть энергии струи смеси в энергию акустических волн. Работа бесприводного гидравлического генератора основана на генерировании возмущений в среде ЛТС некоторых полей скоростей и давлений при взаимодействии потока смеси с резонирующими устройствами.

У бесприводного гидродинамического активатора упругие пластины-резонаторы закреплены в корпусе консольно и снабжены механизмом регулирования собственной частоты колебаний. Механизм выполнен в виде набора скоб, закрепленных на выдвижных стержнях по длине корпуса, которые установлены в плоскости пластин-резонаторов с боковых сторон с возможностью зажима скобами краев пластин при выдвижении стержней.

Гидродинамический напорный активатор формирует комплексное механическое воздействие на ЛТС посредством взаимодействия лопастей

определенной конфигурации, расположенных внутри полого ротора по спиральной образующей, с обтекающим их потоком ЛТС. Передача механической энергии потоку осуществляется в момент вращения лопастей за счет разности давления на противоположных сторонах этих поверхностей. Силы давления на лопастях создают вынужденное вращательное и поступательное движение потока, увеличивая его напор и скорость.

Результаты исследований показали, что после прохождения через гидродинамический активатор ЛТС представляет собой хорошо гомогенизированную пульпу с пониженной вязкостью и предельным напряжением сдвига с необходимыми для транспорта показателями текучести.

Активатор жидких твердеющих смесей (рис. 3.1) содержит два диска с консольными стержнями 4 в периферийной части, закрепленными по concentрическим окружностям с расположением каждого ряда одного диска между двумя рядами другого диска. Диски выполнены вогнутыми в центральной части. При этом вогнутые части дисков обращены одна к другой. Диски имеют приводы для их вращения в противоположные стороны и размещены в корпусе 1, который выполнен в виде тора. В полости тора смесь находится в зоне высокоэнергонапряженного воздействия перемещающихся стержней.

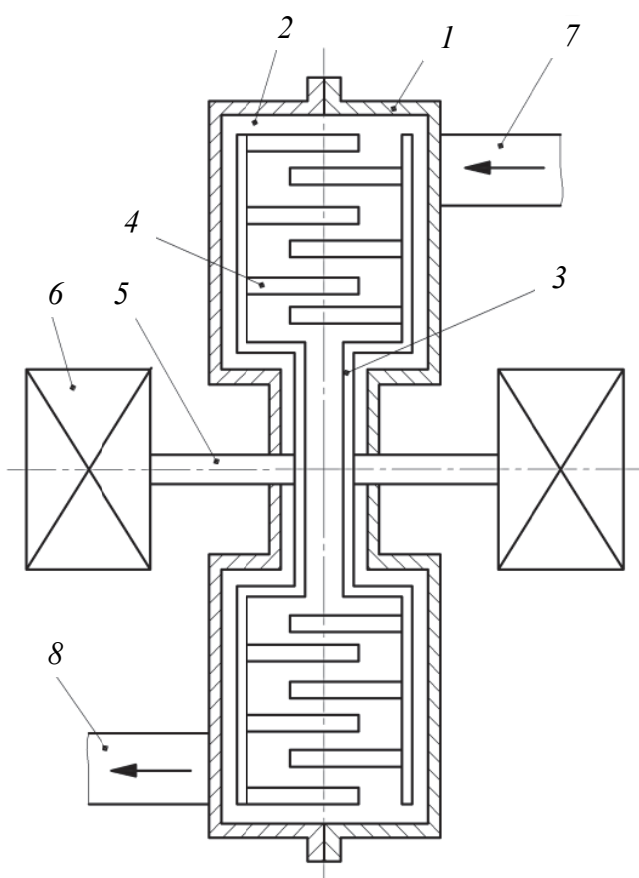


Рис. 3.1. Активатор жидких твердеющих смесей

Повышение эффективности активации жидких смесей за счет размещения обрабатываемой смеси преимущественно в высокоэнергонапряженной части активатора.

Активатор устанавливают под землей или на поверхности как врезку в закладочном трубопроводе. Твердеющая закладочная смесь после мельничного измельчения поступает в трубопровод 7, а из него в полость 2 активатора, где вращаются диски 3 в противоположные стороны. При этом их относительная линейная скорость может достигать 300 м/с, что обеспечивает интенсивное перемешивание закладки, ее гомогенизацию, измельчение твердых частиц, разрушение гидратных пленок на частицах цемента.

Смесь проходит по торообразной полости 2 и далее двигается по трубопроводу 8 в выработанное пространство. За счет интенсивного механического воздействия закладочная смесь не расслаивается в трубопроводе и в выработанном пространстве, становится более текучей, и тем самым обеспечивается возможность снижения расхода цемента при сохранении необходимой прочности закладочного массива.

Активатор жидких сред (рис. 3.2) состоит из прямоугольной проточной камеры 1 со щелевидным каналом 2, консолей 3, пластин-резонаторов 4, источников переменного магнитного поля 5. Прямоугольная проточная камера присоединяется, например, с помощью фланцевых соединений 6 к основному стволу трубопровода 7.

Камера 1 может изготавливаться из магнитопроницаемого материала полностью или частично. Материалами для изготовления камеры 1 могут служить электротехнические стали, металлы и т. п.

Источник переменного магнитного поля 5 размещен с внешней стороны камеры, представляет собой обмотку со стержнем, в котором генерируется переменное магнитное поле. Синхронность работы источников достигается за счет их управления. Консоли 3 выполнены из рессорной стали, способны выдержать большое количество колебаний.

Пластины-резонаторы 4 изготавливаются из магнитного материала и закреплены в консолях 3. Размеры устройства зависят от диаметра трубопровода, в котором оно устанавливается.

При транспортировке по трубопроводу жидких сред и смесей оснащенным устройством приводят в колебательное движение за счет резонанса пластины-резонаторы путем включения источника переменного магнитного поля. При колебании пластин происходит турбулизация потока смеси, ее интенсивная обработка за счет кавитационного эффекта. Таким образом идет интенсивная активация смеси, при которой возникают частые соударения частиц смеси, их разрушение и измельчение с перемешиванием. При использовании данного активатора в процессе транспортировки по трубопроводу твердеющих закладочных смесей происходит разрушение

зерен вяжущего, удаление гидратных пленок, повышение однородности смеси и, как следствие, увеличение прочности смеси.

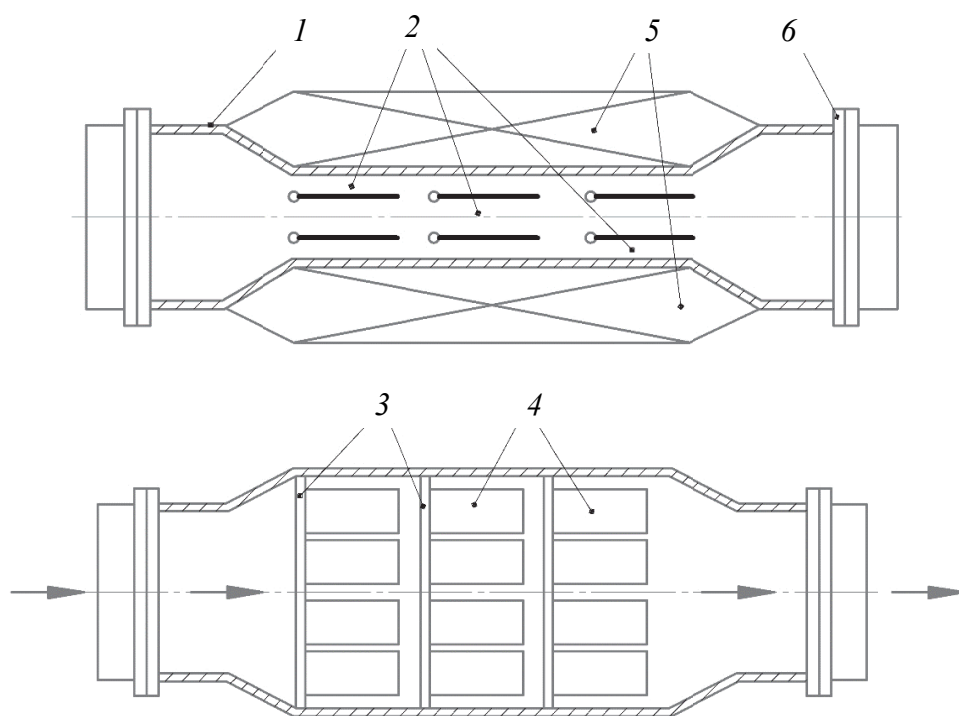


Рис. 3.2. Активатор жидких сред

Подбирая режим обработки за счет амплитуды и частоты резонирования пластин, можно управлять процессом активации смесей.

Устройство целесообразно использовать для активации, например, при транспортировке твердеющих закладочных смесей. При использовании устройства прочность твердеющей закладки возрастает на 10–15 %, уменьшаются сроки схватывания на 15–20 %, расход вяжущего снижается на 5–10 %.

В динамических гидроударно-кавитационных устройствах (ГКУ) прерывание потока происходит из-за вращения ротора, размещенного на одной оси со статором. Конструктивно в рабочих поверхностях ротора и статора такого устройства выполнены щели для протекания обрабатываемой среды. Одним из основных факторов эффективной работы ГКУ является форма поперечного сечения этих щелей, характер их движения и зазор между статором и ротором.

Широкое распространение в настоящее время ГКУ в промышленном применении нашли в основном в горнодобывающей отрасли. Подобные устройства также успешно применяются на машиностроительных заводах для приготовления смазочно-охлаждающих жидкостей и на заводах, производящих синтетические моющие средства.

Применение ГКУ дает существенный экономический эффект благодаря значительной интенсификации гидромеханических процессов за счет достижения кавитационного режима течения обрабатываемой среды, переводу на непрерывный режим эксплуатации, снижению энерго- и материалоемкости, уменьшению производственных площадей. Устройство оказывает многофакторное импульсное воздействие на обрабатываемый материал с целью получения стабильных, высокодисперсных эмульсий и суспензий, интенсификации процессов растворения и экстрагирования веществ, изменения физико-химических параметров, деструкции молекулярных соединений. Высокая степень воздействия на обрабатываемую среду объясняется развитой интенсивной акустической импульсной кавитацией, большими сдвиговыми напряжениями, гидравлическими ударами и другими механическими воздействиями.

ГКУ применяется для обработки систем «жидкость – жидкость», «жидкость – твердое» и «газ – жидкость» за счет механического воздействия на частицы обрабатываемой среды, заключающегося в ударных, срезающих и истирающих нагрузках при контактах с рабочими парами статор-ротор, и гидродинамического воздействия, выражающегося в пульсациях давления и скорости потока среды, а также гидроакустического воздействия на обрабатываемую среду, осуществляющегося за счет мелко-масштабных пульсаций давления, интенсивной кавитации и ударных волн.

Вследствие вращения ротора обрабатываемый материал направляется лопастями к внешнему диаметру рабочей камеры. В момент перекрытия щели ротора корпусом статора происходит гидроудар. При совпадении щелей ротора и статора материал поступает в эти щели и зазор. Форма щели статора способствует резкому расширению потока и появлению кавитационных пузырьков, разрушающих частицы и деструктивно воздействующих на материал.

Особое влияние на рабочие характеристики устройства оказывает зазор между ротором и статором в рабочей ступени. Изменение величины зазора оказывает значительное влияние на величину объемного расхода, т. е. с увеличением зазора для возникновения эффекта кавитации необходимы большие расходы обрабатываемой среды. Рост зазора сокращает пределы кавитационного режима работы. При выходе из зазора в рабочую камеру ротора обрабатываемая среда резко теряет скорость, а при входе в щели ротора скорость резко возрастает, что приводит к дополнительной турбулизации потока обрабатываемой среды.

При работе ГКУ происходит целый ряд гидромеханических, массо-обменных и тепловых процессов, которые реализуются комплексно или самостоятельно в зависимости от заданных параметров.

Технологии и технологические комплексы на базе ГКУ позволяют получать высококачественные активные растворы, эмульсии, экстракты и суспензии. В технологический комплекс кроме ГКУ входит стандартное оборудование для дозирования, нагнетания и подачи жидкостей и компонентов продукта, их нагрева и охлаждения, приборы контроля и учёта, ёмкости предварительного смешивания и временного хранения компонентов.

В настоящее время существует огромный потенциал возможности применения ГКУ в промышленности.

В крупном промышленном производстве, а также, когда оправдано применение аппарата для проведения только одного технологического процесса, наиболее эффективным является использование специально сконструированного ГКУ для конкретного технологического процесса. Благодаря целому ряду технологических процессов, реализуемых комплексно или самостоятельно в ГКУ, перспективность применения технологического комплекса на базе данного аппарата в процессе производства ЛТС с использованием полной фракции хвостов обогащения очевидна.

3.2. Разработка устройства для активации и гомогенизации компонентов смеси

В результате сравнительного анализа выявлено, что из всех рассмотренных устройств для активации материалов ЛТС оптимальной конструкцией обладают гидродинамические роторные аппараты с периодическим прерыванием потока [95, 96]. Аналитическим путём установлено, что из всех гидродинамических устройств наиболее эффективным является устройство импульсного гидроударно-кавитационного способа воздействия благодаря его конструктивным особенностям и высокой энергетике процесса.

Для изучения импульсного гидроударно-кавитационного воздействия на материалы ЛТС был разработан гидроударно-кавитационный смеситель (ГКС), представленный на рис. 3.3 (патент на его изобретение № 2550609).

ГКС содержит цилиндрический корпус рабочей камеры 1, стенки 2 и 3. На передней стенке 2 консольно расположены две эжекционные камеры 4, внутри которых установлены эжекционные сопла 5, конфузоры 6, подводящие патрубки 7. На стенках эжекционных камер 4 имеются боковые окна 8, соединенные с загрузочным бункером 9. В торце эжекционных камер расположена вращающаяся перегородка в виде диска 10 с профилированными концентричными отверстиями 11, установленная на вал, опирающийся на подшипник 12, защищенный от жидкости уплотнением 13, и приводимая во вращение от электродвигателя 14. Напротив сужающих

сопел 15 каналов установлены отражатели 16, опирающиеся на пружины 17. В задней стенке имеется отводящее отверстие для смеси 18 и выходной патрубков 19.

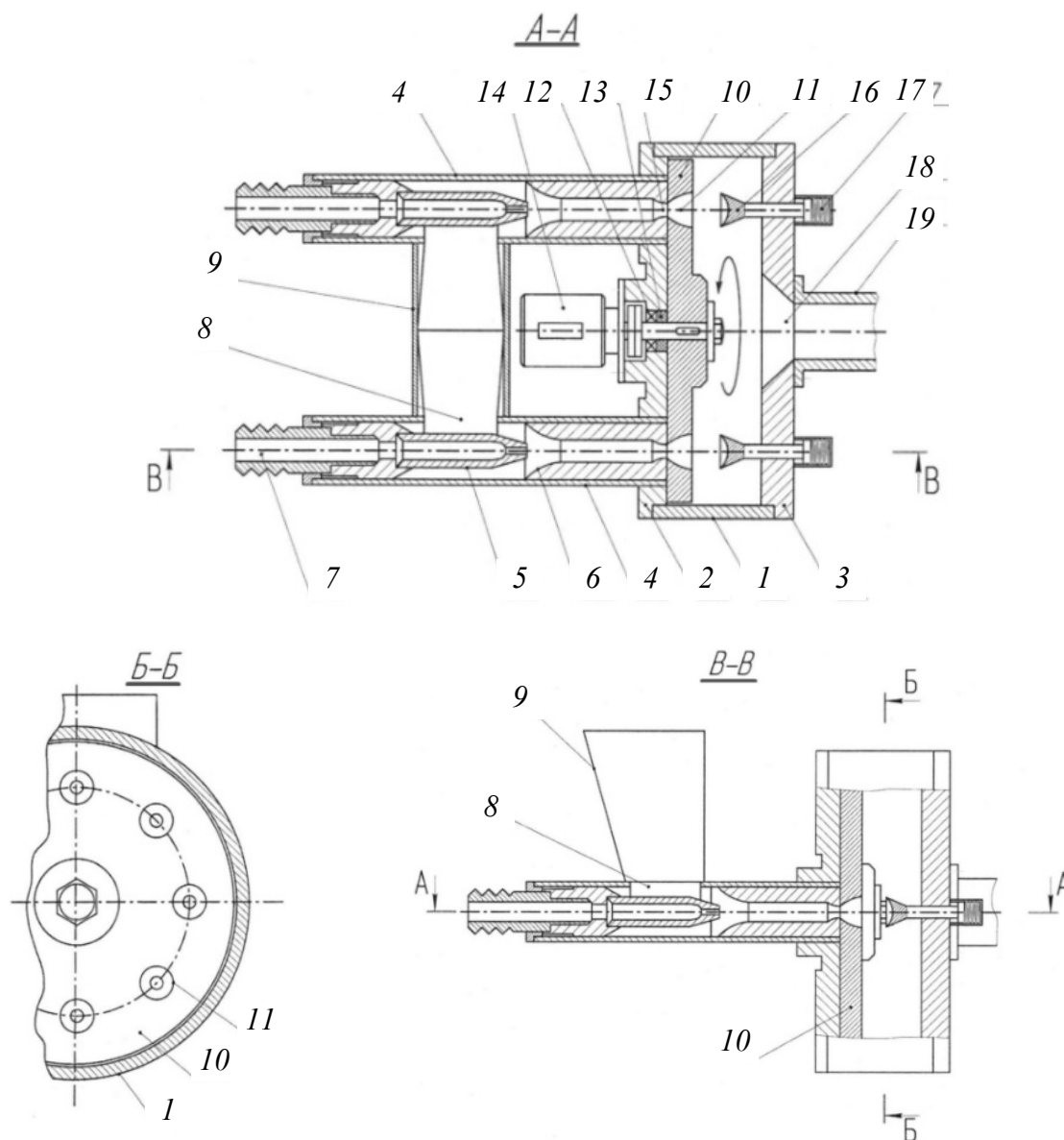


Рис. 3.3. Гидроударно-кавитационный смеситель: 1 – рабочая камера; 2 и 3 – стенки рабочей камеры; 4 – эжекционные камеры; 5 – эжекционные сопла; 6 – конфузоры; 7 – подводящие патрубки; 8 – боковые окна; 9 – загрузочный бункер; 10 – диск; 11 – концентрические отверстия; 12 – подшипник; 13 – уплотнение; 14 – электродвигатель; 15 – сужающиеся каналы; 16 – отражатели; 17 – пружины; 18 – отводящее отверстие для смеси; 19 – выходной патрубок

ГКС работает следующим образом [97]. Предварительно дозированные и смешанные цемент с водой (цементное молоко) под давлением подается в подводящие патрубки. Одновременно в загрузочный бункер подаются

хвосты обогащения. За счет увеличения скорости потока в эжекционных соплах при попадании потока в конфузторы внутри них создается разрежение и хвосты обогащения дозированно из бункера через окна в стенке эжекционной камеры попадают в поток и смешиваются с цементным молоком. Полученная смесь подается в сужающиеся каналы, а затем в момент совпадения каналов с профилированными отверстиями на вращающейся перегородке смесь направляется внутрь рабочей камеры, ударяясь в полусферические отражатели, вибрирующие на пружинах за счет пульсации потока смеси. Электродвигатель вращает перегородку с частотой, необходимой для создания ультразвуковых пульсаций потока смеси.

В результате создается комплексное механическое воздействие на частицы в смеси. Образуется концентрированная пульсирующая кавитационная область между профилированными отверстиями и отражателями. Пульсации кавитационной области создают переменные поля скоростей и давлений, что способствует дополнительному гидродинамическому воздействию на смесь, сопровождающемуся ее активацией. Соударение частиц смеси с вибрирующими отражателями вызывает их разрушение, измельчение, интенсивное перемешивание и повышение однородности состава смеси.

По результатам теоретического исследования механизма гомогенизирующего и активирующего воздействия на компоненты закладочных смесей при их производстве выбран механизм частотной гидроударно-кавитационной обработки смеси, обоснован способ воздействия, обеспечивающий обработку материалов смеси в поле гидроударно-кавитационных импульсов, разработано смесительно-активирующее устройство для жидких сред, которое позволяет гомогенизировать и активировать составы «жидкость-твердое» за счет следующих факторов:

- механического воздействия на частицы обрабатываемой среды, заключающегося в ударных, срезающих и истирающих нагрузках;
- гидродинамического воздействия, выражающегося в больших сдвиговых напряжениях в жидкости, пульсациях давления и скоростях потоков в жидкости;
- гидроакустического воздействия на жидкость, осуществляющегося за счет мелкомасштабных пульсаций давления и интенсивной кавитации.

На основании проведенного теоретического обоснования предлагаемых конструктивных решений можно сделать вывод, что разработанный ГКС обеспечит эффективную гомогенизацию и активацию материалов ЛТС с использованием полной фракции хвостов обогащения при сокращении металлоёмкости, энергозатрат и времени обработки. При разработке технологии закладки горных выработок твердеющими смесями ГКС обеспечит проявление вяжущих свойств мелкодисперсных фракций хвостов обогащения и повышение вскрытия зёрен цемента. Для подтверждения

теоретического заключения об эффективности импульсного гидроударно-кавитационного воздействия необходимо провести исследования технологии закладки горных выработок хвостами обогащения с применением разработанного ГКС, по результатам которых определить механизм набора прочности ЛТС.

3.3. Технология приготовления закладочных смесей с применением гидроударно-кавитационного смесителя

Методика исследований аналогична проведенным с использованием лопастного смесителя и шаровой мельницы и предусматривает изучение свойств исследуемых составов, их транспортных и прочностных характеристик на основании новообразований в процессе гидратации.

Подбор составов закладочных смесей произведен согласно требованиям РТПП – 045 – 2015.

Удельное количество цемента в составах ХЦ принято 170, 240, 320 и 400 кг/м³. Для исследования составов АХЦ приняты составы с расходом цемента 170, 240 и 320 кг/м³, ангидрита – 400 и 600 кг/м³.

Для лабораторных испытаний составов использован разработанный ГКС (рис. 3.4–3.6).

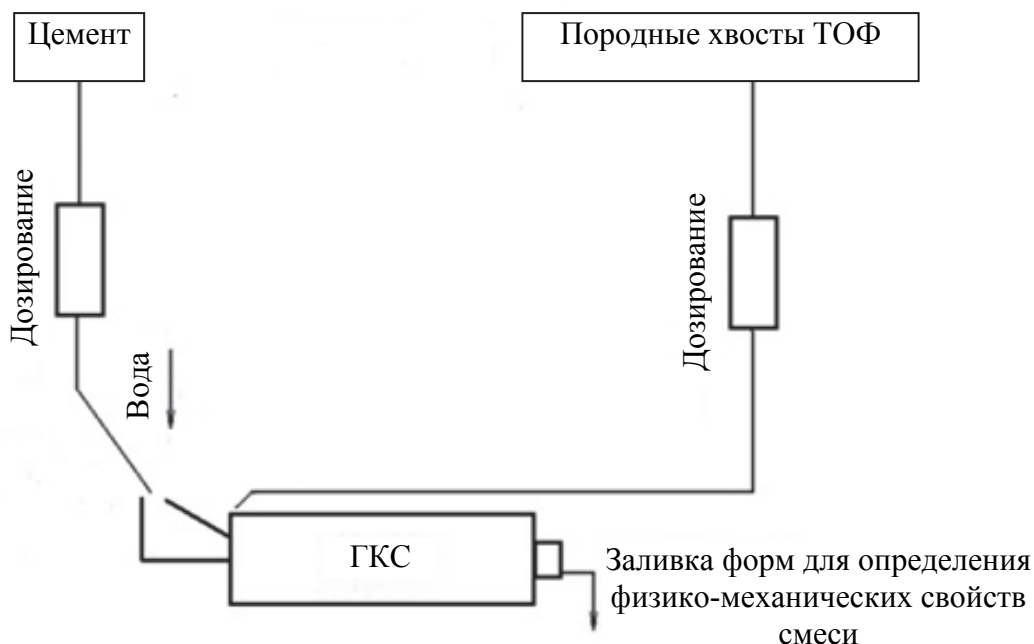


Рис. 3.4. Схема приготовления твердеющей смеси ХЦ в лабораторных условиях с использованием ГКС

Время обработки материалов смеси во всех экспериментах принято 10 мин. Сразу после окончания смешивания производилось определение растекаемости смеси по Суттарду и измерялась ее плотность.

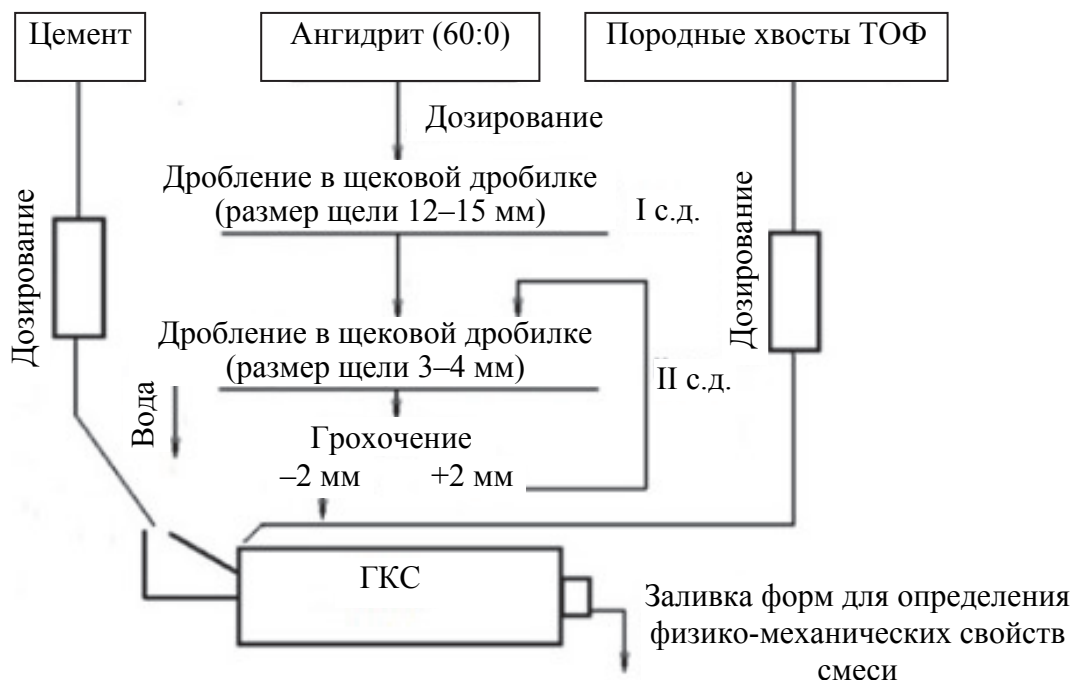


Рис. 3.5. Схема приготовления твердеющей смеси АХЦ в лабораторных условиях с использованием ГКС



Рис. 3.6. Разработанный ГКС (лабораторный вариант)

Исследуемые составы, удельный расход материалов, плотность твердеющей смеси и контрольные характеристики прочности представлены в табл. 3.1 и 3.2. Кинетика твердения составов ХЦ и АХЦ с применением ГКС изображена на рис. 3.7, 3.9 соответственно. Результаты испытаний на прочность составов ХЦ и АХЦ представлены на рис. 3.8, 3.10 соответственно.

Таблица 3.1

Составы с использованием хвостов и цемента с применением ГКС

Расход материалов, кг/м ³ (л)			$\gamma_{\text{тв}} \text{ смеси, т/м}^3$	Распływ по Сутгарду, мм	Характеристика прочности в контрольные сутки, МПа		
Хвосты ТОФ	Цемент	Вода			7	28	90
1246	170	500	1,92	266	0,5	1,2	2,0
1183	240	500	1,92	257	0,7	1,6	2,6
1112	320	500	1,93	250	1,6	2,9	4,3
1039	400	500	1,94	230	2,9	4,3	6,1

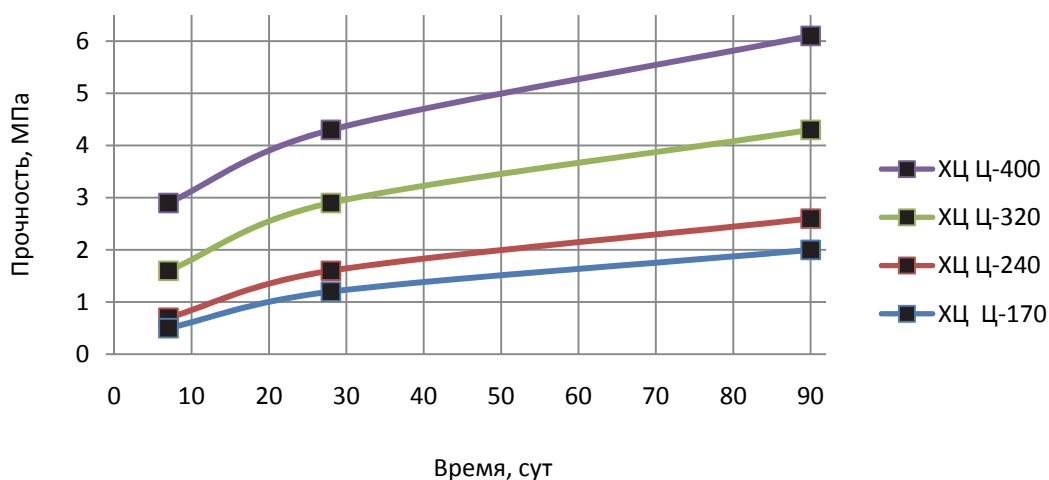


Рис. 3.7. Кинетика твердения составов ХЦ с применением ГКС



Рис. 3.8. Испытание образцов на прочность составов ХЦ с применением ГКС

Полученные результаты показали, что приготовление литых твердеющих смесей на основе гидроударно-кавитационной активации материалов смеси позволяет обеспечить их качественную активацию и гомогенизацию (рис. 3.11, 3.12).

Таблица 3.2

Составы с использованием ангидрита, хвостов и цемента с применением ГКС

Расход материалов, кг/м ³ (л)				$\gamma_{тв}$ сме- си, т/м ³	Распływ по Сут- гарду, мм	Характеристика прочности в контрольные сутки, МПа			
Ангидрит	Хвосты ГОФ	Цемент	Вода, л			3	7	28	90
400	853	170	500	1,92	255	0,5	0,9	1,6	2,4
600	657	170	500	1,93	251	0,7	1,2	2,0	2,9
600	594	240	500	1,93	246	0,9	1,4	2,5	3,8
400	718	320	500	1,94	242	1,1	1,7	3,0	4,4
600	521	320	500	1,94	224	1,2	1,9	3,3	4,7

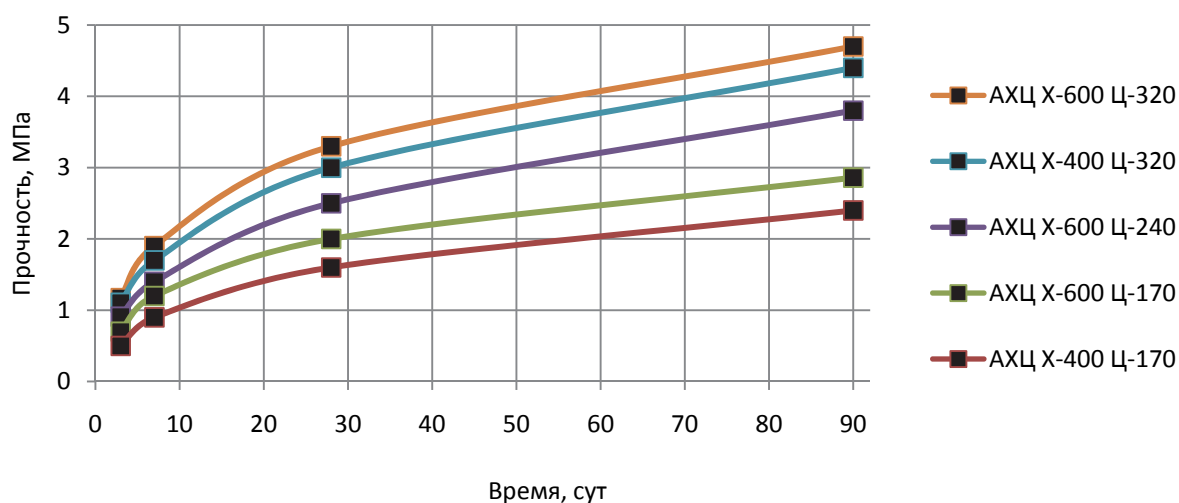


Рис. 3.9. Кинетика твердения составов АХЦ с применением ГКС



Рис. 3.10. Испытание образцов на прочность составов АХЦ с применением ГКС

Реологические свойства и кинетика твердения закладочных смесей отвечают требованиям безопасности горных выработок, условиям их транспортирования в выработанное пространство и растекаемости.



Рис. 3.11. Электронно-микроскопические снимки образцов составов XII

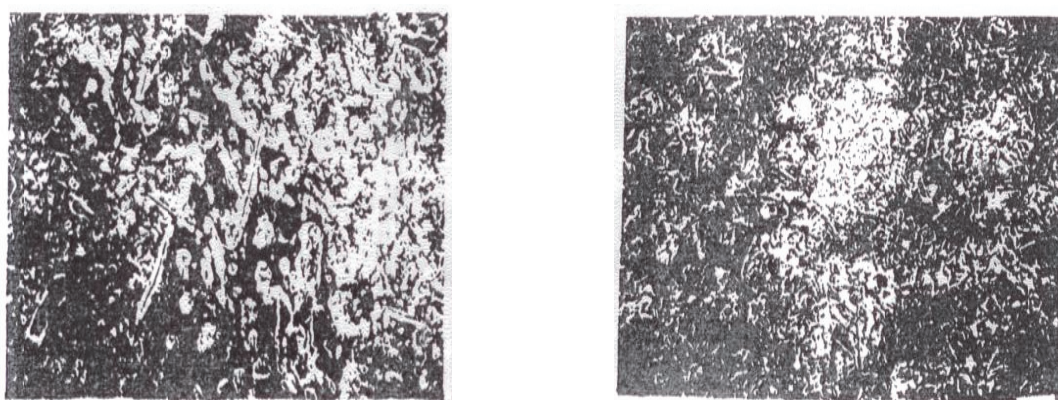


Рис. 3.12. Электронно-микроскопические снимки образцов составов AXI



Рис. 3.13. Рентгеновский дифрактометр XRD 7000

Совместный анализ процессов кристаллизации по срокам набора прочности при различных расходах компонентов смеси с применением разработанной технологии приготовления ЛТС показал, что в зависимости от соотношения компонентов в составе смеси, подаваемой в ГКС, происходит перераспределение главенствующих фаз структурных образований гидратированных смесей.

Рентгенофазовый и рентгеноструктурный анализ проводился на рентгеновском дифрактометре XRD 7000 (рис. 3.13).

Установлено, что составы АХЦ, твердеющие за счет кристаллизации в них ангидрита и новообразований, в процессе взаимодействия хвостов обогащения с цементом и ангидритом после гидроударно-кавитационной обработки набирают максимум прочности (распределение фаз структурных образований представлено в табл. 3.3, соответствующие им рентгеновские дифрактограммы образцов ХЦ и АХЦ – на рис. 3.14, 3.15).

Таблица 3.3

Распределение фаз структурных образований закладочных смесей (с применением ГКС)

Формула, минерал	Состав ХЦ, д. ед.			Состав АХЦ, д. ед.			
	Сутки твердения						
	3	7	28	3	7	28	
$(\text{Mg, Al, Fe})_6 (\text{Si, Al})_4 \text{O}_{10} (\text{OH})_8$	Clinocllore	9,8	15,5	16,3	6,1	8,6	12,0
$\text{Ca}_2 (\text{Al, Fe} +3) 2\text{O}_5$	Brownmillerite	3,9	0,0	0,0	1,4	0,0	0,0
SiO_2	Quartz	7,8	9,4	14,4	6,1	7,7	11,6
$\text{CaMgSi}_2\text{O}_6$	Diopside	25,1	36,3	45,9	3,3	9,1	11,1
$\text{Ca}(\text{SO}_4) (\text{H}_2\text{O})_2$	Gypsum	24,0	26,9	34,0	58,3	68,7	71,0
$\text{K Fe}_3 (\text{SO}_4)_2 (\text{OH})_6$	Jarosite	6,8	7,2	9,8	6,1	6,8	7,3
$\text{Ca}_6\text{Al}_2 (\text{SO}_4)_3 (\text{OH})_{12} 26\text{H}_2\text{O}$	Ettringite	13,2	17,5	22,9	15,3	25,3	27,1

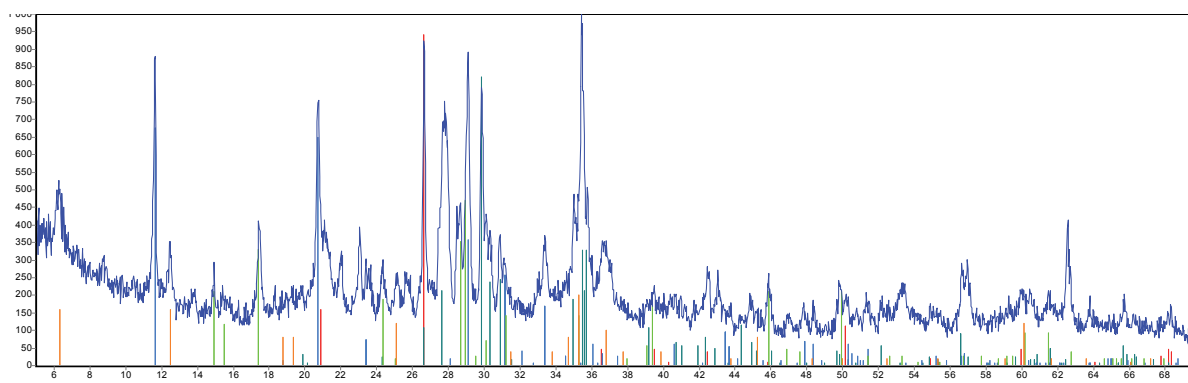


Рис. 3.14. Рентгеновские дифрактограммы образцов ХЦ

Технология производства с использованием ГКС [98—103] позволяет обеспечить высокую интенсивность совместного перемешивания мел-

кодисперсных компонентов смеси, обновление их гидратирующих поверхностей, ведущие к ускорению прохождения твердофазных химических реакций и, как следствие, снижение расхода вяжущего.

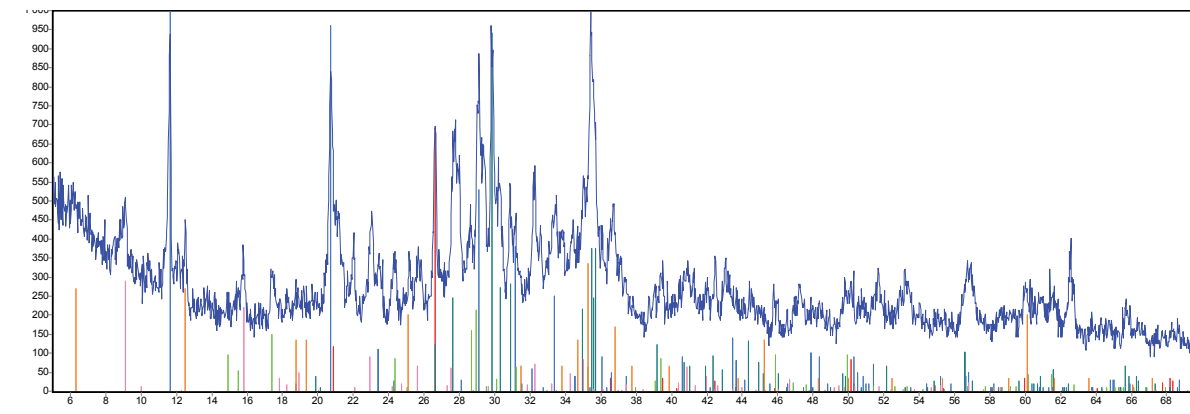


Рис. 3.15. Рентгеновские дифрактограммы образцов АХЦ

В результате ранее проведенных исследований было определено, что образцы закладочных смесей, приготовленные по мельничному способу производства, имеют прочность в среднем на 20 % выше прочности образцов, приготовленных по технологии с применением лопастного смесителя. В то же время образцы закладочных смесей, приготовленные по технологии с применением гидроударно-кавитационного устройства, имеют прочность в среднем на 30 % выше прочности образцов, приготовленных по мельничному способу.

С учетом полученных результатов установлено, что содержание в хвостах обогащения мелкодисперсных фракций класса $-0,015$ мм в составе рецептур закладки обеспечивает проявление их вяжущих свойств и повышение набора прочности твердеющих смесей при их обработке в поле гидроударно-кавитационных импульсов с частотой 5000–6000 имп/с.

Разработанная технология закладки горных выработок литыми твердеющими смесями с использованием полной фракции хвостов обогащения (рис. 3.16) состоит из силосов цемента, пневмопровода, дозаторов цемента, смесителя, емкости воды, водопровода, дозатора воды, бака хвостов обогащения, дозаторов хвостов обогащения, трубопровода хвостов обогащения, бункера измельченного ангидрита, гидроударно-кавитационного устройства, закладочного трубопровода в подземных участках рудника и заполняемых пустот.

Приготовление твердеющей закладочной смеси по разработанной технологии закладки горных выработок осуществляется на поверхностном закладочном комплексе. Хвосты из бака, а ангидрит из бункера дозируются в зависимости от рецептуры питателями, подаются по конвейерам на пред-

варительное смешивание в смеситель. Цемент из силосов через дозаторы поступает в смеситель, где смешивается с хвостами и ангидритом. Вода, поступающая в смеситель, дозируется с помощью задвижки. Предварительно перемешанный раствор твердеющей смеси по трубопроводу поступает в ГКС, где в интенсивных полях гидроудара и кавитации происходит гомогенизация и активация раствора. Из ГКС твердеющая смесь подается в горные выработки по вертикальному трубопроводу, проложенному в стволе шахты или в специально оборудованных скважинах, и затем попадает в горизонтальный закладочный трубопровод.

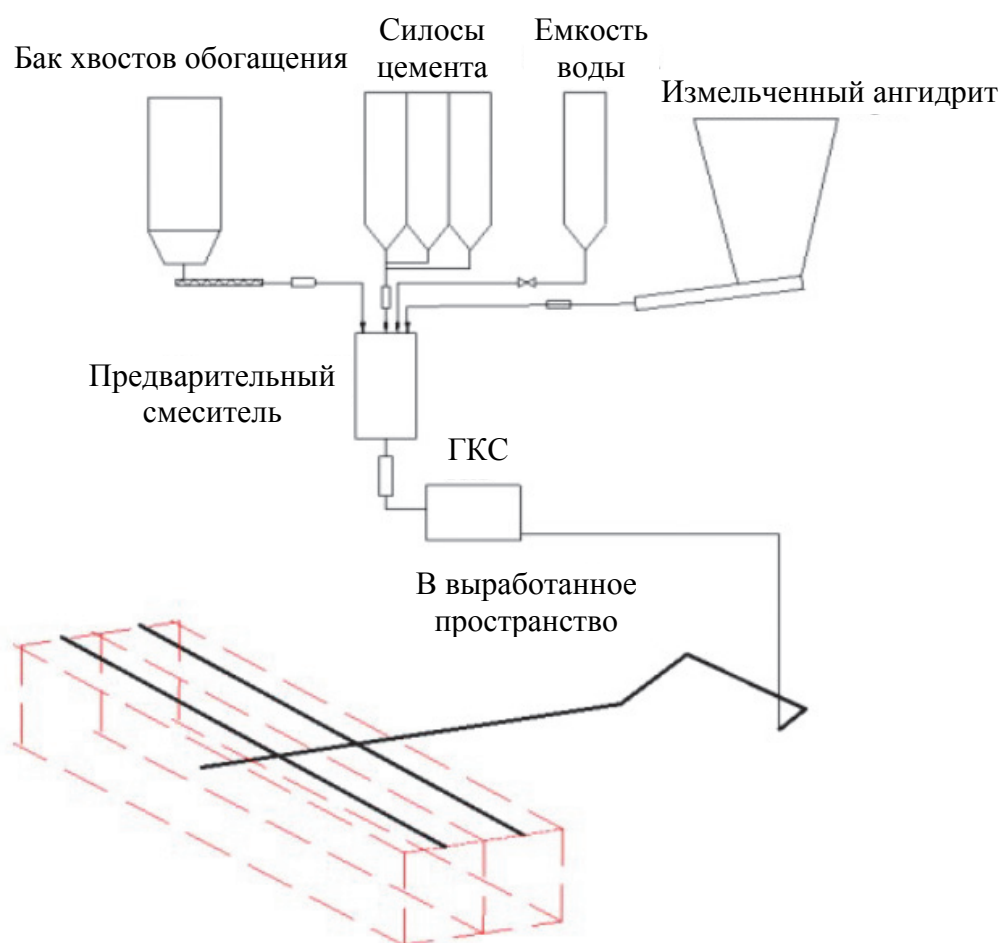


Рис. 3.16. Технологическая схема приготовления закладочной смеси с использованием полной фракции хвостов обогащения с применением ГКС марок ХЦ и АХЦ

Предложенная технология приготовления ЛТС должна обеспечить полную гидратацию вяжущего при его гомогенном распределении в среде мелкодисперсного заполнителя. Твердеющая смесь гомогенизируется и активируется в ГКС за счет разрушения флоккул вяжущего и гидратных пленок на поверхностях частиц цемента с их равномерным распределением между частицами хвостов обогащения.

Таблица 3.4

**Рекомендуемые к проведению опытно-промышленных испытаний
составы ХЦ и АХЦ**

Расход материалов, кг/м ³ (л)			
Ангидрит	Хвосты ТОФ	Цемент	Вода
–	1246	170	500
–	1183	240	500
–	1112	320	500
400	853	170	500
600	657	170	500
400	718	320	500
600	521	320	500

Для подтверждения результатов лабораторных исследований необходимо было провести опытно-промышленные испытания (ОПИ) разработанной технологии в натуральных условиях на поверхностном закладочном комплексе рудника «Комсомольский» ЗФ ПАО ГМК «Норильский никель». Для проведения ОПИ рекомендуются рецептуры составов ХЦ и АХЦ, представленные в табл. 3.4.

3.4. Проведение испытаний разработанной технологии закладки

Существующий поверхностный закладочный комплекс рудника «Комсомольский» расположен на промплощадке Западного закладочного ствола (ЗЗС) и предназначен для ведения закладочных работ.

В настоящее время на руднике «Комсомольский» подобраны и указаны технологической инструкцией ряд групп составов твердеющих смесей,готавливаемых в шаровых мельницах путём совместного измельчения входящих в них компонентов, с перемешиванием всей смеси в цементном растворе.

Выбор состава и марки твердеющей закладки для конкретных горно-технических условий отработки производится в следующей последовательности:

- на основании утвержденного главным инженером рудника проекта и паспорта на закладку выработки устанавливается нормативная прочность;
- по нормативной прочности устанавливается марка закладки и требуемая контрольная прочностная характеристика состава;
- на основании технологических возможностей и наличия материалов начальником ПЗК и сменным надзором выбирается конкретный со-

став закладочной смеси с учетом времени твердения закладки до ее обнажения.

По выбранному составу определяется расход компонентов на 1 м³ приготовления закладочной смеси. Технологические нормы расхода материалов на 1 м³ пустот определяются с учетом дополнительных 5 % расходов на усадку закладочной смеси, компенсацию технологических потерь (промывку оборудования и трубопроводов).

Приготовление закладочных смесей осуществляется с помощью сырьевых или шаровых рудных мельниц. Качество приготовления закладочных смесей зависит от режимов работы мельницы (величины загрузки мельницы мелющими телами (шарами) и производительности мельницы по закладочной смеси). Коэффициент эффективной загрузки мельницы мелющими телами (шарами) должен находиться в пределах от 30 до 40 %.

В целях повышения качества приготовления закладочной смеси рекомендуется при остановке мельниц в междусменные перерывы не производить их промывку, а при возможности подачи в мельницу горячей воды довести температуру закладочной смеси от +25 до +50 °С, что ускорит процесс твердения закладки в шахте.

Приготовление закладочных смесей с помощью мельницы производится в следующей последовательности: включают дозатор цемента и через затворитель цементная пульпа подается в мельницу; производят запуск мельниц; включают ленточные транспортеры подачи материалов в мельницу; устанавливают дозировку материалов на принимаемую производительность мельницы (допускается объемная или весовая дозировка материалов).

Проверяют параметры качества закладочной смеси по лабораторным пробам. Тонкость помола компонентов закладочной смеси должна быть в пределах 50±5 % и определяется по остатку на сите с размером ячеек 0,08 мм. Требуемая тонкость помола достигается в основном при среднем значении производительности сырьевых и рудничных мельниц (максимальная производительность мельниц приводит к недостаточному измельчению материалов, ухудшению подвижности, расслоению смесей и закупорки трубопроводов).

Остановку технологии приготовления закладочных смесей производят в обратной последовательности: прекращают подачу материалов в мельницу; прекращают подачу воды и цемента в репульпатор; останавливают репульпатор; вырабатывают смесь из мельницы; останавливают мельницу. После прекращения подачи закладочной смеси в шахту по команде постоянного в шахте производят промывку закладочных трубопроводов водой или водовоздушной смесью.

Аварийная остановка производится в следующей последовательности: прекращают подачу материалов в мельницу; останавливают мельницы; прекращают подачу воды и цемента в репульпатор; останавливают репульпатор.

При зависании материалов в бункерах (шлак, ангидрит, щебень) более 0,5 ч производят остановку технологии приготовления закладки. Принимают меры к ликвидации зависаний. При зависании материалов в бункерах менее 0,5 ч производят регулировку консистенции смеси до требуемых параметров путем снижения подачи воды в мельницу. При прекращении подачи цемента по каким-либо причинам приготовление закладки останавливают.

Промышленная установка (ПУ) для приготовления низкомарочной закладочной смеси на основе хвостов обогащения ТОФ смонтирована в существующих зданиях и помещениях ПЗК рудника «Комсомольский».

В работе ПУ ПЗК возможны три режима: 1 – ПУ работает; 2 – ПУ не работает (короткий период); 3 – ПУ не работает (длительный период).

Режим 1 – ПУ ПЗК работает.

Предварительно обесшламленные и сгущенные хвосты из сгустителей ТОФ № 17 или № 18 по трубопроводам Ду250 транспортируются двумя последовательно установленными шламовыми насосами 00GNS21/23AP015 и 01GNK00AP013/023/033 с регулируемым приводом на ПЗК. На закладочном комплексе из хвостовой пульпы отбирается требуемое количество твердого и воды для обеспечения требуемой производительности комплекса. Излишки твердого и вода подаются в бак возврата хвостовой пульпы ВЗЗ и двумя последовательно установленными шламовыми насосами 01GNK30AP015/025 и 01GNK40AP015/025 возвращаются на ТОФ в распределительную коробку сгустителей № 10 и № 12.

Режим 2 – ПУ ПЗК не работает (короткий период).

При непродолжительных простоях закладочного комплекса для исключения осаждения твердого и замерзания пульпы в трубопроводах продолжается циркуляция по трубопроводам ТОФ-ПЗК-ТОФ. При этом прекращается подача пульпы в сгустители ТОФ № 17 или № 18 и производится переключение потока возврата в них. В условиях низких температур при опускании температуры пульпы ниже критической предусмотрен впрыск горячей воды в коллектор всаса насосов ТОФ. При длительных простоях производится замена пульпы на технологическую воду.

Режим 3 – ПУ ПЗК не работает (длительный период).

При остановке закладочного комплекса на длительный период сгустители ТОФ № 17 и № 18 опорожняются, в зимний период пульпа в трубопроводах постепенно заменяется на осветленную воду и осуществляется ее циркуляция без разрыва потока или через один из сгустителей. В условиях низких температур предусмотрена открытая циркуляция технологи-

ческой воды. В сгуститель или коллектор всаса насосов подается технологическая вода и транспортируется в бак ВЗ3. Далее спаренными насосами возвращается на ТОФ и сбрасывается в сборный желоб подачи на хвостохранилище. При опускании температуры среды ниже критической производится впрыск горячей воды в коллектор всаса насосов ТОФ. В летний период производится опорожнение и промывка трубопроводов.

Количественная технологическая схема ПУ приведена на рис. 3.17.

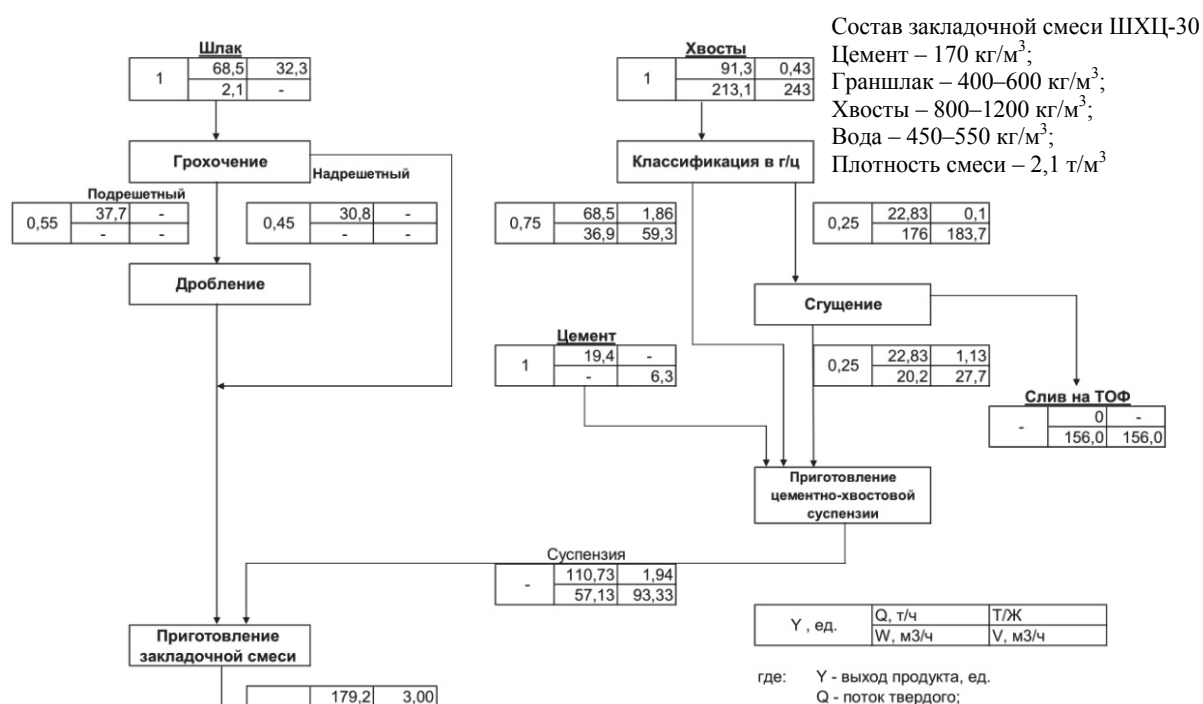


Рис. 3.17. Количественная технологическая схема ПУ ПЗК рудника «Комсомольский»

Схема рассчитана на приготовление низкомарочной закладочной смеси в объеме 750 тыс. м³/год при содержании твердого 30 % в пульпе хвостов, поступающих с ТОФ.

Схема цепи аппаратов ПУ приведена на рис. 3.18.

Схема приготовления закладочных смесей предусматривает:

- прием гранулированного шлака в траншею склада сырья, подачу шлака бульдозером в приемный бункер № 4;
- подачу шлака вибрационным питателем типа FUF 120/200×5250 и транспортировку по конвейеру № 3 в дробильное отделение;
- грохочение шлака виброгрохотом типа MEVIBNSO-II-1.2/3.0 по фракциям –3/3 –10/+10, измельчение шлака валковой дробилкой типа WBP 5/12 и транспортировка по конвейеру № 7 в ПСО;
- прием пульпы хвостов с ТОФ в емкости ВЗ1 с перемешивающими устройствами, откуда пульпа насосами типа WARMAN 8/6 АНЕ подается на батареи гидроциклонов типа 250 CVX 10;

- сгущение пульпы хвостов первой стадии в батарее гидроциклонов и аккумулярование в емкости ВЗ2 с перемешивающими устройствами;
- подачу цемента из расходных силосов шнековым дозатором типа D-W-RFS-520 на сборный конвейер В = 800 и далее в барабанный смеситель типа MDC 500;
- подачу сгущенных хвостов из емкости ВЗ2 насосами типа WAR-MAN 4/3 в барабанный смеситель типа MDC 500;
- приготовление закладочной смеси в барабанном смесителе, из которого закладочная смесь через распределительный бак с контролируемой плотностью и расходом направляется в закладочные скважины.

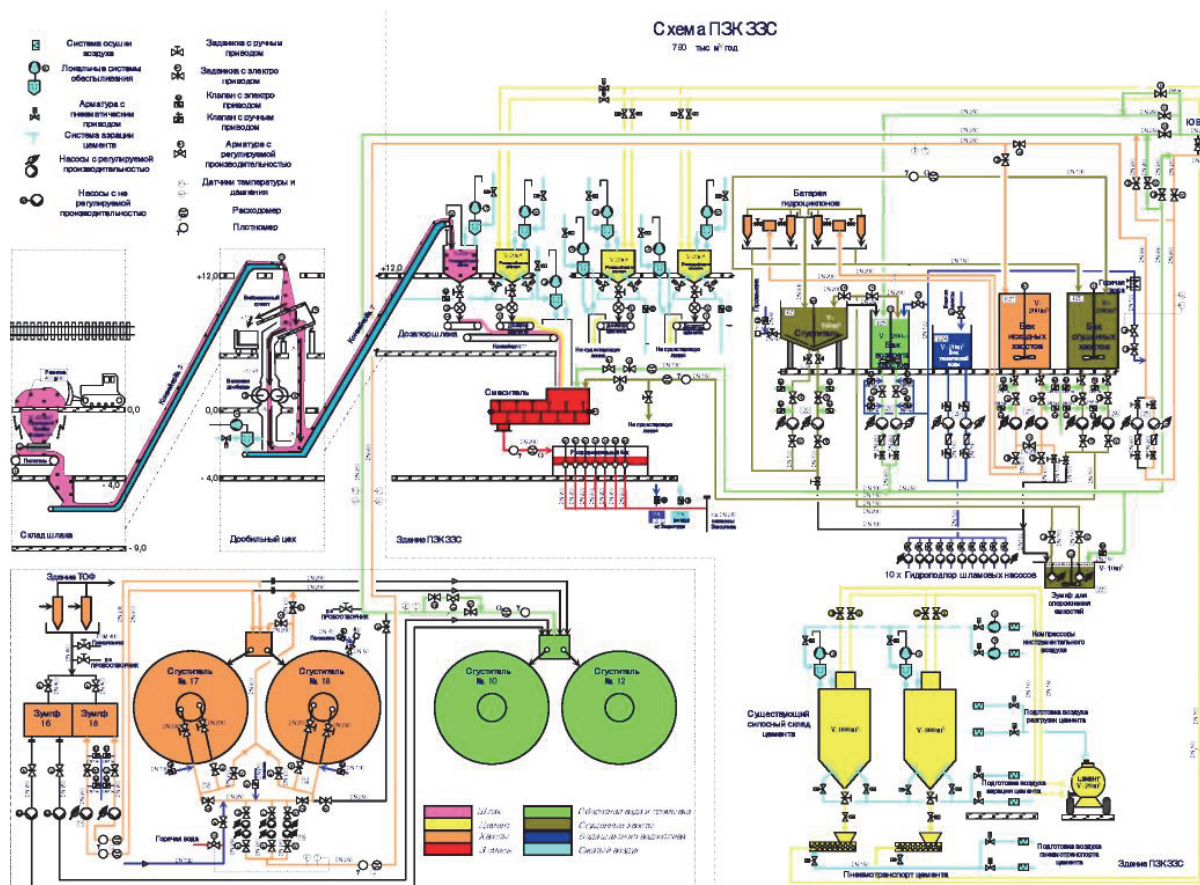


Рис. 3.18. Схема цепи аппаратов ПУ ПЗК рудника «Комсомольский»

Схема предусматривает подачу пульпы сгущенных хвостов в сырьевые мельницы МС 4×3,5 м для приготовления закладочных смесей на основе хвостов обогащения ТОФ мельничным способом.

Для организации отдельного тракта подачи гранулированного шлака на ПУ установлены 2 конвейера (конвейер ленточный желобчатый № 3, 01ETD30 AF020, В = 800 мм, L = 150 м, производительность 50–150 т/ч; конвейер ленточный желобчатый № 7, 01ETD30 AF030, В = 800 мм, L = 157 м, производительность 50–150 т/ч).

Для подачи гранулированного шлака в барабанный смеситель установлен конвейер ленточный желобчатый №11 01ETD30 AF040, $B = 800$ мм, $L = 12$ м. На тракте подачи гранулированного шлака на ПУ установлен вибрационный питатель типа FUF120/200; электромеханический весовой ленточный дозатор типа E-DBW-A-1000/3000 с системой управления на базе контроллера SIMATIC и пультом управления.

Грохочение гранулированного шлака выполняется на виброгрохоте типа MEVIBNSO-II-1.2/3.0 с размерами сита 1200×3000 мм. После грохочения класс шлака +10 мм отсеивается.

Дроблению подвергается шлак более 3 мм и менее 10 мм. Выход шлака после грохочения составит ~55 %.

На ПУ поступает расчетный поток пульпы хвостов с содержанием твердого 30 % в количестве от 243 до 278 м³/ч.

Максимально расчетный поток пульпы хвостов на сгущение в гидроциклоны до 400 м³/ч. Гидроциклоны скомпонованы в 2 батареи по 6 шт. каждая. Типоразмер гидроциклонов 250CVX10 производительностью от 50 до 80 м³/ч каждый. Для сгущения сливов гидроциклонов на ПУ установлен аппарат досгущения: высокоскоростной сгуститель диаметром 6000 мм.

Подача цемента предусмотрена из приемных силосов шлюзовыми затворами типа ZKC 480.1-66-GC производительностью 50 т/ч и из расходных силосов, питателями шнековыми типа D-RFS-520 и дозаторами шнековыми весовыми типа D-W-RFS-520 с системой управления на базе контроллера SIMATIC и пультом управления производительностью до 50 т/ч.

Для приема пульпы хвостов и сливов установлены емкости с перемешивающими устройствами. Для подачи пульпы хвостов на гидроциклоны и откачки сливов на ТОФ установлены шламовые насосы типа WAR-MAN 8/6 АНЕ.

Для подачи пульпы хвостов на гидроциклоны установлены 3 насоса для работы в двух режимах: 1 рабочий, 2 резервных или 2 рабочих, 1 резервный при повышенной производительности ПУ. Для откачки слива на ТОФ установлены 2 насоса (1 рабочий, 1 резервный).

Технологический контроль качества приготовления закладочных смесей осуществляется путем проверки дозировки компонентов закладочной смеси и определения физико-механических характеристик.

Проверка соответствия дозировки компонентов смеси рецептуре состава производится один раз в смену, после каждой остановки при смене состава смеси.

Определение физико-механических характеристик осуществляется путем проведения лабораторных испытаний и включает: определение тонкости помола материалов закладочной смеси; определение объемного веса

закладочной смеси; определение влажности, количества воды и твердого в мм³ закладочной смеси; определение прочности закладки на образцах-кубах.

Тонкость помола материала из мельницы определяется по ГОСТ 310.2–76 один раз в смену. Определение объемного веса закладочной смеси осуществляется по ГОСТ 10181–2014 два раза в смену, а также при переходе на другой состав смеси. Определение влажности, количества воды и твердого в 1 м³ закладочной смеси выполняется по ГОСТ 5802–86 два раза в смену, а также при переходе на другой состав смеси. Определение прочности на образцах-кубах осуществляется для каждой партии закладочной смеси по ГОСТ 5802–86.

Закладочную смесь транспортируют в выработанное пространство по закладочным трубопроводам. Закладочные трубопроводы разделяются на магистральные (проложенные по основным выработкам) и участковые (проложенные по вспомогательным выработкам). Укладка магистральных трубопроводов и их оборудование осуществляются по проекту, а участковых – по схемам и паспортам, утвержденным главным инженером рудника.

Трассы магистральных трубопроводов оборудуются приборами контроля давления, устройствами аварийного сброса закладочной смеси и воды, телефонной связью с оператором закладочного комплекса и диспетчером рудника. При необходимости трассы магистральных трубопроводов могут снабжаться пневматическими устройствами переключения бетонопроводов. Соединение труб выполняется сварным или фланцевым. Параллельно закладочным магистральным трубопроводам укладывают трубопроводы сжатого воздуха и воды. Закладочная смесь подается в трубопровод непрерывно и равномерно.

Режим работы трубопроводного транспорта может быть самотечным или самотечно-пневматическим. При самотечном режиме трубопроводного транспорта закладочная смесь транспортируется под действием статического напора, создаваемого весом смеси в вертикальном стае. При самотечно-пневматическом режиме работы трубопроводного транспорта закладочная смесь транспортируется под действием статического напора на самотечном участке и с помощью сжатого воздуха на участке пневмотранспорта. Давление закладочной смеси под коленом вертикального става зависит от диаметра трубопровода, производительности закладочного комплекса и может достигать 130 атмосфер. Давление закладочной смеси в районе рабочих пневмоврезок закладочного трубопровода должно быть не более 0,8 от давления в магистрали сжатого воздуха.

Подача закладочных смесей из сети магистральных и участковых трубопроводов может осуществляться через закладочные скважины, специально пробуренные из выработок вентиляционно-закладочного горизонта;

через вентиляционные восстающие, скаты, лотки, траншеи или через специальные сбойки пустот с поэтажными выработками.

Количество скважин и оборудование мест подачи закладки выбирается с учетом обеспечения максимальной полноты заполнения выработанного пространства. При закладке полностью изолированных пустот для отвода вытесняемого воздуха из пустоты используются скважины и трубы. По окончании закладки выработки оформляется акт и утверждается главным инженером рудника.

Сохранность действующих горных выработок от попадания в них закладки осуществляется с помощью закладочных перемычек (ЗП). Каждая ЗП должна быть оборудована фильтрующим элементом для отвода дренируемой воды из массива закладки. Заполнение выработанного пространства в районе ЗП должно осуществляться под контролем наблюдательного поста.

ЗП подразделяются на два основных типа: глухие – перекрывающие полное сечение горной выработки; открытые – возводимые на определенную высоту, не перекрывая по высоте всего сечения горной выработки.

Предусмотрены параметры конструкции ЗП из лесоматериалов с элементами из полимерных материалов, из бетона и железобетона; комбинированной конструкции – по высоте до 6,0 м и по длине до 12,0 м; насыпной ЗП (предохранительный вал) – по высоте до 2,5 м и по длине до 12,0 м.

Для контроля за уровнем и подачей закладочной смеси устраивают смотровое окно в ЗП, для доступа к нему ЗП оборудуют лестницей.

Обшивка досками производится после установки и закрепления расстрелов, стоек и распорок ЗП. Допускается производить облицовку досками и изоляцию запоров по мере повышения уровня ЗС при условии постоянного превышения не менее 0,4–0,5 м выше планируемого за смену уровня подливки.

Первоначальная загрузка перемычек ЗС с подсыпкой перемычки горной массой не должна превышать 1,5 м от почвы горной выработки по высоте. Дальнейшая загрузка перемычек всех типов и вариантов производится порциями в объеме, не превышающем повышения уровня ЗС более 0,5 м по высоте.

Края неламинированной пленки (или бывшего в употреблении вентиляционного рукава) по всему периметру ЗП из лесоматериалов заводятся на кровлю, бока и почву горной выработки до 1000 мм и крепятся распорками; насыпной (из горной массы) – на бока и почву горной выработки на 1000 мм и прижимаются к почве кусками горной массы, к бокам распорками; комбинированной – по всему периметру на насыпную часть, кровлю, бока и почву горной выработки на 1000 мм и крепятся распорками и кусками горной массы.

При монтаже неламинированной пленки (или бывшего в употреблении вентиляционного рукава) на насыпную закладочную переемычку высотой более 1,5 м используется деревянная лестница, закрепленная к одному из боков горной выработки не менее чем в двух точках стальной проволокой.

Замеряется, отпиливается и укладывается первый нижний расстрел (рис. 3.19, поз. 2), затем первая боковая стойка (рис. 3.19, поз. 1) из круглого леса раскрепляется двумя обрезными досками с помощью гвоздей таким образом, чтоб обеспечить устойчивость стойке. Далее замеряется, отпиливается и устанавливается вторая боковая стойка (рис. 3.19, поз. 3) из круглого леса, раскрепляется двумя обрезными досками с помощью гвоздей таким образом, чтобы обеспечить устойчивость стойке.

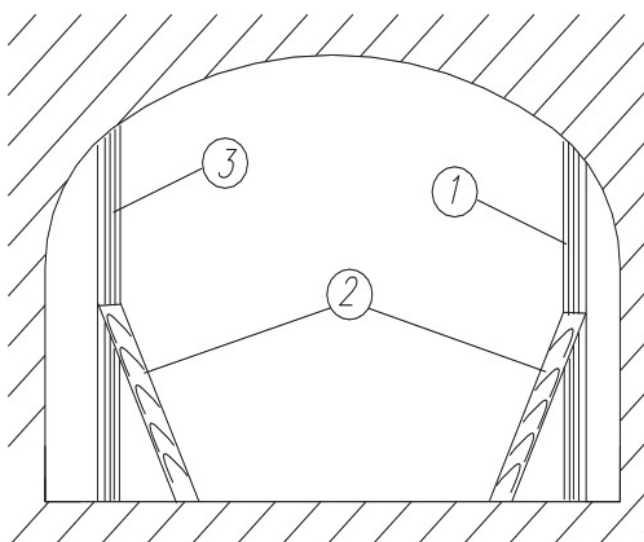


Рис. 3.19. Схема установки расстрелов закладочной переемычки

К боковым стойкам гвоздями прибиваются две направляющие из обрезной доски. Замеряются, отпиливаются и устанавливаются остальные стойки из круглого леса (рис. 3.20, поз. 5); раскрепляя каждую двумя обрезными досками (рис. 3.20, поз. 2) внутри и снаружи ЗП с помощью гвоздей.

Снаружи переемычки нижний расстрел (рис. 3.21, поз. 6) крепится при помощи расщепленной обрезной доски (рис. 3.21, поз. 7) вплотную к стойкам.

С внутренней стороны по бокам ЗП зашивается обрезной доской на высоту 1,5–2,0 м от почвы. При необходимости для плотного прилегания к контуру горной выработки производится герметизация торцевой части ЗП с помощью обрезной доски (рис. 3.22, поз. 10 и 3.23).

На рис. 3.23 представлен вариант герметизации закладочной переемычки по всему ее периметру, применяемый на всех видах переемычек.

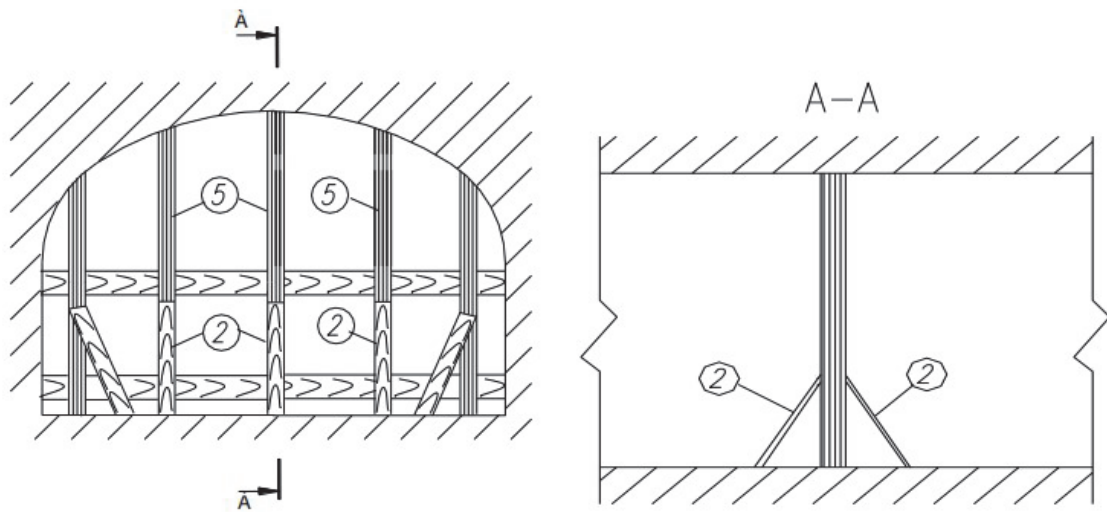


Рис. 3.20. Схема установки направляющих закладочной перемычки

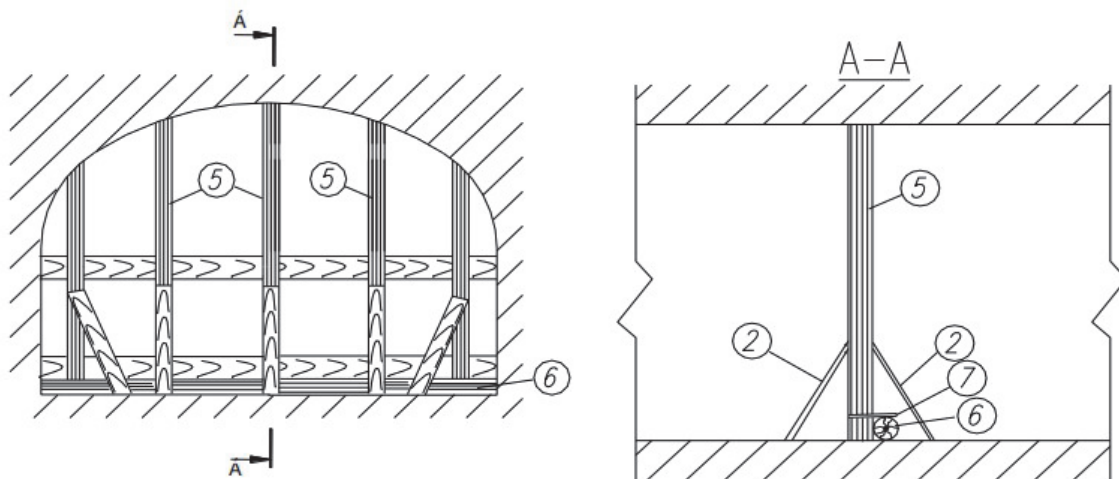


Рис. 3.21 . Схема крепления доски ЗП

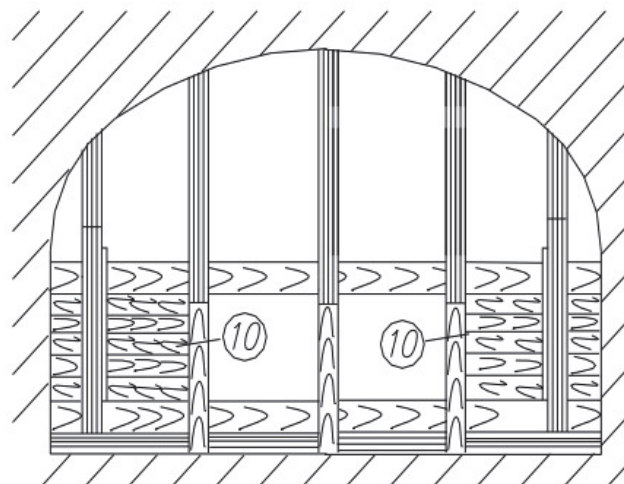


Рис. 3.22. Схема герметизации торцевой части закладочной перемычки

Далее с внутренней стороны ЗП подшивается сварной металлической решёткой (рис. 3.24, поз. 11); начиная с центральной части с поочередным креплением к стойкам при помощи гвоздей (рис. 3.24). Для перемещения между внутренней и внешней сторонами ЗП устанавливаются заранее сколоченные деревянные лестницы (рис. 3.26, поз. 15); устанавливаемые под углом наклона не более 75° (рис. 3.26). Работы и перемещение на высоте 1,3 м и более производятся с применением средств защиты от падения с высоты.

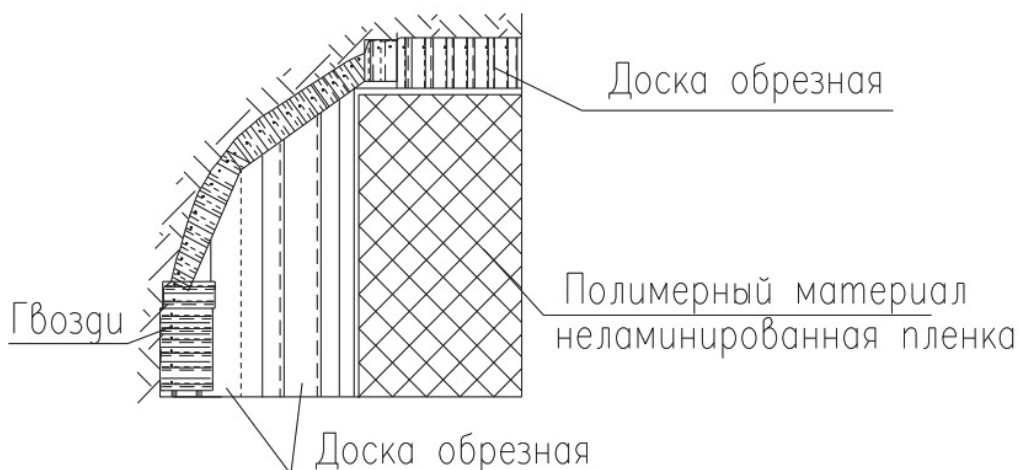


Рис. 3.23. Конструкция герметизации торцевой части закладной перемычки

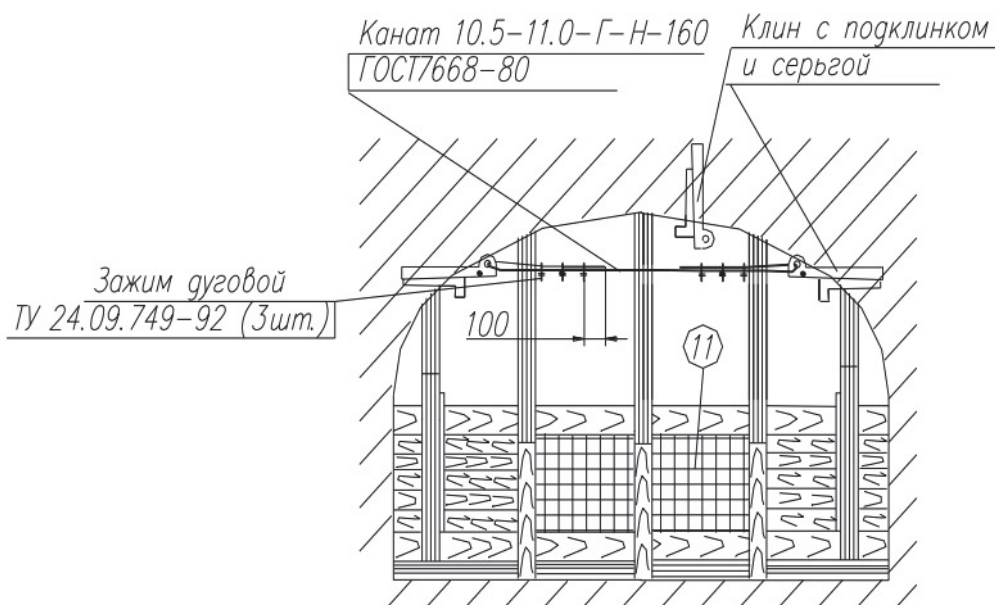


Рис. 3.24. Схема установки систем безопасности

Установка систем безопасности для работ на высоте производится в заранее забуренные шпury с применением вспомогательного самоходного оборудования – подъемной площадки 11 (рис. 3.24).

Поверх сварной металлической решетки внутренняя сторона ЗП подшивается неламинированной пленкой (рис. 3.25, поз. 12) с нахлестом на почву и бока горной выработки с поочередным креплением к стойкам гвоздями. По почве неламинированная пленка прижимается кусками горной массы (рис. 3.25, поз. 13); по бокам она прижимается расщепленной обрезной доской (рис. 3.25, поз. 7) (рис. 3.25).

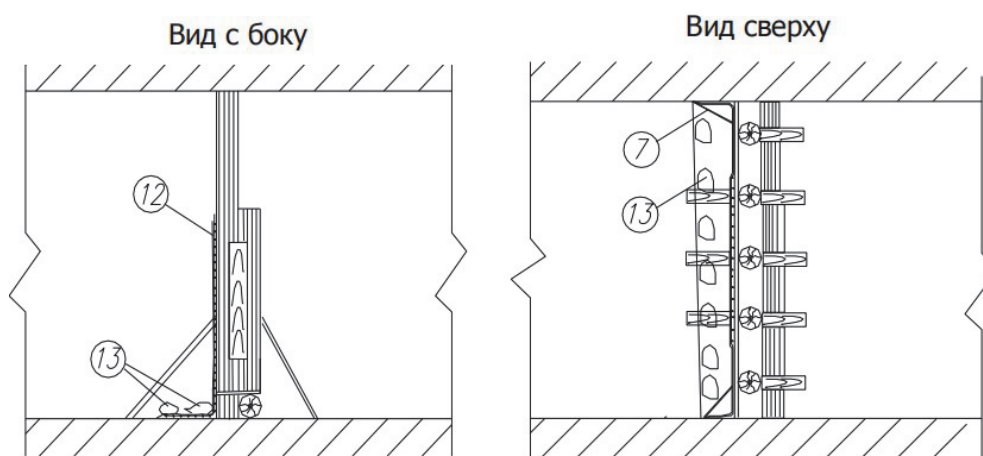


Рис. 3.25. Схема установки неламинированной пленки

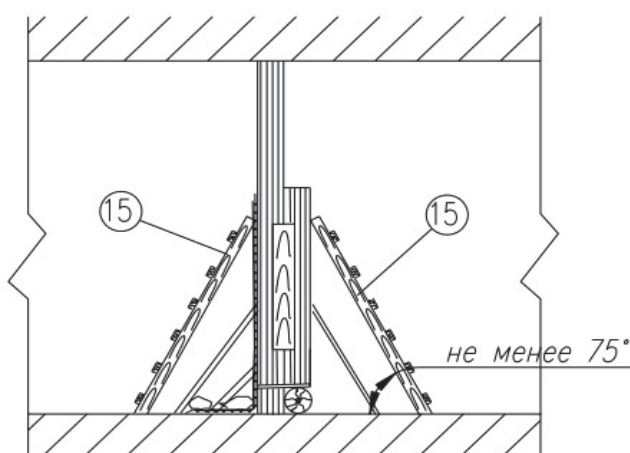


Рис. 3.26. Схема установки лестниц

На рис. 3.27 представлена общая конструкция глухой ЗП из пиломатериала, полимерных материалов (неламинированной пленки) и сварной металлической решетки (вариант без подсыпки перемычки горной массой).

Крепление расстрелов перемычки производят распорками (укосинами) длиной более 4,0 м – из круглого леса, при длине до 4,0 м – из бруса. Распорки (укосины) устанавливаются в естественные выступы почвы, в бортах и кровле выработки или подготовленные приямки. При необходимости распорки (укосины) распираются с обоих торцов клиньями из обрезной доски. Угол наклона распорок (укосин) не должен превышать 45°.

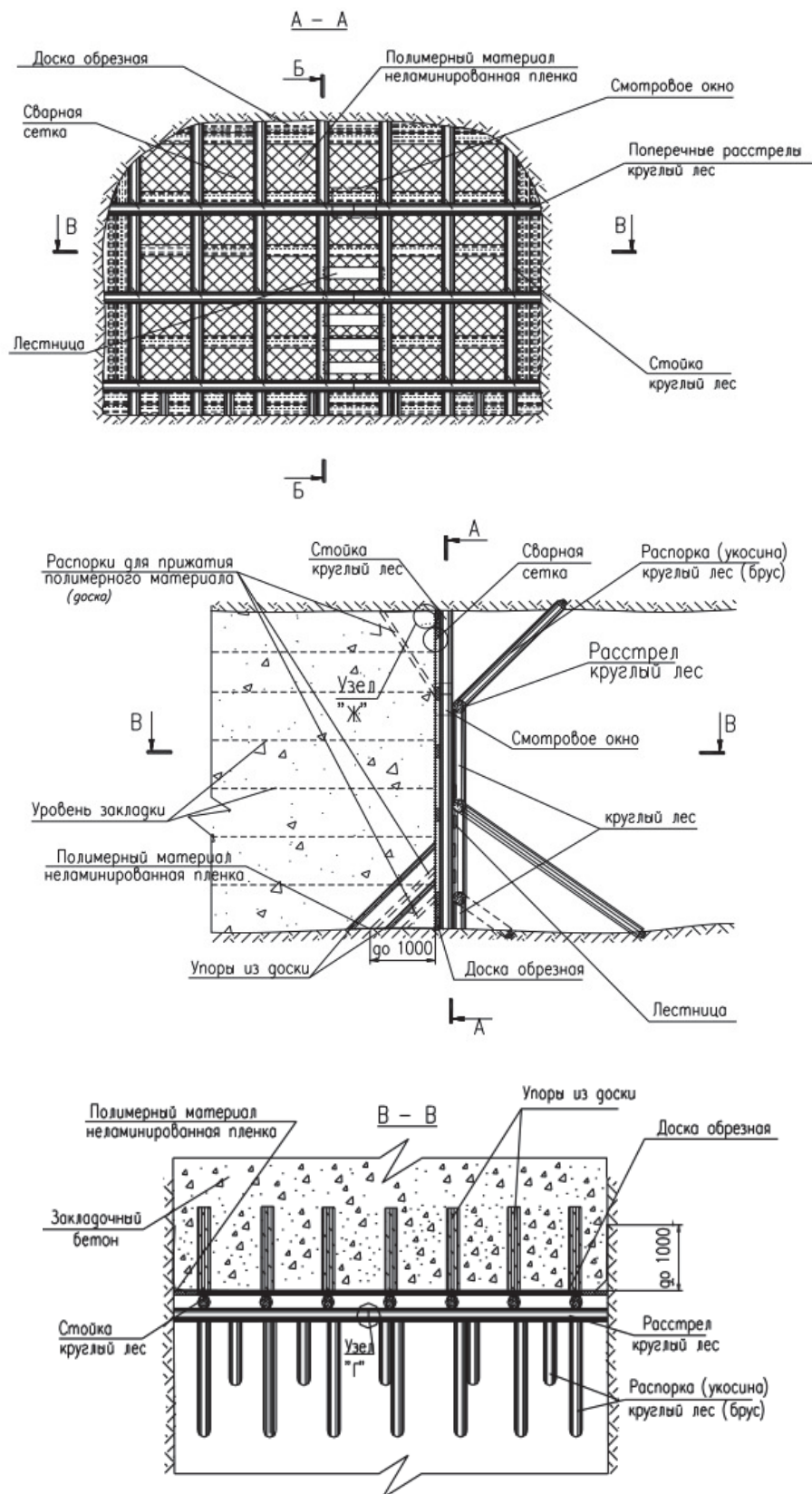


Рис. 3.27. Конструкция глухой ЗП с элементами из полимерных материалов (неламинированной пленки) и сварной металлической решетки (вариант без подсыпки перемычки горной массой)

С целью предупреждения попадания закладочной смеси в действующие горные выработки с внешней стороны ЗП на расстоянии 3–5 м отсыпается предохранительный вал из горной массы, после чего герметизируется полиэтиленовой пленкой или бывшим в употреблении вентиляционным рукавом. Допускается подливка закладочной смеси в пространство между возведенной перемычкой и предохранительным валом только для повышения устойчивости и надежности ЗП (рис. 3.28).

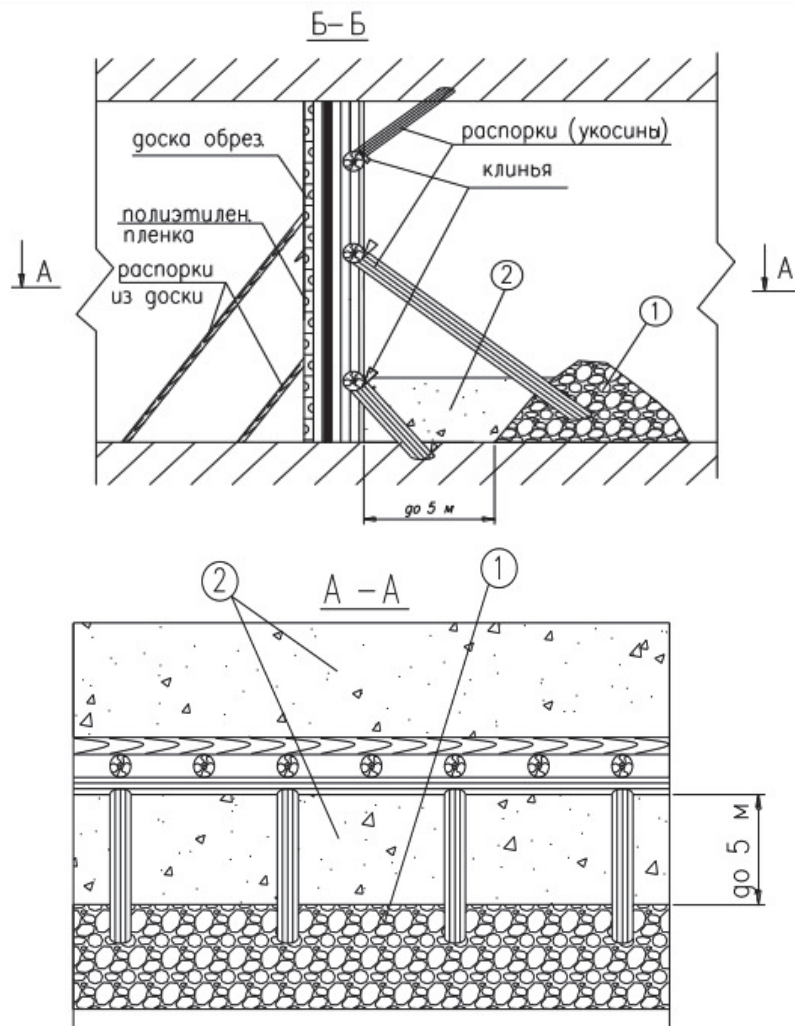


Рис. 3.28. Конструкция глухой ЗП: 1 – вал горной массы (предохранительный вал); 2 – закладочная смесь

Для закладки пустот, образованных при камерных системах разработки со сплошным порядком выемки K_2 (рис. 3.29) с временным оставлением запасов руды в днище камеры, назначение марки закладки в объеме пространства V_1 производится в соответствии с требованиями нормативной прочности для проектируемых параметров B и h с учетом продолжительности периода твердения до начала работ по выемке запасов днища.

Для остальной части объема камеры марка закладки назначается с учетом времени набора прочности до требуемых значений при обнажении закладочного массива по высоте смежной камерой K_3 .

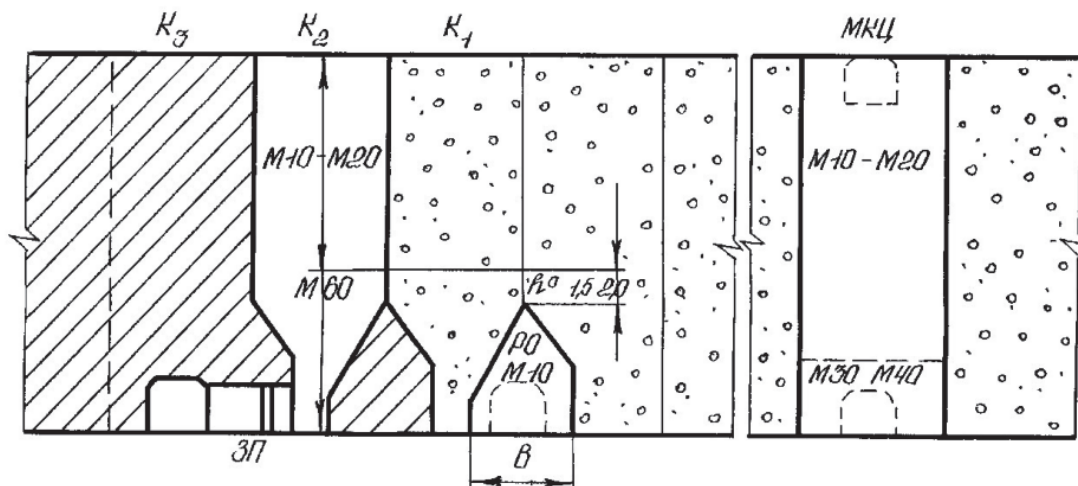


Рис. 3.29. Определение объемов разнопрочной закладки на примере отработки запасов руды сплошной камерной (K_1 – K_3) и камерно-целиковой схемам очистной выемки (РО – рудный откос)

Для погашения пустот, образованных при выемке запасов руды в днище камер (рис. 3.29) марка закладки назначается с учетом сроков до начала отработки панельных целиков и параметров очистных забоев.

При закладке пустот, образованных отработкой участков залежей по камерно-целиковой схеме с плоским днищем, нижнюю часть выработанного пространства междукамерных целиков (МКЦ) вторичных камер на рис. 3.29 до уровня выше перемычек на расстоянии от 1,5 до 2,0 м закладывать смесями, обладающими прочностью не менее 0,5 МПа к моменту демонтажа перемычек. Остальное пространство МКЦ закладывается смесями с маркой прочности, учитывающей период твердения закладки до начала выемки панельных целиков с проектными параметрами.

Пустоты, не соприкасающиеся с рудными массивами и не подлежащие впоследствии вскрытию или обнажению, разрешается закладывать бесцементными смесями. Обязательным условием применения бесцементных смесей является наличие дренажной системы для обезвоживания закладки.

На рис. 3.29 показана примерная (типовая) схема определения объемов разнопрочной закладки для пустот, образуемых при сплошном камерном и камерно-целиковом порядках выемки руды.

При закладке пустот, образуемых отбойкой руды в лентах слоями в восходящем порядке с оставлением технологического пространства, поверхность закладываемого слоя формируют из смесей, обеспечивающих

набор прочности не менее 2,0 МПа к моменту возобновления работы самоходного оборудования. Объем смеси для создания упрочненной поверхности слоя определяют исходя из площади закладываемого слоя и толщины покрытия, принимаемой не менее 0,6 м.

Нижнюю (основную) часть слоя закладывают смесью с марочной прочностью, обеспечивающей достижение нормативных требований к реальным срокам обнажения со стороны смежной ленты.

На рис. 3.29 представлена типовая схема формирования массива из разнопрочной закладки на примере отработки лент слоями в восходящем порядке с параметрами по высоте обнажения не более 10 м.

При транспортировке закладочных смесей литой консистенции (с избыточным содержанием воды) основным требованием к технологии формирования массивов искусственной кровли является обеспечение монолитности в несущем слое. Монолитность несущего слоя может быть достигнута ограничением площадочных размеров закладываемого пространства (секционная закладка) из расчета формирования массива за один прием на требуемую высоту; включением в конструкцию кровли вертикальных армирующих элементов на высоту несущего слоя.

Обязательным конструктивным элементом искусственной кровли, обнажаемой взрывными работами, является наличие предохранительной подсыпки не менее 0,3 м из рудной мелочи между нижележащим рудным массивом и закладкой. При поэтапном возведении массивов искусственной кровли путем последовательной проходки и закладки выработок защитного перекрытия (в присечку друг к другу) стыковка нижних частей массивов закладки в пределах одного нижележащего слоя должна осуществляться на одном уровне по всей ширине и длине пролета нижележащей выработки.

Выдерживание уровней нижних отметок смежных массивов закладки, обнажаемых в последующем одним очистным забоем, может быть достигнуто соответствующей планировкой рудной мелочи по высотным отметкам, задаваемым маркшейдерской службой рудника (рис. 3.30, поз. А).

При закладке пустот, образуемых слоями сверху вниз, допускается применение разнопрочной закладки для заполнения пространства выше уровня высотных отметок несущего слоя по всей длине ленты (рис. 3.30, поз. Б). Высота несущего слоя для выработок, которые в последующем будут служить кровлей очистного пространства, должна быть не менее 1,8 м. Высота несущего слоя для выработок, которые в последующем будут служить почвой очистного пространства, должна быть не менее 0,6 м.

Погашение пустот по окончании отработки последнего слоя, не подлежащего в последующем обнажению снизу, следует производить смесями с марочной прочностью, достигающей нормативных требований к моменту обнажения данного слоя сбоку (рис. 3.30, поз. В).

Допускается оставлять недозаложенные пустоты в кровле выработанного пространства (куполах, неровностях), размеры которых не превышают 10 % закладываемой площади, при этом линейные размеры недозаложенных пустот не должны превышать по высоте – 1 м, по ширине – исходить из того, чтобы общий пролет пустоты и вскрывающей выработки не превышал установленной (допустимой) ширины очистной выработки для данных условий отработки месторождения (участка). В случаях когда недозаложенные пустоты остаются невскрываемыми, их площадь не должна превышать 24 м².

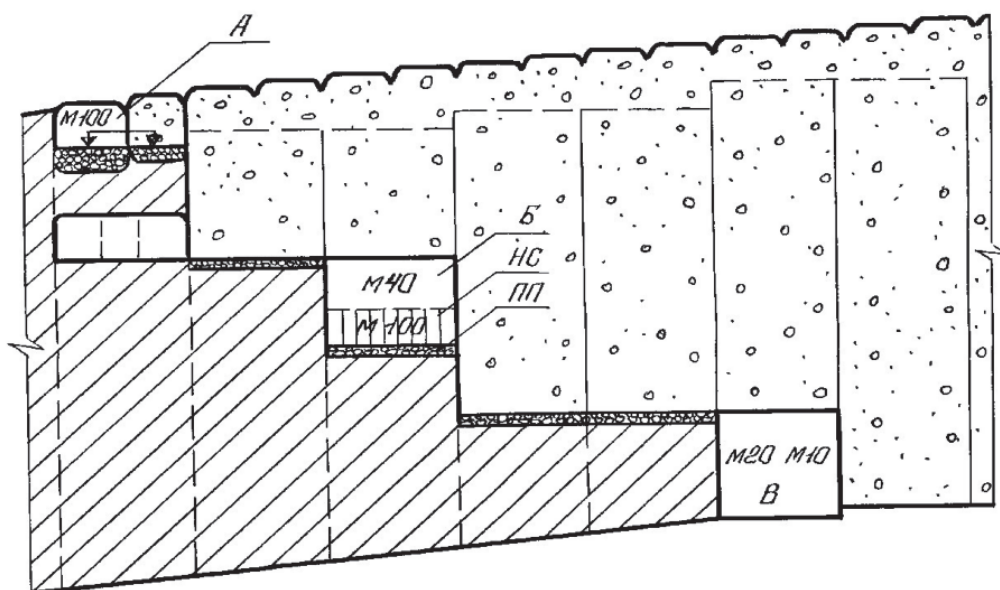


Рис. 3.30. Формирование закладочного массива при нисходящем порядке выемки: А – секционное возведение искусственной кровли в выработках защитного перекрытия; Б – закладка основных слоев; В – погашение пустот последнего слоя в ленте; НС – несущий слой; ПП – предохранительная подсыпка

В качестве критериев оценки устойчивого состояния закладочного массива, обнажаемого в боку или кровле выработки либо очистном пространстве, принимается расчетно-фактическая или фактическая прочность закладки, которая должна быть не ниже нормативной, установленной в зависимости от горнотехнической ситуации.

На основании прочности закладки, полученной по результатам испытаний на образцах-кубах, определяется расчетно-фактическая прочность закладки, которая применяется при проектировании горных работ.

Для закладочных массивов очистного пространства камер расчетно-фактическая прочность закладки (в бортах камер) должна соответствовать нормативной или быть больше.

Цель опытно-промышленных испытаний (ОПИ) – выявление рациональных рецептов рекомендуемых составов ХЦ и АХЦ по прочности, расхода воды, гранулометрического и количественного соотношения между ангидритом, породными хвостами и цементом при обеспечении условий транспортирования твердеющей смеси до места заполнения пустот.

Исследования проводились на руднике «Комсомольский» на составах ХЦ и АХЦ, весовое содержание входящих компонентов каждого из составов приведено в табл. 3.5.

Таблица 3.5

Рекомендуемые к проведению промышленных испытаний составы ХЦ и АХЦ

Расход материалов, кг/м ³ (л)			
Ангидрит	Хвосты ТОФ	Цемент	Вода
–	1246	170	500
–	1183	240	500
–	1112	320	500
400	853	170	500
600	657	170	500
400	718	320	500
600	521	320	500

Гранулометрический состав ангидрита представлен классом крупности (–100+0).

Цемент подаётся раствором в виде цементного молочка.

Подача хвостов осуществляется через сгуститель дозатором.

Подготовка и подача материала осуществляется по имеющимся технологическим цепочкам приготовления смеси на ПЗК рудника «Комсомольский». Весовое соотношение компонентов смесей устанавливается и поддерживается во время работы питателями и дозаторами, имеющимися в технологических линиях ПЗК. Регулирование плотности пульпы осуществляется подачей воды. Контроль ведется по показанию расходомера.

Управление крупностью загружаемого материала производится во время его подачи в мельницу через дозаторы после додрабливания в молотковой дробилке. Крупность ангидрита регулируется установкой выпускной щели молотковой дробилки. Ангидрит дробится в процессе постановки эксперимента до класса –100 мм (добавочно –60 мм и –40 мм).

Контроль прочности образцов приготовленной смеси, её текучести, тонкости измельчения, температуры и влажности проводится согласно технологической инструкции по производству закладочных работ на ЗФ ПАО ГМК «Норильский никель» в лаборатории ПЗК.

Закладываемые пустоты для исследования создаваемого искусственного массива на основе рекомендуемых твердеющих смесей составов ХЦ и АХЦ подготавливают сотрудники закладочного комплекса рудника «Комсомольский».

Подготовку, проведение и научное сопровождение натуральных испытаний осуществляют сотрудники ИГДГГ СФУ, ЦГБ и комплекса закладки рудника.

ОПИ проводились в соответствии с программой-методикой их проведения. Программа-методика включала в себя постановку задачи исследования, цель испытания, условия исследования, план эксперимента.

После согласования с ЗФ ПАО ГМК «Норильский никель» к проведению ОПИ приняты 2 состава АХЦ, расход ангидрита, хвостов ТОФ, цемента и воды которых приведен в табл. 3.6.

Таблица 3.6

Испытанные на стадии ОПИ составы АХЦ

Расход материалов, кг/м ³ (л)				$\gamma_{\text{ТВ смеси, Т/м}^3}$
Ангидрит	Хвосты ТОФ	Цемент	Вода	
400	853	170	500	1,92
600	657	170	500	1,93

Исследования проводились на руднике «Комсомольский» на шаровой мельнице, трубной двухкамерной с внутренней перегородкой (рис. 3.31, 3.32).

Гранулометрический состав загружаемого в мельницу ангидрита (-100+0).

Согласно требованиям РТПП сотрудниками ПЗК рудника «Комсомольский» было изготовлено необходимое количество образцов исследуемых составов АХЦ для испытаний в контрольные сроки (3, 7, 28, 90 и 180 сут). Подготовка и хранение образцов осуществлялись на ПЗК рудника «Комсомольский». Испытания образцов закладки в контрольные сроки проводились в лаборатории ЦГБ.

Для обработки, сравнения и анализа результатов лабораторных исследований сотрудниками ЦГБ передавались результаты испытаний образцов закладки, полученные при проведении ОПИ в контрольные сроки. Результаты испытаний составов АХЦ представлены в табл. 3.7. Кинетика твердения отображена на рис. 3.33.

По результатам ОПИ было определено, что образцы закладочных смесей, приготовленные по технологии с применением гидроударно-кавитационного смесителя, имеют прочность в среднем на 30 % выше прочности образцов, приготовленных по мельничному способу.

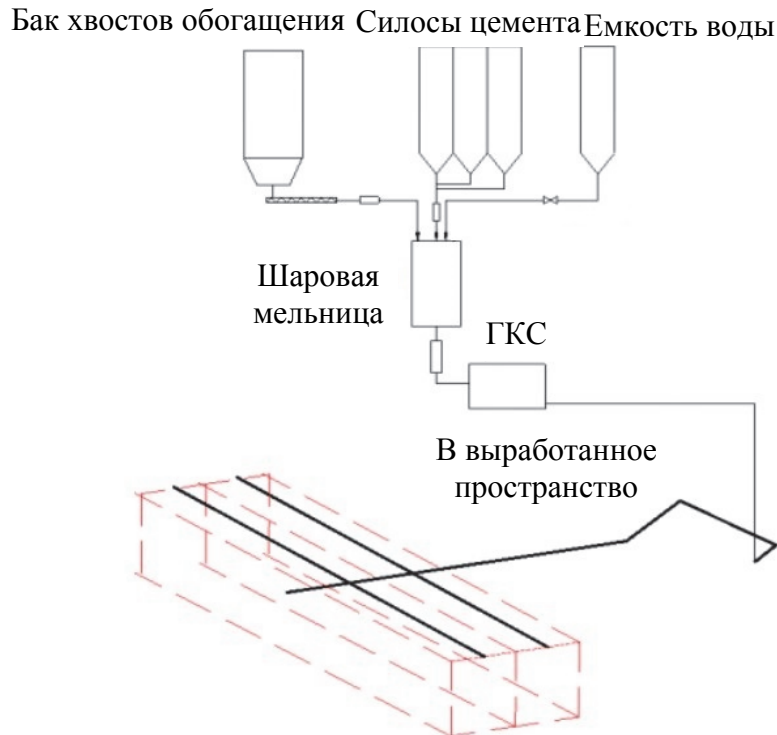


Рис. 3.31. Технологическая схема приготовления закладочной смеси с использованием полной фракции хвостов обогащения с применением ГКС марки ХЦ при проведении ОПИ

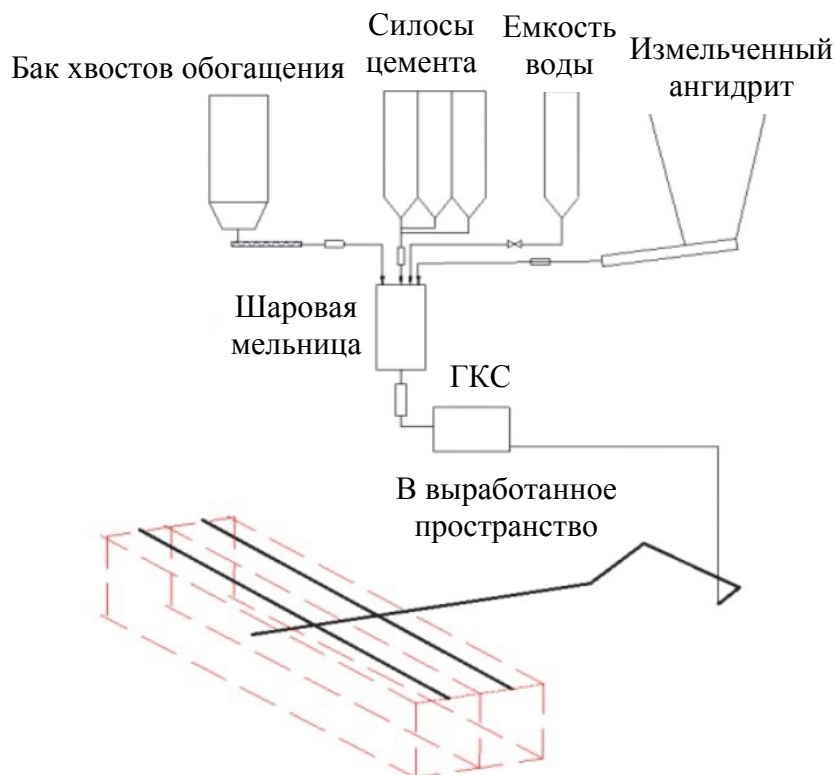


Рис. 3.32. Технологическая схема приготовления закладочной смеси на основе полной фракции хвостов обогащения с применением ГКС марки АХЦ при проведении ОПИ

Таблица 3.7

Результаты опытно-промышленных испытаний составов АХЦ (по данным ЦГБ)

Расход материалов, кг/м ³ (л)				$\gamma_{\text{ТВ}} \text{ смеси, т/м}^3$	Распływ по Сутгарду, мм	Характеристика прочности в контрольные сутки, МПа				
Ангидрит	Хвосты ТОФ	Цемент	Вода			3	7	28	90	180
400	853	170	500	1,92	255	1	1,7	2,3	3,5	5
600	657	170	500	1,93	250	1,1	1,8	2,5	3,7	5,2

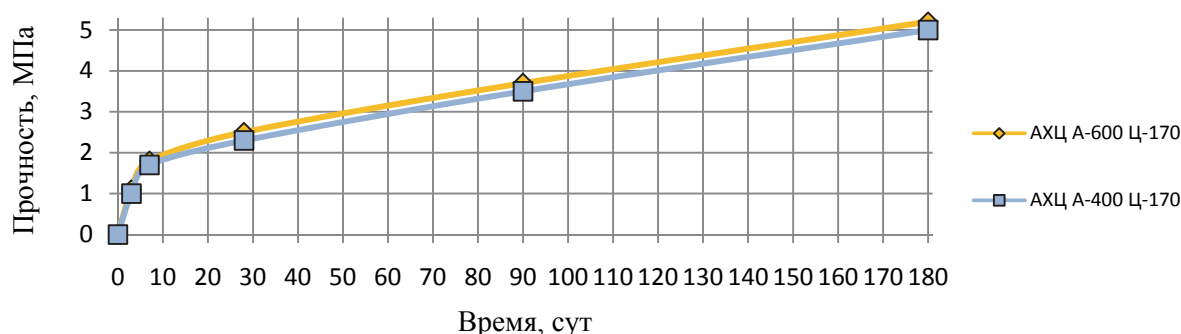


Рис. 3.33. Кинетика твердения составов АХЦ по результатам ОПИ

Следовательно, способ приготовления твердеющей смеси с использованием гидроударно-кавитационного смесителя обеспечивает повышение скорости твердения и увеличение прочности закладочного массива за счет гомогенизации и активации компонентов закладочных смесей с использованием хвостов обогащения.

На основании анализа изученного материала был определен механизм частотной гидроударно-кавитационной обработки смеси, обоснован способ воздействия, обеспечивающий обработку материалов смеси в поле гидроударно-кавитационных импульсов, создан гидроударно-кавитационный смеситель (патент РФ № 2550609 от 10.05.2015).

В смесителе создается комплексное механическое воздействие на частицы компонентов смеси. Образуется концентрированная пульсирующая кавитационная область между профилированными отверстиями и отражателями. Пульсации кавитационной области создают переменные поля скоростей и давлений, что способствует дополнительному гидродинамическому воздействию на смесь, сопровождающемуся ее активацией.

По разработанной технологии приготовления закладки исследовались смеси ХЦ и АХЦ. Полученные результаты показали, что приготовление литых твердеющих смесей на основе гидроударно-кавитационной активации материалов смеси позволяет обеспечить качественную гомогенизацию.

Совместный анализ процессов кристаллизации по срокам набора прочности при различных расходах компонентов смеси с применением разработанной технологии приготовления ЛТС показал, что в зависимости от соотношения компонентов в составе смеси, подаваемой в ГКС, происходит перераспределение главенствующих фаз структурных образований гидратированных смесей.

Результаты лабораторных исследований свидетельствуют о том, что разработанная технология производства ЛТС с использованием ГКС позволяет обеспечить высокую интенсивность совместного перемешивания мелкодисперсных компонентов смеси.

На основании ранее проведенных исследований было определено, что способ приготовления твердеющей смеси с использованием гидроударно-кавитационного смесителя обеспечивает увеличение скорости твердения и прочности закладочного массива за счет повышения степени гидратации и активации компонентов закладочных смесей с использованием полной фракции хвостов обогащения.

Таким образом, формируемая прочность и реологические свойства литых твердеющих смесей с использованием полной фракции хвостов обогащения определяется количественным присутствием дисперсных частиц хвостов обогащения в компонентах смеси, интенсивностью их совместной обработки гидроударно-кавитационными импульсами в среде вяжущего, ведущих к обновлению гидратирующих поверхностей, гомогенизации и ускоренному прохождению твердофазных химических реакций, образующих разветвленную кристаллическую решетку в процессе твердения.

Для подтверждения результатов лабораторных исследований проведены опытно-промышленные испытания разработанной технологии в натурных условиях на закладочном комплексе рудника «Комсомольский» ЗФ ПАО ГМК «Норильский никель».

Подготовка и подача материала осуществлялась по существующим технологическим цепочкам приготовления смеси на ПЗК рудника «Комсомольский». По результатам ОПИ было определено, что образцы закладочных смесей, приготовленные по технологии с применением гидроударно-кавитационного смесителя, имеют прочность в среднем на 30 % выше прочности образцов, приготовленных по мельничному способу.

Следовательно, способ приготовления твердеющей смеси с использованием гидроударно-кавитационного смесителя обеспечивает повышение скорости твердения и увеличение прочности закладочного массива за счет гомогенизации и активации компонентов закладочных смесей с использованием хвостов обогащения.

Таким образом, качество искусственного массива, возводимого в выработанном пространстве твердеющими составами с использованием пол-

ной фракции хвостов обогащения, обеспечивается прочностными, транспортными и литевыми свойствами закладочных смесей, формируемыми в поле гидроударно-кавитационных импульсов в процессе производства.

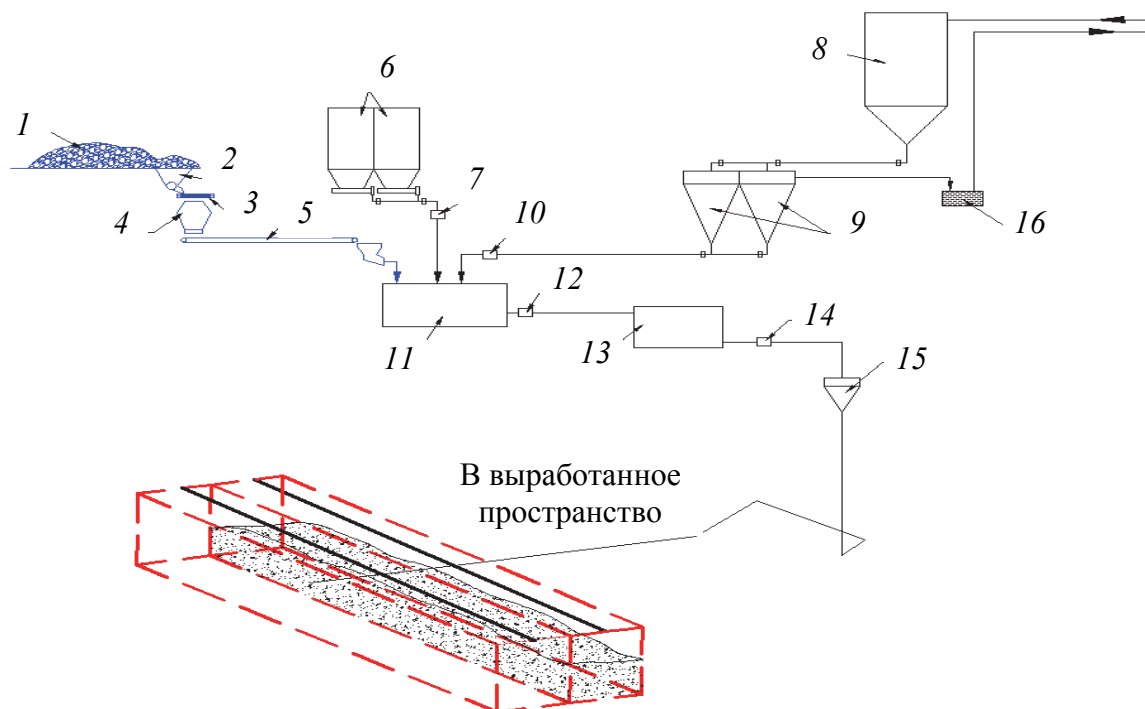


Рис. 3.34. Разработанная технология приготовления закладки с использованием гидроударно-кавитационной активации материалов смеси: 1 – склад ангидрита; 2 – приемный бункер; 3 – грохот; 4 – дробилка; 5 – конвейер; 6 – силосы цемента; 7 – дозатор цемента; 8 – бак хвостов обогащения; 9 – гидроциклоны; 10 – дозатор хвостов обогащения; 11 – шаровая мельница; 12 – расходомер; 13 – ГКС; 14 – контроль качества; 15 – приемная воронка; 16 – водосборник

Таблица 3.8

Рекомендуемые составы смесей ХЦ и АХЦ для производства закладочных работ

Ангидрит	Расход материалов, кг/м ³ (л)		
	Хвосты ТОФ	Цемент	Вода
–	1246	170	500
–	1183	240	500
–	1112	320	500
400	853	170	500
600	657	170	500
400	718	320	500
600	521	320	500

На основании проведенных исследований для производства закладочных работ рекомендованы составы смесей ХЦ и АХЦ (табл. 3.8) и технология приготовления закладки (рис. 3.34).

Глава 4 || МЕТОДИКА ЭКОНОМИЧЕСКОЙ ОЦЕНКИ ТЕХНОЛОГИИ ПРИГОТОВЛЕНИЯ ЗАКЛАДКИ

4.1. Экономическая оценка целесообразности применения закладочных смесей

Экономическая оценка целесообразности применения закладочных смесей различных составов и марок должна учитывать как стоимостные параметры (себестоимость приготовления 1 м³ смеси), так и временной фактор, отображающий динамику набора прочности [104].

При расчете себестоимости приготовления 1 м³ закладочной смеси учитываются прямые и общецеховые расходы.

К прямым расходам по переделу относятся:

1 – вспомогательные материалы на технологические цели (цемент, ангидрит, щебень, шлак, породная часть хвостов обогащения ТОФ (далее – хвосты ТОФ) и прочие;

2 – энергия на технологические цели (электроэнергия, вода техническая);

3 – работы (услуги) производственного характера, относящиеся к прямым затратам (транспорт);

4 – оплата труда основных производственных рабочих (ФЗП, ВСХ, прочие выплаты);

5 – ЕСН, начисленный на заработную плату основных производственных рабочих (ФОСС, ФОМС, ТФОМС, ПФ);

6 – амортизация основного технологического оборудования;

7 – отчисления на обязательное страхование от несчастных случаев на производстве и производственных заболеваний основных производственных рабочих;

8 – взносы добровольного социального страхования основных производственных рабочих;

9 – прочие расходы (ЛПП, спецпитание и минеральная вода, спецодежда, спецобувь, СИЗ).

Прямые расходы по п. 2–9 приняты постоянными для приготовления различных видов закладочных смесей и на оценку целесообразности их применения влияния не оказывают.

Дальнейшие расчеты по обоснованию экономической целесообразности различных составов закладки проводятся по удельным затратам на вспомогательные материалы на технологические цели.

Затраты по руднику «Комсомольский» на отдельные материалы за период выполнения исследований существенно изменились. Сопоставимые данные приведены в табл. 4.1.

Таблица 4.1

**Изменение стоимости материалов по руднику «Комсомольский»
за период выполнения технологической работы**

Материал	Октябрь 2012 г.	Май 2017 г.	Разница	
			руб/т	%
Цемент	4126	5663,48	1537,5	37,3
Ангидрит	1000,033	1398,47	398,4	39,8
Хвосты ТОФ	216	109,95	-106,1	-49,1
Шлак	26	39,97	14,0	53,7
Щебень	274	418,93	144,9	52,9

Из табл. 4.1 видно, что удешевление себестоимости хвостов ТОФ на 49,1 % значительно повысило их экономическую привлекательность при использовании их в качестве инертного заполнителя для приготовления закладочных смесей.

Необходимо отметить, что стоимость 1 м³ раствора по материалам не учитывает динамику набора прочности. Для устранения этого недостатка необходимо связать ожидаемую прочность исследуемых образцов со временем ее набора при соответствующей себестоимости приготовления закладочной смеси.

Оценка прочностных свойств исследуемых составов закладочных смесей, полученных по результатам лабораторных исследований и опытно-промышленных испытаний, проводилась в реальном диапазоне набора прочности.

К учету приняты прочности образцов в диапазоне от 1 до 8 МПа с интервалом в 1 МПа.

Интервалы времени, при которых исследуемые и применяемые составы закладочных смесей набирают требуемую прочность, приняты 3, 7, 10, 20, 28, 30 сут и далее до 180 сут с интервалом в 10 сут.

Расчет составляющих компонентов закладочной смеси определенного состава, прочность которой достигала требуемой в расчетные сроки твердения, производился методом интерполяции.

Это можно пояснить на примере исследуемых составов ХЦ (табл. 4.2).

Таблица 4.2

**Удельные затраты по вспомогательным материалам
на технологические цели исследуемых составов ХЦ**

Расход материалов, кг/ м ³ (л)			Характеристика прочности в контрольные сутки, МПа					Стоимость 1 м ³ раствора по материалам, руб.
Хвосты ТОФ	Цемент	Вода	3	7	28	90	180	
1246	170	500	0,8	1,3	2,8	4,0	4,3	1099,8
1183	240	500	1,0	1,8	3,7	5,2	5,7	1489,3
1112	320	500	2,5	4,0	6,3	7,3	7,6	1934,5
1039	400	500	3,4	6,2	8,5	10,0	10,5	2379,6

Например, при контрольной прочности 4 МПа и сроке набора прочности 60 сут (рис. 4.1) рационально принять состав, содержащий цемент в интервале от 170 и до 240 кг/м³.

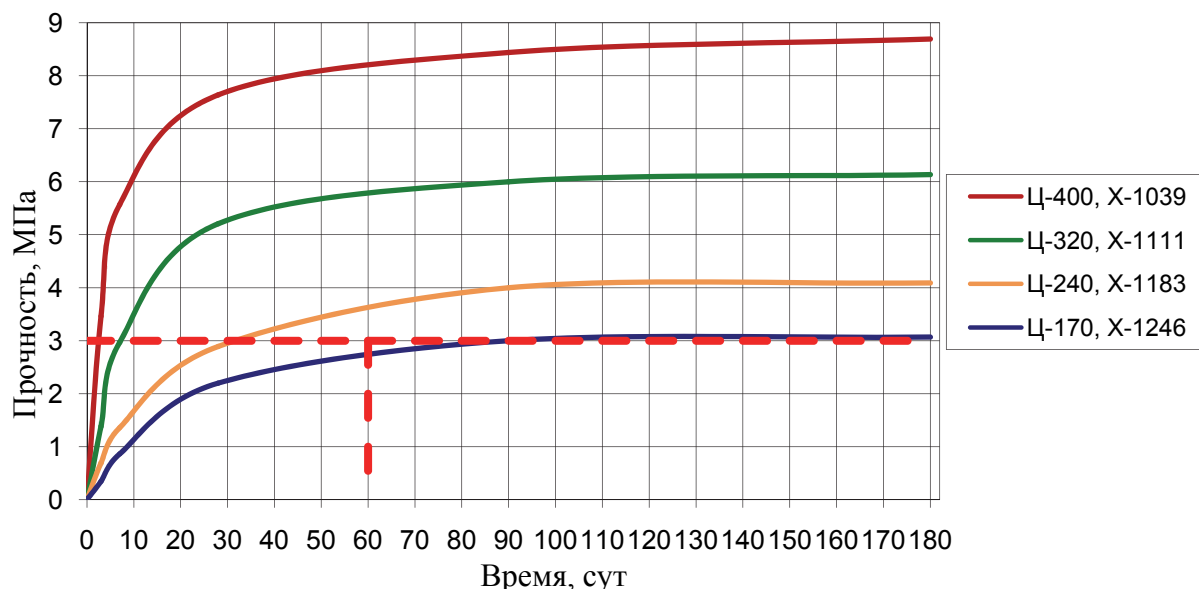


Рис. 4.1. Определение состава ХЦ, обеспечивающего прочность 3 МПа на 60-е сут

Состав ХЦ, содержащий цемент 240 кг/м³ и хвосты ТОФ 1183 кг/м³ (табл. 4.2), на момент твердения в 60 сут набирает прочность 4,65 МПа (табл. 4.3); тот же состав, но с содержанием цемента 170 кг/м³ и хвостов ТОФ 1246 кг/м³ имеет прочность 3,6 МПа.

Тогда для обеспечения контрольной прочности 4 МПа на 60-е сут необходимо принять следующий состав ХЦ:

цемента

$$\frac{4 - 3,6}{4,65 - 3,6} (240 - 170) + 170 = 196,7 \text{ кг/м}^3;$$

Таблица 4.3

Прочностные характеристики состава ХЦ по срокам набора прочности

Расход цемента, т/м ³	Характеристика прочности в контрольные сутки, МПа																				
	3	7	10	20	28	30	40	50	60	70	80	90	100	110	120	130	140	150	160	170	180
170	0,8	1,3	1,6	2,4	2,8	2,85	3,25	3,4	3,6	3,75	3,9	4	4,1	4,12	4,17	4,2	4,21	4,22	4,25	4,28	4,3
240	1	1,8	2,2	3,25	3,7	3,8	4,1	4,4	4,65	4,9	5,05	5,2	5,3	5,4	5,45	5,5	5,53	5,56	5,6	5,65	5,7
320	2,5	4	4,5	5,85	6,3	6,4	6,65	6,85	7	7,1	7,2	7,3	7,35	7,4	7,45	7,48	7,5	7,52	7,55	7,57	7,6
400	3,4	6,2	6,8	8	8,5	8,6	8,95	9,25	9,5	9,7	9,85	10	10,1	10,2	10,25	10,3	10,35	10,39	10,41	10,45	10,5

хвосты ТОФ

$$\frac{4 - 3,6}{4,65 - 3,6} (1183 - 1246) + 1246 = 1222 \text{ кг/м}^3.$$

Затраты на материалы на 1 м^3 составят:

$$5663,5 \cdot 0,1967 + 109,95 \cdot 1,222 = 1248 \text{ руб.},$$

где 5663,5 и 109,95 – стоимость 1 т цемента и хвостов ТОФ соответственно (табл. 4.1).

При увеличении расхода цемента в присутствии Ц + Х + В (при $V = \text{const} = 500 \text{ л/м}^3$) доля хвостов ТОФ в себестоимости прямо пропорционально уменьшается.

Следовательно, зная затраты на материалы на 1 м^3 интерполируемых составов (табл. 4.2), расчеты можно упростить.

Затраты на материалы на 1 м^3 смеси составят:

$$\frac{4 - 3,6}{4,65 - 3,6} (1489,3 - 1099,8) + 1099,8 = 1248,2 \text{ руб.}$$

Полученные результаты в виде точки наносятся на график, соответствующий набору прочности закладочной смеси в образце 4 МПа, с координатами: время набора прочности – 60 сут, стоимость материалов на приготовление 1 м^3 смеси – 1248,2 руб. (рис. 4.2).

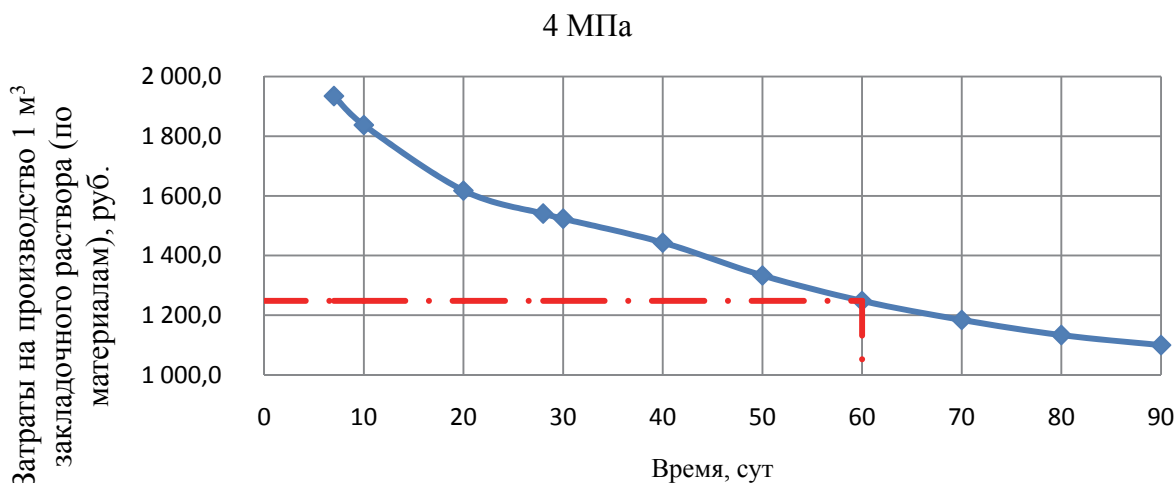


Рис. 4.2. Пример построения точки зависимости производства 1 м^3 закладочного раствора ХЦ (по материалам) от сроков твердения при требуемой прочности 4 МПа

Аналогично рассчитываются и строятся остальные точки графика, по которым и проводится кривая, отображающая зависимость удельных затрат на материалы смеси от сроков ее набора до прочности 4 МПа.

Расчет себестоимости приготовления 1 м^3 закладочных растворов производился по вспомогательным материалам на технологические цели. Остальные статьи калькуляции приняты постоянными и в расчетах не участвовали.

Удельная стоимость материалов, расходуемых на приготовление закладочных смесей, принята по фактическим данным рудника «Комсомольский» на май 2017 г. (табл. 4.1).

Данные по затратам на отдельные материалы, входящие в состав смесей, и их суммарная стоимость представлены в табл. 4.4. Из таблицы видно, что наиболее дорогим составом (из исследуемых ХЦ и АХЦ) является АХЦ с расходом ангидрита 600 кг/м^3 , хвостов ТОФ 521 кг/м^3 и цемента 320 кг/м^3 при суммарной себестоимости (по вспомогательным материалам) $2708,7 \text{ руб/м}^3$. Самым дешевым является ХЦ с расходом хвостов ТОФ 1246 кг/м^3 и цемента 170 кг/м^3 при суммарной себестоимости (по вспомогательным материалам) $1099,8 \text{ руб/м}^3$.

Из сравниваемых составов, приведенных в РТПП, наиболее дорогим является АШЩЦ с расходом ангидрита 400 кг/м^3 , гранулированного шлака 400 кг/м^3 , щебня 450 кг/м^3 и цемента 230 кг/м^3 при суммарной себестоимости (по вспомогательным материалам) $2066,5 \text{ руб/м}^3$. Самым дешевым – ШХЦ с расходом гранулированного шлака 600 кг/м^3 , хвостов ТОФ 800 кг/м^3 , и цемента 170 кг/м^3 при суммарной себестоимости (по вспомогательным материалам) $1074,7 \text{ руб/м}^3$.

Для всех исследуемых составов ХЦ и АХЦ и принятых к сравнению применяемых составов закладочных смесей (ШХЦ М30; АШЦ и АШЩЦ) рассчитаны зависимости себестоимости производства 1 м^3 закладочного раствора (по материалам) от требуемой прочности (от 1 до 8 МПа с интервалом в 1 МПа) при соответствующих сроках ее набора (3, 7, 10, 20, 28, 30 сут и далее до 180 сут с интервалом в 10 сут) и построены соответствующие графики.

Для составов ХЦ зависимости себестоимости производства 1 м^3 закладочного раствора (по материалам) от требуемой прочности (от 1 до 8 МПа с интервалом в 1 МПа) при соответствующих сроках ее набора (3, 7, 10, 20, 28, 30 сут и далее до 180 сут с интервалом в 10 сут).

При требуемой прочности 1 МПа на 3-и сутки твердения может быть применена закладочная смесь с себестоимостью производства 1 м^3 закладочного раствора (по материалам) 1386 руб/м^3 . Если эта же данная прочность технологически необходима на 7 и 10-е сутки, то за счет снижения расхода цемента себестоимость состава снижается и составляет 1027 и 971 руб/м^3 соответственно.

Прочерки в таблице справа по строчке от последнего значения себестоимости означают, что при дальнейшем увеличении сроков набора

прочности возможно дополнительное снижение себестоимости закладочной смеси. Однако эти данные на текущий момент могут быть получены только методом экстраполяции, так как выходят за пределы кривых набора прочности исследуемых смесей, или на основе проведения дополнительных исследований составов ХЦ со снижением расхода вяжущего. В настоящий момент при применении того же состава ХЦ себестоимость производства 1 м³ закладочного раствора (по материалам) при сроках его твердения от 20 до 180 сут может быть принята постоянной — 971 руб/м³.

Таблица 4.4

**Себестоимости приготовления 1 м³ сравниваемых составов
(по вспомогательным материалам)**

Состав	Расход материалов, кг/м ³ (л)						Стоимость материалов, руб/м ³					
	Ангидрит	Шлак	Щебень	Хвосты ТОФ	Цемент	Вода	Ангидрит	Шлак	Щебень	Хвосты ТОФ	Цемент	Всего
ХЦ	0	0	0	1246	170	500				137,0	962,8	1099,8
	0	0	0	1183	240	500				130,1	1359,2	1489,3
	0	0	0	1111	320	500				122,2	1812,3	1934,5
	0	0	0	1039	400	500				114,2	2265,4	2379,6
АХЦ	600	—	—	711	110	500	839,1			78,2	623,0	1540,2
	400	—	—	853	170	500	559,4			93,8	962,8	1616,0
	600	—	—	657	170	500	839,1			72,2	962,8	1874,1
	600	—	—	594	240	500	839,1			65,3	1359,2	2263,6
	400	—	—	718	320	500	559,4			78,9	1812,3	2450,6
	600	—	—	521	320	500	839,1			57,3	1812,3	2708,7
ШХЦ М30	—	600	—	800	170	500		24,0		88,0	962,8	1074,7
	—	400	—	1000	170	500		16,0		110,0	962,8	1088,7
	—	200	—	1200	170	500		8,0		131,9	962,8	1102,7
АЩЦ	700	750	—	—	25	500	978,9	30,0			141,6	1150,5
	700	750	—	—	40	500	978,9	30,0			226,5	1235,4
	700	750	—	—	50	500	978,9	30,0			283,2	1292,1
	700	750	—	—	60	500	978,9	30,0			339,8	1348,7
	700	750	—	—	80	500	978,9	30,0			453,1	1462,0
	700	750	—	—	100	500	978,9	30,0			566,3	1575,3
	700	750	—	—	150	500	978,9	30,0			849,5	1858,4
АЩЩЦ	400	400	600	—	50	500	559,4	16,0	251,4		283,2	1109,9
	400	400	560	—	70	500	559,4	16,0	234,6		396,4	1206,4
	350	500	580	—	80	500	489,5	20,0	243,0		453,1	1205,5
	400	400	550	—	100	500	559,4	16,0	230,4		566,3	1372,1
	400	400	500	—	150	500	559,4	16,0	209,5		849,5	1634,4
	400	400	450	—	200	500	559,4	16,0	188,5		1132,7	1896,6
	400	400	450	—	230	500	559,4	16,0	188,5		1302,6	2066,5

При необходимости иметь прочность закладочного массива (в образце) 2 МПа на 3-и сутки твердения себестоимость производства 1 м³ закладочного раствора (по материалам) возрастает с 1386 до 1781 руб/м³.

При необходимости иметь на этот же период прочность 3 МПа происходит дальнейшее увеличение себестоимости до 1805 руб/м³.

4.2. Сравнительная экономическая эффективность использования закладочных смесей

Составы ХЦ экономически целесообразно применять при наборе необходимой прочности:

- 2 МПа на 3-и и 20-е сутки;
- 3 МПа на 3-и и 90-е сутки;
- 4 МПа на 7 – 10-е сутки;
- 5 МПа на 7 – 20-е сутки;
- 6 МПа на 10 – 50-е сутки;
- 7 МПа на 20 – 80-е сутки;
- 8 МПа на 40 – 110-е сутки.

Необходимо также отметить, что экономически эффективным составом при требуемой прочности 2 МПа в сроки твердения 28 сут является АШЦ, в 30–50 сут – АШЩЦ. В эти же сроки себестоимость (по материалам) состава ХЦ отличается не более чем на 10 %, и он может быть признан экономически целесообразным. Аналогично при требуемой прочности 3 МПа в сроки твердения 50–100 сут (исключая 90 сут) состав АШЦ является экономически эффективным. При сроках 140–160 сут экономически эффективным является состав АШЩЦ. В эти же сроки себестоимость состава ХЦ превышает минимальную не более чем на 10 %, и он также может быть признан экономически целесообразным.

Для определения экономической эффективности исследуемых закладочных смесей проанализированы составы, регламентированные РТПП.

К сравнению приняты составы с использованием хвостов ТОФ и цемента (ХЦ); ангидрита, хвостов ТОФ и цемента (АХЦ); гранулированного шлака, хвостов ТОФ и цемента (ШХЦ М30); ангидрита, гранулированного шлака и цемента (АШЦ); ангидрита, гранулированного шлака, щебня и цемента (АШЩЦ); песка и цемента (ПЦ).

Разработана методика экономической оценки целесообразности применения закладочных смесей, которая учитывает как стоимостные параметры (себестоимость приготовления 1 м³ смеси), так и временной фактор, отображающий динамику набора прочности.

Сравнительный анализ относительной стоимости хвостов ТОФ к стоимости щебня и шлака за период выполнения технологической работы показывает, что она постоянно изменяется. Соответственно, изменяется и себестоимость приготовления закладочных смесей и области их рационального применения.

Составы ХЦ является наиболее эффективными в начальный период времени (3, 7, 10, 20 сут), когда состав резко набирает требуемую прочность. Экономически рациональная область их применения может быть значительно расширена с учетом постоянного изменения стоимости вспомогательных материалов, включением в нее составов, отличающихся не более чем на 10 % от закладочных смесей с минимальной стоимостью. Экономическая эффективность разработанной технологии закладки обусловлена применением гидроударно-кавитационной активации исходных материалов смеси, позволяющей снизить расход цемента на 30 %; использованием полной фракции хвостов обогащения.

|| ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Монография посвящена проблемам разработки технологии приготовления твердеющих смесей для закладки горных выработок с использованием отходов горно-металлургических производств.

Актуальным направлением совершенствования технологии подземных горных работ является широкое внедрение систем разработки с закладкой выработанного пространства. Применение закладки – одного из радикальных средств рационального использования недр – обеспечивает безопасную разработку рудных залежей с минимальными потерями и разубоживанием, с сохранением земной поверхности, окружающей среды и утилизацией отходов производства. Практика показывает, что применение систем с закладкой выработанного пространства экономически оправдано при разработках не только месторождений ценных руд цветных металлов, но и ряда угольных и железорудных месторождений.

В большинстве случаев для формирования закладочного массива используются специально добываемый заполнитель и цемент, отличающиеся высокой стоимостью, что снижает конкурентную способность систем разработки с закладкой. Одним из наиболее перспективных путей снижения затрат на закладку подземных выработок является использование хвостов обогащения. Расширение возможности применения хвостов обогащения сдерживается их тонкодисперсным состоянием, достигаемым при современном технологическом цикле рудоподготовки в процессе обогащения. При этом в существующих технологиях закладки горных выработок используется только крупный класс хвостов обогащения. Тонкая же часть твердых хвостов не востребована, требует складирования и хранения в хвостохранилищах, что приводит к увеличению затрат на отчуждение земель и отрицательно сказывается на экологической ситуации добывающего района. Таким образом, разработка технологии закладки выработанного пространства с использованием полной фракции хвостов обогащения является актуальной научной и технологической задачей.

|| СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Светлаков К. Н., Атманских С. А. Техника и технология ведения закладочных работ на рудниках цветной металлургии. – М., 1980. – 39 с.
2. Закладочные работы в шахтах. Справочник / под ред. Д. М. Бронникова, М. Н. Цыгалова. – М. : Недра, 1989. – 400 с.
3. Закладочное хозяйство шахт и рудников / А. Г. Джавршеишвили, В. А. Силагадзе, А. К. Инашвили, Ш. В. Шавгулидзе. – М.: Недра, 1978. – 280 с.
4. Байконуров О. А., Мельников В. А., Крупник Л. А. Подземная разработка месторождений с закладкой. – Алма-Ата: Наука, 1972.
5. Кравченко В. П., Куликов В. В. Применение твердеющей закладки при разработке рудных месторождений. – М.: Недра, 1974. – 200 с.
6. Фаустов С. И. Разработка эффективных технологических схем добычи руды и формирования закладочного массива при нисходящей слоевой системе разработки: дисс. ... канд. техн. наук. – Усть-Каменогорск, 2002. – 105 с.
7. Барилюк А. И. Разработка технологии формирования искусственной кровли при нисходящей слоевой системе разработки: дисс. ... канд. техн. наук. – Усть-Каменогорск: ВКГТУ, 2005. – 105 с.
8. Разработка Орловского месторождения системой горизонтальных слоев в нисходящем порядке / А. И. Барилюк [и др.] // Горный журнал. – 2002. – № 5. – С. 55–58.
9. Ковалев О. В., Минаев Ю. Л., Минаев Д. Ю. Обоснование восходящего порядка отработки глубоких горизонтов рудника «Северный» ОАО «Кольская ГМК» // Записки Горного института. – СПб.: 2002. – Т. 152. – С. 74–77.
10. Аглюков Х. И. Совершенствование технологии закладочных работ // Горный журнал. – 2003. – № 1. – С. 35–38.
11. Байконуров О. А., Крупник Л. А., Мельников В. А. Определение состава бетона заданной прочности при возведении искусственных целиков // Цветная металлургия. – 1970. – № 5.
12. Шестаков В. А. Проектирование горных предприятий. – М.: Изд-во МГГУ, 2003. – 795 с.
13. Агошков М. И., Борисов С. С., Боярский В. А. Разработка рудных и нерудных месторождений. – М.: Недра, 1983.
14. Бронников Д. М., Замесов Н. Ф., Богданов Г. И. Разработка руд на больших глубинах. – М.: Недра, 1982.

15. Технический прогресс на горнодобывающих предприятиях свинцово-цинковой промышленности / С. Л. Иофин, Л. В. Белов [и др.] // Цветная металлургия. – 1976. – № 22. – С. 7–11.

16. Передовой опыт применения твердеющей закладки при добыче железных руд // Черметинформация. – М., 1979. – 52 с.

17. Серeda Б. К., Цыгалов М. Н. Технология приготовления твердеющей закладки при разработке рудных месторождений. – М.: ЦИИНцветмет, 1964.

18. Хомяков В. И. Зарубежный опыт закладки на рудниках. – М.: Недра, 1984.

19. Цыгалов М. Н. Подземная разработка с высокой полнотой извлечения руд. – М.: Недра, 1985. – 272 с.

20. Вяткин А. Н., Горбачев Д. Г., Рубцов В. Н. Твердеющая закладка на рудниках. – М.: Недра, 1983.

21. Воронин В. С. Способы повышения конечной прочности закладочного бетона // Горный журнал. – 1975. – № 11. – С. 37–41.

22. Гертман В. П., Атманских С. А., Светлаков К. Н. Влияние расхода воды и зернового состава заполнителей на качество закладки // Горный журнал. – 1982. – № 5. – С. 28–31.

23. Илюшин А. П. Обоснование технологических свойств твердеющей закладки с крупным заполнителем: автореф. дисс. ... канд. техн. наук. – Свердловск, 1984.

24. Опыт управления горным давлением при системах с твердеющей закладкой на рудниках Урала / Б. А. Вольхин, Т. Н. Смирнов [и др.]. – М.: Цветметинформация, 1976. – 48 с.

25. Мясников К. В., Руденко В. В. Применение твердеющей закладки при разработке рудных месторождений. – М.: Недра, 1964.

26. Цыгалов М. Н., Слащилин И. Т., Замосковцева Г. Д. Влияние материалов на качество монолитной закладки // Горный журнал. – 1981. – № 5. – С. 27–28.

27. Смирнов К. А., Репп К. Ю. Опыт применения твердеющей закладки на Гайском руднике. – М.: ЦИИНцветмет, 1966.

28. Бронников Д. М., Замесов Г. С., Киличенко Г. И. Основы технологии подземной разработки рудных месторождений с закладкой. – М.: Наука, 1973.

29. Горохов А. В. Техническая вооруженность Зыряновского рудника в XIX в. (исторический экскурс) // Зыряновский свинцовый комбинат и научно-технический прогресс. – М.: ЦНИИ экономики и информации цветной металлургии, 1991. – С. 25–37.

30. Соболев И. Т., Носкин И. И., Крупник Л. А. Совершенствование технологии закладочных работ // Зыряновский свинцовый комбинат и на-

учно-технический прогресс. – М.: ЦНИИ экономики и информации цветной металлургии, 1991. – С. 90–97.

31. Крупник Л. А. Совершенствование технологии закладки // Совершенствование методов подземной разработки Зыряновского месторождения. – Алма-Ата, 1975. – С. 124–163.

32. Бронников Д. М., Замесов Н. Ф. Проблемы разработки обширных рудных залежей пологого залегания системами с закладкой выработанного пространства. – М.: Наука, 1971.

33. Применение твердеющей закладки на шахте № 57 Дзезказганского ГМК / О. Н. Зайцев, Х. К. Кушекков, А. П. Имошин [и др.] // Горный журнал. – 1978. – № 1.

34. Коган В. Н. Новая технология закладочных работ // Безопасность труда в промышленности. – 1978. – № 7. – С. 46–47.

35. Требуков А. Л. Применение твердеющей закладки при подземной добыче руд. – М.: Недра, 1981.

36. Разработка месторождений с закладкой / Э. Ариоглу, Лю Кечжень [и др.]. – М.: Мир, 1987.

37. Зырянов А. Г., Ковалевская В. Т. Применение твердеющей закладки на рудниках Канады // Цветная металлургия. – 1972. – № 11. – С. 10–12.

38. Типизация и унификация технологических схем закладочных комплексов на рудниках Казахстана / И. Е. Ерофеев, И. Б. Едильбаев, Г. В. Соколов, Е. И. Николаев. – Алма-Ата.: КазНИИНТИ, 1982.

39. Городецкий П. И., Паненков Ю. И. Вопросы применения бетонных опор и цементированной закладки при разработке рудных месторождений. – М.: Госгортехиздат, 1960.

40. Гулий В. М. Исследование элементов систем разработки и планирования горных работ в условиях Текелийского рудника: автореф. дисс. ... канд. техн. наук. – Алма-Ата, 1969.

41. Крупник Л. А. Исследование свойства и выбор рациональных составов твердеющей закладочной смеси: автореф. дисс. ... канд. техн. наук. – Алма-Ата, 1971. – 91 с.

42. Бронников Д. М., Замесов Н. Ф., Богданов Г. И. Разработка руд на больших глубинах. – М.: Недра, 1982.

43. Зайцев О. Н., Николаев Е. И. Совершенствование закладочных работ на Дзезказганском горно-металлургическом комбинате // Горный журнал. – 1983. – № 5. – С. 23–25.

44. Кравченко В. П., Куликов В. В. Применение твердеющей закладки при разработке рудных месторождений. – М.: Недра, 1974.

45. Егорочкин А. А. Новые технологические разработки на Тишинском руднике // Актуальные вопросы развития технологий добычи и пере-

работки руд цветных и благородных металлов: Материалы конф. – Усть-Каменогорск: ВНИИцветмет, 2005. – С. 38–45.

46. Шапошник С. Н. Разработка ресурсосберегающей технологии закладочных работ на основе оптимизации компонентов закладочной смеси: автореф. дисс. ... докт. техн. наук. – Алматы, 2009. – 34 с.

47. Закладка пустой породой подземных выработок. Regelungen zum umweltgerechten Versatz von Abfaller Tage // Galvanotechnik. – 2002. – 93. № 10. – С. 2722–2723.

48. Хайрутдинов М. М., Вотяков М. В. Гидравлическая закладка на калийных рудниках // ГИАБ. – № 6. – 2007. – С. 214–218.

49. Каплунов Д. Р., Калмыков В. Н., Рыльникова М. В. Комбинированная геотехнология. – М.: Руда и металлы, 2003. – 560 с.

50. Mc. Greedy I., Taylor W. I. The use of hydraulic fill under ground at the international Nickel Company of Canada, Limited. «Canadian Mining Journal», 1960. – V. 81. – № 9.

51. Skiellings Mining Review, 1988, № 35.

52. Электромагнитная активация воды затворения твердеющей закладки горных выработок // Вопросы теории и практики магнитной обработки воды и водных систем / В. Е. Зеленков, В. К. Кульсартов, А. А. Мусина [и др.]. – Новочеркасск, 1975. – С. 199–204.

53. Михановский Д. С., Леус Э. Л. Применение магнитной обработки воды в производстве бетона // Вопросы теории и практики магнитной обработки воды и водных систем. – М., 1971. – С. 214–217.

54. Повх И. Л., Совпель В. Б., Бычин Н. А. Магнитная и электролитическая обработка воды при производстве бетона // Вопросы теории и практики магнитной обработки воды и водных систем. – М., 1971. – С. 227–228.

55. Помазкин В. А., Макаева А. А. Бетонная смесь на омагниченной воде затворения // Теория и практика применения суперпластификаторов в композиционных строительных материалах. – Пенза, 1993. – С. 36.

56. Агошков М. И., Бурцев Л. И., Требуков А. Л. Твердеющая закладка из хвостов обогатительных фабрик // Горный журнал. – 1963. – № 1. – С. 41–44.

57. Балах Р. В. Разработка месторождений с закладкой хвостами обогащения. – Алма-Ата: Наука, 1977. – 231 с.

58. Закладка выработанных пространств хвостами обогатительной фабрики / А. Б. Юн, Н. С. Мамахов [и др.] // Горный журнал. – 2005. – С. 15–16.

59. Методические рекомендации по контролю качества закладочных смесей / Академия наук СССР; Кольский научный центр; Горный институт; Институт химии и технологии редких элементов и минерального сырья. – Апатиты, 1990.

60. Ресурсосберегающие технологии добычи руды на Малеевском руднике Зырянского ГОКа (АО «Казцинк») / Ю. П. Гусев, Е. П. Березинов, Л. А. Крупник [и др.] // Горный журнал. – 2008. – № 11. – С. 20–22.

61. Музгина В. С. Экологические аспекты использования твердых отходов производства и технологии закладочных работ // Вопросы комплексной переработки сырья Казахстана: Тр. I междунар. конф. – Астана: Фолиант, 2003. – С. 392–394.

62. Едильбаев А. И., Музгина В. С. Комплексное использование твердых отходов и местных материалов в технологии закладочных работ. – Алматы, 2002. – 146 с.

63. Улазовский В. Л., Ананьина С. А. К вопросу о механизме магнитной обработки воды и стабильности эффекта затворения ею вяжущих и бетона // Вопросы теории и практики магнитной обработки воды и водных систем. – Новочеркасск, 1975. – С. 204–207.

64. Баженов Ю. М., Аносова Г. В., Еворенко Г. И. Повышение эффективности бетона добавкой модифицированных лигносульфонатов // Бетон и железобетон. – 1991. – № 11. – С. 10–11.

65. Новая пластифицирующая добавка / С. В. Глазкова, Л. Н. Сергиенко, А. В. Харченко [и др.] // Бетон и железобетон. – 1989. – № 6. – С. 19–20.

66. Каприелов С. С., Шейнфельд А. В., Кривобородов Ю. Р. Влияние структуры цементного камня с добавками микрокремнезема и суперпластификатора на свойства бетона // Бетон и железобетон. – 1992. – № 7. – С. 4–7.

67. Коротин А. И. Исследование свойств цементных бетонов с модифицированными лигносульфонатами: автореф. дисс. ... канд. техн. наук. Саратов, 1994. – 16 с.

68. Левин Л. И., Тарасов В. Н. Влияние вида мелкого заполнителя на свойства бетона с пластификатором // Бетон и железобетон. – 1990. – № 10. – С. 13–15.

69. Пластификатор полифункционального действия для бетона / В. Н. Лемехов, Л. А. Ваидаловская, Е. Л. Молукалова [и др.] // Бетон и железобетон. – 1987. – № 4. – С. 23–24.

70. Белов Г. М., Печенкин В. Д., Цыгалов М. Н. Взаимосвязь физико-механических свойств монолитной закладки с ее качественным и количественным составом // Сборник научных трудов Магнитогорского горно-металлургического ин-та им. Н. Н. Носова. – 1975. – Вып. 145. – С. 13–18.

71. Балах Р. В., Прокушев Г. А., Стрельникова Р. П. Механические свойства закладки из хвостов обогащения руд Джекказгана // Совершенствование технологии горных работ на Джекказганском месторождении: Тр. ИГД АН Каз. ССР. – Алма-Ата, 1979. Т. 56.

72. Ерофеев И. Е., Крупник Л. А., Соколов Г. В. Использование хвостов обогатительных фабрик для закладки на рудниках цветной металлургии Казахстана // Охрана окружающей среды и рациональное использование природных ресурсов на предприятиях цветной металлургии. – М.: Изд-во ЦНИИцветметэкономики и информатики, 1986. Вып. 1.

73. Крупник Л. А., Соколов Г. В., Герасимов В. С. Технология закладочных работ с полным использованием хвостов обогащения // Совершенствование технологии добычи руд с закладкой на рудниках Казахстана. – Алма-Ата: Наука, 1986. – С. 81–106.

74. Болдырев В. В., Аввакулов Е. Г. Механохимия твердых вяжущих веществ // Успехи химии. – 1971. – Т. 44. – № 10. – С. 1835–1856.

75. А. С. № 6662735 (СССР) Способ приготовления закладочной смеси (Ачисайский политехнический комбинат «Ачиполимет») / О. А. Байконуров, Л. А. Крупник, Е. И. Коган. заявл. 1982.

76. Лаптева Е. С., Юсупов Т. С., Бергер А. С. Физико-химические изменения слоистых силикатов в процессе механической активации. – Новосибирск: Наука, 1981.

77. Студзинский С. А. Об использовании местных материалов и отходов производства для вяжущих в твердеющей закладке // Горный журнал. – 1977. – № 1. – С. 48–50.

78. Зурков Е. П. К вопросу моделирования технологического процесса закладочного комплекса // Горный журнал. – 1971. – № 6. – С. 45.

79. Анушенков А. Н. Совершенствование технологии приготовления многокомпонентных твердеющих смесей на закладочных комплексах рудников НГМК // Управление развитием горных работ при подземной разработке рудных месторождений: Материалы Всесоюз. семинара. – Красноярск, 1987. – С. 27–28.

80. Белаш А. С., Ковалев А. Ф., Линник Г. Ф. Разработка железно-рудных месторождений с закладкой. – Киев: Наукова думка, 1969.

81. Батурина Г. М. Эффективность применения отходов глиноземного металлургического производства для приготовления закладочных смесей // Сборник трудов Всесоюзного научно-исследовательского горно-металлургического ин-та цветных металлов. – 1976. – № 27. – С. 86–89.

82. Гертман Л. К. Применение зол ТЭЦ для приготовления твердеющей закладки // Совершенствование технологии добычи и обогащения руд цветных металлов. – Свердловск, 1983. – С. 56–64.

83. Гертман Л. К., Атманских С. А., Субботина Т. А. Твердеющая закладка на основе никелевых шлаков // Труды Уральского научно-исследовательского и проектного института медной промышленности. – 1978. Вып. 21. – С. 22–24.

84. Глуховеров А. Л., Сайкуров Р. А., Золотых Т. В. О возможности применения хвостов обогатительной фабрики в качестве мелкого заполнителя для закладочных бетонов // Сборник трудов Белгородского технологического института строительных материалов им. Гришманова. – 1976. Вып. 21. – С. 70–77.

85. Заровнятных В. Л., Портнов Ф. М. Применение никелевых гранулированных шлаков для изготовления твердеющей закладки // Горный журнал. – 1971. – № 6. – С. 45.

86. Иманголиев А. И., Терентьев Н. А., Репп К. Ю. Технология получения твердеющей закладки в условиях Дзезказгана // Горный журнал. – 1972. – № 11. – С. 30–32.

87. Исследование факторов, влияющих на прочность твердеющих закладочных смесей. Физико-технические проблемы разработки полезных ископаемых / А. В. Малетин, А. И. Мохов, В. И. Штеле [и др.]. – Новосибирск: Наука, 1992. – С. 84–91.

88. Разработка рецептур и механизма активации закладочных смесей для подземной разработки полезных ископаемых с использованием хвостов обогащения / Е. П. Волков, С. А. Вохмин, А. Н. Анушенков, А. И. Голованов // Журнал Сибирского федерального университета. Сер. Техника и технологии. – Красноярск: Сиб. федер. ун-т, 2014. – Т. 7. – № 3. – С. 295–303.

89. Лабораторные исследования по подбору составов закладочных смесей с использованием породной части хвостов обогащения [Электронный ресурс] / Е. П. Волков, П. А. Тодинов, А. И. Голованов // Молодежь и наука: Сб. материалов IX Всеросс. науч.-техн. конф. студентов, аспирантов и молодых ученых с междунар. участием, посвящ. 385-летию со дня основания г. Красноярска. – Красноярск, 2013. – Режим доступа: <http://conf.sfu-kras.ru/sites/mn2013/thesis/s037/s037-010.pdf>

90. Волков Е. П., Анушенков А. Н., Голованов А. И. Результаты исследования расплыва по Сутгарду смесей составов АХЦ (А-600 Ц-320) и ХЦ (Ц-320) [Электронный ресурс] // Молодежь и наука: Сб. материалов IX Всеросс. науч.-техн. конф. студентов, аспирантов и молодых ученых с междунар. участием, посвящ. 385-летию со дня основания г. Красноярска. – Красноярск, 2013. – Режим доступа: <http://conf.sfu-kras.ru/sites/mn2013/thesis/s037/s037-011.pdf>

91. Волков Е. П., Анушенков А. Н., Голованов А. И. Исследования по подбору и составу закладочных смесей марок ХЦ, АХЦ с применением хвостов обогащения ТОФ // Сборник научных статей V Междунар. конгресса и выставки «Цветные металлы». – Красноярск, 2013.

92. Волков Е. П., Голованов А. И. Лабораторные исследования по подбору и составу закладочных смесей марки ХЦ с использованием по-

родной части хвостов обогащения // Цветные металлы: Сб. тезисов докладов. – Красноярск: Версо, 2014. – С. 76–77.

93. Волков Е. П., Анушенков А. Н. Разработка рецептур твердеющих смесей на основе породных хвостов обогащения для закладки подземных выработок Норильского горно-металлургического комбината // Фундаментальные и прикладные вопросы горных наук: науч. журнал. – Новосибирск: ИГД им. Н. А. Чинакала СО РАН, 2014. – С. 207–211.

94. Волков Е. П. Исследования рецептур и механизма активации закладочных смесей для подземной разработки полезных ископаемых // Малышевские чтения: Сб. науч. ст. II Всеросс. науч. конф. с междунар. участием. – Старый Оскол, 2015.

95. Волков Е. П., Анушенков А. Н. Разработка технологии закладки горных выработок [Электронный ресурс] // Молодежь и наука: Сб. материалов IX Всеросс. науч.-техн. конф. студентов, аспирантов и молодых ученых с междунар. участием, посвящ. 385-летию со дня основания г. Красноярска. – Красноярск, 2015. – Режим доступа: <http://conf.sfu-kras.ru/sites/mn2013/thesis/s037/s037-011.pdf>

96. Волков Е. П., Ляхов Д. П. Технология приготовления литой твердеющей закладки из отходов производства [Электронный ресурс] // Молодежь и наука: Сб. материалов IX Всеросс. науч.-техн. конф. студентов, аспирантов и молодых ученых с междунар. участием, посвящ. 385-летию со дня основания г. Красноярска. – Красноярск, 2015. – Режим доступа: <http://conf.sfu-kras.ru/sites/mn2013/thesis/s037/s037-011.pdf>

97. Пат. 2550609 Российская Федерация. МПК В 28 С 5/08. Смесительно-активирующее устройство для жидких сред / Волков Е. П., Стовманенко А. Ю., Анушенков А. Н. Опубл. 10.05.2015. Бюл. № 13.

98. Пат. 2607329 Российская Федерация. МПК Е 21F15/00. Способ приготовления литых твердеющих закладочных смесей на основе мелкодисперсного заполнителя / Анушенков А. Н., Волков Е. П., Стовманенко А. Ю.

99. Анушенков А. Н., Стовманенко А. Ю., Волков Е. П. Основы процессов производства и транспортирования закладочных смесей при подземной разработке месторождений полезных ископаемых: учеб. пособие. – Красноярск : Сиб. федер. ун-т, 2015. – 208 с.

100. Системы разработки с закладкой выработанного пространства: учеб.-метод. пособие / сост. А. Н. Анушенков, Е. П. Волков. – Электрон. текстовые дан. (pdf, 3,09 Мб). – Красноярск : СФУ, 2016. – 89 с.

101. Подземная геотехнология: учеб. пособие / А. Н. Анушенков [и др.]. – Красноярск : Сиб. федер. ун-т, 2017. – 301 с.

102. Закладочные смеси на основе отходов обогащения руд в системах подземной разработки месторождений Норильского промышленного

района / Е. П. Волков, А. Н. Анушенков, П. С. Гузанов, А. Э. Лытнева // Горный журнал. – 2015. – № 6. – С. 85–87.

103. Волков Е. П., Стовманенко А. Ю., Анушенков А. Н. Совершенствование технологии и оборудования для утилизации твердых промышленных отходов путем добавления их в состав литых твердеющих закладочных смесей // Известия Уральского государственного горного университета. – 2017. – № 4(48). – С. 84–89.

104. Волков Е. П., Вохмин С. А., Голованов А. И. Методические положения по выбору рациональных составов закладочных смесей на основе их экономико-технологического сравнения // Современные проблемы науки и образования. – 2015. – № 1. – Режим доступа: <http://www.science-education.ru/121-19584> (дата обращения: 07.06.2015)

105. Анушенков А. Н. Повышение эффективности применения местных материалов в закладочных смесях для подземной разработки рудных залежей // Проблемы интенсификации производства на предприятиях цветной металлургии: Тез. докл. краевой науч.-техн. конф. – Красноярск, 1987. – С. 24–25.

106. Анушенков А. Н. Системное исследование производства ангидритшлакоцементных (АШЦ) составов закладки в шаровых мельницах на рудниках НГМК // Системное моделирование технологии горных работ. – Новосибирск: ИГД СО РАН, 1989. – С. 40–46.

107. Анушенков А. Н. Исследование ангидритшлакоцементных составов со щебнем (АШЦЩ) в шаровых мельницах // Вопросы совершенствования горных работ на шахтах и карьерах Сибири. – Новосибирск: ИГД СО РАН, 1990. – С. 38–46.

108. Анушенков А. Н. Совершенствование технологии приготовления многокомпонентных твердеющих смесей на закладочных комплексах рудников НГМК // Управление развитием горных работ при подземной разработке рудных месторождений: Материалы Всесоюз. семинара. – Красноярск, 1987. – С. 27–28.

109. Анушенков А. Н., Николаев Ю. И., Осеев О. Б. Промышленные испытания АШЦ и АШЦЩ составов со снижением расхода ангидрита на рудниках НГМК // Системное моделирование технологии горных работ. – Новосибирск: ИГД СО РАН, 1989. – С. 28–40.

110. Пат. РФ № 2013131. Способ приготовления литой твердеющей закладки в шаровой мельнице / Анушенков А. Н. 1994. – Оpubл. 1994. Б.И. № 10.

111. Анушенков А. Н., Фрейдин А. М., Шалауров В. А. Приготовление литой твердеющей закладки из отходов производства // Физико-технические проблемы разработки полезных ископаемых. – № 1. – 1998. – С. 104–109.

112. Анушенков А. Н., Штеле В. И., Кузнецов А. Г. Перспективы использования твердеющих закладочных смесей на основе белитового шлама при разработке угольных месторождений // Комплексное использование минерального сырья. Ч. III. – Атма-Ата: АН СССР; АН КССР, 1990. – С. 75–77.

113. Анушенков А. Н., Николаев Ю. И., Кузнецов А. Г. Оптимизация режимов приготовления и рецептур многокомпонентных твердеющих закладочных смесей // Оптимизация горных работ: Материалы VIII Всесоюз. семинара. – Новосибирск, 1989. – С. 42–43.

114. Анушенков А. Н., Штеле В. И., Кузнецов А. Г. Исследование характеристик комплексных вяжущих на основе белитового шлама для закладки выработанного пространства угольных шахт // Вопросы совершенствования горных работ на шахтах и карьерах Сибири. – Новосибирск, 1990. – С. 34–38.

115. Анушенков А. Н. О механизмах повышения вяжущих свойств и транспортабельности твердеющих закладочных смесей из отходов производства // Перспективные технологии и техника для горнометаллургического комплекса: Сб. науч. тр. КГАЦМиЗ к 40-летию на Сибирской земле. Ч. II. – Красноярск, 1999. – С. 257–264.

116. Анушенков А. Н., Фрейдин А. М., Шалауров В. А. Создание технологии приготовления и транспорта литой твердеющей закладки на основе активации смесей из отходов производства // Горные науки на рубеже XXI: Тез. докл. междунар. конф. – М.–Пермь, 1997. – С. 9–10.

117. Анушенков А. Н., Шалауров В. А. Развитие техники и технологии использования отвальных продуктов для закладки выработок // Проблемы геотехнологии и недроведения. Т. III. – Екатеринбург, 1998. – С. 34–40.

118. Анушенков А. Н., Фрейдин А. М., Шалауров В. А. Особенности технологии приготовления твердеющей закладки из промышленных отходов // Материалы X Междунар. конф. по механике горных пород. – М., 1993. – С. 122.

119. А. С. № 1666774 Состав закладочной смеси / А. Н. Анушенков, В. И. Штеле, А. С. Захаров. – Оpubл. 30.07.91 Б.И. № 28.

120. А. С. № 1730885 Закладочная смесь / А. Н. Анушенков, В. И. Штеле, Ю. П. Сосенков. – Оpubл. 07.06.90. Б.И. № 14.

121. Технологическая инструкция по применению шаровых мельниц в производстве закладочных смесей на рудниках Норильского ГМК / В. В. Аршавский, В. С. Левин, О. Б. Осеев [и др.]. – Норильск, 1990. – С. 24.

122. А. С. № 1778320 Устройство для обработки жидких сред / А. Н. Анушенков, В. И. Штеле. – Оpubл. Б.И. № 44.

123. Пат. РФ № 02096615. Способ формирования и отработки техногенного месторождения / Анушенков А. Н., Шалауров В. А. [и др.]. – Оpubл. 1997. Б.И. № 32.

124. Анушенков А. Н., Никулин М. Н. Разработка модульного передвижного закладочного комплекса по способу приготовления ЛТС в шаровой мельнице // Тезисы докладов ежегодной научно-практической конференции КГАЦМиЗ. – Красноярск, 1997. – С. 98–99.

125. Пат. РФ № 2069765 Способ закладки при нисходящей выемке полезного ископаемого заходками. Кузнецов А. Г., Шалауров В. А., Анушенков А. Н. – Оpubл. 27.11.96. Б.И. № 33.

126. Пат. РФ № 2102599 Способ формирования и отработки подземного техногенного месторождения / Кузнецов А. Г., Медведев М. Л., Анушенков А. Н. – Оpubл. 20.01.98. Б.И. № 2.

127. Пат. РФ № 2069766 Способ возведения изолирующей перемычки / Кузнецов А. Г., Шалауров В. А., Анушенков А. Н. – Оpubл. 27.11.96. Б.И. № 33.

128. Исследование факторов, влияющих на прочность твердеющих закладочных смесей. Физико-технические проблемы разработки полезных ископаемых / А. В. Малетин, А. И. Мохов, В. И. Штеле [и др.]. – Новосибирск: Наука, 1992. – С. 84–91.

129. Мохов А. И., Анушенков А. Н., Упорова Д. А. Исследование ангидритошлакоцементных (АШЦ) составов закладки на руднике «Маяк». Добыча и переработка руд цветных металлов. – Норильск: завод-ВТУЗ при НГМК им. А. П. Завенягина, 1987. – С. 3–6.

130. Петушков А. И., Сосенков Ю. П., Анушенков А. Н. Совершенствование технологии закладки выработанного пространства литыми твердеющими смесями на шахте «Коксовая» НПО «Прокопьевскгидроуголь». – Деп. ВИНТИ 17.03.92, № 897–1392.

131. Фрейдин А. М., Анушенков А. Н., Шалауров В. А. Использование отходов горнометаллургических производств в качестве вяжущих при закладке горных выработок // *Металлургия XXI века: шаг в будущее: Тез. докл. междунар. конф.* – Красноярск, 1998. – С. 119–122.

132. Штеле В. И., Николаев Ю. И., Анушенков А. Н. Статистический анализ качества приготовления многокомпонентных твердеющих смесей на рудниках Норильского ГМК. Комплексное использование минерального сырья. – Алма-Ата: АН СССР, АН КССР; 1991. – № 4. – С. 70–72.

133. Методические указания по определению рациональных режимов мельничного способа приготовления многокомпонентных закладочных смесей на рудниках «Маяк», «Таймырский» Норильского ГМК / В. И. Штеле, А. Н. Анушенков, В. В. Аршавский, Л. В. Малетин [и др.]. – Новосибирск, ИГД СО РАН, 1991.

134. А. С. № 1691242 Трубопровод для транспортировки твердеющих закладочных смесей / В. И. Штеле, А. Н. Анушенков, Я. Я. Куньшиш [и др.]. – Оpubл. 1991. Б.И. № 42.

135. А. С. № 1710782 Активатор жидких твердеющих закладочных смесей / В. И. Штеле, А. Н. Анушенков, О. Б. Осеев. – Оpubл. Б.И. 1992, № 5.

136. Штеле В. И., Анушенков А. Н., Бажитова М. Ю. Опыт прогнозирования прочностных свойств многокомпонентных твердеющих закладочных смесей. Оптимизация подземных горных работ на рудниках. – Новосибирск, 1989. – С. 77–85.

137. Шалауров В. А., Анушенков А. Н., Фрейдин А. М. О подготовке и транспортировании водоугольных суспензий. Физико-технические проблемы разработки полезных ископаемых. – Новосибирск: Наука, 1997. – С. 112–119.

138. Штеле В. И., Кузнецов А. Г., Анушенков А. Н. Исследование составов твердеющих смесей и обоснование технологии окускования шламов каменных углей Кузбасса и бурых углей КАБ на основе использования отходов, препринт № 44. – Новосибирск, ИГД СО РАН 1991. – С. 15.

139. А. С. № 1789794 Гидродинамический генератор для обработки жидких сред / В. И. Штеле, А. Н. Анушенков, Ю. М. Филипов. – Оpubл. 1992. Б.И. № 3.

140. А. С. № 1778319 Способ приготовления твердеющих закладочных смесей / В. И. Штеле, Г. Р. Бочкарев, А. Н. Анушенков. – Оpubл. 1992. Б.И. № 44.

Научное издание

Волков Евгений Павлович
Анушенков Александр Николаевич

**РАЗРАБОТКА ТЕХНОЛОГИИ ЗАКЛАДКИ
ГОРНЫХ ВЫРАБОТОК
ЛИТЫМИ ТВЕРДЕЮЩИМИ СМЕСЯМИ
НА ОСНОВЕ ХВОСТОВ ОБОГАЩЕНИЯ**

Монография

Редактор *Л. Ф. Калашник*
Компьютерная верстка *Н. Г. Дербенёвой*

Подписано в печать 16.11.2020. Печать плоская. Формат 60×84/16
Бумага офсетная. Усл. печ. л. 11,0. Тираж 500 экз. Заказ № 11303

Библиотечно-издательский комплекс
Сибирского федерального университета
660041, Красноярск, пр. Свободный, 82а
Тел. (391) 206-26-16; <http://bik.sfu-kras.ru>
E-mail: publishing_house@sfu-kras.ru

**В Библиотечно-издательском комплексе СФУ
вам быстро и качественно выполнят следующие виды
издательских работ:**

- редактирование**
- корректура**
- художественное оформление**
- компьютерная верстка**

**Наш адрес:
660041, г. Красноярск, пр. Свободный, 82а, к. 0108
Тел. (391) 206-26-16 – отдел приема и сопровождения заказа**