

низких частот и стадийность развития колебательного процесса. Рассмотрено влияние базы виброакустического контроля на его глубинность и детальность.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Глушко В.Т., Ямщиков В.С., Яланский А.А. Геофизический контроль в шахтах и тоннелях. – М.: Недра, 1987. – 278 с.
2. Виноградова М.Б., Руденко О.В., Сухоруков А.П. Теория волн. – М.: Наука. Гл. ред. физ.-мат. лит., 1990. – 432 с.
3. Бреховских Л.М. Волны в слоистых средах. – М.: Наука, 1973. – 343 с.
4. Шерифф Р., Гелдарт Л. Сейсморазведка. Пер. с англ. В 2-х кн. – М.: Мир, 1987. – Т. 1. – 447 с. – Т. 2. – 400 с.
5. Гликман А.Г. Оценка и диагностирование межслоевых контактов в угленосной толще // Горная геофизика: Материалы Всесоюзного семинара. – Тбилиси, 1989. – Ч. 1. – С. 149-150
6. Руководство по геофизической диагностике состояния системы «крепь - породный массив» вертикальных стволов: Дополнение к «Пособию по восстановлению крепи и армировки вертикальных стволов. РД.12.18.073-88» / А.Ф. Булат, Б.М. Усаченко, А..А. Яланский и др.: Донецк: ООО «Лебедь», 1999. – 42 с.

УДК 622.831

Е.А. Слащева

ОСОБЕННОСТИ ВВОДА И ОБРАБОТКИ ИСХОДНОЙ ИНФОРМАЦИИ ПРИ РЕШЕНИИ ГЕОМЕХАНИЧЕСКИХ ЗАДАЧ С ПОМОЩЬЮ ПЕРСОНАЛЬНЫХ ЭВМ

Розглянуто особливості прискореного відпрацювання розрахункових схем при вирішенні геомеханічних задач за допомогою персональних ЕОМ.

SINGULARITIES OF INPUT AND TREATING OF AN INPUT INFORMATION AT A SOLUTION OF THE GEOMECHANICAL TASKS WITH THE HELP OF PERSONAL COMPUTERS

The singularities of accelerated improvement of the design schemas are reviewed at a solution of the geomechanical tasks with the help of personal computers.

При проведении исследований с целью управления процессами проявлений горного давления эффективным и необходимым инструментом является персональная ЭВМ, которая необходима для выполнения громоздких вычислений, статистической обработки данных, построения графиков и таблиц, картирования, визуализации и преобразования форм представления, архивирования и хранения исходных геофизических, геомеханических и технологических данных, результатов расчетов, а также реализации регрессионных, структурных, потенциальных и других моделей расчета напряженного состояния породных массивов [1, 2].

Постановка конкретной задачи по оценке устойчивости подземного сооружения предусматривает соблюдение геометрических и физических критериев подобия по отношению к реальному сооружению. Геометрическое подобие определяется выбранным масштабом моделирования. Выделенный геометрический объём разбивается сеткой треугольных элементов, при этом производится её сгущение в местах ожидаемых высоких градиентов напряжений. Физическое

подобие соблюдается математически заданием параметров реальных физико-механических свойств.

Следует отметить, что наиболее важным и трудоемким этапом при решении геомеханической задачи любого уровня является собственно разработка расчётной схемы и установление граничных условий, как можно наиболее близко отражающих соответствующие реальные условия. Под граничными условиями, в данном случае, понимают весь комплекс задаваемых воздействий и трансформаций выделенного фрагмента исследуемого массива горных пород, которые нарушают его исходное равновесное состояние. Граничные условия задаются известными силами или перемещениями.

Известно, что при использовании универсальной сети конечных элементов той или иной структуры часто удается сильно сократить объем вводимой информации, но затраты усилий на разработку приемов конструирования сетей конечных элементов не всегда оправдываются, в то же время они безусловно необходимы при решении объемных или очень больших двумерных задач [3]. Разработаны две симметричные универсальные расчетные схемы слоистой структуры, которые разбиты на 176 и 204 (два варианта) треугольных элемента. Схемы отличаются видимой простотой, однако они позволяют рассматривать довольно широкий диапазон различных горных задач: от работы самой простой одиночной выработки (штрека) до очистной (лавы). Этот эффект достигается за счет их построения. Нижняя часть модели предназначена для выравнивания нагрузки. Значительное количество горизонтальных слоев позволяет моделировать основные и непосредственные кровли и почвы, всевозможные прослои, при этом сохраняется простота модели, а геометрическое подобие поддерживается изменением только толщины слоев, что значительно проще полного построения изначальной модели. Возможны также незначительные дополнительные разбивки необходимых зон модели. Изменение толщины слоев в вертикальном и направлении позволяет моделировать различные типы крепи, варианты сопряжений, геологические складки и целики.

Упрощенные модели позволяют рассчитать и смоделировать различные варианты посадки основной и непосредственной кровли, пучения пород почвы и забутки выработанного пространства, определить участки повышенной трещиноватости и углы мульды сдвижения. При этом исследованию подлежат как параметры начального поля напряжений, так и зоны опорного давления, размеры и конфигурация очистных пространств, деформационно-прочностные свойства массива вмещающих пород, а также способы воздействия на угольный пласт.

С целью прогноза ожидаемых водопритокков и устойчивости горнотехнических и гидротехнических сооружений, разработки мероприятий по предупреждению просядочных явлений, автором разработана математическая модель, состоящая из 842 треугольных элементов. Модель представляет собой многослойный массив, в котором можно расположить полости, проведены детальные исследования камерно-столбовой системы при отработке месторождения гипса в различных горно-геологических условиях [4].

Кроме того, разработана программа автоматизированной подготовки рас-

четных схем с заранее выбираемыми параметрами, которая позволяет изменять количество и форму треугольных элементов в горизонтальном и вертикальном направлении, что открывает возможность смоделировать как наклонное, так и крутое падение горных пород. Она значительно повышает производительность расчетов и при сложной конфигурации и невозможности подбора удобной универсальной расчетной схемы, позволяет исследовать всевозможные многовариантные результаты принятых решений. Комплекс программного обеспечения состоит из трёх основных блоков, каждый из которых составляет самостоятельный многофункциональный объектно-ориентированный программный модуль, выполняющий определённый круг задач.

Блок ввода геомеханической информации позволяет оперативно создать модель исследуемой области произвольного очертания и начального напряжённого состояния. В результате добавления совокупности физико-механических свойств среды генерируется законченный числовой массив и формируется файл исходных данных. При этом все сложные операции максимально автоматизированы, что позволяет пользователю максимально сократить время на подготовку данных. Например, для задания прочностных и деформационных свойств пород можно использовать внутренний каталог, свойства, нагрузки и перемещения можно задать в целом по модели, послойно или поэлементно. Собственный каталог физико-механических свойств можно изменять или дополнять. Изменение граничных условий с глубиной выполняется автоматически. Оператором заполняются окна геометрических параметров расчётной схемы: ширина, шаг сетки по ширине; высота, шаг сетки по высоте; физико-механические свойства горных пород или другого материала (слоистые структуры; слоистые, произвольные и поэлементно ослабленные зоны; возможность поузлового изменения нагрузок и перемещений непосредственно с помощью монитора для имитации нагрузок и отпора крепи); число шагов нагружения; глубина разработки; предельное число итераций при пластическом деформировании.

В алгоритм решения заложены упругая, упруго-пластическая модели среды и среда с разупрочнением как представляющие наибольший интерес для практического решения горных задач с учетом гидрогеологических особенностей. Для описания этих моделей достаточно обычного набора механических характеристик, полученных при инженерно-геологических исследованиях, а модель выбирается методически в зависимости от соотношения прочностных параметров реальных пород и напряжений в массиве. Прочные породы, низкие напряжения – упругая среда, производится одна итерация, глинистые породы – много итераций, при этом предельные напряжения в области растяжения ограничиваются пределом прочности на растяжение, когда они автоматически принимаются равными $S/5$ для элементов, не выходящих в пластику, и равными нулю для элементов, выходящих в пластику на предыдущих циклах итерации. Предельное напряжение в области сжатия автоматически ограничивается пределом прочности на сжатие, остаточная прочность определяется уравнением

$$\sigma_1^{ост} = \sigma_1 / 3 .$$

Блок расчёта напряжённо-деформированного состояния выполняет численную реализацию исходной расчётной схемы, сохраняя при этом, равновесие внутренней энергии исследуемой области. Кроме того, выполняются функции контроля субъективных ошибок оператора. Однако, основная функция возложена на анализ получаемой информации, реализованный в блоке обработки выходной информации. Совокупность средств и методов обработки данных позволяют выполнять прогноз геомеханических явлений, рассчитывать конструкции и сооружения.

Для решения практических вопросов устойчивости капитальных, подготовительных и очистных выработок и управления горным давлением необходимо производить расчеты напряжений и перемещений пород. По мере извлечения полезного ископаемого и перемещения забоя поле напряжений вокруг выработок изменяется. Область массива, в пределах которой происходят эти изменения, называют зоной влияния выработок. В отличие от подготовительных выработок зоны влияния вокруг очистных пространств охватывают большие области массива. Решение таких задач еще можно произвести на упрощенных унифицированных расчетных схемах.

С точки зрения напряжений в массиве пород вокруг очистной выработки выделяют две основные зоны: зону разгрузки и зону опорного давления. Так как границы очистной выработки все время перемещаются в пространстве, выделенные зоны также находятся в непрерывном движении. Поэтому различают временное или эксплуатационное опорное давление, возникающее вблизи перемещающихся границ очистного пространства, а именно: зоны опорного давления основной и непосредственной кровли, основной и непосредственной почвы, которые накладываются на зоны разгрузки и зоны нетронутого массива. В противоположность этому, зону концентрации напряжений возле неподвижной границы очистной выработки называют зоной остаточного или стационарного давления.

В этой связи, в методическом плане, при решении сложных задач теории упругости, необходимо последовательно конкретизировать (привязывать к фактическим условиям и по мере возможности уточнять величины исходных параметров) условия задачи, учесть не только исходные горно-геологические условия, прочностные параметры, формы и размеры выработок, а и ожидаемые результаты, например, крайние (допускающие еще эксплуатацию) размеры выработок, т. е. ввести максимальные перемещения или допустимые коэффициенты концентрации напряжений в зонах опорного давления, и т. д. При этом снижается общая неопределенность задачи, она становится более конкретной, а получаемые расчетные параметры становятся более точными, в связи с чем полученные результаты могут быть уже исходными параметрами управления горным давлением. По степени и характеру процессов деформирования в массиве можно выделить несколько различных зон: упругого плавного прогиба, пласти-

ческого течения, повышенной трещиноватости, сдвижений и обрушений пород. Толщи пород, подвергшиеся влиянию горных работ, имеют различие по характеру и степени деформирования пород.

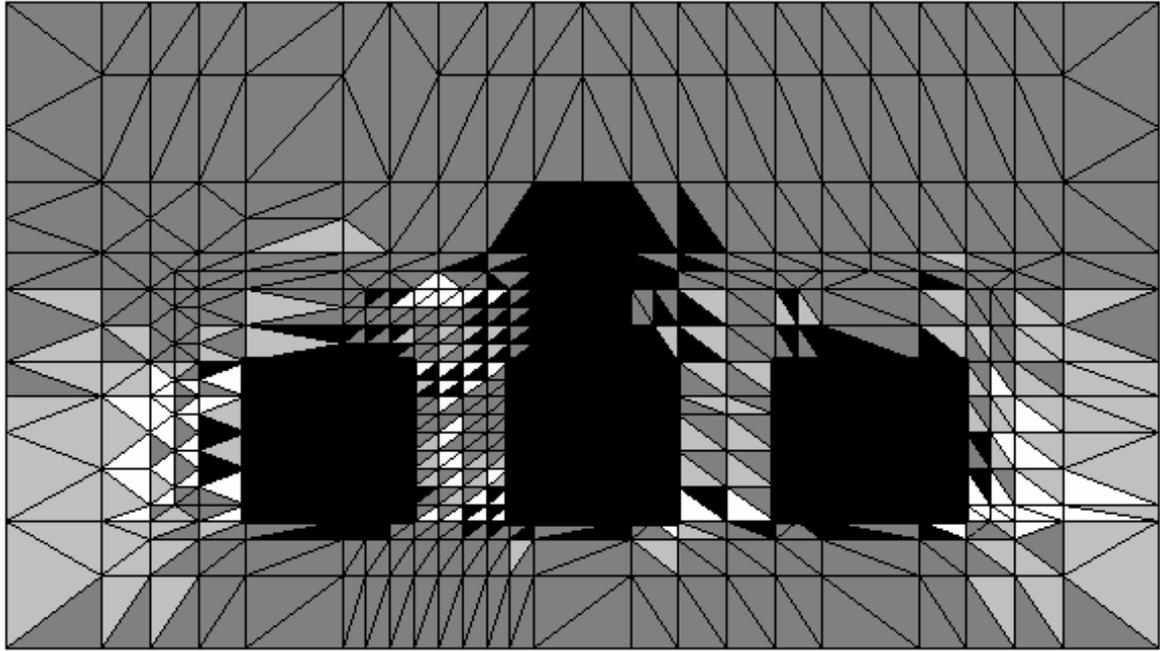
Введение времени с целью прогноза устойчивости чисто теоретически также весьма проблематично, поскольку опять мешает многофакторность проблемы, взаимозависимость исходных параметров. Значительно проще учесть время на основе экспериментального определения стадии разрушения объекта, т.е. на основе учета реального времени частичного разрушения реального объекта. В природе большинство затухающих процессов носят экспоненциальный характер, поэтому не представляет значительных трудностей, определив априорно и субъективно на первом этапе несколько промежуточных экспериментальных точек, уточнить стадию разрушения породного массива и дать прогноз устойчивости на базе эмпириоаналитических данных, например, на основе сопоставления экспериментально определенного состояния породного массив (реального времени достижения этого состояния) и расчетных данных разрушения промежуточных моделей при различных нагрузках [5]. Для решения таких сложных задач пригодны асимметричная унифицированная расчетная схема (рис. 1) и программа автоматизированного построения конечно-элементных расчетных схем (рис. 2).

Формы и характер проявлений горного давления как вокруг капитальных и подготовительных, так и, в особенности, вокруг очистных выработок весьма разнообразны (от небольших сдвижений и деформаций горных пород и полезного ископаемого до их разрушения и обрушения, от незначительных нагрузок на крепь до полного вывода ее из строя) и зависят от многих факторов, в том числе от глубины разработки, горно-геологических условий, структуры и механических свойств горных пород, гидрогеологии и тектоники участка.

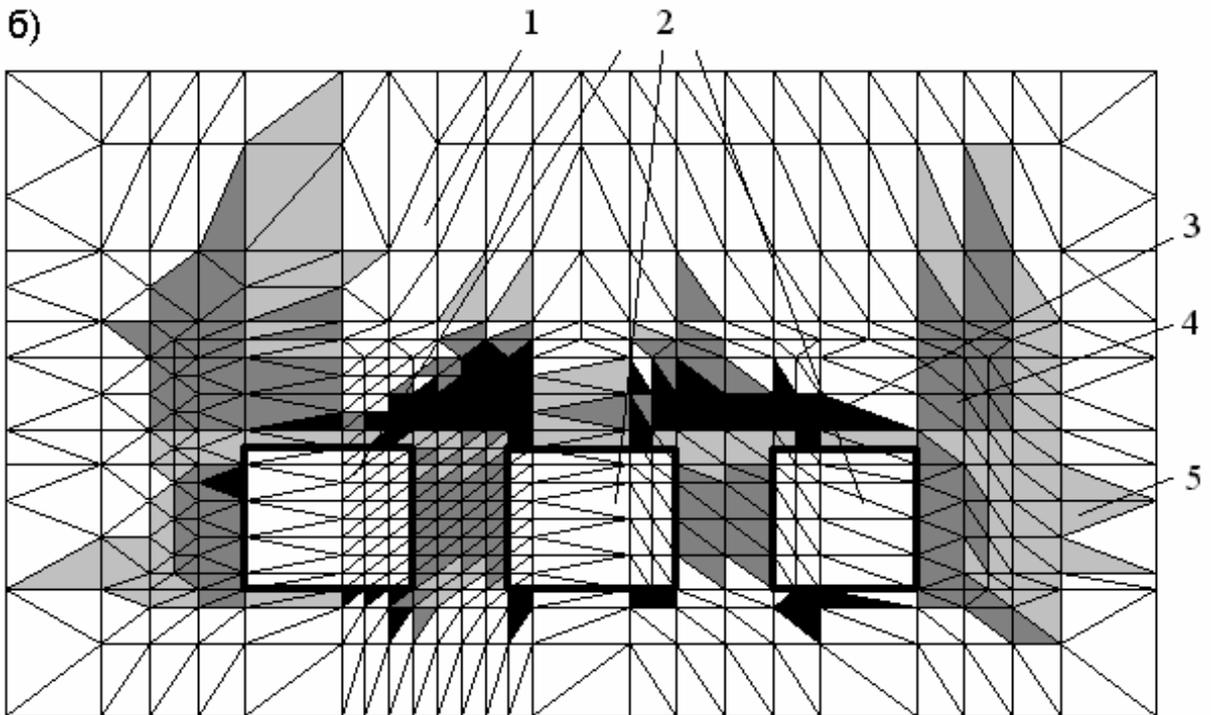
Большое влияние оказывают горнотехнические условия эксплуатации месторождений, характеризующиеся формой, размерами и расположением выработок, технологией ведения добычных работ, способом управления горным давлением, скоростью подвизания забоев, видом крепи, способом и типом закладки выработанного пространства и т. д. Технологические процессы, изменяющие массив пород вокруг очистной выработки, породного обнажения, сопровождаются изменением поля статических напряжений и, как следствие этого, деформированием окружающих пород.

В выработанном пространстве вслед за упругими смещениями пород кровли и стенок развиваются неупругие деформации и происходят локальные разрушения. Этому способствует развитие в окружающем массиве зон концентрации как сжимающих, так и условно растягивающих напряжений. В процессы деформирования вовлекаются большие объемы пород. В результате этого в очистных выработках развиваются процессы обрушения покрывающих пород. Расчетные методы, основанные на теории упругости, пластичности, упругопластичности и т. д., базируются на непрерывности среды, поэтому не позволяют исследовать в динамике процессы разрушения, однако они определяют начало зарождения трещин, а замена трещин слабопрочными породами позволяет при-

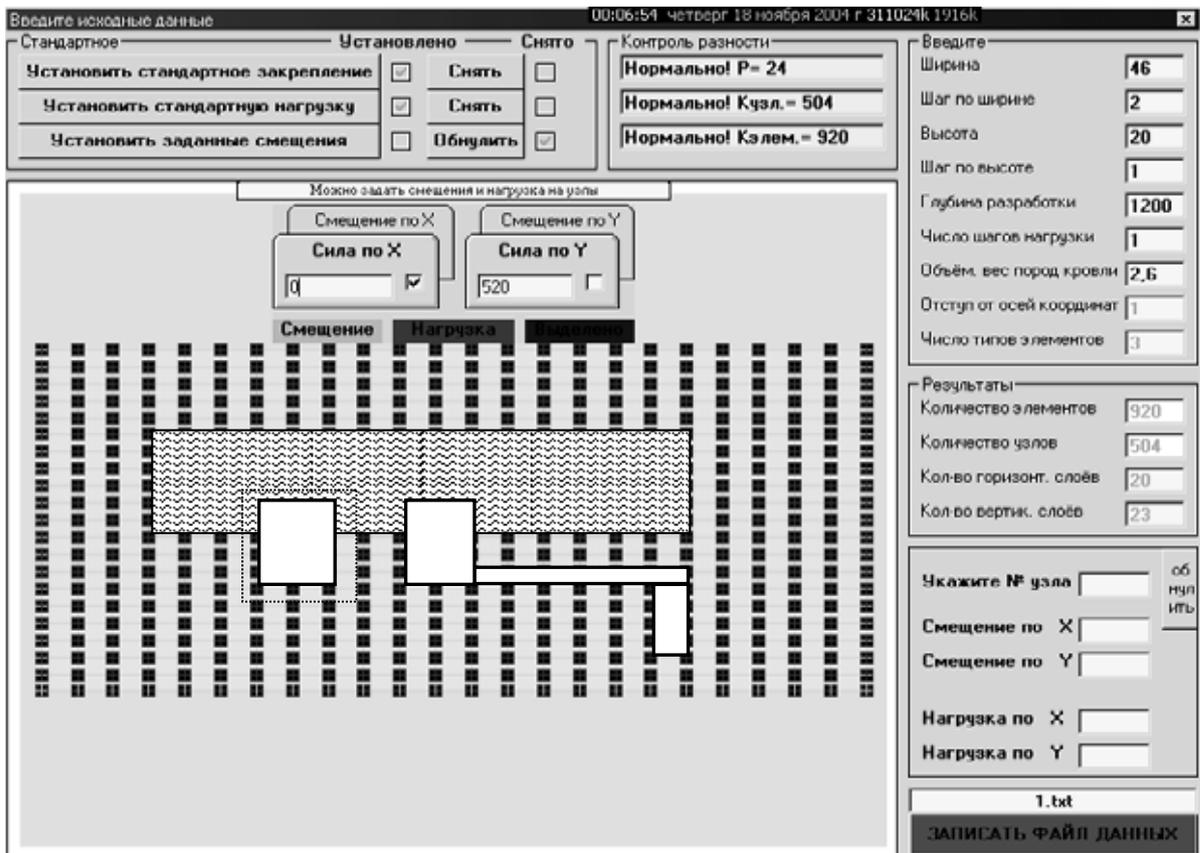
a)



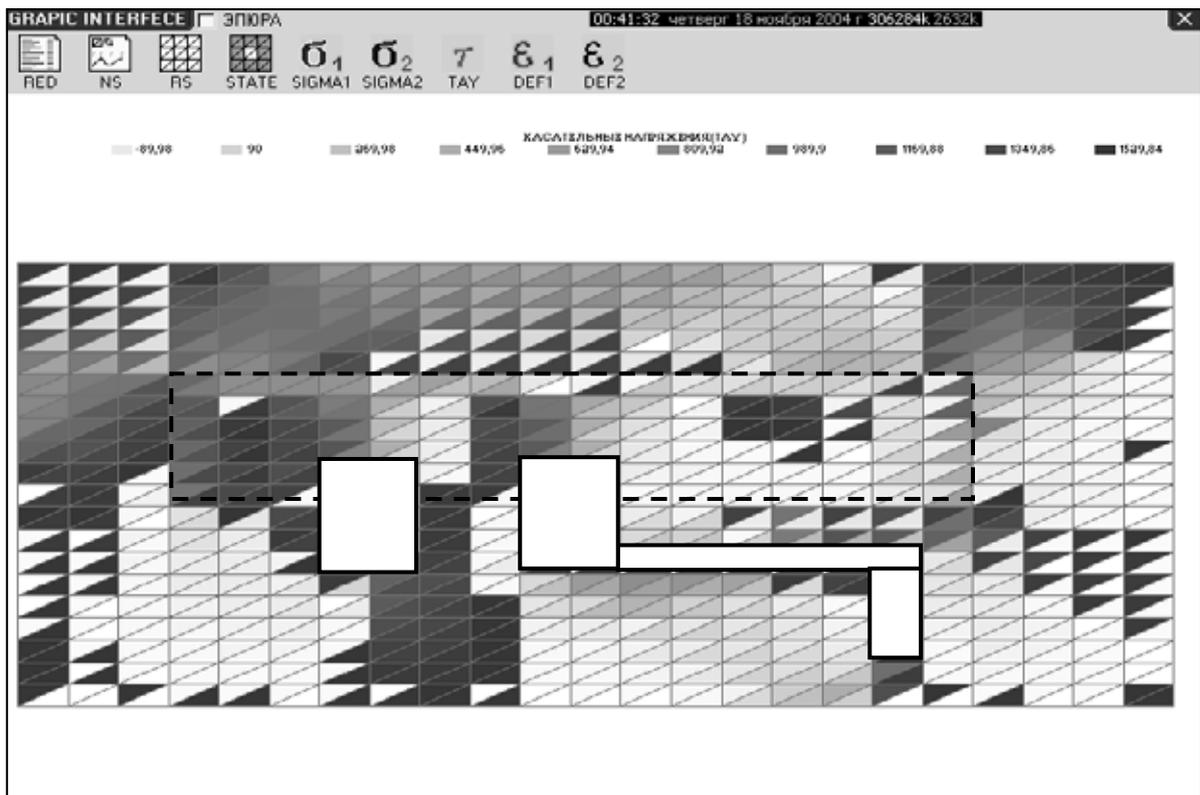
б)



1 – массив; 2 – камеры; 3, 4, 5 – возрастающие зоны пластических деформаций
Рис. 1 – Исследование напряженно-деформированного состояния (создание предельных нагрузок, которые заведомо превышают реальные нагрузки) при камерной схеме разработки гипса в сложно-структурном массиве горных пород: а) напряжения σ_1 , которые изменяются от 21,4 МПа до 128,4 МПа (более светлые элементы), а также зоны разрушения (черные элементы); б) определение движения фронтов пластического деформирования при различных величинах прикладываемой нагрузки (черные элементы – 0,1 полной нагрузки; серые – 0,5 полной нагрузки; светлые – полная нагрузка)



а)



б)

а) автоматизированный ввод исходной геомеханической информации; б) результаты расчета касательных напряжений

Рис. 2 – Типичные результаты автоматизированного расчета напряженно-деформированного состояния вокруг подземных геомеханических объектов сложной конфигурации

ближенно имитировать развитие процесса разрушения.

В практике разработки пластовых месторождений твердо укоренились понятия непосредственной и основной кровли и почвы пластов, отражающие различную способность пород к обрушению над очистным пространством. Расчетные методы позволяют легко определить шаги посадки основной и непосредственной кровель. В момент первого обрушения происходит изменение характера и значений нагрузок на опорные целики, почву, кровлю и крепь выработок. В этот период часто наблюдают сильную деформацию крепи, приводящую иногда к ее полному разрушению и завалу лав. После первого обрушения пролеты зависших пород кровли уменьшаются, и условия работы крепи улучшаются.

При первом обрушении трещиноватой кровли трещины разрушения пересекают естественные трещины и располагаются в основном так же, как и в не трещиноватых породах (т.е. в соответствии с характером напряженного состояния). Пролет предельного обнажения трещиноватой кровли составляет примерно 0,6-0,7 предельного пролета нетрещиноватой (цельной) кровли. При пересечении трещин, возникающих от подвижек пород, с кливажными и другими трещинами в кровле образуются отдельные глыбы, куски, отделяющиеся от остального массива и вываливающиеся в выработку (куполообразование). Поскольку объемный вес осадочных горных пород различных литотипов практически одинаков и мало изменяется с изменением трещиноватости, то такую зону при повторном нагружении можно представить зоной слабопрочных пород.

Для каждого сочетания горно-геологических условий существуют определенные размеры обнажений пород в выработках, при превышении которых выработки приходят в неустойчивое состояние. С целью уменьшения их размеров часто оставляют целики. Назначением целиков является предотвращение развития недопустимых деформаций, которые в конечном итоге приводят к разрушению массива. Для обоснованного определения рациональных параметров систем разработки необходим анализ напряженно-деформированного состояния системы целик – очистная выработка – толща вмещающих пород. В каждом конкретном случае стремятся выявить наиболее слабое звено, устойчивое состояние которого предопределяет состояние всех остальных звеньев.

Для расчета параметров очистных выработок и целиков необходимо: установить характеристики нагрузок, действующих в массиве пород, вмещающем элементы системы разработки, размеры которых подлежат определению; по значениям нагрузок вычислить параметры вызываемых ими напряжений и деформаций в потолочинах и целиках; на основании вычисленных характеристик напряженно-деформированного состояния и сравнения их с деформационно-прочностными параметрами пород, слагающих потолочины, кровлю и целики, оценить несущую способность и устойчивость этих элементов.

Размеры зоны влияния выработок существенно зависят от степени равномерности начального поля напряжений и при наиболее благоприятном случае для круговой формы сечения составляют около полутора диаметров. На напряжения вокруг выработки эллиптического сечения влияют соотношения полуосей и их ориентировка в поле напряжений нетронутого массива. Максималь-

ная устойчивость выработки достигается при расположении большей оси сечения по линии действия наибольшего из напряжений в нетронутом массиве.

Массив горных пород обладает значительной потенциальной энергией, которая расходуется на их деформацию. Проведение горных выработок и строительство подземных сооружений вызывает изменение начального поля напряжений. Поле напряжений можно представить как сумму начального поля нетронутого массива, т.е. до проведения выработки, и дополнительного поля напряжений и смещений, являющегося результатом выемки породы при проведении горных работ. При выемке полезного ископаемого оно постоянно изменяется, по фронту движения очистного забоя образуется зона опорного давления. После выемки угля образуется зона обрушенных пород, величина которой зависит от способа управления кровлей. Технология ведения горных работ должна предусматривать использование энергии массива для снижения энергоемкости добычи полезного ископаемого. Так, при ведении очистных работ на угольных шахтах часть энергии массива расходуется на разрушение и отжим угля в призабойное пространство, и снижение прочности пород кровли и почвы.

Управление процессом освобождения внутренней энергии тесно связано с напряженно-деформированным состоянием породного массива. Проще всего управление горным давлением производится технологическими способами: выбором типа крепи, направления отработки пластов и, соответственно, проходки подготовительных выработок, рационализацией схем ведения горных работ, форм подготовительных выработок и конфигурации забоев. Величину потенциальной энергии можно оценить поэлементно на основе выходных данных (распечаток) напряжений и упругих параметров горных пород. Оптимизация технологических процессов теоретически возможна, при этом энергия горного массива будет расходоваться на разрушение полезного ископаемого, что приведет к снижению себестоимости добычи, однако на практике это многофакторный трудно управляемый и трудно контролируемый процесс, поддающийся только частичной реализации.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Бородай В.А., Яланский Алекс. А., Слащева Е.А. Ввод переменных аналоговых сигналов звукового диапазона частот в память персональной ЭВМ // Гірничя електромеханіка та автоматика. – Дніпропетровськ: РВК НГА України. – 1999. - №3(62). – С. 68 – 73
2. Слащева Е.А. Разработка экспресс-методики прогноза устойчивости геоматериалов по изменению их электропроводящих свойств под воздействием гидрогеологических факторов // Геотехническая механика. - Днепропетровск, 2003. - № 42. - С. 143-148.
3. Фадеев А.Б. Метод конечных элементов в геомеханике. - М.: Недра, 1987. - 221 с.
4. Слащева Е.А. Исследования напряженно-деформированного состояния элементов камерно-столбовой системы разработки в слабых горных породах. // Геотехническая механика. - Днепропетровск: ИГТМ НАНУ, 1998. - № 8. - С. 43-47.
5. Руководство по геофизической диагностике состояния системы «крепь - породный массив» вертикальных стволов: Дополнение к «Пособию по восстановлению крепи и армировки вертикальных стволов. РД.12.18.073-88» / Булат А.Ф., Усаченко Б.М., Яланский А.А. и др.: Донецк: ООО «Лебедь», 1999. – 42 с.