ИССЛЕДОВАНИЕ УСТОЙЧИВОСТИ ФУНКЦИОНИРОВАНИЯ РЕГИОНАЛЬНЫХ ПРИРОДНО-ПРОМЫШЛЕННЫХ СИСТЕМ И ПРИНЯТИЕ ОПТИМАЛЬНЫХ УПРАВЛЕНЧЕСКИХ РЕШЕНИЙ

С.Ю.Приходько[1], Л.П.Полякова[2]
1 – Донецкий национальный технический университет
2 – Донецкий государственный университет управления

В современных условиях быстро меняющихся экономических, политических и других факторов значительно возросла цена ошибок в управлении организационными системами (административными образованиями, крупными предприятиями и т.п.). Все подобные системы включают как природные, так и технические объекты, а параметры их функционирования существенно зависят от пространственного расположения и от времени. Такие системы называются промышленно-природными системами (ППС). Экспериментальные воздействия на ППС по многим причинам (ограниченные временные рамки, опасность необратимых изменений, высокая стоимость и др.) обычно невозможны или нежелательны, поэтому основным методом изучения и прогнозирования поведения ППС служит моделирование. Моделирование таких объектов с достаточной для получения практически значимых результатов многосторонностью заставляет рассматривать их как сложные пространственные динамические системы с переменной структурой, множественными внешними и внутренними связями, учитывать разнообразные информационные, финансовые, материальные, энергетические потоки, предусматривать анализ последствий изменения структуры объекта, критических ситуаций и т.п.

Предлагаемая методика исследований заключается в системном подходе решения вопроса, который состоит в выделении рассматриваемой системы, определении составляющих ее компонентов, определение связей между компонентами и на каждом исследуемом временном интервале весовой оценке рассматриваемых факторов влияния на систему в объеме (как внутренних, так и внешних). Определяющим моментом методики исследования является наличие базы данных по факторам влияния [1- 12].

В региональных природно-промышленных системах (ППС) определяющим компонентом является горный массив, от устойчивого состояния которого зависит комплексная устойчивость всей региональной ППС. Разработанная объемная математическая модель горного массива позволяет прогнозировать его динамику и динамику всей региональной ППС,

Предложена математическая модель, описывающая поведение горного массива при воздействии на него массовых сил. Найдены условия на параметры задачи при которых возможны геотектонические нарушения.

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 [10].

В работах [1-3] 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 [2], 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 [1-3]. В работе [1] 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:

$$\frac{\partial^2 h}{\partial t^2} = \frac{\mu}{\rho}\Delta h + \frac{\partial f}{\partial h}, \tag{1}$$

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/м^3); $\Delta = \partial^2/\partial x^2 + \partial^2/\partial y^2$ - оператор Лапласа.

Основной целью исследования 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. Для этого необходимо выполнить:

- переход к безразмерной форме в модели ;
- построение энергетической диаграммы для задачи;
- анализ энергетической диаграммы.

В безразмерном виде уравнение (1) запишется:

$$\frac{\partial^2 h}{\partial t^2} = c_0\Delta h + c_1 h^{\beta} - c_2 h^{\beta-1}. \tag{2}$$

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

Не нарушая общности, мы будем рассматривать уравнение (2) в некоторой фиксированной области Ω с границей $\partial\Omega$ и полагать $c_0=1$. Вместе с (2) рассматриваем следующие граничное и начальные условия:

$$h\big|_{\partial\Omega}=0,\quad h\big|_{t=0}=h_0(x),\quad h_t\big|_{t=0}=h_1(x),\tag{3}$$

где $h_0(x)$ - некоторая начальная геометрия горного массива, а $h_1(x)$ - его начальная скорость изменения.

Полная энергия открытой системы:

$$E(h(t)):=\frac{1}{2}\int\left(h_t^2+|\nabla h|^2-\frac{2c_1}{\beta+1}h^{\beta+1}+\frac{2c_2}{\beta}h^{\beta}\right)dx,\tag{4}$$

Из теории бинарных систем, хорошо известно, что знак начальной энергии системы существенно влияет на ее поведение, например, если начальная энергия отрицательна, то это приводит к фазовому переходу. Применительно к нашей ситуации, это означает следующее: если $E(h(0))<0$, то в системе, при определенных значениях параметров, возможен быстрый рост градиента амплитуды инверсионного подъема.

Для градиента мы получили следующее неравенство:

$$\frac{c_1C_0^{\beta+1}}{\beta+1}\left(\frac{\beta+1}{2c_1C_0^{\beta+1}}-\left(\int|\nabla h|^2\,dx\right)^{\frac{\beta-1}{2}}\right)\int|\nabla h|^2dx\le E(h(0)).\tag{5}$$

В зависимости от значений начальной энергии, для случая $0<\beta<1$, возможны пять различных ситуаций:

1) если $E(h(0))<E^*=-\dfrac{(1-\beta)(c_1C_0^{\beta+1})^{\frac{2}{1-\beta}}}{2(\beta+1)}<0$, то неравенство (21) не выполняется, а следовательно не существует универсальной (независящей от времени) оценки градиента решения;
2) если $E(h(0))=E^*$, то градиент решения в точности равен $\int|\nabla h|^2dx=(c_1C_0^{\beta+1})^{\frac{2}{1-\beta}}$ в любой момент времени $t>0$;

3) если $E^* < E(h(0)) < 0$, то градиент решения имеет двухстороннюю оценку при любом $t > 0$, а именно,

$$a_1 \le \int |\nabla h|^2 dx \le a_2,$$

где постоянные $0 < a_1 < a_2 < \left(\frac{2c_1 C_0^{\beta+1}}{\beta+1} \right)^{\frac{2}{1-\beta}}$ зависят от значения начальной энергии $E(h(0))$;

4) если $E(h(0)) = 0$, то имеет место оценка градиента решения сверху $\int |\nabla h|^2 dx \le \left(\frac{2c_1 C_0^{\beta+1}}{\beta+1} \right)^{\frac{2}{1-\beta}}$ при любом $t > 0$;

5) если $E(h(0)) > 0$, то градиент решения ограничен сверху $\int |\nabla h|^2 dx \le a_3$, при любом $t > 0$, и постоянная $a_3 > \left(\frac{2c_1 C_0^{\beta+1}}{\beta+1} \right)^{\frac{2}{1-\beta}}$ зависит от $E(h(0))$.

Для случая $\beta > 1$ в зависимости от значений начальной энергии возможны три ситуации:

1) если $E(h(0)) > 0$, то градиент решения в любой момент времени $t > 0$ не имеет универсальной оценки сверху;

2) если $E(h(0)) = 0$, то градиент решения ограничен снизу $\int |\nabla h|^2 dx \ge \left(\frac{\beta+1}{2c_1 C_0^{\beta+1}} \right)^{\frac{2}{\beta-1}}$ при любом $t > 0$;

3) если $E(h(0)) < 0$, то градиент решения имеет оценку снизу $\int |\nabla h|^2 dx \ge a_4$ при любом $t > 0$, где постоянная $a_4 > \left(\frac{\beta+1}{2c_1 C_0^{\beta+1}} \right)^{\frac{2}{\beta-1}}$ зависит от $E(h(0))$.

Итак, в случае $\beta > 1$ и $E(h(0)) \le 0$, мы получим, что градиент всегда ограничен снизу, т.е.

$$\int |\nabla h|^2 \, dx \ge C > 0.$$

Для случая $\beta = 1$ из оценки (5) мы получим, что

$$\chi \int |\nabla h|^2 \, dx \le E(h(0)),$$

где $\chi = \frac{1}{2} - \frac{c_1 C_0^{\beta+1}}{\beta+1}$. Отсюда, в свою очередь, мы устанавливаем, что:

1) если $\chi > 0$ и $E(h(0)) < 0$, то $\int |\nabla h|^2 dx$ не имеет универсальной верхней оценки;
2) если $\chi > 0$ и $E(h(0)) = 0$, то $\int |\nabla h|^2 dx = 0$, откуда следует, что $h = const$,
3) если $\chi > 0$ и $E(h(0)) > 0$, то $\int |\nabla h|^2 dx \le \frac{2(\beta+1)}{\beta+1-2c_1 C_0^{\beta+1}} E(h(0))$;
4) если $\chi < 0$ и $E(h(0)) < 0$, то $\int |\nabla h|^2 dx \ge -\frac{2(\beta+1)}{2c_1 C_0^{\beta+1} - \beta - 1} E(h(0))$;
5) если $\chi < 0$ и $E(h(0)) \ge 0$, то $\int |\nabla h|^2 dx$ не имеет универсальной верхней оценки.

Определяя поведение градиента вертикального смещения, который связан с тензором деформаций, мы тем самым определяем поведение соответствующих напряжений в горном массиве. 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.

Математическая модель позволяет описать слоистую структуру горного массива с учетом наличия геологических нарушений и техногенных воздействий. Исследование ее устойчивости базируется на анализе энергетического баланса внешнего и внутреннего потенциалов, комплексно воздействующих на горный массив, на котором расположен рассматриваемый регион. Выведены критерии (на основании дисбаланса потенциалов), позволяющие делать пространственно-временной прогноз возможных чрезвычайных горно-геологических процессов. Достоверность критериев устойчивости усиливается коэффициентом системности, который может рассчитываться как для всей ППС, так и для отдельных ее компонентов. При наличии соответствующей базы данных, модель позволяет исследовать устойчивость региональных ППС в любой точке Земного шара.

Любая исследуемая система имеет 2 граничных состояния: 0 – система полностью неупорядочена, хаос; 1 – система полностью упорядочена, гармония. Метод главных компонент позволяет на любом временном интервале исследования выделять наиболее весомые факторы комплексного воздействия на систему и по их значениям рассчитывается коэффициент системности, значение которого находится в интервале от 0 до 1. Эмпирически определяются критерии, по которым программа информирует пользователя о сильной неустойчивости системы в целом (или компонентов системы) и на выделяемых временных интервалах показывает факторы, наиболее сильно влияющие на устойчивость. Это позволяет (при возможности) воздействовать на эти факторы, для восстановлении устойчивости.

Предлагаемая методика исследования устойчивости систем позволяет работать с базами данных в различных сферах общественной деятельности:

- производственно-технической (горно-металлургическая промышленность, химическая промышленность, гражданское и промышленное строительство и т.д.)
- политической (международные отношения)
- социальной (чрезвычайные ситуации, сферы услуг: ЖКХ, снабжение населения различной продукцией, медицина и т.д.)
- экономической (экономика города, региона, государства)

Алгоритм методики исследований позволяет, при работе с базами данных, вносить в программу соответствующие дополнения для более точного определения критериев, оценивающих устойчивость исследуемых систем.

Список литературы

1. Р.М. Таранец, В.А. Привалов, С.Ю. Приходько. Новый подход к оценке влияния внешних и внутренних сил на поведение горного массива”// Проблеми екології.-Донецьк : ДонНТУ, 2007, №1-2, С.46-50.

2. Р.М.Таранец, В.А.Привалов, С.Ю.Приходько. Об одном из аспектов нелинейной геодинамики: влияние массовых сил на тектоническое поведение земной поверхности на примере Донецкого бассейна/ Наукові праці Донецького національного технічного університету. Серія: “Гірничо-геологічна”. Випуск №6(125).-Донецьк, ДВНЗ ”ДонНТУ”, 2007.- С. 205-210.

3. С. Ю. Приходько, Р. М. Таранец. Исследование влияния внешних и внутренних сил на поведение горного массива // Материалы 11-й международной конференции “Геоинформационные технологии в управлении территориальным развитием”, Ялта.- 2008.

4. Ж.-Л. Лионс. Некоторые методы решения нелинейных краевых задач. М.: Мир., 1972. – 588 С.

5. I.E. Segal. The global Cauchy Problem for a relativistic scalar field with power interaction // Bull. Soc. Math. France, V. 91 (1963), pp.129-135.

6. С.С. Кутателадзе. Анализ подобия и физические модели.-Новосибирск: Наука, 1986.- 295 С.

7. А.А.Гухман. Введение в теорию подобия. М., Высшая школа.-1973.- 296 С.

8. В.Г. Мазья. Пространства Соболева. Л.,1985.- 415 С.

9. К.Ф.Тяпкин. Физика Земли:Учебник.- К.: Вища шк., 1998.- 312 С.

10. С.Ю. Приходько., Б.С.Панов. Новый подход к описанию геодинамической модели горного массива // Доповіді і повідомлення 4-ї Міжнародної наукової конференції 21-25 квітня 2005 р. у м.Донецьку.- С. 139-141.

11. П. Мельхиор. Земные приливы. М., Мир. – 1968. – 482 С.

12. С.Ю.Приходько, П.И.Поляков. К теории устойчивости региональных природно-промышленных систем //Проблеми екології.-Донецьк: ДонНТУ, 2009, №1-2, С.70-74.