

УДК 622.1:622.033:553.52

С. Ю. ПРИХОДЬКО¹ (канд. техн. наук, доц.), П. И. ПОЛЯКОВ²¹Донецкий национальный технический университет²Институт физики горных процессов НАНУ**К ТЕОРИИ УСТОЙЧИВОСТИ РЕГИОНАЛЬНЫХ ПРИРОДНО-ПРОМЫШЛЕННЫХ СИСТЕМ**

Рассмотрена концепция развития теории устойчивости региональных природно-промышленных систем на основе системного подхода к рассмотрению данного вопроса и использовании современных технологий для создания региональной базы данных.

региональные природно-промышленные системы, горный массив, математическая модель, энергия системы

Постановка проблемы. Для режима неустойчивости природно-промышленных систем представляет интерес применение новых технологий для получения и ввода данных мониторинга природно-промышленной среды в базу прецедентов, синтез и оптимизация модели природно-промышленной системы, проверка ее адекватности и исследование на устойчивость [1].

Цель работы – определение значений некоторого положительного параметра β , который определяет динамику взаимодействия внешних и внутренних сил в безразмерной математической модели при которых в системе возможно нарушение энергетического баланса.

Материалы и обсуждение работы. Наибольшему антропогенному и техногенному воздействию подвержены территории, где изменяются все взаимосвязанные компоненты системы. Одновременно с активизацией природных процессов начинают развиваться и неблагоприятные антропогенные (техногенные) процессы: гравитационные, геотермические, гидролитогенные, литогеохимические, антропогенный литогенез.

В результате исследований выделенных территорий, помимо природных геоэкологических факторов, определяющих устойчивость системы к техногенным воздействиям, приходится выделять степень воздействий, влияющих на протекание естественных геологических и физических процессов в системе.

Процессы нарушенности и разрушений толщи горного массива сложных пород варьируются в широких пределах. Процессы разрушений зарождаются от места выработки, распространяются вверх. Нарушенность нижних слоёв распространяется и разрушается плитами, сплошными или несплошными пачками плит (рис. 1) [4].

Наблюдается расслоение достаточно мощных, прочных, жёстких слоёв. Причём слои разрушаются самостоятельно с учётом различающейся жёсткости (прочности, отличной от слоя к слою). Расслоение, характерная особенность разрушающейся толщи твёрдых пород, является закономерностью. Расслоение характеризуется прочностными свойствами, в которые входят жесткость, реакция на сдвиговые напряжения. Если силы связи слоёв по контактной поверхности велики, то расслоения не происходит, образуется единая плита.

Как при большой длине выработки, так и не большой, процессы разрушения отличаются объёмом.

При изучении химических свойств углей выбороопасных пластов сделана попытка квалификации углей по степени физико-механической нарушенности [3]. Представленные прочностные показатели, составляющие 0,4-0,9 МПа, на три-четыре порядка уступают показателями твёрдых тел. Это позволяет утверждать, что в исследуемых процессах горногеологический массив подвергается сложному тектоническому влиянию создающему наблюдаемую нарушенность. Выбросы проявляются в выработанных (надвиговых) нарушениях, причём участие тектонических нарушений в этих зонах в 2-3 раза выше [4].

В работе [5] делается предположение о действии потока механической энергии, с учётом всех дефектов, неоднородностей, входящих в поле горного давления. Следует заметить, что для несплошных сред (общепринятая термодинамика, созданная для закрытых систем, в реальных природных процессах таких не существует) необходимы обоснования, основанные на балансе втекающих и вытекающих потоков энергии.

Модель системы «угольный пласт-выработка» сводится к исследованию разрушающих процессов под действием потоков энергии, механического вмешательства, давления газа (фильтрационного), а так же энергии перераспределённого горного давления от процессов тектонической нарушенности. И как следствие, не является ли этот процесс нарушающего влияния определяющим в области неустойчиво-равновесного состояния газонасыщенных сред?

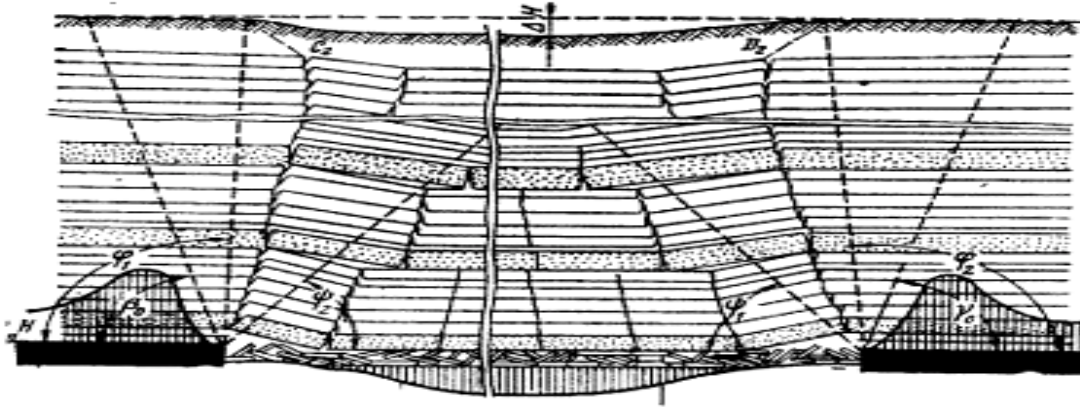


Рисунок 1 – Характер разрушения пород покрывающей толщи в режиме установившейся нарушенности

Опыт эколого-геофизических исследований геологической среды Донбасса позволяет сделать ряд практических и методологических выводов, важных при изучении любых территорий. Прежде всего становится очевидным, что достаточно полное их обследование может быть осуществлено только на основе системного подхода к изучаемым объектам. При этом должны применяться различные масштабы исследования, разнообразные геологические, геофизические и геохимические методы и технологии, эффективные способы комплексной обработки и интерпретации получаемых данных. Для решения задач оптимизации и управления динамикой региональной природно-промышленной системой предлагается к рассмотрению модель природно-промышленной системы (рис.2) в которой вычленяются следующие взаимодополняющие категории правил: рациональные – правила связи, поведения, цели, классификации; иррациональные – правила возможности и предсказуемости.

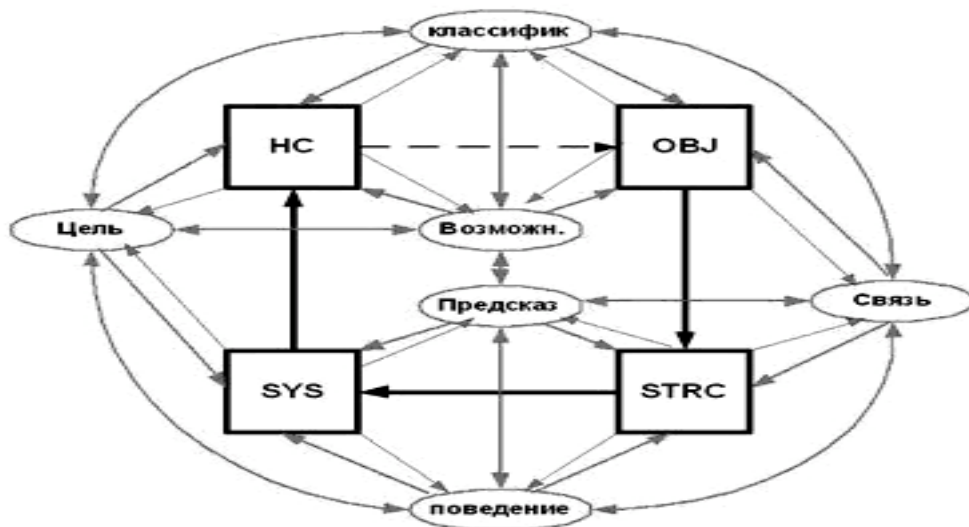


Рисунок 2 – Модель природно-промышленной системы:

OBJ – объект дан с очевидностью различной формы и возможностью взаимодействия с иными различимыми формами; **STRS** – структура дана с очевидностью предсказуемого изменения взаимосвязи объектов; **SYS** – система с очевидностью предсказуемой функциональности поведения структуры; **НС** – надсистема с очевидностью различения возможной функциональности систем

Системный подход при анализе многокритериальных процессов различной природы заключается в исследовании объектов как систем. Исследование ориентируется на раскрытие целостности объекта и обеспечивающих ее механизмов, на выявление многообразных типов связей сложного объекта и сведение их в единую теоретическую картину. Мало зафиксировать наличие в объекте разнотипных связей, необходимо еще представить это многообразие в операциональном виде, т.е. изобразить различные связи как логически однородные, допускающие непосредственное сравнение и сопоставление. Центральное место занимают проблемы организации и функционирования сложных объектов. Сложный объект допускает не одно, а несколько расчленений. При этом критерием обоснованного выбора наиболее адекватного расчленения изучаемого объекта может служить то, насколько в результате удастся построить операциональную «единицу» анализа, позволяющую фиксировать целостные свойства объекта, его структуру и динамику.

Практически каждый объект может быть рассмотрен как система. Основные системные принципы: целостность – принципиальная несводимость свойств системы к сумме свойств составляющих ее элементов и невыводимость из последних свойств целого, зависимость каждого элемента, свойства и отношения системы от его места, функций внутри целого; структурность – возможность описания системы через установление ее структуры, т.е. сети связей и отношений системы, обусловленность поведения системы поведением ее отдельных элементов и свойствами ее структуры; взаимозависимость системы и среды; иерархичность – каждый компонент системы в свою очередь может рассматриваться как система, а данная система представляет собой один из компонентов более широкой системы; множественность описания – в силу принципиальной сложности каждой системы ее адекватное познание требует построения множества различных моделей, каждая из которых описывает лишь определенный аспект системы [1].

Главным компонентом природно-промышленной системы, определяющим в целом ее динамику, является горный массив. В работе [2] рассмотрена математическая модель, описывающая поведение горного массива при воздействии на него массовых сил. Найденная зависимость между значением начальной энергии системы и поведением градиента вертикального смещения, а как следствие и самого вертикального смещения, позволяет получать информацию о поведении напряжений внутри горного массива. В табл. 1 приведены результаты анализа энергетических состояний модели. $E(h(0))$ - начальная энергия системы, $E^* = (c_1 C_0^{\beta+1})^{\frac{2}{1-\beta}}$, α - безразмерный положительный параметр характеризующий качественное поведение ускорения силы тяжести в горном массиве ($0 < \alpha < 1$), $\int |\nabla h|^2 dx$ - градиент решения,

$$c_0 = \frac{t_0^2 \mu}{l^2 \rho}, c_1 = \frac{t_0^2 f_0}{h_0^2 (1-\alpha)} \left(\frac{h_0 g_0}{f_0} \right)^{\frac{1}{1-\alpha}}, c_2 = \frac{t_0^2 \alpha a_s g_0}{h_0^2 (1-\alpha)} \left(\frac{h_0 g_0}{f_0} \right)^{\frac{\alpha}{1-\alpha}}, \beta = \frac{\alpha}{1-\alpha}. \quad (1)$$

где t_0 - характерное время релаксации горного массива (с);

l - характерный размер горного массива (м);

h_0 - характерная амплитуда инверсионного подъема (м);

f_0 - характерное значение среднего суммарного потенциала определяющее геодинамику массива ($\text{м}^2/\text{с}^2$).

В любой из геотектонических гипотез должны быть четко определены силы, участвующие в перемещениях или преобразованиях масс в земной коре, и источник энергии, поддерживающий эти силы в течении определенного периода времени [9]. Модели горного массива, рассматриваемые при прогнозировании газодинамических явлений, основаны на детерминистическом причинном описании. Однако такое описание не всегда является адекватным. Главная причина этого состоит в том, что в макроскопических системах существование многих степеней свободы часто приводит к возникновению флуктуаций. После возникновения макроскопической флуктуации система ведет себя в соответствии с определенными феноменологическими законами. Флуктуации, хотя и являются измеримыми величинами, должны оставаться малыми по сравнению с макроскопическими величинами. Малые флуктуации при наличии критической точки усиливаются, достигают макроскопического уровня и переводят систему в новое состояние, т.е. приводят к возникновению новой фазы в системе.

Таблица 1 – Результаты анализа энергетического состояния системы

$E(h(0))$	$\int \nabla h ^2 dx$
$0 < \beta < 1$	
$E(h(0)) < E^* < 0$	Квалифицированная оценка сверху на любом фиксированном временном интервале
$E(h(0)) = E^*$	$\int \nabla h ^2 dx = (c_1 C_0^{\beta+1})^{\frac{2}{1-\beta}}$
$E^* < E(h(0)) < 0$	Универсальная двухсторонняя оценка сверху и снизу
$E(h(0)) \geq 0$	Универсальная оценка сверху
$\beta > 1$	
$E(h(0)) > 0$	Квалифицированная оценка сверху локальная по времени
$E(h(0)) \leq 0$	Универсальная оценка снизу и оценка сверху локальная по времени
$\beta = 1$	
$\chi > 0, E(h(0)) < 0$	Квалифицированная оценка сверху на любом фиксированном временном интервале
$\chi > 0, E(h(0)) = 0$	$\int \nabla h ^2 dx = 0$
$\chi > 0, E(h(0)) > 0$	Универсальная оценка сверху
$\chi < 0, E(h(0)) < 0$	Универсальная оценка снизу и квалифицированная оценка сверху на любом фиксированном временном интервале
$\chi < 0, E(h(0)) \geq 0$	Квалифицированная оценка сверху на любом фиксированном временном интервале

Для описания качественного поведения амплитуды вертикального смещения локальной области земной поверхности использовалась модель колебания упругой тонкой пластины под действием внешних массовых сил. Учитывая относительную локальность области, в которой рассматривается модель, можно пренебречь вращением Земли. В качестве внешних сил V_e рассматривается воздействие на земную поверхность комплекса экзогенных процессов и эрозионных волн, влияние долговременных тенденций изменения атмосферного давления, результаты гравитационного взаимодействия Земли с другими космическими телами (например, Солнцем, Луной) и т.п. В качестве внутренних сил V_i учитывается влияние вертикальных тектонических движений, возникающих как вследствие движения тектонических плит, так и в результате процессов физико-химической дифференциации вещества в недрах Земли. Получено модельное уравнение, которое учитывает зависимость амплитуды вертикального смещения, а, следовательно напряжений на земной поверхности, от взаимодействия внешнего и внутреннего суммарных потенциалов. Была рассмотрена модель упругих деформаций земной коры, которая при условии сохранения объёма в нутационной системе координат (нутационная система координат – система отчёта, определенным образом связанная с инерциальной системой отчёта) для амплитуды вертикального смещения принимает следующий вид [6-16]:

$$\frac{\partial^2 h}{\partial t^2} = \frac{\mu}{\rho} \Delta h + \frac{\partial f}{\partial h}, \quad (2)$$

где $h = h(t, x, y)$ – вертикальное смещение, зависящее от времени t и декартовых координат x, y ; $f = f(h) := V_e + V_i$ – сумма внешнего (V_e) и внутреннего (V_i) потенциалов, действующих на горный массив; μ - параметр Ламе (Па); ρ - плотность (кг/м³); $\Delta = \partial^2 / \partial x^2 + \partial^2 / \partial y^2$ - оператор Лапласа.

Основной целью данной работы является определение значений некоторого положительного параметра β , который определяет динамику взаимодействия внешних и внутренних сил в безразмерной математической модели при которых в системе возможно нарушение энергетического баланса.

Выводы. Разработка 3D-варианта данной модели предполагает послойное задание краевых условий с учетом геологических и геофизических особенностей отдельных слоев горного массива.

При задании соответствующих геометрических параметров и краевых условий данную модель можно использовать при исследовании динамики горных массивов в любой области земного шара.

С позиций системного подхода особый интерес представляет разработка комплексных ГИС-проектов в сфере управления региональным природопользованием. При принятии управляющих решений часто приходится выполнять последовательные или параллельные вычислительные и аналитические операции одновременно в нескольких областях – производственной, экономической, социальной. При этом информационные потоки обычно привязаны к конкретным территориальным единицам. В этом случае они принимают форму территориально закрепленных банков данных, которые организуются в виде геоинформационных систем для каждой конкретной сферы деятельности. Подобные информационные потоки, как правило, должны пересекаться и дополнять друг друга, т.е. любое управляющее решение должно иметь комплексный и системный характер. При этом возникает достаточно сложная задача, когда необходимо разработать строго аргументированный и оптимальный алгоритм принятия управляющих решений, синтезирующий всю доступную информацию.

Библіографічний список:

1. Приходько С.Ю. Применение ГИС-технологий в системном анализе природной среды Донбасса / С.Ю. Приходько // Проблемы экологии. – 2008. – № 1-2. – С.71-73.
2. Приходько С.Ю. Новый подход к анализу поведения горного массива. / С.Ю. Приходько, Р.М. Таранец, С.А. Матвиенко // Ученые записки Таврического национального университета им. В.И.Вернадского. Серия География. – 2009. – Т.22(61). – С.79-89.
3. Иванов Б.М. Механические и физико-химические свойства углей выброопасных пластов / Б.М. Иванов, Г.Н. Фейт, М.Ф. Яновская. – М.: Наука, 1979. – 195 с.
4. Борисов А.А. Механика горных пород и массивов / А.А. Борисов. – М.: Недра, 1980. – 181 с.
5. Шестопалов А.В. Самосборка атомов и молекул на острие растущей трещины глубоко под землей. / А.В. Шестопалов // Деформация и разрушение материалов и наноматериалов: 3-й международная конференция: Сборник трудов. – М., 2009. – Т.1. – С. 168-169.
6. Таранец Р.М. Новый подход к оценке влияния внешних и внутренних сил на поведение горного массива / Р.М. Таранец, В.А. Привалов, С.Ю. Приходько // Проблемы экології. – 2007. – № 1-2. – С. 46-50.
7. Таранец Р.М. Об одном из аспектов нелинейной геодинамики: влияние массовых сил на тектоническое поведение земной поверхности на примере Донецкого бассейна / Р.М. Таранец, В.А. Привалов, С.Ю. Приходько // Наукові праці Донецького національного технічного університету. Серія: Гірничо-геологічна. – 2007. – вип. № 6(125). – С. 205-210.
8. Приходько С. Ю. Исследование влияния внешних и внутренних сил на поведение горного массива / С.Ю. Приходько, Р.М. Таранец // Геоинформационные технологии в управлении территориальным развитием: 11-я международная конференция: материалы. – Ялта, 2008.
9. Лионс Ж.-Л. Некоторые методы решения нелинейных краевых задач / Ж.-Л. Лионс. – М.: Мир, 1972. – 588 с.
10. Segal I.E. The global Cauchy Problem for a relativistic scalar field with power interaction / I.E. Segal // Bull. Soc. Math. France. – [19--]. – Vol. 91 (1963). – P. 129-135.
11. Кутателадзе С.С. Анализ подобия и физические модели / С.С. Кутателадзе. – Новосибирск: Наука, 1986. – 295 с.
12. Гухман А.А. Введение в теорию подобия / А.А. Гухман. – М.: Высшая школа, 1973. – 296 с.
13. Тяпкин К.Ф. Физика Земли: учебник / К.Ф. Тяпкин. – К.: Вища шк., 1998. – 312 с.
14. Приходько С.Ю. Новый подход к описанию геодинамической модели горного массива / С.Ю. Приходько, Б.С. Панов // 4-та Міжнародна наукова конференція, 21-25 квітня 2005 р. : доповіді і повідомлення – Донецьк, [19--]. – С. 139-141.
15. Мельхиор П. Земные приливы. – М.: Мир. – 1968. – 482 с.

Надійшла до редакції 18.08.09

С. Ю. Приходько, П. І. Поляков

ДО ТЕОРІЇ СТІЙКОСТІ РЕГІОНАЛЬНИХ ПРИРОДНО-ПРОМИСЛОВИХ СИСТЕМ

Розглянута концепція розвитку теорії стійкості регіональних природно-промислових систем на основі системного підходу до розгляду даного питання й використанні сучасних технологій для створення регіональної бази даних.

регіональні природно-промислові системи, гірничий масив, математична модель, енергія системи.

S. Prihodko, P. Polyakov

TO THE THEORY OF REGIONAL NATURAL-INDUSTRIAL SYSTEMS STABILITY

We have considered the development of the theory of regional natural-industrial systems stability with the use of the new technique of regional database creation.

regional natural-industrial systems, mountain array, mathematical model, energy of the system.

© С. Ю. Приходько, П. И. Поляков, 2009