

УДК 55.681.3

В.М. Шек, И.А. Пасечник

КОМПЬЮТЕРНОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ПРОЦЕССОВ ОБРУШЕНИЯ ГОРНЫХ ПОРОД В УГОЛЬНЫХ ШАХТАХ

Рассмотрены различные виды шахтных объектов (стволы, выработки, забои, штреки и т.д.) и влияние их на физические процессы в окружающих породах горного массива. Определены основные факторы, влияющие на обрушение горных пород; их использование в различных теориях прочности. Названы трудности, возникающие в процессе компьютерного моделирования процессов протекающих в массивах горных пород.

Ключевые слова: компьютерное моделирование, горный массив, обрушение горной породы, теория прочности, горные выработки, забой, угольная шахта.

Семинар 13

Основной задачей горнодобывающей промышленности является эксплуатация месторождений полезных ископаемых таким образом, чтобы обеспечить максимальную безопасность и экономическую эффективность ведения горных работ. Этому в немалой степени способствуют компьютерные решения, основанные на полной, достоверной и оперативной геолого-маркшейдерской информации.

Для достижения обозначенных целей необходимо сочетание традиционных исследований (опытных и теоретических) в области горного дела, методик геолого-маркшейдерского обеспечения производства с информационными технологиями, которые могут дать возможность сбора, передачи, обработки, хранения и накопления информации. На основе такой информации появляется возможность моделирования большинства технологических процессов на горном объекте (угольной шахте) с целью прогнозирования с высокой долей вероятности того, как будет развиваться си-

туация при тех или иных внешних воздействиях, а это, в свою очередь, даст возможность принятия наиболее эффективного управленческого решения. Подобное объединение оцифрованных данных экспертных управленческих решений производится геоинформатикой. Используя передовые достижения в области IT-технологий, методы геомеханики и геологии, а так же оперативные данные о состоянии объекта, можно разрабатывать программные системы, позволяющие решать описанные выше задачи.

Одной из задач на угольной шахте, при решении которой весьма рационально использование компьютерного моделирования, является задача прогнозирования обрушения горных пород за добычными комбайнами в забоях. Весьма частые завалы лав и следующие за этим трудности (например, распространение газа метана по капитальным выработкам) при проведении подземной выемки полезных ископаемых случаются из-за того, что на шахтах, в большинстве случаев, та-

кие параметры как скорость подвигания добычного комбайна, режимы управления крепью, возможное изменение аэрологической обстановки определяются чаще всего по интуиции или опытным путем. Современной альтернативой данному положению дел является использование научно обоснованных методов расчета геофизических величин, влияющих на процесс обрушения, изучение напряженно-деформированного состояния налегающего массива горных пород, ослабленного очистной выработкой, и программно-математического аппарата для расчета значений. Это позволит создать компьютерную модель объекта для описания протекающих здесь процессов с возможностью вероятностного расчета развития ситуации.

При моделировании состояния горных выработок действующих шахт принципиальным является деление их на стационарные (неподвижные) и переменные (подвижные). К первому типу относятся пройденные капитальные и вскрывающие горные выработки. Ко вторым – нарезные и очистные выработки. Обособленным объектом моделирования является нарушенное (выработанное) пространство, образуемое разрушенными и нарушенными горными породами вслед за подвиганием очистных забоев.

К капитальным выработкам относятся шахтные стволы, бремсберги и уклоны, выработки околоствольных дворов, капитальные (как правило, полевые) штреки и ряд других.

Изменения в окружающих такие выработки горных породах происходят в основном при их проходке в районе проходческого забоя, где протекающие процессы деформирования и разрушения имеют длительность от нескольких суток до нескольких месяцев в зависимости от

свойств этих пород и технологии крепления и поддержания таких выработок. В дальнейшем, при выходе рассматриваемого участка выработки из зоны активных изменений параметров исследуемых объектов становятся «вялыми» (протекающими с незначительными изменениями параметров в течение значительного временного промежутка – десятки месяцев, годы) либо, пульсирующими (когда периоды накопления изменений параметров среды и технологических объектов чередуются с краткосрочными «импульсными» периодами резкого изменения этих параметров – разрушения элементов крепи, вывалы и обвалы горных пород кровли и боков выработок и др.).

Успешное управление течением таких процессов рациональнее вести с использованием компьютерного моделирования, позволяющего прогнозировать будущее течение описываемых объектов в рассматриваемых вариантах проходки и поддержания проектируемых горных выработок в конкретных горно-геологических условиях. Тогда первой фазой такого управления будет выбор наиболее подходящего эффективного варианта создания и эксплуатации системы горно-капитальных выработок.

Для каждого варианта вначале рассматриваются элементные модели проходки – поддержания отдельных выработок. Которые затем объединяются в модель системы горно-капитальных выработок.

Рассмотрим основные выработки этого типа.

Шахтный ствол — вертикальная или наклонная горная выработка, имеющая, как правило, выход на дневную поверхность; ее протяженность значительна по сравнению с поперечным сечением. Если ствол не имеет выхода на дневную поверх-

ность, то он называется гезенком, юберзихбрехеном или слепым стволом. По назначению стволы различают: разведочные, для подъема добытого полезных ископаемых, вспомогательные (для водоотлива, для вентиляции, для спуска и подъема людей, для спуска пустой породы, для закладки выработанного пространства, для спуска крепежного леса). Обычно стволы исполняют несколько назначений в течение очень длительного промежутка времени и тогда они являются капитальными. Часто под одним надшахтным зданием имеются два-три ствола, дополняющие по назначениям друг друга. Такие стволы называются сдвоенными (строеными). Каждая ствол может быть разделен продольно на разделы, каждый из которых имеет свое особое назначение. Стволы крепятся деревом, анкерной крепью, кирпичом, естественным или искусственным камнем на гидравлическом цементе, бетоном, железобетоном, а также чугунными или железными кольцевыми составными звеньями. Поперечное сечение шахт при деревянном, анкерном или железобетонном креплении делается прямоугольным, при остальных — арочным, круглым или овальным. Поперечное сечение прямоугольных стволом доходит до 4,2 м.*6,6 м., диаметр круглого ствола бывает до 6 и более метров. Достоинство наклонных стволов: при их проходке попутно добывается полезное ископаемое, лучше, чем при вертикальных выясняется характер залегания месторождения, упрощается конструкция околоствольных дворов, все проходческие работы ведутся с применением комбайнов.

Забой [1] — передвигающаяся в пространстве поверхность полезного ископаемого или вмещающих его пород, с которой непосредственно осу-

ществляется их выемка. Обычно забой отождествляется с выработкой, конструктивным элементом которой он является. Различают забои очистные (забои очистных выработок) и подготовительные (забои вскрывающих и подготовительных выработок). Очистные забои различаются: по форме — прямолинейные, уступные; по расположению в пространстве — по простиранию, вкрест простирания, по падению, по восстанию, диагонально простиранию; по направлению подвигания груди забоя — по простиранию, вкрест простирания, по падению, по восстанию, по диагонали; по расположению относительно тела полезного ископаемого (пласта) — одиночные (позволяющие отрабатывать пласт на всю мощность) и слоевые или уступные (позволяющие отрабатывать пласт полезного ископаемого несколькими слоями).

По интенсивности использования забои делятся на: действующие — забои, в которых систематически производятся очистные или подготовительные работы; запасные — забои, полностью подготовленные, но не оснащенные выемочными машинами (выемочным или проходческим комбайном, забойным конвейером, механизированной крепью и т. д.). При необходимости они могут быть оснащены выемочным оборудованием и превращены в резервные или действующие. Как правило, очистные забои (разрезные печи) в выемочном поле, панели или блоке подготавливаются заблаговременно и в течение нескольких недель или даже месяцев (до включения их в работу взамен выемочных действующих) являются запасными; резервные — забои, полностью подготовленные и оснащенные всем необходимым электро- и гидромеханическим оборудованием; такие забои могут быть в любое время вве-

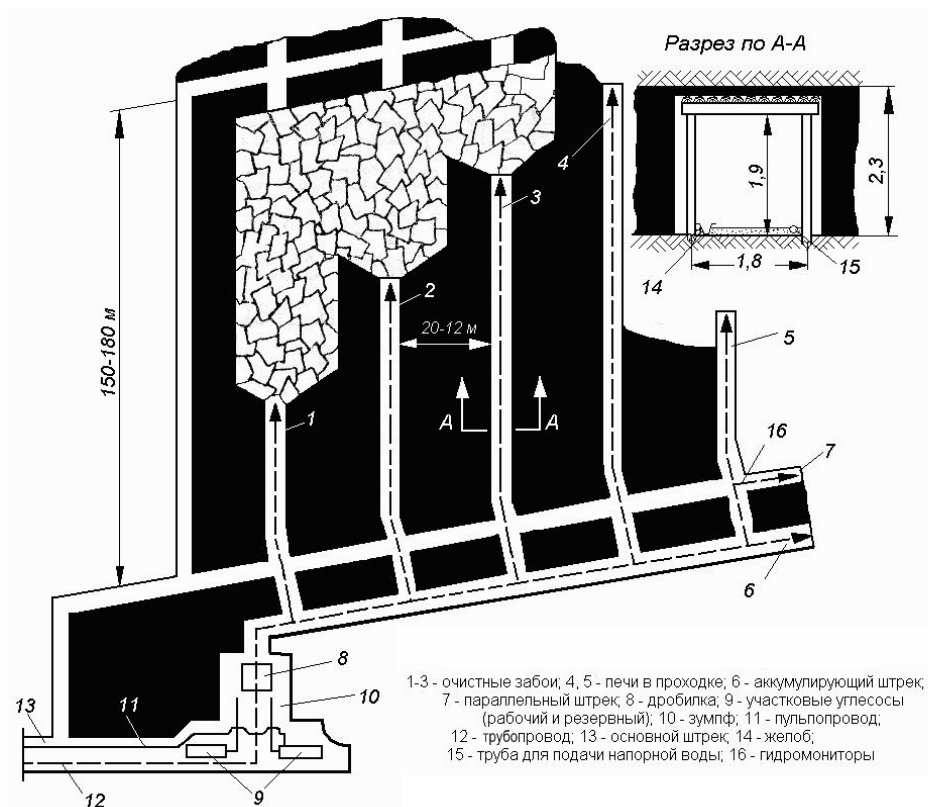


Рис. 1. Схема разработки пласта несколькими очистными забоями с гидродобычей

дены в действие вместо выбывших из строя (по причине аварии или истощения подготовленных для отработки запасов полезного ископаемого) действующих забоев; смешанные — забои подготовительных выработок, которые проводятся по пласту полезного ископаемого с подрывкой боковых пород.

На рис. 1 представлено схематичное изображение разработки крутонаклонного пласта шахты несколькими очистными забоями.

В сущности, обрушение кровли в угольном забое — это процесс разрушения горных пород залегающих выше. Как и любые другие твердые тела, элементы вышележащих горных пород изменяют свои размеры, формы и

схему взаимодействия при воздействии на них каких-либо внешних сил, т.е. деформируются. Любая деформация твердого тела представляет собой совокупность развивающихся в определенной последовательности состояний и процессов: упругая деформация, пластическая деформация, разрушение. В природе не существует абсолютно упругих горных пород, которые бы полностью восстанавливали свои первоначальные формы и размеры после устранения воздействия на них.

Однако можно подразумевать практическую упругость горных пород в случае, когда остаточные деформации при снятии нагрузки настолько малы, что их трудно зафик-

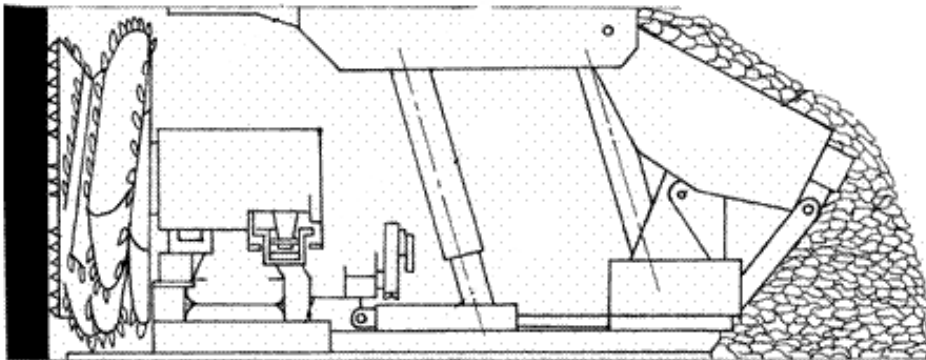


Рис. 2. Очистной забой с обвалившейся вышелегающей породой

сировать измерительной аппаратурой, или в случае, когда остаточные деформации незначительны и ими можно пренебречь в условиях решаемой задачи.

Пластическая деформация начинается при напряжении, которое называют пределом текучести. Пластическая деформация любой разновидности горных пород начинается в упругой области с той лишь разницей, что у различных пород эта область различна. При достижении предела пластической деформации тело разрушается. На рис. 2 представлен очистной забой с обвалившимися слоями вышелегающих пород. В связи с изменчивостью параметров горных пород в объеме, однозначно описать течение этих процессов невозможно. Поэтому моделирование последних будет вероятностным.

На практике различают два основных вида разрушения горных пород:

1) *хрупкий* — происходящий практически без изменения объема и формы элементарного тела пласта или при его незначительной постоянной упругой деформации;

2) *пластический*, которому предшествуют течение, пластическое скольжение и другие явления. Пла-

стическое разрушение может наступить после того, как приложенные напряжения превысят предел текучести, и сопровождается значительными изменениями объема и формы элементарного тела (блока) пласта. Классификация разрушения горных пород на виды несет в себе определенную долю условности. Анализ физико-механических испытаний горных пород показывает, что всякое хрупкое разрушение сопровождается хотя бы незначительными необратимыми деформациями, а при пластической деформации блока возможно разделение его на субблоки, часть из которых сохранит упругие свойства.

Каков бы ни был вид разрушения массива горных пород, характер основного разрушения может быть двояким: либо в виде отрыва, либо в виде скола (сдвига). Следовательно, разрушение пород может быть классифицировано и по характеру этого процесса:

➤ разрушение по площадкам главных нормальных напряжений; для упрощения терминологии это разрушение называют *разрушением по нормали*. Оно характерно для одноосного растяжения или сжатия блока породы;

➤ разрушение по площадкам максимальных касательных напряжений — *разрушением сдвига*. Этот вид разрушения характерен при нагружении пород на косой срез. Порода может разрушиться по площадкам наибольших касательных напряжений и при сжатии (растяжении). Произойдет это в случае, если предел прочности горной породы на сдвиг меньше, чем её предел прочности на растяжение (сжатие).

Существует несколько критериев разрушения горных пород и соответствующие им теории прочности. В обобщенном виде их можно разделить на несколько групп [2...5]:

1. Теории прочности, предполагающие в качестве критерия разрушения наибольшие напряжения. Согласно этим теориям, разрушение тела наступает в том случае, если наибольшее нормальное напряжение σ_{\max} достигнет какого-то предела $\sigma_{\text{пр}}$ или если наибольшие касательные напряжения τ_{\max} будут равны пределу прочности материала на сдвиг $\tau_{\text{сдв}}$. Эти теории не учитывают совокупности факторов, приводящих к разрушению, не получают экспериментального подтверждения. Материал может разрушиться в одном случае в виде разрыва, в другом — в виде сдвига, хотя по характеру силовая нагрузка в обоих случаях одинакова (сжимающая).

2. Теории прочности, согласно которым разрушение твердого тела наступает, когда наибольшие относительные деформации достигнут определенного предельного значения.

3. Согласно энергетической теории, прочность тела пропорциональна работе, затраченной на изменение его формы при деформировании. При этом предполагается, что объем тела остается неизменным.

4. Большое распространение получила *теория прочности Мора*, со-

гласно которой разрушение твердого тела наступает при определенном соотношении между нормальными и касательными напряжениями в данной площадке.

5. За последние годы стала развиваться *статистическая теория* прочности твердых тел, которая исходит из предположения, что прочность тела определяется прочностью его наиболее слабого участка.

Резюмирую все выше сказанное, получаем, что знание силовой обстановки (способа приложения внешних сил, их величины и направления), результатов анализа напряженного состояния, прочностной характеристики пород, т.е. зависимости прочности горной породы от напряженного состояния – дают возможность предугадать характер и вид разрушения горной породы.

На сегодняшний день, для компьютерного моделирования и расчета параметров описываемых процессов не существует универсального пакета программ, однако многие научно-исследовательские институты и университеты, как в нашей стране (ФГПУ ВИОГЕМ, ФГПУ ГУА, МГГУ), так и за рубежом ведут работы в данном направлении, пытаясь создать на основе современных геолого-маркшейдерских разработок подобные компьютерные программы. Техническая реализация подобных задач, по определению, должна представлять собой локальную вычислительную сеть автоматизированных рабочих мест (АРМ), посредством которых персонал предприятий (геологическая, маркшейдерская, технологическая, диспетчерская служба) может с помощью компьютерного моделирования решать технологические задачи с учетом факторов состояния массивов горных пород вблизи горных выработок.

Отсутствие универсального общепризнанного пакета программ моделирования горных процессов, связанно со сложностью систем реально существующих объектов. Каждый создаваемый проект должен быть в высокой мере приспособлен для того, чтобы максимально точно отражать сложную структуру системы горных пород и технологических объектов, образующих шахту, и описывать их взаимосвязь. Это осложняется также тем, что нет единой теоретической

базы, которая бы однозначно объясняла процессы изменения и обрушения горных пород при ведении горных работ. Для создания подобных компьютерных моделей принципиально важно также использование натурных исследований, благодаря которым можно сделать заключение относительно адекватности создаваемых моделей действительности в части расчетов изменений горного давления и свойств естественных и техногенных объектов при очистной выемке.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Основы физики горных пород* – Ржевский В.В., Новик Г.Я., Москва, Недра, 1978.
2. *Геомеханика подземной разработки руд* – Казикаев Д.М., Москва, Издательство МГУ, 2005.
3. *Крепление подземных выработок* – Слесарев В.Д., Москва, Гостоптехиздат, 1940.
4. *О давлении горных пород и расчет крепи круглой шахты* – Динник А.Н., Инж. Работник – 1925 г. - №7.
5. *Неоднородность горных пород и их физических свойств* – Рац М.В., Москва, Наука. 1968. **ИАС**

Коротко об авторах

Шек В.М. – доктор технических наук, профессор кафедры АСУ, src@msmu.ru;
Пасечник И.А. – аспирант кафедры АСУ, src@msmu.ru;
 Московский государственный горный университет,
 Moscow State Mining University, Russia, ud@msmu.ru



ДИССЕРТАЦИИ

ТЕКУЩАЯ ИНФОРМАЦИЯ О ЗАЩИТАХ ДИССЕРТАЦИЙ ПО ГОРНОМУ ДЕЛУ И СМЕЖНЫМ ВОПРОСАМ

Автор	Название работы	Специальность	Ученая степень
ИНСТИТУТ ФИЗИКИ ЗЕМЛИ им.О.Ю.Шмидта РАН			
ОСИКА Ирина Викторовна	Оценка техногенного воздействия от работы гидроаккумулирующей электростанции на геологическую среду (на примере Загорской ГАЭС)	25.00.03	к.г.-м.н.