

**САМООРГАНИЗАЦИЯ ПРОЦЕССОВ СДВИЖЕНИЯ ГОРНОГО МАССИВА**

Процесс сдвижения горного массива рассмотрен с позиций самоорганизации. В состоянии самоорганизации геомеханическая система переходит в неравновесной динамике, например, при влиянии очистных работ и характеризуется пространственно-временной упорядоченностью. Предложены принципы управления состоянием горного массива, основанные на использовании, усилении или ослаблении самоорганизации сдвижений толщи.

Применительно к горной геомеханике самоорганизующимися [5] можно считать открытые диссипативные в термодинамическом смысле системы. Эти системы могут пропускать через себя потоки энергии или вещества, необратимо рассеивая при этом первоначальную форму энергии в высокоэнтропийные виды (в конечном счете — в тепло). Например, система крепь выработки — вмещающие породы пропускает через себя энергию горного давления, преобразуя ее из потенциальной низкоэнтропийной формы в поверхностную энергию трещин, работу неупругих перемещений, тепло. Под энтропией горного массива при этом понимаем функцию его состояния, отражающую готовность к самопроизвольному деформированию и сдвигению. Чем меньше эта готовность, тем выше энтропия.

Состояние самоорганизации геомеханической системы существует только в неравновесной динамике и характеризуется наличием структуры, пространственно-временной упорядоченностью. В такой системе нет ярко выраженной аморфности, изотропности. Типичным примером простой пространственной самоорганизации является дизъюнктивное нарушение [2]. Структура горного массива в окрестности разрывного нарушения характеризуется ярко выраженной упорядоченностью. Взаимное расположение трещин оперения и плоскостей скольжений периодически, а их ориентация подчиняется определенным законам. Для рассматриваемого геологического объекта характерны две основные стадии существования. Первая стадия возникает как состояние самоорганизации процесса условно мгновенного разрушения толщи под действием тектонических сил. Вторая стадия утрачивает признаки самоорганизации, длится в течение геологических эпох и подчиняется второму закону термодинамики. Это означает, что происходит рост энтропии (так называемое производство энтропии) в форме релаксации напряжений в окрестности сместителя, залечивания трещин и т. д.

Более сложным примером самоорганизации сдвижений горного массива является известное явление периодического колебания длины зоны и степени концентрации опорного давления [6]. Здесь самоорганизация сдвижений протекает в пространстве и времени и

имеет вид автоколебательного процесса зависания и обрушения породных консолей. При этом накопленная потенциальная энергия сжатия горного массива устремляется в сторону системы призабойное пространство — окружающие породы и необратимо преобразуется в высокоэнтропийные виды поверхностной энергии трещин, плоскостей скольжений, работу неупругих перемещений блоков пород и тепло. Наблюдениями автора установлено, что дополнительно к известным формам самоорганизации сдвижений [6] в данном случае добавляется самоорганизация в виде пространственной упорядоченности и подчиненности трещин горного давления и отдельностей, где сдвигение происходит по ряду систем нарушенности. Так, процесс сдвигения в условиях Донецко-Макеевского района при управлении кровлей полным обрушением идет путем расслоения толщи и взаимных сдвигов блоков по плоскостям скольжения, ориентированных вдоль очистного забоя и наклоненных к горизонту под углом  $50\text{—}140^\circ$ . В процессе сдвигения блоки, размеры которых в вертикальной плоскости составляют  $1\text{—}3$  м, перекашиваются, в результате чего развиваются трещины горного давления и отдельности. Интенсивность их составляет  $40\text{—}60\text{ м}^{-1}$ , что говорит о их подчиненности системе нарушений первого порядка.

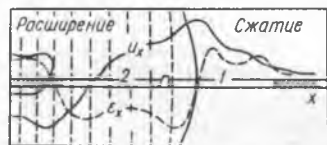
Для поддержания описанного процесса самоорганизации сдвижений система призабойное пространство — окружающие породы должна находиться в существенно неравновесном состоянии. Это обеспечивается вследствие подтока новых порций энергии горного давления, который не иссякает благодаря постоянному перемещению очистного забоя к нетронутой низкоэнтропийной толще массива, имеющей запас потенциальной энергии сжатия. Как только забой останавливается, состояние самоорганизации сдвижений исчезает и в силу вступает второй закон термодинамики о неизбежном спонтанном производстве энтропии. Оно протекает в виде релаксации горного давления, уплотнения обрушенных пород, сглаживания неоднородностей в затронутом очистными работами массиве.

Один из наиболее сложных процессов самоорганизации сдвижений возникает при их активизации в толще в процессе развития очистных работ. Установлено, что смежные выработанные пространства активно взаимодействуют между собою [4]. Если выемочные участки отрабатываются в разное время, смежные зоны сдвижений обладают разной готовностью к самопроизвольным сдвигениям, т. е. имеют разную энтропию. Так как энтропия ранее выработанного пространства больше, возникает поток энтропии от ранее выработанного пространства к смежному вновь отрабатываемому. Этот поток можно считать условно мгновенным, поскольку он возникает только в неравновесном состоянии системы, отвечающему условию активизации сдвижений. В результате этого ранее выработанное пространство испытывает сжатие со стороны нового пространства (рис. 1, а), что приводит к росту горного давления и

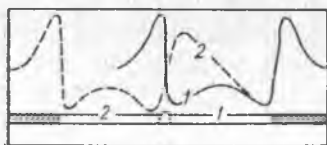
относительно старом выработанном пространстве и разгрузке относительно нового (рис. 1, б). Данное обстоятельство является основным и самым важным с практической точки зрения следствием самоорганизации сдвижений при развитии очистных работ.

Одновременно наблюдается, как и в предыдущем случае, общая для всех процессов тенденция. Как только неравновесность исчезает (останавливается смежная с ранее выработанным пространством лава), состояние самоорганизации затухает и решающую роль начинает играть второй закон термодинамики. В результате протекает производство энтропии с экспоненциальным сглаживанием неравномерного перераспределения горного давления в сплошном выработанном пространстве.

Ярко выражена самоорганизация и при активизации сдвижений



а



б

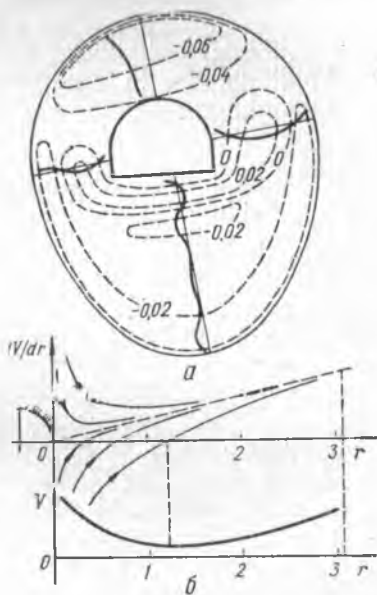


Рис. 1. Взаимодействие смежных зон сдвижений:

абсолютные  $u_x$  и относительные  $\epsilon_x$  деформации толщи в плоскости пласта в направлении оси  $x$ ; 1, 2 — порядок отработки смежных запасов

Рис. 2. Изменение объема  $dV$  (разуплотнение) в процессе развития зоны разрушения в окрестности подготовительной выработки при влиянии очистных работ:

а — экспериментальные данные (цифры на изолиниях обозначают степень разуплотнения); б — теоретические результаты (формула (3))

в системе крепь подготовительной выработки — вмещающие породы. С помощью глубинных реперов установлено, что для возбуждения состояния самоорганизации достаточно двух условий. Процесс сдвижений должен иметь необратимый, т. е. запредельный характер, и активизироваться неравновесным состоянием системы, например, влиянием смежной лавы. Самоорганизация сдвижений в окрестности выработки выражается в том, что развитие зоны разру-

шений происходит в виде фронта (волны) разуплотнения, за которым остается относительно сжатая область (рис. 2). Ориентация трещин в зоне влияния выработки повторяет ее очертания и не зависит от направления исходной трещиноватости. Длительные инструментальные наблюдения при этом показывают, что после исчезновения причины неравновесности наблюдается тенденция к выравниванию степени разуплотнения во всей зоне разрушения, т. е. с закономерной устойчивостью проявляется действие второго закона термодинамики.

Теоретический анализ показывает, что для простейшего описания самоорганизации сдвижений достаточно две феноменологические модели. Первый этап характеризуется стеканием дефектов к зародышам или устьям трещин и может быть описан уравнением диффузии

$$\partial N / \partial t = D (\partial^2 N / \partial x^2 + \partial^2 N / \partial y^2), \quad (1)$$

где  $N$  — концентрация дефектов, зависящая от времени  $t$  и координат  $x$ ,  $y$ ;  $D$  — коэффициент диффузии дефектов, который для однородной толщи может быть принят постоянным.

На втором этапе идет процесс разрушения или пластичного скольжения, который отражен в кинетической теории прочности С. Н. Журкова:

$$t_1 = t_0 \exp [(U - \gamma\tau)/(KT)], \quad (2)$$

где  $t_1$  — долговечность породы;  $t_0$  — параметр кристаллической решетки твердого тела;  $U$  — энергия активизации разрыва связей;  $\gamma$  — коэффициент перенапряжения связей;  $\tau$  — действующее напряжение;  $K$  — константа Больцмана;  $T$  — абсолютная температура.

В более сложных случаях для учета динамических эффектов следует использовать второй закон Ньютона, для тепловых — уравнение теплопроводности и т. д.

Так, на основе феноменологических моделей (1) и (2) можно дать качественное описание самоорганизации сдвижений, зафиксированной шахтными наблюдениями. Теоретическое изменение градиента разуплотнения  $g = dV$  при этом полностью совпадает с экспериментальным (рис. 2):

$$dg/dr = C - g/r, \quad (3)$$

где  $C$  — константа;  $r$  — текущий радиус в зоне разрушения.

Полученные результаты закладывают принципиально новую основу для управления сдвижением массива горных пород. Это управление должно базироваться на использовании, усилении или подавлении самоорганизации сдвижений. Например, следствие самоорганизации сдвижений толщи при бесцеликовом развитии очистных работ целесообразно использовать в качестве резерва

устойчивости подготовительных выработок [3]. Для этого выработки следует располагать в окрестности относительно новых выработанных пространств, на границе с относительно старыми. Указанный метод использован при внедрении способа охраны основных наклонных выработок в зоне разгрузки, образованной разным порядком отработки смежных запасов в условиях шахты им. Бажанова ПО «Макеевуголь». Экономический эффект от повышения устойчивости выработок при этом составил 94,6 тыс. р./м в год.

Удачным примером усиления самоорганизации можно считать гидроразрыв пласта в зоне устойчивой разгрузки [1]. Эта зона существует в неравновесном состоянии и перемещается впереди зоны динамического опорного давления движущегося очистного забоя. Место гидроразрыва при этом оказывается более предсказуемым и определенным.

Примерами ослабления самоорганизации сдвижений является торпедирование труднообрушаемых кровель, взрывощелевая разгрузка почвы подготовительных выработок, щелевая разгрузка подрабатываемых сооружений. Так, на идее срыва самоорганизации сдвижений и ее купировании обоснован следующий способ защиты выработки от влияния очистных работ. Как уже отмечалось, развитие зоны разрушения вокруг выработки при влиянии очистных работ происходит в виде фронта разуплотнения. Поэтому целесообразно заранее разрушить и упрочнить окружающий массив в том месте, где предполагается передвижение фронта разуплотнения. В результате смещения на контуре охраняемой выработки снижаются в 3—4 раза.

Таким образом, проведенные исследования позволяют сделать следующие выводы. Сдвижение горного массива протекает, как правило, 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 стадии процесс сдвижения определяется вторым законом термодинамики, обуславливающим самопроизвольный рост энтропии горного массива. Это происходит в форме релаксации напряжений, уплотнения обрушенных пород, сглаживания неоднородностей сдвижения. 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.

## Список литературы

1. А. с. 1097807 СССР, МКИ E21F5/00. Способ дегазации угольного пласта.
2. Ажгирей Б. В. Структурная геология.— М. : МГУ, 1966.— 350 с.
3. Зборщик М. П., Назимко В. В. Закономерности горизонтальных сдвижений толщи пород при отработке пологих пластов // Уголь Украины.— 1986.— № 5.— С. 18—22.
4. Назимко В. В. Термодинамический анализ сдвижения массива горных пород.— Донецк, 1986.— 11 с.— Деп. в ЦНИЭИуголь, 19.05.86, № 3710.
5. Хакен Г. Синергетика: иерархии неустойчивостей в самоорганизующихся системах и устройствах.— М. : Мир, 1985.— 423 с.
6. Черняк И. Л., Фомин Ю. В. Методика анализа проявлений динамического опорного давления // Уголь.— 1987.— № 10.— С. 22—25.

*Получено 10.06.88*