



СИБИРСКИЙ ФЕДЕРАЛЬНЫЙ УНИВЕРСИТЕТ
SIBERIAN FEDERAL UNIVERSITY



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

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, сернокислый 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.

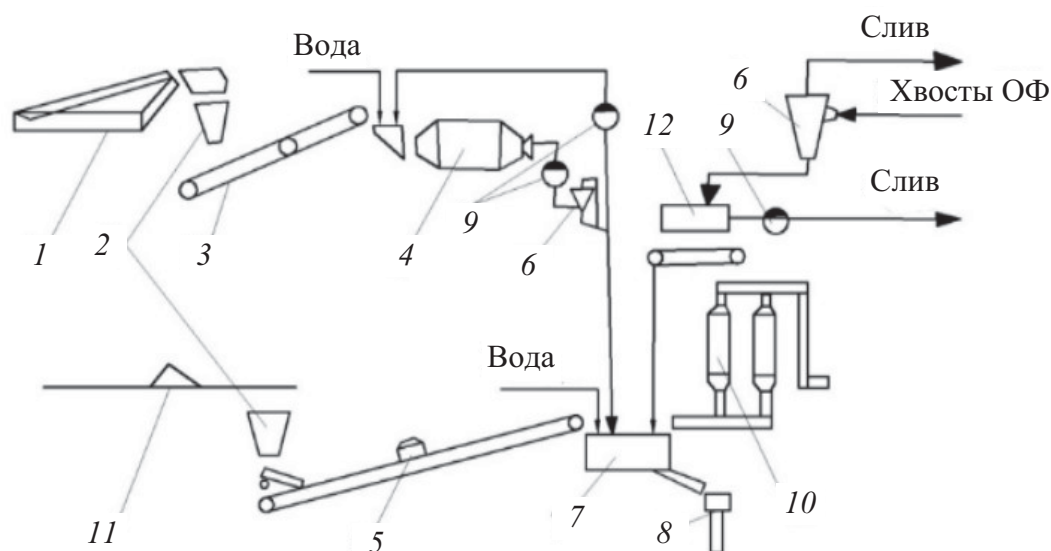


Рис. 1.1. Технологическая схема закладочного комплекса литой смеси: 1 – склад для гранулированного доменного шлака; 2 – загрузочные бункеры; 3 – конвейер; 4 – шаровая мельница; 5 – весы; 6 – гидроциклоны; 7 – смеситель; 8 – трубопровод; 9 – насос; 10 – цементный склад; 11 – склад заполнителя; 12 – вакуум-фильтр

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 гомогенность 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 внедрились 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, обрабатываемых 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.