УДК 622.284.74

Комплексное использование минерального сырья. № 2. 2013.

С.Н. ЛИС, Ж.П. ВАРЕХА, Р.А. МУСИН*

ТОО «ИПКОН». г. Караганда
*snlis@yandex.kz

САМООРГАНИЗАЦИЯ ГОРНОГО МАССИВА ВОКРУГ ПОЛОСТИ

Сложные системы способны к самоорганизации в виде кольцевых периодических структур. Самоорганизация проявляется, когда система является термодинамически открытой. При этом обязательно наличие некоторых критических условий как фактора при образовании периодических структур. Самоорганизация горного массива вокруг полости - это природное явление, заключающееся в перераспределении напряжений внутри горного массива, вызванное образованием внутри него полости (неоднородности) таким образом, что формируется квазизамкнутая подсистема. Процесс перераспределения напряжений создаёт вокруг полости оболочку, то есть самоорганизующуюся защитную подсистему для защиты горного массива и полости от дальнейшего разрушения. Явление самоорганизации горного массива вокруг полости это волновой процесс медленно затухающих автоколебаний. Кинетическая энергия расширяющейся горной породы и есть энергия этих колебаний. Вокруг выработки любого сечения самоорганизуется такая защитная оболочка, которая по устойчивости эквивалентна напряжению нетронутого горного массива. Добиться самоорганизации защитной оболочки вокруг выработки возможно искусственным путём, используя ступенчатую податливость крепи выработки. Каждый шаг податливости формирует последующую оболочку с большей несущей способностью. Для реализации этой идеи разработан ступенчатый узел податливости для анкерного крепления в виде нескольких деформируемых втулок.

Ключевые слова: самоорганизация горного массива; процесс автоколебаний; перераспределение напряжений; защитная оболочка; ступенчатая податливость

Введение. В начале 90–х годов XX века было зарегистрировано открытие [1] явления *зональной дезинтеграции* пород вокруг горной выработки, заключающееся в том, что вокруг горных выработок, находящихся на большой глубине, образуются кольцеобразные чередующиеся зоны слабо нарушенных и разрушенных пород (рисунок 1).

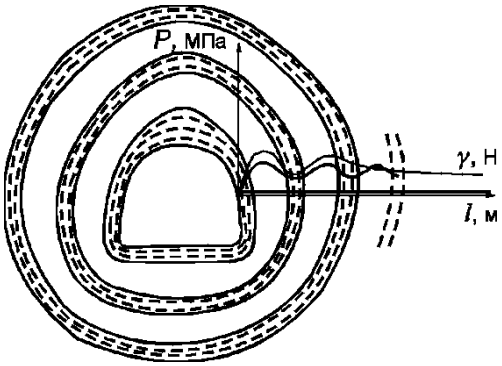


Рисунок 1 – Геомеханическая схема явления зональной дезинтеграции горных пород вокруг подземных выработок

Однако, геологам давно известны подобные структуры, которые называются в геологии *кольцевыми структурами*. Наиболее ярким примером такой структуры является кольцевая структура Ришат (пустыня Сахара, Мавритания) [2] с размером около 50 км. (рисунок 2). О её происхождении до сих пор ведутся дискуссии.

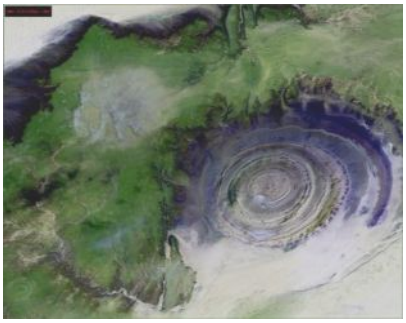


Рисунок 2 – Кольцевая структура Ришат (пустыня Сахара, Мавритания)

Известны такие структуры и в минералогии. Здесь они называются *кольцами Лизеганга* по имени их первого исследователя [3] (рисунок 3).

Рисунок 3 – Кольца Лизеганга в песчаннике

Подобные структуры образуются и на микроуровне. Способность атомов углерода объединяться в сферические структуры, вложенные друг в друга – *фуллерены,* открыли в 1985 году. [4] (рисунок 4).

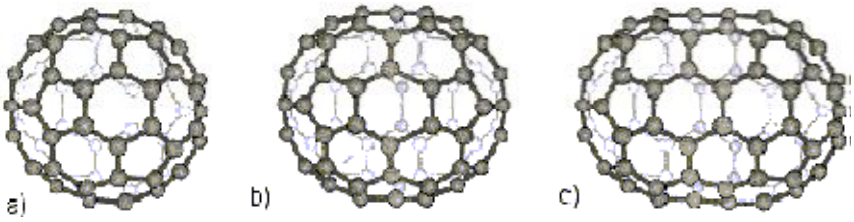


Рисунок 4 – Фуллерены

Открытие фуллеренов стало одним из наиболее значительных достижений химической науки последних лет. На этом открытии основаны все современные нанотехнологии (нанотрубки и т.д.) [5].

Результаты и их обсуждение. Таким образом, можно констатировать, что *сложные системы* способны к самоорганизации. Несмотря на различную природу подобных структур, общим для всех является условие появления дополнительной энергии или вещества. В случае фуллеренов это электрический разряд, для геологических кольцевых структур – тепловая энергия недр земли, выходящая на поверхность, или механическая энергия удара, а для явления зональной дезинтеграции горных пород – появление дополнительной гравитационной энергии на контуре выработки. Самоорганизация проявляется, когда система является термодинамически открытой, нелинейной, а также при сверхкритических условиях и кооперативном (согласованном) протекании процессов. В принципе структуры могут возникать в природе во всех тех случаях, когда выполняются следующие необходимые условия:

1. Система является термодинамически открытой, т.е. может обмениваться веществом и/или энергией со средой.
2. Динамические уравнения системы нелинейны.
3. Отклонение от равновесия превышает критическое.

Общим выводом из приведенных примеров является обязательное наличие некоторых критических условий как фактора при образовании периодических структур.

Самоорганизация горного массива вокруг полости - это природное явление, заключающееся в перераспределении напряжений внутри горного массива, вызванного образованием внутри него полости (неоднородности), таким образом, что формируется квазизамкнутая подсистема, которая защищает как полость, так и горный массив от дальнейшего разрушения. До образования полости горная порода находится в состоянии всестороннего сжатия: горное давление всесторонне сжимает горную породу в пределах её упругих деформаций. Когда образуется полость, то эта сжатая горная порода вокруг неё стремится восстановиться в объеме. Согласно принципу Ле-Шателье (принцип смещения равновесия), если на систему, находящуюся в состоянии устойчивого равновесия, производится внешнее воздействие, выводящее систему из равновесия, то равновесие смещается в том направлении, при котором эффект внешнего воздействия минимален. Поэтому, понижение давления со стороны выработки усиливает то из направлений термодинамического процесса, которое сопровождается увеличением объема, занимаемого ранее термодинамической системой в нетронутом массиве пород. Увеличение объема происходит пропорционально степени снижения давления в каждой точке в направлении от контура выработки вглубь породного массива. При этом расширение пород проявляется как колебание по быстро убывающему закону. Согласно физической теории твёрдого тела, это расширение горной породы - центростремительное и направлено к геометрическому центру окружности, описанной вокруг полости. Такое расширение горной породы вызывает сжатие гор -

ной породы по концентрическим окружностям вокруг полости. При появлении полости начальная потенциальная энергия сжатой горной породы, примыкающей к полости, переходит в кинетическую энергию центростремительно расширяющейся горной породы, которая переходит в потенциальную энергию сжатия горной породы по концентрическим окружностям вокруг полости. Увеличение напряжения сжатия горной породы в каждом последующем концентрическом кольце растёт, что увеличивает его жёсткость и несущую способность. Перераспределение напряжений вокруг полости должно остановиться тогда, когда последующее, замыкающее кольцо достигнет жёсткости, при которой несущая способность этого кольца будет достаточной для изоляции внутри расположенной горной породы и полости от влияния напряженного горного массива. В результате процесс перераспределения энергии останавливается и образуется устойчивая изолированная подсистема или капсула. Таким образом, процесс перераспределения напряжений создаёт вокруг полости оболочку, то есть самоорганизующуюся защитную подсистему для защиты горного массива и полости от дальнейшего разрушения, поэтому процесс перераспределения напряжений это волновой процесс.

Следовательно, природное явление самоорганизации горного массива вокруг полости (неоднородности) это волновой процесс медленно затухающих автоколебаний. Кинетическая энергия расширяющейся горной породы и есть энергия этих колебаний. Вокруг выработки любого сечения самоорганизуется такая защитная оболочка, которая по устойчивости эквивалентна напряжению нетронутого горного массива.

Волновой характер поведения пород вокруг полости подтвержден инструментальными наблюдениями в натурных условиях и на моделях. Результаты измерения прочности пород на различном удалении от контура выработки показывают, что характер изменения *прочности пород* – волнообразный, постепенно затухающий по мере удаления от контура выработки (рисунок 5) [6].

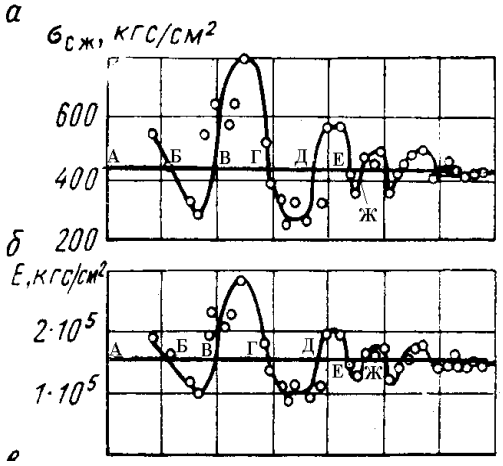


Рисунок 5 – Зависимость предела прочности (а) и модуля упругости (б) песчано-глинистого сланца от расстояния до контура выработки

В результате, вблизи выработок формируется крайне неоднородное механическое состояние пород, которое в настоящее время не учитывается при оценке устойчивости выработки и расчёте рациональных параметров крепи. В связи с этим для оценки напряжённого состояния пород вблизи выработок нами разработана *модель с периодическим затухающим изменением параметров пород в виде стоячей волны* (рисунок 6).

Как показали проведенные исследования [7], расстояние до точек максимумов в этой модели определяются по формуле:

$$X^{n+1} + X - 1 = 0;$$

где n – порядковый номер гребня стоячей волны, начиная от контура выработки;

X – отношение предыдущего расстояния до гребня волны к последующему, начиная от контура выработки.

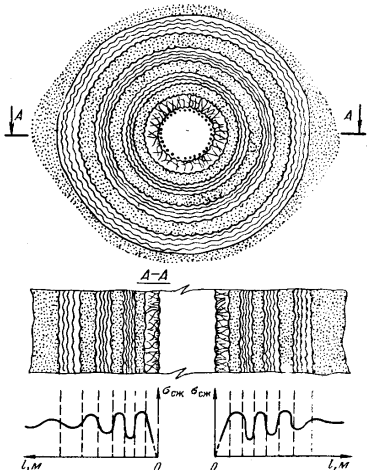


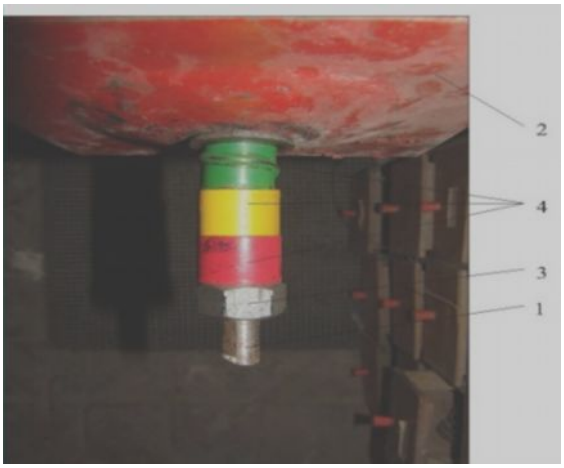
Рисунок 6 – Схема к модели с периодическим затухающим изменением параметров пород в виде стоячей волны

Стоячие волны имеют узловые точки. В них основные параметры волн (амплитуда, флуктуации частот) равны нулю. В узлах минимальна рассогласованность структурных компонентов, сильны внутриструктурная взаимосвязь и единство, обеспечиваемые кратностью их отношений. Исходя из принятой модели, для анкерного крепления необходимо чтобы замковая часть анкера находилась в узловой точке.

Добиться самоорганизации защитной оболочки вокруг выработки возможно искусственным путём. Податливые крепления с большим количеством шагов податливости спонтанно используют закономерности этого природного явления. Каждый шаг податливости формирует последующую оболочку с большей несущей способностью. Таким образом, самое малое увеличение радиуса окружности, описывающей полость, создает новую капсулу с более мощной оболочкой и новым

сроком релаксации. Очевидно, между этими шагами податливости могут создаваться новые промежуточные оболочки. Для реализации этой идеи нами разработан ступенчатый узел податливости для анкерного крепления в виде нескольких деформируемых втулок [8].

Если выполнить податливый элемент в виде нескольких втулок с различной толщиной стенок (рисунок 7), то нарастание сопротивление анкера будет ступенча - тым (количество ступеней равно количеству установленных втулок).



1-стержень из арматурной стали; 2-опорная плита с центральным отверстием; 3-гайка; 4-разрушаемая втулка, одетая на конец стержня 1

Рисунок 7 – Узел податливости анкера для крепления горной выработки

Такая характеристика анкера будет способствовать формированию защитной оболочки вокруг выработки. При смещении горных пород давление через опорную плиту 2, натяжную гайку 3, разрушаемые втулки 4 передается анкерному стержню 1, закрепленному в шпуре. При превышении нагрузки на анкер прочности материала втулок она сминается, за счет чего обеспечивается податливость анкера.

Поскольку предложенный нами узел податливости анкера изготавливается из втулок с различной толщиной стенок, то они имеют различное сопротивление сжатию и соответственно деформируются при различной нагрузке. Эти втулки устанавливаются в таком порядке, чтобы несущая способность анкера возрастала с каждым шагом податливости. Вначале деформируется втулка с наименьшей толщиной стенки. Деформация происходит при постоянной нагрузке на анкер, превышающей сопротивление этой втулки на сжатие. После исчерпания податливости этой втулки происходит нарастание нагрузки на анкер до величины, превышающей сопротивление следующей втулки и т.д. Тогда силовая характеристика анкерной крепи будет иметь вид, показанный на рисунке 8. В этом случае каждый шаг (ступень) податливости будет формировать новую последующую оболочку с большей несущей способностью.

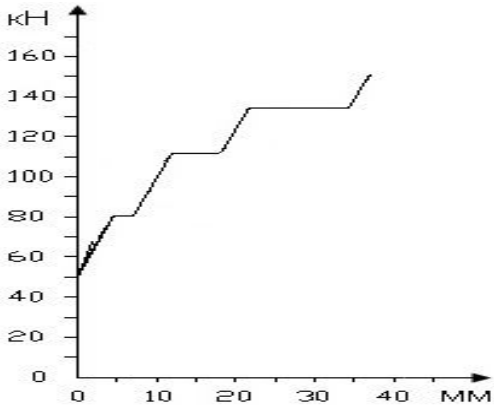


Рисунок 8 – Деформационно-силовая характеристика податливого анкера

Выводы. Таким образом, проведенные исследования позволили разработать новую модель управления геомеханическим состоянием горного массива вблизи горной выработки, разработать схему расчёта необходимой длины анкера, и конструкцию его узла податливости, соответствующие модели с периодическим затухающим изменением параметров пород в виде стоячей волны

ЛИТЕРАТУРА

1 Открытие 400 СССР. Явление зональной дезинтеграции горных пород вокруг подземных выработок / Шемякин Е.И., Курленя Л.В., Опарин В.Н., Рева В.Н., Глушихин Ф.П., Розенбаум М.А.; опубл. 14.01.92, Бюл. № 1.

2 Кац Я.Г., Козлов В.В., Полетаев А.И., Сулиди-Кондратьев Е.Д. Кольцевые структуры лика планеты // Новое в жизни, науке, технике. Сер. “Науки о Земле” - 1989. - № 5. - 48 с.

3 Liesegang R.E**.** Ueber einige Eigenschaften von Gallerten //Naturw. Wochschr. 1896. – Bd. 11. № 30. – S. 353–363.

4 Керл Р.Ф. Истоки открытия фуллеренов: эксперимент и гипотеза //Успехи физических наук. – 1998. – Т. 168. № 3 – С. 331 – 342.

5 Пул Ч., Оуэнс Ф. Нанотехнологии. – М.: Техносфера, 2006. – 336 с.

6 Козел А.М., Борисовец В.А., Репко А.А. Горное давление и способы поддержания вертикальных стволов. - М.: Недра, 1976 - 293с.

7 Лис С.Н., Вареха Ж.П. Закономерности дезинтеграции горных пород вблизи капитальных и подготовительных выработок //Комплексное использование минерального сырья – 2012. - № 2. - С. 23 – 29.

8 Предв. патент 19860. РК. Анкер для крепления горной выработки /Вареха Ж.П., Хасен Б.П., Зейнулин А.А., Булкин А.В., Магзумов А.Е.; опубл. 15.08. 2008, Бюл. № 8 – 2с.: ил.

REFERENCES

1 Otkrytie 400 SSSR. Shemjakin E.I., Kurlenja L.V., Oparin V.N., Reva V.N., Glushihin F.P., Rozenbaum M.A.; **14.01. 1992,** *bul.1* (in Russ).

2 KatsYa.G., Kozlov V.V., Poletaev A.I., Sulidi-Kondrat'ev E.D. Novoe v zhizni, nauke,

tehnike. Ser. Nauki o Zemle, *M.: Znanie*. **1989,** *5*. 48 p.(in Russ).

3. Liesegang R.E. *UebereinigeEigenschaften von,* Naturw. Wochschr, **1896,** V. *11, 30*, 353–363 (in Deutsch).

4 Kerl R.F.*Uspehi fizicheskih nauk*, **1998,** *3,* 331- 342 (in Russ).

5 Pul Ch., Oujens F. *Nanotehnologii*. M.: Tehnosfera, **2006,** 336p. (in Russ).

6 Kozel A.M., Borisovets V.A., Repko A.A. *,M.:Nedra*, **1976**, 293p. (in Russ).

7 Lis S.N., Vareha Zh.P. *Kompleksnoe ispol'zovanie mineral'nogo syr'ya*, **2012**, *2*, 23 – 29 (in Russ).

8 Predv. patent 19860 KZ. VarehaZh.P., Hasen B.P., Zejnulin A.A., Bulkin A.V., Magzumov A.E.; **15.08. 2008.,** *8.* 2 (in Russ).

Түйіндеме

Күрделі жүйелер мерзімді сақиналы түрінде өзін-өзі ұйымдастыруға қабілетті. Жүйенің өзін-өзі ұйымдастыруы термодинамикалық ашық болғанда көрінеді. Бұл ретте кейбір шарттар мерзімді құрылымның факторы сияқты. Тау сілемдерінің айналасында өздігінен қуыстардың ұйымдасуы бұл табиғат құбылысы, тау сілемдерінің ішкі қысымының қайта бөлі -нуінің тағайындалуы, ішкі және оның (біртекті емес) осы үлгімен тұйық жүйе құрастырылады. Үрдіс қайта бөліну қысымымен қуыс қабығының айналасында жасалады, яғни өздігімен ұйымдастырылатын қорғаныс жүйесі, тау сілемдері мен қуысты ұсақ бұзылыстардан қорғау үшін. Баяу сөніп бара жатқан автотербелістердің толқынды үрдісі бұл тау сілемдерінің айналасындағы қуыстардың өздігінен ұйымдастырылу құбылысы. Бұл тербелістердің энергиясы бар және тау жыныстарының кеңейтілген кинетикалық энергиясы. Қозғалмаған тау сілемдері қысымының эквивалентті орнықтылығы, кез келген қима өнімінің айналасында мұндай қорғныш қабығының өздігінен ұйымдастырылады. Өнімдердің біртектілігін сатылы көнгіштікті пайдалана отырып, қорғаныш қабығының айналасындағы өнімдердің өздігінен ұйымдастырылуы жасанды жолмен жетуі мүмкін. Көп тасымалдауға қабілетті келесі қабықтың әрбір көнгіш адымын құрастырады. Осы идеяның жүзге асуы үшін көнгіштіктің сатылы түйіні анкердің беріктілігі үшін бірнеше серпінді беріктілігі үшін бірнеше серпінді төлкілер түрінде жасалынды.

Түйін сөздер: өзін-өзі ұйымдастыру тау сілемі; автотербелісінің процессі; қызыуды қайта бөлу; қорғанысты қабық; сатылы көнгіштік.

Summary

Complicated systems are able to self-organization in the type of ring periodic structure. Self-organization appears when system is thermodynamically open. So presence of some marginal conditions is necessary as factor during periodic structures formation. Self-organization of massif around the vesicle is natural phenomenon consisting in rearrangement of tension inside massif, caused by formation of cave (heterogeneity) inside of it, so that quasiclosed subsystem is formed. Process of rearrangement of tension creates frame round of cave, this is self-organizing protective subsystem, for protection of massif and vesicle from further destruction. Phenomenon of massif self-organization around of cave is wave process of slow damped autooscillations. Kinetic energy of extending rock is energy of these oscillations. Around of mine working with any size of section there is self-organized protective frame, which by resistance is equal to the tension of virgin massif. Self-organization of protective frame around mine roadway can be achieved artificially by usage of step yielding of support. Every step of yielding forms next frame with more bearing capacity. For realization of this idea step yielding assembly for sling anchoring in the form of deformable sleeves was developed.

Key words: massif self-organization, autooscillations; tension rearrangement; protective frame; step yielding

Поступила 04.04.2013.