

СИНЕРГЕТИЧЕСКИЙ ПОДХОД К ОЦЕНКЕ ПРОЧНОСТНЫХ СВОЙСТВ ГОРНЫХ ПОРОД

Проаналізовано недоліки механістичних і розкрито переваги синергетичних методів оцінки міцнісних властивостей гірських порід. Зроблені висновки та окреслені перспективи розвитку даного напрямку.

Проанализированы недостатки механистических и раскрыты преимущества синергетических методов оценки прочностных свойств горных пород. Сделаны выводы и обрисованы перспективы развития данного направления.

Methods to estimate rocks durability properties based on the mechanical and synergetic approaches are analysed. The advantages of the synergetic approach are demonstrated.

Постановка проблемы. Широко используемые в современной науке подходы оценки напряженности массива и элементов систем разработки в большинстве случаев осуществляются различными методами механики горных пород. Наиболее широко используются это теории упругости, пластичности, ползучести. Основное преимущество этих методов заключается в том, что они дают реальную основу только для понимания геомеханических процессов, вызываемых образованием обнажения. Задавая координаты всех материальных точек твердого тела при расчетах методами механики сплошной среды, тем самым вносят дополнительные данные в характеристику его термодинамического состояния. При соответствующих внешних условиях в состоянии тела важным является не расположение точек относительно некоторой фиксированной системы координат, а их взаимное расположение независимо от ориентации и положения твердого тела в пространстве [1].

Связь проблемы с научно-исследовательскими заданиями. С приложением к телу нагрузки внешняя сила распределяется по межатомным связям и напрягает их. Атомы твердого тела распространяют от эпицентра давления упругую продольную волну, интегрируя в нем зоны различного объема и соответственно, температуры. В результате этого тело будет стремиться снова восстановить первоначальный объем и выровнять температуру. При снятии нагрузки внутренняя структура частично восстанавливается. В этом, казалось бы, противоречивом явлении, находит свое отображение диалектический закон единства и борьбы противоположностей.

Выделение нерешенной задачи. В развитии физических представлений о прочности, кроме учета атомного строения тел, основной частью является учет влияния теплового движения атомов в твердом теле на развитие процесса его разрушения. Положение о тепловом движении атомов – неотъемлемая часть атомно-кинетической теории прочности. Наличие теплового движения атомов существенно изменяет механическую задачу. В этом случае с внешней силой взаимодействует уже не статическая система связанных атомов, а система частиц, каждая из кото-

рых находится в колебательном движении, в результате которого изменяются локальные напряжения межатомных связей в соответствии с атомно-кинетической теорией прочности.

Постановка задания. Самая грубая оценка показывает, что уже средние тепловые колебания атомов в твердом теле, идущие с частотой $10^{12} \dots 10^{13} \text{ с}^{-1}$ и средней кинетической энергией $\frac{1}{2} KT$ на каждую степень свободы (K – постоянная Больцмана; T – абсолютная температура), вызывают в межатомных связях рывки-нагрузки, сила которых сравнима с прочностью связей на разрыв. Это говорит о неадекватности принятых допущений, что горные породы являются упругими, сплошными телами, которые соответствуют связанной сыпучей среде и не дают приемлемых для практической деятельности результатов по определению точных параметров конструктивных элементов систем разработки в конкретных горно-геологических условиях того или иного месторождения с увеличением глубины разработки. Помимо этого, невозможно точно определить начальное напряженное состояние ненарушенного массива пород, оказывающее решающее влияние на величины и направление действия фактических напряжений вокруг образованных горных выработок.

Анализ последних достижений и публикаций. Оценка прочностных свойств горных пород производится с помощью различных методов [2, 4-8]. Одним из решающих факторов оценки прочности конструктивного элемента системы разработки является закладываемый в расчетах коэффициент запаса прочности n . При определении размеров очистных выработок по прочностным свойствам горных пород и значениям коэффициента n определяют вертикальные и горизонтальные пролеты обнажения. Рациональные границы применения n для конструктивных элементов систем разработки с открытым очистным пространством принимают равным: 2,0...2,5 по В.Д. Слесареву [2], 2,0...4,0 по Л.Д. Шевякову и 1,9...2,5 по С.В. Ветрову [3]. Зачастую используют два предела минимальных значений. Для обнажений, создаваемых на короткий период времени, которые подвержены кратковремен-

ным сейсмическим воздействию взрывных работ $n = 2,0$. Для обнажений, которые подвержены в основном воздействию факторов горного давления $n = 2,5$.

Основная часть. При оценке прочностного состояния конструктивных элементов систем разработки важным вопросом является выбор критерия, по которому производится сравнение действующих в них напряжений с допустимыми. Согласно известным теориям прочности, разрушение наступает в тот момент, когда в некоторой точке массива горных пород результирующая действующих напряжений достигнет своего критического значения. В инженерных расчетах применительно к оценке устойчивого состояния горных пород наибольшее распространение получили теории феноменологической прочности: теория наибольших нормальных напряжений (критерий У. Ренкина), теория наибольших касательных напряжений, критерий Кулона-Навье, критерий О. Мора и др.

Наиболее полной и наглядной прочностной характеристикой горной породы можно считать огибающую максимальных кругов Мора, или паспорт прочности породы. Существенным недостатком теории прочности Мора является пренебрежение влиянием промежуточного главного напряжения, оказывающего в ряде случаев значительное влияние на прочность пород. Поэтому в дальнейшем эта теория была усовершенствована рядом других исследователей, в частности Р. Гриффитсом, Э. Хозком, Г.Н. Кузнецовым и др.

Заслуживает внимания интегральная оценка устойчивости пород по конфигурации и размерам условных зон неупругих деформаций пород вокруг выработки, предложенная Н.С. Булычевым и Н.Н. Фотиевой [4]. Под зоной неупругих деформаций авторы понимают примыкающую к выработке область в упругой модели массива горных пород, где не выполняется условие прочности Кулона-Мора. Достоинством этого критерия является то, что рассматриваются не отдельные точки контура выработки, а вся примыкающая область массива, и прочность пород характеризуется общим условием, справедливым для объемного напряженного состояния. Основным недостатком критерия является использование нормальных, а не главных напряжений, переход к которым затруднителен без наличия соответствующего программного обеспечения для его реализации на персональных компьютерах.

Применительно к оценке вероятности разрушения пород в результате развития напряженного состояния конструктивных элементов со сложной пространственной ориентацией, оцениваемого численным методом, достаточно эффективным является использование критерия Гриффитса-Брейса [5]. Согласно этому критерию разрушение пород будет происходить на участках, где эквивалентные напряжения, равные суммарному действующему главным напряжениям, превосходят предел прочности пород на расслоение. Для учета структурной нарушенности массива целесообразно использовать

в качестве критерия прочности пород статистически длительную прочность на разрыв [6]. Однако в реальных условиях разрушение тела зависит от многих факторов, которые сами по себе еще недостаточно известны. Поэтому практика расчетов показывает, что феноменологическому подходу оценки прочности горных пород присущ ряд недостатков. По прочностным свойствам контакты не могут считаться в силу того, что они имеют принципиально стохастическую природу [7]. На параметры характеристик прочности существенное влияние (помимо структурных особенностей) оказывают анизотропии поля напряжений, при котором они определялись, масштабный фактор и прочее.

Достаточно адекватной количественной оценкой прочностных свойств горных пород является оценка, основанная на применении интегральных характеристик массива, не зависящих от его локальных качеств. В приложении к устойчивости подземных обнажений такой интегральной характеристикой может служить введенный В.Д. Слесаревым гидравлический радиус, представляющий собой отношение площади обнажения, характеризующей нагрузку, к периметру обнажения, характеризующему силы реакции [2].

Совершенный уровень исследования физических свойств горных пород характеризуется синергетическим подходом, который включает термодинамические, энергетические и энтропийные методы. Синергетические методы учитывают процессы энергетического обмена в минеральной среде и закономерные преобразования одних видов энергии в другие. Синергетический подход состоит в изучении свойств взаимодействующих открытых систем путем анализа условий и количественных соотношений, происходящих при превращении энергии. Сам же подход не связан с какими-либо конкретными представлениями о внутреннем строении тел и характере движения образующих их частиц. Разрушение же массива возникает в местах, где нормальные напряжения, действующие в массиве, превышают предельно-допустимые на растяжение или сдвиг. Разницу между действующими и предельными напряжениями отражал коэффициент запаса прочности, который в расчетах принимают равным 1.

Основными преимуществами этих методов является высокая степень универсальности, позволяющая описать механизмы возникновения энергетических полей в земной коре, сущность процессов теплообмена, преобразования потенциальной энергии упругой деформации в работу, процессов перераспределения и возникновения напряжений в окружающем массиве, накопления нарушений и характер обрушения массива и др. [8].

Выводы. Оценка широко применяемых подходов к оценке прочностных свойств горных пород способствует правильному пониманию явлений, происходящих в земных недрах. В данном случае важно создать модель или получить закон, описывающий явления природы, связанные с увеличением количества

накопленной потенциальной энергии, генерированием теплоты и изменением температуры, повышением плотности минерального вещества и уменьшением его объема в массивах пород при углублении в недра Земли.

Наиболее общий метод подхода к исследованию материальных тел – создание феноменологической макроскопической теории, основанной на полученных опытным путем закономерностях и гипотезах. Макроскопические теории являются эффективным средством решения практически важных задач, а полученные с их помощью сведения соответствуют опытным данным.

Эволюция состояния частицы минеральной системы в поле гравитационных сил Земли не происходит по обычным законам механики. Эта эволюция полностью подчинена и управляется законами термодинамики. Поэтому любая предлагаемая теория процессов в породном массиве земных недр должна обладать единственным синергетическим свойством – возрастанием энтропии, являющимся следствием влияния внешнего мира, в котором система развивается.

Перспективы развития направления. Появление существенно новых – синергетических представлений при рассмотрении микромира элементарных частиц или макромира космического масштаба не вызывает удивления уже с самого начала 20 века. Учет термодинамики приводит к новым теоретическим представлениям и для явлений, наблюдаемых в системе нашего масштаба. Это цена, которую приходится платить за возможность формулировки теоретических подходов, при изменении которых время приобретает свой истинный смысл, связанный с необратимостью процесса, а не является просто геометрическим параметром, характеризующим движение.

Основным же отличительным достоинством синергетического подхода, от широко принятого в научной среде “комплексного”, является привлечение максимального потенциала научного знания современности. Существующая комплексность исследования, как правило, выражается в использовании 2-5 видов (методов) исследования. Они, как правило, однобоко раскрывают исследуемый процесс, не раскрывая полной картины происходящего явления. Исследователь как бы удерживается в жестких рамках “классицизма” и оперирует изолированными системами, которые не обмениваются с внешней средой ни энергией, ни веществом.

Список литературы

1. Драбл Дж. Механические свойства материалов под высоким давлением. – М.: Мир, 1973. – Вып. I. – 293 с.
2. Слесарев В.Д. Механика горных пород. – М.: Углетехиздат, 1948. – 303 с.
3. Ветров С.В. Допустимые размеры обнажений горных пород при подземной разработке руд. – М.: Наука, 1975. – 232 с.
4. Бульчев Н.С. Механика подземных сооружений. – М.: Недра, 1982. – 270 с.
5. Жуков В.В., Азарнов А.В. Геомеханическое состояние целиков и потолочин при отработке сближенных залежей // Проблемы механики горных пород. – М.: Наука, 1987. – С. 181-184.
6. Турчанинов И.А., Марков Г.А., Иванов В.И., Козырев А.А. Тектонические напряжения в земной коре и устойчивость горных выработок. – Л.: Наука, 1978. – 256 с.
7. Барон Л.И. Горнотехническое породоведение. – М.: Наука, 1977. – 324 с.
8. Лавриненко В.Ф. Преобразование энергии и формирование полей напряжений в массиве вокруг выработок // Изв. вузов. Горный журнал. – 1986. – № 4. – С. 5-11.

Рекомендовано до публікації д.т.н. В.І. Бузилом 01.04.07