

**К ОБОСНОВАНИЮ МЕХАНИЗМА И ПАРАМЕТРОВ,
ХАРАКТЕРИЗУЮЩИХ ПРОЦЕССЫ САМООРГАНИЗАЦИИ
В МАССИВЕ ГОРНЫХ ПОРОД**

Розглянуті деякі аспекти механізму та обґрунтування параметрів процесів самоорганізації в масиві гірських порід.

**TO SUBSTANTIATION OF THE MECHANISM AND PARAMETERS
OF THE SELFORGANIZATION PROCESSES IN THE ROCK MASSIVE**

The certain theoretical aspects of the mechanism and substantiation of the parameters of the self-organization processes in the rock massive are given.

Наличие структуры в горном массиве отмечено давно, но структурные элементы являются лишь следствием деформационного самоорганизующегося процесса, а для геомеханики структура породного массива важна как форма организации, упорядочения твердой среды. Изучение структур литосферы как форм самоорганизации геофизической среды позволит получить наиболее объективную информацию о свойствах и состоянии породного массива, геомеханических систем и устойчивости подземных сооружений.

В последнее время уделяется большое внимание рассмотрению зонального характера разрушения горных пород вокруг подземных сооружений, строящихся в сложных горно-геологических условиях, и показано, что формирующаяся в условиях высоких напряжений в массиве вокруг подземных выработок деформационная структура горных пород характеризуется чередованием разуплотненных и относительно уплотненных породных зон. Зоны обладают рядом свойств, в числе которых повторение ими формы контура выработки, возможность эволюционировать во времени, конечная протяженность, зависимость конфигурации от однородности массива и другие. Математическая модель зонального разрушения массива вокруг выработки с использованием методов дефектных сред позволяет с достаточной точностью описывать положение разрушенных зон и рассмотреть механизм их формирования. Так, в статье [1] предложен механизм, основанный на введении некоторого фактора неравновесности, равного интенсивности девиатора тензора механических напряжений и определяющего скорость релаксации системы. Система релаксирует в два основных этапа: а) этап накопления микроскопических повреждений и б) этап магистрального макроскопического разрушения. Второй этап наступает при достижении плотностью микроразрушений некоторого критического значения, зависящего от глубины заложения выработки. Степень дисперсности материалов при разрушении на втором этапе пропорциональна плотности микроразрушений, накопленных на первом этапе, и запасенной энергии негидростатического поля за счет работы гидростатического поля на бесконечности. Остановка разрушения регулируется другим критерием той же природы, что и первый, но с более низким критическим значением.

Как показывают многочисленные наблюдения, большинство вынужденных

физических процессов, протекающих в нашем мире, начиная от пульсаций Вселенной и кончая излучением фотона, имеют волнообразный затухающий характер. При тектонических подвижках в геологической среде наблюдается связь горизонтального сжатия (или любого другого, но отличающегося от геостатического вида напряженного состояния) с поясами молодой складчатости в зонах субдукции, связь растяжений с зонами рифтов на срединных океанических хребтах, в грабенах и т. п. Такая зональность выявляется и в результате действия напряжений в очагах землетрясений.

В геомеханических системах, которые, безусловно, относятся к нелинейным, постоянно происходят процессы диссипации, способствующие выстраиванию регулятивных систем. Так как хаос конструктивен в самой своей разрушительности, он, накладываясь на причинно-следственные явления, создает устойчивые структуры, убирая все лишнее.

При рассмотрении явлений, процессов, происходящих в природе, особенно важен на первом этапе феноменологический подход. Примером такого подхода служит термодинамика, позволяющая объяснить многие явления, не рассматривая механизмы протекающих при этом процессов.

Используя положения неравновесной термодинамики, раскрыты физические основы зонального разрушения пород в окрестности горных выработок [2]. Описана эволюция разрушения пород, начиная с упругого состояния после проведения выработки и заканчивая развитой зональной структурой. Полученные соотношения проиллюстрированы вычислительным экспериментом.

С целью выявления особенностей и уточнения механизма процессов самоорганизации породного массива, выведенного из состояния равновесия в результате проведения выработок и стремящегося опять прийти в состояние с минимальной потенциальной энергией, в работе [3] рассмотрена выработка цилиндрической формы радиусом $r = R_0$, расположенная в трещиноватом массиве горных пород на глубине H . Ось выработки параллельна свободной поверхности.

Учитывая трещиноватость массива, в котором расположена выработка, проанализируем решение, полученное в [3].

Особенность системы горный массив-выработка состоит в том, что она, находясь в механическом равновесии, пребывает, с точки зрения термодинамики, в неравновесном состоянии [2]. Причина заключается в нарушении выработкой первоначальной относительной однородности горного массива. Согласно полученному решению, в окружающем массиве формируется зона неоднородных напряжений и деформаций, в которой возникают условия для релаксации напряжений в горных породах, стремящихся к равновесию. Жесткость горных пород препятствует заполнению полости, поэтому разрушение происходит тем интенсивнее, чем больше система отклонена от равновесного состояния. В качестве меры отклонения ее от равновесия примем один из инвариантов напряженного состояния горного массива – интенсивность касательных напряжений η , которая равна нулю в двух предельных случаях: когда породы находятся в ненапряженном (при полном отделении их от массива) и гидростатическом состояниях (в нетронутым массиве или на участках, удаленных от контура выработки) [2].

На первой стадии релаксации напряжений в окружающих породах появляются изолированные микротрещины, модифицирующие физические свойства пород, в том числе и упругие модули. В первом приближении зависимость скорости накопления микротрещин $\partial\rho/\partial t$ и изменений коэффициента Пуассона от меры отклонения представим в виде [2]:

$$\begin{aligned}\frac{\partial\rho}{\partial t} &= k_p \eta^n, \\ v &= v_0 + \int_0^t k_v \eta^n dt,\end{aligned}\tag{1}$$

где ρ – плотность микротрещин; v_0 – коэффициент Пуассона в начальном состоянии (до или в момент проведения выработки); k_p, k_v – масштабные коэффициенты скорости изменения параметров; n – показатель степени нелинейности процесса; t – текущее время.

Если упругое решение справедливо, то пространственное распределение меры отклонения в массиве пород на начальной стадии деформирования имеет вид

$$\eta = \frac{R_0^2}{r^2} \frac{\gamma H}{2}.\tag{2}$$

Параметр η принимает максимальное значение на свободной поверхности ($r = R_0$). При удалении от нее величина меры отклонения системы горный массив-выработка от равновесного состояния монотонно уменьшается, а на бесконечности стремится к нулю. Разрушение горных пород наступает тем раньше, чем выше плотность микротрещин и действующие напряжения. Критерием разрушения принято условие достижения указанными факторами некоторого критического значения

$$Q = \eta \frac{\partial\rho}{\partial t}.\tag{3}$$

Под воздействием давления γH стенки полости выработки будут перемещаться вовнутрь. Поэтому у стенок полости горная порода будет сжиматься под влиянием тангенциальных составляющих напряжений $\sigma_{\theta\theta}$, величина которых достигает максимальных значений на стенках полости. Радиальные компоненты напряжений σ_{rr} вблизи стенок цилиндрической полости имеют минимальные значения и возрастают по мере удаления от контура выработки до значений, обусловленных величиной горного давления в нетронутом массиве. В таком поле напряжений у стенок полости начинают расти тангенциальные трещины, образуя зону разгрузки, в которой радиальные компоненты напряжений σ_{rr} минимальны, а тангенциальные $\sigma_{\theta\theta}$ – максимальны. Количество тангенци-

альных трещин с увеличением расстояния от контура выработки r будет уменьшаться вследствие уменьшения тангенциальных компонент напряжений $\sigma_{\theta\theta}$ ($\sigma_{\theta\theta} \sim \frac{A}{r^n}$, $n \geq 2$). В этом случае вокруг цилиндрической полости формируется опорный слой породы d_1 , который и обеспечивает устойчивость выработки [4].

Рассмотрим теперь эффективную цилиндрическую поверхность радиусом $R = R_1$, где $R_1 = R_0 + d_1$. На стенки этой эффективной полости действуют напряжения $\sigma_{rr} < \gamma H$ и сжимающие напряжения $\sigma_{\theta\theta} > \gamma H$, в поле которых растут тангенциальные трещины. Трещины разгружают массив, и при наложении σ_{rr} и $\sigma_{\theta\theta}$ формируется второй опорный слой толщиной d_2 .

Теперь снова получаем цилиндрическую поверхность, аналогичную поверхности, образуемой стенками горизонтальной выработки в поле сжимающих напряжений, и так далее, т.е. происходит процесс с образованием подобных структур, так называемых фракталов, в результате чего возникает квазистационарная волна напряжений в массиве вокруг образовавшейся полости, которая, с учетом экспериментальных данных, принимает вид:

$$\sigma = \sigma_0 \exp\left(-\left(\alpha r + \frac{t}{\tau}\right)\right) \cos \frac{\pi}{2R_0} r, \quad (4)$$

где σ_0 – начальные напряжения на контуре выработки; r – расстояние от контура выработки вглубь массива; α – коэффициент затухания квазистационарной волны.

Изложенное выше дает возможность учитывать развитие трещиноватости вокруг выработки путем замены радиуса выработки R_0 на $R_0 + nd_i$, где n – номер трещиноватой зоны, считая от контура выработки.

Аналогичные процессы наблюдаются не только в радиальном направлении r вокруг выработки, но и вдоль ее образующей L , поэтому изменение напряжений вдоль протяженных выработок описывается законом (рис. 1):

$$\sigma = \sigma_0 \exp\left(-\alpha L + \frac{t}{\tau}\right) \cos \frac{\pi}{2R_0} L. \quad (5)$$

Таким образом, обосновывается эффект перемещений зон сжатия и растяжения по винтовой линии вдоль образующих протяженных подземных объектов, который может быть определен как квазилоксодромический.

Экспериментальные исследования показывают, что, хотя даже в достаточно однородной толще пород вокруг выработок образуются зоны дезинтеграции, однако очень часто ориентация этих зон не только несимметрична, но в большинстве случаев они разорваны, что, по-видимому, объясняется наличием структурных неоднородностей на различных масштабных уровнях и, кроме того, воздействием физических полей разной интенсивности.

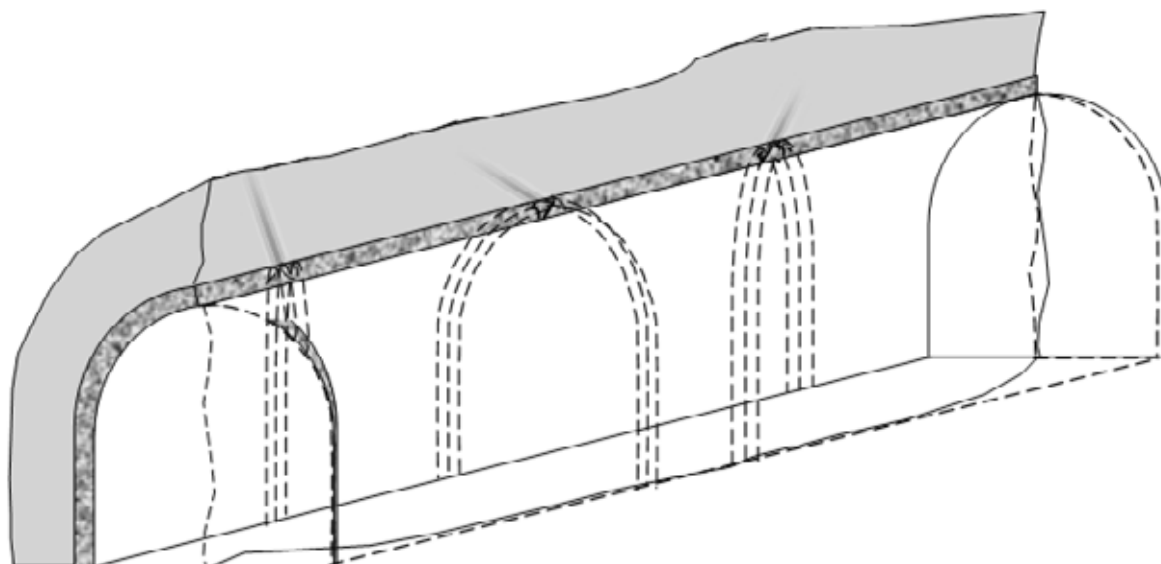


Рис. 1 – Расположение зон дезинтеграции вдоль протяженных выработок в массиве горных пород и грунтов

Таким образом, на базе теоретического обобщения и анализа наших экспериментальных результатов предложен механизм, объясняющий известный волновой характер изменения горного давления вокруг нарушений в породном массиве и возникающих в нем процессов самоорганизации, приводящих к устойчивому состоянию в результате саморазрушения макроскопических нелинейных диссипативных систем, к которым относятся геомеханические системы, и заключающийся в том, что в результате воздействия горно-геологических и техногенных факторов происходит переход массива из одного квазистационарного равновесного состояния с минимальной потенциальной энергией в другое.

Вследствие того, что в широком диапазоне условий распределение механических напряжений в породном массиве подчиняется волновому закону, это даст возможность прогнозировать характер их изменения во времени и пространстве.

Пусть имеется объект, свойства которого задаются определенными параметрами. Достаточно большое число этих объектов можно выделить и назвать системой. Если совокупность объектов, которые можно считать элементами системы, не изменяется во времени и пространстве, а, кроме того, элементы взаимодействуют лишь между собой, то система замкнута (изолирована). Когда в замкнутой системе отсутствуют потоки элементов, а их параметры не изменяются, то система будет равновесной. То есть в равновесной системе должны отсутствовать и потоки параметров элементов. Например, молекулы газа (элементы) характеризуются энергией, импульсом, массой и т.д. В равновесной системе отсутствуют потоки энергии (теплопроводность), импульса (вязкость), массы (диффузия) и т.д. Некоторые элементы при выведении системы из состояния равновесия должны изменять свои параметры или (и) их концентрацию. Кроме того, элементы системы могут преобразовываться в новые элементы или создавать другое состояние системы. Элементы системы взаимодействуют

вуют между собой и телами (полями), не входящими в систему. Динамическим параметром взаимодействия может быть величина, которую можно назвать силой, а энергетическим параметром – энергия E . Процессы самоорганизации могут протекать в системах, элементы которых при изменении их энергии изменяются количественно или качественно, преобразуясь в новые элементы, распадаясь или сливаясь друг с другом. То есть, систему можно описать определенными параметрами, которые можно рассматривать как синергетические.

Для неравновесного состояния системы, для которой справедливо неравенство $dS/dt \geq 0$, ее энтропию можно определить следующим образом [5].

$$S = -kH + S_0, \quad (6)$$

где k – постоянная Больцмана; H – функция Больцмана, равная

$$H(t) = \int_{(\vec{r})} \int_{(\vec{V})} f(\vec{r}, \vec{V}, t) \ln(\vec{r}, \vec{V}, t) d\vec{r} d\vec{V}, \quad (7)$$

$f(\vec{r}, \vec{V}, t)$ – функция распределения по координатам \vec{r} , скоростям \vec{V} и времени t , причем для стационарных состояний $dH/dt = 0$, а для нестационарных $dH/dt < 0$; $S_0 = k \cdot \ln \omega$; ω – функция плотности вероятности состояний.

Определенная таким образом энтропия подчиняется закону возрастания.

Если возрастание энтропии характеризует рост хаоса в системе, то самоорганизацию системы характеризует уменьшение энтропии. Т.е. энтропия является одним из важнейших параметров, характеризующих процессы самоорганизации системы. К параметрам, характеризующим степень самоорганизации системы, можно также отнести:

1) коэффициент разрыхления [6]

$$k_p = 1 + \frac{\lg \rho - \lg \rho_1}{\lg \rho_2}, \quad (8)$$

где ρ – измеряемое удельное электросопротивление; ρ_1 – удельное электросопротивление ненарушенного массива; ρ_2 – удельное электросопротивление нарушенного массива;

2) коэффициент структурного ослабления [7]

$$k_c = \left[1 - \sqrt{0,5\eta} \exp(-0,25\eta) \right] \frac{\eta_0^2 + 1}{\eta^2 + 1}, \quad (9)$$

где η – коэффициент вариации прочности породного массива, определяемый по формуле

$$\eta = \sqrt{\frac{l_T + l_0}{l_T} (\eta_0^2 + 1)} - 1, \quad (10)$$

где l_T – среднее расстояние между трещинами; l_0 – характерный размер стандартного породного образца; η_0 – коэффициент вариации результатов лабораторных испытаний породных образцов;

3) коэффициент хрупкости горных пород

$$\psi = \frac{\sigma_p}{\sigma_{сж}}, \quad (11)$$

где σ_p – предел прочности горных пород на растяжение; $\sigma_{сж}$ – предел прочности горных пород на сжатие.

Таким образом, каждому новому состоянию системы будет соответствовать другая величина синергетических параметров. Переход из одного состояния системы в другое можно назвать фазовым переходом. Например, образование системы трещин в массиве, рост некоторых одиночных трещин приводят к изменению такого параметра системы как трещиноватость, что является результатом действия процессов самоорганизации.

Фазовыми переходами первого рода, которые и наблюдаются в массиве горных пород, называются фазовые превращения, сопровождающиеся поглощением или выделением скрытой теплоты и изменением удельного объема и описываемые уравнением Клапейрона-Клаузиуса [8]:

$$T \frac{dp}{dT} = \frac{1}{V_2 - V_1}, \quad (12)$$

где T – температура; p – давление; V_1, V_2 – соответственно значение начального и конечного объемов.

Для таких фазовых переходов характерно одновременное постоянство давления и температуры, но изменение соотношения между массами двух фаз. Для того, чтобы происходил фазовый переход I рода, к системе нужно подводить или отводить от нее теплоту r_k фазового перехода. В расчете на единицу массы теплота r_k вычисляется по уравнению Клапейрона-Клаузиуса:

$$r_k = (V_2 - V_1) T \frac{dp}{dT}. \quad (13)$$

В работе [9] предложено рассматривать процессы деформации и разрушения с позиций теории фазовых переходов. Это позволяет описывать семейство кривых деформирования и разрушения степенными соотношениями, связывающими параметр порядка, характеризующий фазовый переход при разрушении, с пара-

метром, определяющим действующий фактор. Критические показатели в этих степенных соотношениях характеризуют скорость достижения материалом при нагружении критического предельного состояния. Фазовый переход в процессах деформирования связывается с достижением пластической неустойчивости, а в процессе разрушения с накоплением критической повреждаемости при множественном разрушении или с достижением критической длины трещины при локализованном разрушении.

Зона предельной деформации (зона процесса) может находиться в устойчивом состоянии до тех пор, пока не будет достигнута критическая плотность выделенной энергии в этой зоне в результате образования устойчивого зародыша трещины, способного самопроизвольно распространяться при данном запасе упругой энергии в системе. Это состояние мы будем в дальнейшем связывать с неустойчивостью зоны процесса. Для установления критерия неустойчивости зоны используем гипотезу энергетического подобия процессов разрушения и плавления [10]. Следует отметить, что еще в 1779 г. Ламберт предположил, что существует инвариантная к условиям подвода энергии величина поглощенной энергии, необходимая для нарушения межатомных связей, которая может быть установлена по параметрам поглощенной энергии при плавлении. При использовании этой аналогии применительно к механическому разрушению необходимо выделить составляющие плотности внутренней энергии, связанные с критическими дилатацией (W_{cv}) и дисторсией (W_{cd}). Как было показано [11], предельную плотность энергии W_{cv} на основе гипотезы энергетического подобия плавления и разрушения можно приравнять к плотности энергии H_{TS} , связанной при разрушении с изменением объема, а энергии W_{cd} с пределом прочности горных пород σ_p . Тогда критерий локальной сдвиговой неустойчивости в зоне процесса можно записать в виде

$$\frac{W_d}{W_v} \leq \frac{W_{cd}}{W_{cv}}, \quad (14)$$

где $\frac{W_{cd}}{W_{cv}} = \frac{\sigma_p}{H_{TS}}$; W_d и W_v – текущие плотности энергии дисторсии и дилатации.

Отношение W_{cd}/W_{cv} можно связать с критическим отношением сопротивления сдвигу τ_c к сопротивлению отрыва σ_c [11], так как $W_{cd} = \tau_c^2/2G$, а $W_{cv} = \sigma_c^2/2E$, что дает

$$\frac{W_{cd}}{W_{cv}} = [\tau_c/\sigma_c]^2 \frac{E}{G} = \Delta \frac{E}{G}, \quad (15)$$

где $\Delta = \frac{\sigma_p}{H_{TS}} \frac{G}{E}$ – постоянная для одного типа горных пород; σ_p – предел проч-

ности горных пород; H_{TS} – плотность энергии, связанная при разрушении с изменением объема; E – модуль упругости; G – модуль сдвига.

Условие (14) является условием достижения локальной сдвиговой неустойчивости зоны процесса, реализуемой при поглощении энергии, численной равной σ_p в системе с предельной плотностью энергии дилатации, равной H_{TS} . данное условие – есть условие неустойчивости дефекта на микроуровне.

Принято различать два механизма разрушения твердого тела – хрупкое и вязкое разрушение [12,13]. В первом случае основную роль играют разрывы межатомных связей, во втором они опосредованы процессом пластической деформации. Согласно современным представлениям процесс хрупкого разрушения складывается из трех стадий [14]:

- термофлуктуационное зарождение элементарных носителей разрушения;
- их кластеризация в укрупненные трещины (очаги разрушения);
- безактивационный рост очагов до размеров, начиная с которых концентрация напряжений у острия трещины приводит к достижению предела прочности и становится возможным атермическое распространение ее фронта со скоростью звука.

Количественное исследование двух первых стадий проводилось в работах [15,16].

Несмотря на очевидные успехи, дилатонная модель [15] не может объяснить все особенности процесса разрушения, в частности совершенно выпадает из рассмотрения различие в поведении хрупких и вязких тел. Это связано с игнорированием скалывающей составляющей деформации ϵ_s , флуктуации которой приводят к разрыву межатомных связей, тогда как рост дилатации $|\Delta\epsilon_d|$ уменьшает энергию активации зарождения дилатона локальной области возбужденного состояния.

Сам по себе дилатон не может играть роль элементарного носителя разрушения, поскольку сдвиговая составляющая внешних напряжений ослабляется дрейфовыми потоками. Однако если по каким-то причинам плотность бозе-конденсата релаксонов в центре дилатона понижается, то соответствующая область играет роль концентратора сдвиговых напряжений, окруженного пластичной оболочкой возбужденного состояния. Поскольку образование трещины всегда сопровождается пластическим течением материала вблизи ее фронта, то можно ожидать, что именно такая модель отвечает реальному носителю разрушения.

Поскольку усиление сдвиговой компоненты подготавливает разрыв межатомных связей, для обозначения элементарного носителя разрушения уместно использовать термин фрустрон (от frustration).

При некоторых условиях обеспечивается не только стабилизация фрустронов, но и возможность их объединения в кластеры. Формально это выражается в положительном значении поверхностной энергии таких кластеров и отрицательной величине соответствующей объемной составляющей. Это позволяет рассматривать эволюцию системы по аналогии с зарождением фазы [17], где роль атомов, лимитирующих ее образование, играют фрустроны, объединяющиеся в очаг раз-

рушения. Такой механизм реализуется в хрупких материалах, где кинематическая вязкость превышает ее критическое значение. В обратном случае пластическое течение размывает кластер фрустронов и разрушение не происходит до тех пор, пока скалывающие напряжения не превысят предел прочности, и образуется магистральная трещина. Такой механизм реализуется в вязких материалах, где невозможно не только объединение фрустронов в кластер, но и само их образование.

Таким образом, процесс хрупкого разрушения определяется образованием и эволюцией ансамбля элементарных носителей разрушения – фрустронов. Последние представляют мезоскопические области локализации сдвиговых деформаций, окруженные сверхпластичной оболочкой. Хрупкий механизм разрушения обеспечивается посредством кластеризации фрустронов в закритический очаг разрушения, что требует вязкости ν , превышающей критическое значение ν_c . В вязких материалах, где реализуется обратное условие, разрушение протекает по дилатонному механизму [15,16,18], присущему неоднородным материалам, где наличие концентраторов напряжений приводит к пределу прочности, значение которого гораздо ниже теоретического предела [18].

Аномалии в поведении массивов горных пород при взаимодействии с подземными сооружениями явились основанием для поиска принципиально новых путей при исследованиях геологической среды и взаимодействия с ней подземных сооружений в течение длительного эксплуатационного периода [19]. Возникла необходимость в определении роли геологической среды при использовании подземного пространства и охране этой среды, т.е. в выявлении своеобразной роли литосферы.

В работе [20] отмечается, что горный массив может находиться, аналогично твердому, жидкому и газообразному, в трех псевдоагрегатных состояниях: 1) техногенно ненарушенный массив; 2) разупрочненный массив; 3) газ угольный (газо-породный) поток. Фазовые переходы разупрочнение и разрушение одновременно протекают (происходят) в краевой части горной выработки (скважины) и краевой части трещины, растущей из этой выработки.

Угледородное топливо в природе также существует в трех псевдоагрегатных состояниях: 1) газообразном (газовые месторождения); 2) жидком (нефтяные месторождения) и 3) твердом (угольные месторождения) и их комбинациях. "Диссипативная структура" – это агрегатное состояние агрегатного состояния вещества. Например, жидкость, как агрегатное состояние, при подогреве расчленяется (дробится) на ячейки Бенара. По аналогии с разупрочненным массивом (псевдожидкостью), эта ячеистая структура имеет вторичные свойства жидкости и может быть названа "разупрочненная жидкость". А это уже псевдоагрегатное состояние жидкости, которая, в свою очередь, уже является агрегатным состоянием [21].

Разобраться в полной иерархии состояний вещества и переходов между этими состояниями можно, например, используя теорию фрактальных множеств и теорию катастроф Р. Тома [22]. Агрегатных состояний вещества должно быть не три, как это принято считать, а столько, сколько элементарных катастроф Р. Тома для четырехмерного пространства, т.е. семь.

Техногенные трещины в краевой части массива, интерпретируемые как диссипативные структуры, наблюдаются не перед вторым псевдофазовым переходом "разупрочненный массив – газугольнопородный поток", как под действием температуры (ячейки Бенара наблюдаются в жидкости перед ее вскипанием, т.е. вторым фазовым переходом), а перед первым переходом "ненарушенный массив – разупрочненный массив".

При синергетическом подходе представляется очевидным, что фазовые переходы под действием тепловой и механической энергии, а также энергии любой природы, агрегатные состояния и агрегатные состояния этих состояний (диссипативные структуры) имеют фрактальную иерархию, т.е. стационарные масштабные уровни своего существования.

Рассмотрим процессы, происходящие при сдвигении массива, которые, как правило, протекают в две стадии. Первая стадия характеризуется состоянием самоорганизации и возникает из условий неравновесности и необратимости процесса. Неравновесность вызывается активным влиянием очистных работ или возбуждается искусственно. Во втором случае необходимы затраты энергии. Необратимость процесса в большинстве случаев протекает в форме разрушения горных пород. На второй, как уже упоминалось выше, стадии процесс сдвигения определяется вторым законом термодинамики, обуславливающим самопроизвольный рост энтропии горного массива. Это происходит в форме релаксации напряжений, уплотнения обрушенных пород, сглаживания неоднородностей сдвигения. Простейшее описание процесса самоорганизации сдвижений может быть получено на основе двух феноменологических законов физики: уравнения диффузии и кинетической теории прочности. Задача управления сдвижением массива горных пород состоит в переводе его из состояния самоорганизации в состояние релаксации и наоборот или, как частный случай, в усилении или подавлении процесса самоорганизации сдвижений [23].

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Зборщик М.П., Метлов Л.С., Морозов А.Ф. Механизм зонального разрушения горных пород вокруг технологических выработок // Тр. 8 Всерос. съезда по теорет. и прикл. механике. - Екатеринбург: Изд-во УрО РАН. - 2001. - С. 272-273.
2. Метлов Л.С., Морозов А.Ф., Зборщик М.П. Физические основы механизма зонального разрушения // ФТПРПИ. - 2002. - №2. - С. 55-60.
3. Паламарчук Т.А. Теоретические основы геофизической диагностики геомеханического состояния породного массива с учетом синергетических процессов: Дис... докт. техн. наук: 05.15.11; 05.15.09. - Днепропетровск, 2002. - 385 с.
4. Паламарчук Т.А. Особенности и теоретические предпосылки контроля процессов самоорганизации породного массива, ослабленного горной выработкой // Геотехническая механика. - Днепропетровск: ИГТМ НАН Украины. - 2001. - №23. - С. 53-56.
5. Базаров И.П. Термодинамика. - М.: Высшая школа, 1991. - 375 с.
6. Паламарчук Т.А. Исследование массива слоистых горных пород и разработка основ метода комплексного контроля их свойств и состояния: Дис... канд. техн. наук: 05.15.09. - Днепропетровск, 1980. - 154 с.
7. Шашенко А.Н. Механика горных пород. - Днепропетровск: НГАУ, 2001. - 302 с.
8. Bercovici D., Ricard Y., Shubert G. A twophase model for compaction and damage. 1. General theory // J. Geophys. Res. B. - 2001. - 106. - № 15. - P. 8887-8906.
9. Ботвина А.Н. Новый подход к анализу процессов разрушения // Прочность и разрушение материалов и конструкций. - Орск: Оренб. гос. ун-т. - 1988. - С. 3.
10. Иванова В.С. Усталостное разрушение металлов. - М.: Металлургия, 1963. - 272 с.
11. Иванова В.С. Синергетическая модель разрушения металлов и сплавов по механизму отрыва (тип 1) //

Физ. хим. механика материалов. - 1988. - Т. 24. - № 4. - С. 51-56.

12. Владимиров В.И. Физическая природа разрушения металлов. - М.: Металлургия, 1985.
13. Иванова В.С. Разрушение металлов. - М.: Металлургия, 1979.
14. Олемской А.И., Хоменко А.В. Синергетика конденсированной среды. - Сумы: СумГУ, 2002. - 372 с.
15. Петров В.А. Дилатонная модель термофлуктуационного зарождения трещины // ФТТ. - 1983. - Т.25. - С. 3124-3127.
16. Журков С.Н. Дилатонный механизм прочности твердых тел // ФТТ. - 1983. - Т.25. - С. 3119-3123.
17. Кацнельсон А.А., Олемской А.И. Микроскопическая теория неоднородных структур - М.: Изд-во МГУ, 1987.
18. Кайбышев О.А. Сверхпластичность промышленных сплавов. - М.: Металлургия, 1984.
19. Пашкин Е.М. Синергетика геосистем: новый подход в инженерной геологии // Инженерная геология. - 1992. - № 6. - С. 11-13.
20. Шестопалов А.В. Скважинный способ получения электроэнергии и подтверждение представлений о его механодинاميке // Горный информационно-аналитический бюллетень. - М.: МГГУ, - 2000. - №5. - С. 134-137.
21. Шестопалов А.В. Концепция геомеханики промышленной добычи метана и угля исключительно за счет энергии природных сил // Горный информационно-аналитический бюллетень. - М.: МГГУ, - 1999. - №2. - С. 154-159.
22. Булат А.Ф., Дырда В.И. Фракталы в геомеханике. - Киев: Наук. думка, 2005. - 358 с.
23. Назимко В.В. Самоорганизация процессов сдвижения горного массива // Разработка месторождений полезных ископаемых. - 1989. - №84. - С. 62-31.