Эти значения коэффициентов превышают критическое, следовательно, включенные в модель факторы являются значимыми и существенно влияют на производительность грохота. Коэффициент детерминации $R^2 = 0{,}914$. критерий Фишера $F = 163{,}69$, что значительно больше критического значения $F_{кр} = 2{,}2$, что свидетельствует о высоком уровне адекватности полученной зависимости. В этой модели существенными оказались квадратичные члены, а также все парные произведения факторов между собой.

Таким образом, установлены аппроксимирующие аналитические зависимости производительности валкового вибрационного классификатора от частоты вращения валков, влажности перерабатываемой сыпучей горной массы и угла наклона рабочего органа классификатора. Установлено существенное влияние плотности сыпучего материала на процесс, поэтому для количественного анализа работы классификатора возникает необходимость идентификации зависимости его производительности от плотности массы и геометрических параметров элементов рабочего органа.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Надутый В.П., Ягнюков В.Ф., Прокопишин Л.Н. Определение влияния конструктивных параметров вибрационного валкового классификатора на технологические показатели / Матер. Междунар. XI н. – т. конф. Теория и практика процессов дробления, разделения, смещения и уплотнения материалов. Одесса – Харьков, 2001.

2. Надутый В.П., Ягнюков В.Ф., Прокопишин Л.Н. Зависимость производительности валкового классификатора от динамических параметров и свойств горной массы / Всеукр. н.-т. Журнал Вибрация в технике и технологиях. Винница. – Вып. 1 (33). –2000. - с. 10-14.

**УДК 550.8. 07/518.54: 622.02**

Т.А. Паламарчук, Б.М. Усаченко, А.А. Яланский

## К ВОПРОСУ ИЗУЧЕНИЯ СТРУКТУРНО-ФАЗОВЫХ ПРОЦЕССОВ В ПРИРОДНО-ТЕХНОГЕННЫХ САМООРГАНИЗУЮЩИХСЯ СИСТЕМАХ

Розглянуто деякі аспекти теоретичного дослідження структурно-фазових процесів в природно-техногенних системах, що самоорганізуються.

## TO QUESTION OF STRUCTURE AND PHASE′S PROCESSES INRESTIGATION IN SELF-ORGANIZING NATURAL AND TECHNOGENETIC SYSTEMS

Certain aspects of the theoretical investigation of structure and phase′s processes in self-organizing natural and technogenetic systems are considering.

При проведении исследований состояния геологической или геофизической среды возникает необходимость принятия той или иной модели. Для реализации модельно-целевого подхода к исследуемым системам в иерархию объектов исследования включены только те, которые представляют интерес при проведении геологоразведочных и горных работ как объектов геофизического мониторинга. При дифференциации можно выделить несколько масштабных уровней геомеханических систем, характеризующихся определенными закономерностями изменения физических величин.

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.

Известные теоретические и экспериментальные исследования, как правило, не учитывают нелинейности рассматриваемой среды, волновой природы геомеханических процессов и синергетические эффекты, происходящие в породном массиве. В работе [1] сделана попытка выяснить соотношения между текущими потребностями геологического трещиноведения и возможностями синергетики как наиболее перспективного направления современного точного естествознания.

В.В. Макаровым с сотрудниками [2] рассмотрен зональный характер 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 [3] 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.

Известно, что процессы самоорганизации можно наблюдать как в неживой, так и в живой природе. 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 [4]. 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, ослабленного горной выработкой, рассмотрена выработка цилиндрической формы радиусом $R_0$, расположенная в трещиноватом массиве горных пород на глубине $H$. Ось выработки параллельна свободной поверхности [5].

Для определения характера распределения напряжений вокруг выработки круглого сечения в упругой постановке с использованием решения задачи Кирша и метода суперпозиции напряжений получено решение для определения радиальных, тангенциальных и касательные напряжений в окрестности горной выработки. Принято, что по вертикальной оси Y действуют сжимающие напряжения $\gamma H$, а по горизонтальной оси X – сжимающие напряжения $\lambda\gamma H$, где $\lambda$ – коэффициент бокового распора:

$$\sigma_{rr} = -\frac{\gamma H}{2}\left[(1+\lambda)\left(1-\frac{R_0^2}{r^2}\right)+(1-\lambda)\left(1-\frac{4R_0^2}{r^2}+3\frac{R_0^4}{r^4}\right)\cos 2\theta\right],$$

$$\sigma_{\theta\theta} = -\frac{\gamma H}{2}\left[(1+\lambda)\left(1+\frac{R_0^2}{r^2}\right)+\left(1+3\frac{R_0^4}{r^4}\right)(1-\lambda)\cos 2\theta\right],$$

$$\sigma_{r\theta} = -\frac{\gamma H}{2}(1-\lambda)\left(1+\frac{2R_0^2}{r^2}-3\frac{R_0^4}{r^4}\right)\cos 2\theta, \qquad (1)$$

где θ – полярный угол.

Теперь, учитывая трещиноватость массива, в котором расположена выработка, проанализируем полученное решение.

Особенность системы горный массив-выработка состоит в том, что она, находясь в механическом равновесии, пребывает, с точки зрения термодинамики, в неравновесном состоянии [4]. Причина заключается в нарушении выработкой первоначальной относительной однородности горного массива. Согласно (1), 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

$$\eta = \frac{1}{\sqrt{6}}\left[(\sigma_{rr} - \sigma_{\theta\theta})^2 + (\sigma_{rr} - \sigma_{zz})^2 + (\sigma_{\theta\theta} - \sigma_{zz})^2\right]^{1/2}, \qquad (2)$$

которая равна нулю в двух предельных случаях: когда породы находятся в ненапряженном ($\sigma_{rr} = \sigma_{\theta\theta} = \sigma_{zz} = 0$ при полном отделении их от массива) и гидростатическом состояниях ($\sigma_{rr} = \sigma_{\theta\theta} = \sigma_{zz} \neq 0$ в нетронутом массиве или на участках, удаленных от контура выработки) [6].

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 $\frac{\partial \rho}{\partial t}$ и изменений коэффициента Пуассона от меры отклонения представим в виде [4]:

$$\begin{aligned} &\frac{\partial \rho}{\partial t} = k_\rho \eta^n, \\ &\nu = \nu_0 + \int_0^t k_\nu \eta^n dt, \end{aligned} \qquad (3)$$

где $\rho$ – плотность микротрещин; $\nu_0$ – коэффициент Пуассона в начальном состоянии (до или в момент проведения выработки); $k_\rho$, $k_\nu$ – масштабные коэффициенты скорости изменения параметров; $n$ – показатель степени нелинейности процесса; $t$ – текущее время.

Если упругое решение (1) справедливо, то пространственное распределение меры отклонения (2) в массиве пород на начальной стадии деформирования имеет вид

$$\eta = \frac{R_0^2}{r^2}\frac{\gamma H}{2}. \qquad (4)$$

Параметр $\eta$ 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

$$\theta = \eta \frac{\partial \rho}{\partial t}. \qquad (5)$$

Под воздействием давления $\gamma H$ 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 $\sigma_{rr}$ 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 $\sigma_{rr}$ минимальны, а тангенциальные $\sigma_{\theta\theta}$ – максимальны. Количество тангенциальных 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 [5,7].

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 $\sigma_{rr}$ 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: $\sigma = \sigma_0 \exp\left(-\left(\alpha r + \frac{t}{\tau}\right)\right)\cos\frac{\pi}{2R_0}r$, где $\sigma_0$ – начальные напряжения на контуре выработки; $r$ – расстояние от контура выработки вглубь массива; $\alpha$ – 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.

На основе подходов нелинейной динамики, фрактальной геометрии и мезомеханики показана реализация детерминированного хаоса при самоорганизации мезоструктур в процессе деформации и разрушения твердых тел [8]. На примере анализа 29 марок стали установлено, что использование концепции базовых множеств позволяет тестировать конструкционные материалы на устойчивость структуры при наличии трещин

Изложены результаты расчета по программе анализа чувствительности корреляционных функций, спектральных плотностей, статической энтропии и сингулярностей в твердых телах [9].

По изучению нелинейных волновых процессов, происходящих в массиве горных пород, комплексно представлены результаты экспериментальных и теоретических исследований [10]. Показано, что это явление обусловлено знакопеременной реакцией горных пород на динамическое воздействие и базовыми характеристиками блочно-иерархически построенных геосред. Изложены элементы теории "деформационных" волн, позволившие связать воедино ряд эмпирических соотношений, ранее не находивших объяснение в рамках традиционных теоретических представлений.

Рассмотрены задачи распространения поверхностных волн на скачках напряжения акустической эмиссии. Развиты феноменологические подходы к моделированию хрупкого разрушения поликристаллического материала.

Синергетический подход позволит описывать процессы не только в макротелах, но и в любой незамкнутой системе, например, в обществе. При этом необходимо определить, в каких системах и при каком внешнем воздействии будут протекать процессы самоорганизации.

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 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.

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 приводит к изменению такого параметра системы как трещиноватость; объединение граждан в партию; государства, нации, озоновый слой Земли и т.д.; фазовые переходы первого и второго рода в физике; массив горных пород – все это результат действия процессов самоорганизации.

Для неравновесного состояния системы, для которой справедливо неравенство $\frac{dS}{dt} \geq 0$, ее энтропию можно определить следующим образом [11]

$$S = -kH + S_0, \tag{6}$$

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

$$H(t) = \int\limits_{(\vec{r})}\int\limits_{(\vec{V})} f(\vec{r},\vec{V},t)\ln(\vec{r},\vec{V},t)d\vec{r}d\vec{V}, \tag{7}$$

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

Определенная таким образом энтропия подчиняется закону возрастания энтропии.

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 [12]

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

где $\rho$ – измеряемое удельное электросопротивление; $\rho_1$ – удельное электросопротивление ненарушенного массива; $\rho_2$ – удельное электросопротивление нарушенного массива;

2) коэффициент структурного ослабления [13]

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

где $\eta$ – коэффициент вариации прочности породного массива, определяемый по формуле

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

где $l_т$ – среднее расстояние между трещинами; $l_0$ – характерный размер стандартного породного образца; $\eta_0$ – коэффициент вариации результатов лабораторных испытаний породных образцов;

3) коэффициент хрупкости горных пород

$$\psi = \frac{\sigma_p}{\sigma_{сж}}, \tag{11}$$

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

Фазовым переходом второго рода называются фазовые превращения, происходящие без поглощения или выделения тепла и изменения удельного объема [14].

При фазовых переходах второго рода энтропия и термодинамический потенциал Гиббса изменяются непрерывно. Теплоемкость при постоянном давлении $C_p$, изотермический коэффициент сжимаемости:

$$\beta_т = -\frac{1}{V}\left(\frac{\partial V}{\partial p}\right)_т = -\frac{1}{V}\left(\frac{\partial^2 G}{\partial p^2}\right)_т \tag{12}$$

и коэффициент объемного расширения

$$\alpha = \frac{1}{V}\left(\frac{\partial V}{\partial T}\right)_p = \frac{1}{V}\left(\frac{\partial^2 G}{\partial T^2}\right)_p \tag{13}$$

при фазовых переходах второго рода испытывают скачкообразное изменение.

Уравнения Эренфеста

$$\begin{gathered}\Delta C_p = -T\left(\frac{\partial p}{\partial T}\right)^2 \cdot \Delta\left(\frac{\partial V}{\partial p}\right)_т, \\ \Delta\left(\frac{\partial V}{\partial T}\right)_p = \frac{\partial p}{\partial T} \cdot \Delta\left(\frac{\partial V}{\partial p}\right)_т\end{gathered} \tag{14}$$

устанавливают связь между скачками $C_p$, $\beta_m$, $\alpha$ и наклоном кривой равновесия в точке фазового перехода второго рода.

К фазовым переходам второго рода относятся:

а) переход вещества из ферромагнитного в парамагнитное состояние в точке Кюри, сопровождающийся коренным изменением структуры металла;

б) сверхпроводимость, открытая в 1911 г. Камерлинг-Оннесом и заключающаяся в том, что при определенной температуре, близкой к абсолютному 0, сопротивление металла падает до 0;

в) сверхтекучесть, состоящая в том, что при температуре 2,9 °К жидкий гелий разделяется на две фазы – $He_I$ и $He_{II}$, причем последняя фаза не обладает сдвиговой вязкостью.

Фазовыми переходами первого рода называются фазовые превращения, сопровождающиеся поглощением или выделением скрытой теплоты и изменением удельного объема и описывающиеся уравнением Клапейрона- Клаузиуса:

$$T\frac{dp}{dT} = \frac{1}{V_2 - V_1}. \tag{15}$$

Кипение жидкости и конденсация пара, разрушение горных пород являются примерами фазового перехода I рода. 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 $r_k$ газового перехода. В расчете на единицу массы теплота $r_k$ вычисляется по уравнению Клапейрона-Клаузиуса:

$$r_k = (V_2 - V_1)T\frac{dp}{dT}. \tag{16}$$

В работе [15] предложено рассматривать процессы деформации и разрушения с позиций теории фазовых переходов. Это позволяет описывать семейство кривых деформирования и разрушения степенными соотношениями, связывающими параметр полрядка, характеризующий фазовый переход при разрушении, с параметром, 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 нестабильности, а в процессе разрушения с накоплением критической поврежденности при множественном разрушении или с достижением критической длины трещины при локализованном разрушении. На основе данного подхода проанализированы процессы деформации и разрушения в условиях растяжения, усталости, ползучести и ударного нагружения, оценены параметры порядка и критические индексы, рассмотрена эволюция механизмов этих процессов при приближении к критической точке. Показано, что для описания одного и того же семейства кривых разрушения используются экспоненциальные соотношения Аррениуса-Журкова и степенные уравнения, характеризующие фазовый переход при достижении критического состояния и изменения скорости процесса. Это означает, что между параметрами указанных соотношений имеется взаимосвязь. Поскольку уравнение Аррениуса-Журкова используется для описания процессов, происходящих в разных средах, установленная взаимосвязь важна для развития единого подхода к описанию различных по своей природе кинетических процессов в твердых телах, жидкостях и газах.

С использованием глобальной модели пучка волокон как фрактальной схемы прогрессирующего разрушения в гетерогенных средах определена степень разветвления при разрушении как подходящий параметр порядка для выяснения рода фазового перехода, происходящего при разрушении системы [16]. Модель анализируется с помощью вероятностного подхода, подходящего для плавных флуктуаций. Степень разветвления показывает свойства, аналогичные намагничиванию в известных магнитных системах с фазовыми переходами 2-го рода. Получен универсальный критический показатель $\beta$-0,5 независимо от распределения вероятностей, используемого для определения прочности отдельных волокон.

В работе [17] отражена динамика фазового состояния массива горных пород по результатам многоуровневых электромагнитных мониторинговых исследований в удароопасной шахте.

Весьма важно определить, в каких системах и при каком внешнем воздействии на них возникают упорядоченные структуры.

Как уже мы упоминали, процессы самоорганизации – это процессы, протекающие в системе при переходе ее в равновесное состояние, характеризуются релаксацией. Основным признаком процессов самоорганизации является запаздывание их во времени по отношению к времени воздействия на систему. Например, при сильном сжатии вещества может произойти перестройка электронных оболочек атомов без изменения типа решетки. Если перестройка орбит происходит при участии теплового движения атомов, то это синергетический процесс. При медленном сжатии пружины (квазистатическом) процессами самоорганизации можно пренебречь, а при быстром – нельзя.

При сжатии пружины в ней устанавливается определенное поле напряжений. Когда время установления поля напряжений сравнимо с временем сжатия, то процессы самоорганизации присутствуют.

Когда на граничные элементы системы действует упорядоченная сила (поверхностная), то релаксация системы сопровождается упорядочиванием элементов, т.е. самоорганизацией.

Возможен случай самоорганизации системы, когда внешнее воздействие характеризуется изменением концентрации элементов. Так как самоорганизация наблюдается в системах взаимодействующих элементов, то возникающие в системе потоки переведут ее в равновесное состояние. Причем время релаксации должно быть больше времени изменения концентрации. Система в этом случае может находиться во внешнем силовом поле. Если поле обладает, к примеру, осевой симметрией, то этой симметрией будет отличаться и распределение элементов после протекания процессов самоорганизации и установления равновесного состояния. Самоорганизация наблюдается в системах, содержащих элементы, параметры которых изменяются при воздействии на них силовым полем. Элементов системы должно быть достаточно много для того, чтобы проявлялись статистические закономерности. Элементы системы и их параметры должны распределяться в системе упорядоченно. Кроме того, самоорганизация наблюдается в системах с хаотическим распределением элементов системы и их параметров.

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Иванов А.И. Синергетика в геологическом трещиноведении. Проблемы и перспективы // Естественнонаучные, социальные и гуманитарные аспекты - Т.2. - М.: МГУ им. М.В. Ломоносова. - 1999. - С. 217-225.

2. Макаров В.В., Летуновский А.М., Кива М.Н. О зональном характере разрушения горных пород вокруг подземных сооружений, строящихся в сложных горно-геологических условиях // Горный инф.-анал. бюл. МГГУ. - М.: МГГУ. - 2002. - №11. - С. 168-169.

3. 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.

4. Метлов Л.С., Морозов А.Ф., Зборщик М.П. Физические основы механизма зонального разрушения // ФТПРПИ. - 2002. - №2. - С. 55-60.

5. 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.

6. Качанов Л.М. Основы теории пластичности. - М.: Наука, 1973. - 237 с.

7. Усаченко Б.М., Кириченко В.Я., Шмиголь А.В. Охрана подготовительных выработок глубоких горизонтов шахт Западного Донбасса. - М.: ЦНИИЭИуголь, 1992. - 168 с.

8. Иванова В.С., Вставский Г.Ф. Мезомеханика устойчивости фрактальных структур твердых тел в нелинейных условиях // Физ. мезомех. - 1999. - 2. - №5. - С. 19-25.

9. Chigarev A.V. Modeling of self-organizing and determing chaos in processes of deformation and distraction of rigid bodies // Main results Fundas. Res, and Search Sci. Words. - 2000. - №6. P. 37-38.

10. Курленя М.В., Опарин В.Н. Проблемы нелинейной геомеханики. Ч. II // ФТПРПИ. - 2000. - №4. - С. 3-26.

11. Базаров И.П. Термодинамика. - М.: Высшая школа, 1991. - 375 с.

12. 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, I980. - 154 с.

13. Шашенко А.Н. Механика горных пород. - Днепропетровск: НГАУ, 2001. - 302 с.

14. Карякин Н.И., Быстров К.Н., Киреев П.С. Краткий справочник по физике. - М.: Высшая школа, 1962. - 560 с.

15. Ботвина А.Н. Новый подход к анализу процессов разрушения // Прочность и разрушение материалов и конструкций. - Орск: Оренб. гос. ун-т. - 1988. - С. 3.

16. Moreno Y., Gorraes J.B., Pacheko A.E. Fracture and second-order phase transition // Phys. Rer. Lett. - 2000. - 85. - №14. - P. 2865-2868.

17. Хачай О.А., Хинкина Т.Н., Хачай О.Ю. Отражение динамики фазового состояния массива горных пород по результатам многоуровневых электромагнитных мониторинговых исследований в удароопасных шахтах // Горный инф.-анал. бюл. МГГУ. - 2002. - №11. - С. 109-114.