

## ЛЕКЦИЯ №5

В классе систем разработки месторождений полезных ископаемых с искусственным поддержанием выработанного пространства выделяются группы систем:

- с закладкой выработанного пространства;
- с магазинированием;
- с креплением очистного пространства.

Все указанные системы относительно дороги, но при правильной технологии и оптимизированных параметрах обеспечивают малые потери и разубоживание полезного ископаемого.

Системы применяются в сложных горно-геологических условиях, при разработке ценных полезных ископаемых и в случаях, когда необходимо предотвращать или минимизировать вредные влияния подземной разработки на опасные или важные народнохозяйственные объекты.

В качестве закладочного материала используются дробленые горные породы, хвосты обогатительных фабрик, шлаки металлургических заводов или зола тепловых электростанций, твердеющие или бетонные смеси, песок, глина и др. Отдельные компоненты, закладочных смесей могут быть несвязными между собой или скрепленными вяжущими материалами (твердеющая закладка).

Для повышения плотности создаваемого искусственного массива специально подбираются крупность кусков и фракционный состав смесей.

Все методы закладки выработанного пространства делятся в зависимости от способа транспортирования закладочного материала до места его укладки (самотечная, механическая, пневматическая, гидравлическая).

**Самотечная закладка** применяется при разработке крутопадающих месторождений, когда закладочный материал может размещаться в выработанном пространстве под действием собственной силы тяжести. Для достижения высокой плотности закладочного массива рекомендуется принимать максимальный размер куска не более 250-300 мм, при этом содержание мелких частиц должна быть до 10-15%, а фракция от 0 до 20 мм - до 30%. Содержание глинистых пород не должно превышать 20%. Для снижения пылеобразования и увеличения плотности укладки закладочную смесь увлажняют. При мелкокусковом материале усадка достигает 15-25 %. При крупнокусковом — до 30-40 %. Поэтому требуется периодическая дозакладка камер.

При **механическом способе** закладки применяются специальные метательные закладочные машины, скреперные установки, конвейеры, самоходные машины. В качестве закладочных материалов используются различные сыпучие материалы с размером кусков до 80-100 мм (при метательных машинах) и до 250-300 мм (при других способах доставки). Усадка закладочного массива в первом случае составляет 20-30%, а в других - до 30-40%.

Для **пневматической закладки** требуются более мелкие дробленые материалы с размером частиц до 30-40 мм и содержанием глины не более 10-15%. Доставка и размещение закладочного материала в выработанном пространстве производится за счет энергии струи сжатого воздуха. Значительная скорость движения частиц материала (до 30-40 м/с) обеспечивает более высокую плотность укладки (усадка составляет 10-15%), особенно при увлажнении материала.

Твердеющая закладка применяется для создания монолитных искусственных целиков (столбов), ограждающих подпорных стенок, перемычек, искусственных массивов.

Твердеющие закладочные смеси включают вяжущие материалы, инертные заполнители, воду и пластификаторы. В качестве вяжущего наиболее часто применяются различные цементы (шлаковые, пуццолановые и портландцемент) в чистом виде или как активизирующие добавки к другим более слабым вяжущим материалам. Портландцемент и шлакопортландцемент в своем составе имеют  $CaO$ ,  $SiO_2$ ,  $Al_2O_3$ ,  $Fe_2O_3$ ,  $MgO$ ,  $SO_3$ , (в

различных сочетаниях), схватываются в течение 6-12 ч. и через 28 сут. набирают прочность на сжатие от 3 до 4 МПа.

На прочность искусственного массива большое влияние оказывает плотность укладки, т.е. заполнение промежутков между крупными кусками мелкозернистым инертным материалом и вяжущим.

Наиболее часто в качестве заполнителей, кроме дробленых горных пород, применяются пески с примесью глины в объеме - 5-10%, которая выполняет роль пластификатора. Считается, что наиболее строгим требованиям отвечает крупный песок, в котором не менее 20-35% зерен имеют размер 0.30-0.15 мм, что обеспечивает наиболее полное заполнение пустот между крупными фракциями и, следовательно, сокращает расход вяжущего.

В качестве дроблёных горных пород наиболее широко используются породы отвалов. Прочность этих пород обычно выше нормативной прочности искусственных закладочных массивов, а гранулометрический состав включает большой объём (40-60%) фракций крупностью менее 40 мм, которые могут быть сразу использованы для приготовления закладочных материалов без дополнительного дробления. Очень важно, чтобы они не были склонны к самовозгоранию и не содержали большого количества глины (не более 20%).

Хвосты обогатительных фабрик содержат различные минералы (кварц, полевошпат и др.) и состоят из частиц размером от 0,1 до 2,0 мм. Перед смешиванием с другими компонентами их обезвоживают и отделяют от флотореагентов. Шлаки металлургических заводов могут применяться в смеси с песком и дроблеными породами.

Для закладочных материалов прочностью от 1,0 до 5,0 МПа соотношение между цементом и инертным заполнителем, соответственно изменяется от 1:30 до 1:5.

В выработанное пространство закладочные смеси могут подаваться сразу в готовом виде или отдельными компонентами. В первом случае все составляющие закладочную смесь компоненты перемешиваются на поверхности и из закладочного комплекса по трубопроводу транспортируются до места укладки, во втором - заполнитель и вяжущий раствор поступают раздельно и перемешиваются непосредственно перед началом закладочных работ. Наиболее часто в практике применяется первый способ.

Иногда прибегают к созданию искусственных массивов путем инъекции вяжущих растворов в дробленые породы, наполняющие выработанное пространство.

При транспортировании по трубам закладочные смеси должны обладать хорошей подвижностью. Поэтому их готовят с повышенным водовязущим отношением  $0,8 \div 1,3$ , вместо  $0,4 \div 0,6$ , необходимым для полной гидратации вяжущего. Излишнее количество воды отрицательно действует на структуру и время упрочнения массива.

Для удаления излишней воды затвердевающие закладочные массивы должны обладать хорошими фильтрационными свойствами. Это необходимо учитывать при подборе их состава. Кроме того, на выходах из выработанного пространства до начала закладочных работ требуется сооружать специальные перемычки с дренажными устройствами. С этой целью в перемычках (из бетона или дерева) устанавливаются перфорированные трубы, обернутые фильтрующей тканью (обычно мешковиной). Избыток воды повышает пористость искусственного массива, снижает его прочностные свойства и увеличивает компрессию при давлении сверху.

Более высокое качество искусственного массива получается в том случае, когда содержание вяжущего, заполнителей и воды в смеси по составу соответствует литому бетону.

Формируемые искусственные массивы могут быть выполнены из закладочных смесей одинаковой или различной прочности. Часто после выемки первичных камер укладывается материал, обладающий высокой прочностью, а при отработке вторичных камер — малопрочный (даже сыпучий) материал. Это позволяет широко использовать местные вяжущие материалы и тем самым снижать стоимость закладочных работ.

Особо высокие требования к прочности закладочных смесей предъявляются при нисходящей выемке, когда отработка каждого слоя производится под искусственной кровлей из монолитного высокопрочного бетона (или железобетона). В наиболее сложных условиях горного давления такие перекрытия устраиваются на каждом слое.

#### Инъекционный метод создания искусственного массива

Основная сущность данного метода заключается в укреплении предварительно размещенного в выработанном пространстве сыпучего материала нагнетаемыми в него вяжущими растворами.

В качестве закладочного материала могут применяться породы, получаемые при проходке выработок или из карьерных отвалов, специально приготовленные дроблёные материалы, гравий, песок, шлаки и др. Материал должен обладать хорошей проницаемостью для инъецирующих растворов, поэтому в нем не должно быть излишнего количества глинистых и илистых частиц (обычно не более 10-15%). Хорошие фильтрационные свойства закладочного материала обеспечивают равномерную пропитку и надежное сцепление отдельных кусков, что, в конечном счете, повышает прочность искусственного массива.

Для инъекции применяют цементные или химические растворы, способные проникать в закладочный материал на значительные расстояния от места инъекции. Кроме того, инъекционные растворы должны быть стабильными по своему составу и не должны расслаиваться в процессе производства работ. Стоимость их должна быть невысокой.

К цементным растворам для снижения стоимости прибавляют глину, тонкомолотые шлаки и золу.

Наиболее стабильными по составу являются растворы химических соединений (карбамидные смолы, жидкое стекло и др.). Эти растворы способны, как и вода, проникать в любые пустоты. Но их применение для создания искусственных массивов пока не получило широкого распространения из-за высокой стоимости и сложности транспортирования в подземные выработки в больших количествах. Они чаще всего применяются в случае инъекционного упрочнения трещиноватых пород вокруг горных выработок, боков и кровли камер.

Подача растворов для упрочнения закладочного материала осуществляется самотечным (гравитационным) способом или при помощи избыточного давления (2-2,5 МПа) методом восходящего потока. Инъекционный раствор в последнем случае подается за перемычки, начиная с нижних подэтажей, до тех пор, пока не появляется в выработках верхних подэтажей.

Прочность закладочного массива при этом способе зависит от полноты пропитки сыпучей массы и качества инъекционных растворов. Контроль за прочностью формируемого искусственного массива осуществляется путем испытания выбуриваемых в нем кернов.

Магазинирование полезного ископаемого — накопление отбитого полезного ископаемого очистной выработке. Различают полное магазинирование полезного ископаемого, если оно ведётся на всю высоту этажа (блока) или частичное (слоевое), если оно ведётся в пределах отдельных частей блока. Магази́нирование полезного ископаемого составляет технологическую основу специального класса систем разработки.

Системы с магазинированием применяются на залежах полезных ископаемых с углами падения свыше 55°, мощностью от 0,5 до 3, реже 5 м, с выдержанными элементами залегания и устойчивыми боковыми породами. Ограничивающий фактор — склонность полезного ископаемого к слёживанию и самовозгоранию.

Вследствие разрыхления полезного ископаемого при отбойке часть его (около 30%) выпускают, оставляя свободным рабочее пространство высотой около 2 м. Подсекают магазин и формируют воронки сразу по всей длине блока. Цикл очистной выемки включает бурение комплекта шпуров, их взрывание, проветривание, выпуск излишков полезного ископаемого и разработку потолочины.

Безопасность работы в забое в случае шпуровой отбойки обеспечивается сравнительно небольшим расстоянием между отбитой рудой и кровлей забоя (до 2.0–2.5 м), а также предварительной оборкой стенок и кровли очистного пространства с целью предотвращения вывалов и отслоений. Иногда устанавливаются деревянные распорки или анкерная крепь. Если недостаточно устойчивые породы висячего (а иногда и лежачего) бока не укреплять, то при окончательном выпуске полезного ископаемого из магазина возможны интенсивные отслоения пород, приводящие к значительному разубоживанию.

Когда фронт очистной выемки достигнет границы подштрекового целика, приступают к выпуску всего замагазинированного полезного ископаемого через воронки и рудоспуски. После этой операции выработанное пространство оставляют открытым или заполняют пустой породой.

Временно оставляемое в выработанном пространстве полезное ископаемое оказывает вертикальное давление на выработки днища блоков и боковое давление на стенки очистных выработок, блоковых восстающих и межблоковых целиков (если они оставляются).

Отсюда управление геомеханическими процессами при системах с магазином заключается **в выборе устойчивых параметров выработок днища блоков, восстающих и целиков сообразно величинам нагрузок, действующих на них.**

Мелкокусковой материал магазина можно рассматривать как сыпучую среду, не имеющую сцепления, но обладающую трением. В крупнокусковом и уплотнившемся материале, кроме трения, наблюдается зацепление между отдельными глыбами.

Для определения давления магазином полезного ископаемого на стенки выработанного пространства и крепь откаточных штреков и восстающих можно воспользоваться расчётными методами статики сыпучих сред.

Величина  $\varphi$  изменяется в зависимости от гранулометрического состава, увлажнения и уплотнения сыпучего материала. Значения углов внутреннего трения для некоторых сыпучих материалов составляют:

- известняк — 30-45°;
- дробленый камень, влажный, под давлением — 35-40°;
- сланец крупнокусковатый и уплотнённый — 38-40°;
- песок малослежавшийся, влажный и сухой — соответственно 27 и 32°;
- жирная глина, сухая, под давлением — 40-60°.

Отсюда очевидно, что значение коэффициента бокового распора зависит от плотности магазином руды, что, в свою очередь, будет влиять на величину вертикального давления на днище блока и бокового давления на стенки выработанного пространства.

При неподвижной уплотнённой руде рекомендуется принимать  $\zeta = 0.3$ . В этом случае давление на крепь откаточного штрека и блоковых восстающих, если они пройдены без оставления междублоковых целиков, будет максимальным.

Необходимо отметить, что уплотнение магазином руды может возрасть за счет смещения боковых пород. Величина таких деформаций пропорциональна увеличению пролетов обнажения и времени отработки блоков. Наибольшие величины смещений висячего бока наблюдаются в средней части магазина, а также в местах нарушений и расслоений. В результате конвергенции (сближения) стенок выработанного пространства происходит зажатие отбитой руды в магазине, - выпуск становится затруднительным, опасным, а иногда и невозможным. Поэтому, когда непосредственная кровля представлена трещиноватыми или слоистыми породами, склонными к деформациям, необходимо устанавливать распорную или анкерную крепь.

В заключение, характеризуя роль магазином руды, как средства поддержания выработанного пространства, необходимо отметить временный характер этой меры. После окончательного выпуска отбитой руды камеры остаются пустыми или частично заполненными обрушающимися породами. Для предотвращения внезапной посадки налегающей толщи в

остающиеся пустоты необходимо перепускать породы сверху или заполнять их закладочным материалом.

Поддержание выработанного пространства может осуществляться:

- деревянной крепью (деревянные стойки и распорки, крепежные рамы, станки, костры);
- каменной или бетонной крепью;
- металлическими стойками;
- механизированными комплексами.

Характерным для большинства этих систем является работа в очистных забоях с крепи, устанавливаемой по мере выемки руды.

Эти системы разработки применяют в самых неблагоприятных горнотехнических условиях эксплуатации месторождений ценных руд, когда руда и вмещающие породы неустойчивы и основным требованием является высокое извлечение запасов с незначительным разубоживанием.

На практике часто крепление очистных забоев сочетают с закладкой или обрушением выработанного пространства, так как крепь не гарантирует надежного сохранения равновесия подрабатываемых пород.

Геомеханические процессы при всех системах разработки с креплением очистного пространства развиваются идентично и, практически, не зависят от вида применяемой крепи.

Крепление очистного пространства деревянной крепью в настоящее время чаще всего встречается в практике отработки жильных месторождений мощностью не более 2,0-2,5 м при необходимости поддерживать неустойчивую непосредственную кровлю.

Работа крепи определяется ее рабочим сопротивлением  $P_\alpha$  и податливостью  $\delta_\alpha$ , величины которых зависят от угла падения  $\alpha$  рудного тела

$$P_\alpha = P_0 \sqrt{\cos \alpha}, \quad (13.1)$$

$$\delta_\alpha = \delta_0 \sqrt{\cos \alpha}, \quad (13.2)$$

где  $P_0$ ,  $\delta_0$  - необходимое сопротивление и податливость крепи при  $\alpha = 0$ .

Вследствие того, что в нижней части отрабатываемого блока будут накапливаться руда и отслаивающиеся породы кровли для большей безопасности работ и надежного поддержания очистного пространства в верхней части блока  $P_\alpha$  и  $\delta_\alpha$  необходимо принимать большими по величине  $P_{\max} = 0.9 \div 1.0 P_0$ ;  $\delta_{\max} = 0.9 \div 1.0 \delta_0$ .

Принимая во внимание, что распорки поддерживают слабую, склонную к обрушению кровлю, нагрузки на них должны рассчитываться с учетом трещиноватости, а места установки определяться расстоянием между трещинами.

На случай подвижки пород висячего бока рекомендуется устанавливать распорки с отклонением от нормали (по восстанию) на 6-10° во избежание их выпадения. Для обеспечения совместной работы пород и крепи необходимо тщательное расклинивание распорок со стороны лежащего и висячего боков, а для предотвращения вывалов - затяжка обнажений висячего бока.

Если породы висячего бока имеют однородное строение (неслоистое) то давление на крепь определяется на основании теории свода.

В случае поддержания очистного забоя крепежными рамами рассчитываются не только стойки, но и верхняки. Расчеты проводятся для наиболее тяжелых условий работы крепи (на границе с выработанным пространством).

Размеры отдельных элементов крепежных рам определяют на основании конкретных условий напряженного состояния вышележащих пород. Для этого опытным путем или расчётами горного давления определяют нагрузки на стойки и верхняк крепежной рамы, на основании которых методами строительной механики рассчитывают их диаметры.

Величину  $M_{max}$  определяют по формулам (13.6) и (13.7), затем, подставив в формулу (13.5), находят диаметр верхняка. Стойки принимают такого же диаметра, как верхняк, но предварительно проверяют на прочность при большем осевом усилии  $P_2$ . Если  $P_2 \leq [\sigma_{сж}] S_{ст}$  (где  $[\sigma_{сж}]$  - сопротивление материала стойки на сжатие;  $S_{ст}$  - площадь сечения стойки), то стойка будет устойчивой.

Каменная крепь применяется в виде искусственных опор или полос из бутового камня на песчано-цементном растворе. Отдельные столбы - опоры возводятся в очистных забоях по мере продвижения работ, полосы выкладываются взамен междублоковых и междуэтажных целиков до начала отработки блока или с некоторым опережением. Материал и размеры каменных опор выбираются на основании конкретных горно-геологических условий. Из-за трудности механизации работ и больших объемов ручного труда возведение каменной крепи требует значительных экономических затрат. Поэтому этот вид поддержания наибольшее распространение получил при отработке жильных месторождений ценных руд или опасных по горным ударам (Индия, Южная Африка) При больших объемах работ по креплению этот способ поддержания становится нецелесообразным и его заменяют закладкой выработанного пространства.

На калийных и марганцевых месторождения, залегающих в слабых осадочных породах и характеризующихся достаточно выдержанными условиями залеганий (сравнительно постоянная мощность, горизонтальный или пологий угол падения), для крепления очистных забоев применяют металлические стойки и различного типа передвижные механизированные комплексы. Конструкции применяемых крепей для поддержания очистных забоев - лав аналогичны тем, которые широко используются при разработке пологих угольных пластов.

Сущность этого способа разработки заключается в том, что вслед за выемкой полезного ископаемого сразу или с некоторым отставанием налегающие породы обрушаются принудительно или под действием собственного веса. Характерной особенностью всех систем с обрушением является сплошная отработка шахтных полей без оставления внутризабойных, междублоковых и междуэтажных целиков. При некоторых вариантах систем допускается лишь временное оставление целиков (двухстадийная выемка), которые погашаются сразу после отработки камеры. Такой порядок выемки необходим для создания благоприятных условий самообрушения вышележащих пород, в результате которого снижаются напряжения на краевые зоны массива руды.

Системы разработки с обрушением (столбовые системы, слоевое обрушение, подэтажное обрушение, этажное самообрушение, этажное принудительное обрушение) обычно применяют при разработке мощных месторождений в неустойчивых, склонных к обрушению, породах, когда допускается сдвигание и обрушение земной поверхности.

Таким образом, управление геомеханическими процессами при системах разработки с обрушением вмещающих пород **заключается в целенаправленном изменении параметров систем разработки**, в частности, величин деформаций поверхности, последовательности и шага обрушения пород, величины опорного давления на краевую часть массива др.

Многочисленные факторы, влияющие на протекание процессов сдвигания и обрушения пород, можно разделить на две большие группы: горно-геологические и технологические;

**Горно-геологические факторы.** Из них следует выделить следующие: мощность рудного тела (залежи, пласта, жилы) угол падения, глубину работ, площадь распространения, механические свойства и структурные особенности строения пород, гидрогеологические условия месторождения, рельеф местности и др.

При отработке рудных тел их мощность и площадь оказывают существенное влияние на характер и величину сдвигания налегающих горных пород. Практикой установлено, что чем они больше, тем значительнее распространение зон сдвигания и обрушения пород, больше величина оседания и обрушения земной поверхности, выше скорости распространения деформаций пород.

Углы падения отрабатываемых рудных тел влияют на картину формирования зон сдвигания и обрушения, на форму и параметры мульд на поверхности.

**Технологические факторы.** Зависят от деятельности человека, и в отличие от горно-геологических факторов не остаются неизменными; их воздействие можно регулировать. Из основных технологических факторов следует отметить: применяемую систему разработки или способ управления горным давлением, порядок ведения горных работ, интенсивность и концентрацию очистной выемки, размеры отрабатываемых участков (шахтных полей), методы ведения взрывных работ и др.

Способ управления состоянием массива определяет класс применяемой системы разработки и оказывает самое существенное влияние на состояние подрабатываемого массива горных пород. При системах с обрушением предусматривается постоянное, вслед за выемкой руды обрушение подрабатываемых пород. От порядка отработки месторождения зависит характер деформации пород, очередность их сдвижения и обрушения, образование мульд на поверхности. Правильно выбранный порядок может обеспечивать непрерывность деформирования и плавность посадки пород. От интенсивности выемки зависит скорость нарастания деформаций, появление в толще трещин и разрывов.

**Управление обрушением пород.** Чтобы обеспечить самообрушение пород вслед за продвижением очистных работ, необходимо иметь достаточную протяженность фронта очистных работ в виде сплошной линии без оставления целиков. При этом запрещается выборочная выемка блоков. Все эти условия должны быть предусмотрены проектом и строго соблюдаться на практике.

Выбор направления фронта очистных работ необходимо согласовывать с основной системой трещин. Если линия фронта очистных работ совпадает с простиранием основных трещин, то при усилении опорного давления отдельные блоки руды будут сползать в сторону выработанного пространства. Поэтому рекомендуется направление линии фронта работ принимать под прямыми или крутыми углами к основной системе трещин, разделяющих массив руды.

пород, основной принцип которого заключается в следующем.

**Наработка напряженных участков массива руды.** Сущность этого метода заключается в отрезке напряженных участков массива руды от вышележащих пород с целью снижения опорного давления. Для этого применяются: первоочередная выемка верхних подэтажей в блоке, проходка специальных разгружающих (защитных) или отсечных выработок со стороны висячего бока, первоочередная отработка вышележащих залежей (пластов, жил). В результате этого происходит разгрузка массива руды защищенных залежей, предназначенных для очистной выемки.

В практике встречается предварительная отсечка от вмещающих пород верхней части перенапряженных блоков руды или оставленных ранее целиков для их разгрузки и последующей выемки.

**Применение одностадийной выемки.** Как известно, при системах с обрушением блоки руды отрабатываются в одну или две стадии. При двухстадийной выемке сначала в блоках вынимаются компенсационные камеры, на которые затем взрываются целики, при одностадийной — руда отбивается на «зажатую среду» (т.е. на ранее отбитую руду или обрушенные породы) без предварительного образования компенсационных камер.