

МОДЕЛЬ БЕЗОПАСНОГО РАЗВИТИЯ ПРИРОДНОЙ СИСТЕМЫ, НАХОДЯЩЕЙСЯ ПОД ВЛИЯНИЕМ АНТРОПОГЕННОГО ВОЗДЕЙСТВИЯ, УЧИТЫВАЮЩАЯ ПРОЦЕССЫ САМООРГАНИЗАЦИИ И АУТОСТАБИЛИЗАЦИИ

Е.А. Малиновская, Р.А. Рыскаленко

ФГБОУ ВПО «Ставропольский государственный университет», г. Ставрополь

Рецензент д-р физ.-мат. наук, доцент В.И. Наац

Ключевые слова и фразы: антропогенные факторы; ауто-стабилизация; динамическая система; индикаторы безопасного развития; природная система; проблема изменения климата.

Аннотация: При анализе динамики природных систем, подверженных воздействию антропогенных факторов, весьма важным элементом является разработка модели безопасного развития, которая бы определяла условия ее адаптации. Границы безопасного развития системы могут быть заданы некоторыми индикаторами, определяемыми процессами аутостабилизации. Рассмотрена проблема поиска и обоснования методов определения этих индикаторов для различных природных систем.

Обозначения: S – множество допустимых входных воздействий; S_Q – множество, которое определяется условиями ограничения допустимых входных воздействий; Q – множество безопасных состояний системы; Y – выходные мгновенные значения системы; Y_I – выходные значения – индикаторы состояния системы, которые определяют множество безопасных состояний системы Q ; Y_I^- – выходные значения – индикаторы, для которых потребление ресурсов являются необходимыми для существования человека; Y_I^+ – выходные значения – индикаторы, для которых избыток накопления вредных для человека веществ приведет к ухудшению условий биологического развития

Малиновская Елена Александровна – кандидат физико-математических наук, старший преподаватель кафедры «Компьютерная безопасность», e-mail: elen_am@inbox.ru; Рыскаленко Роман Андреевич – кандидат физико-математических наук, доцент кафедры «Математический анализ», ФГБОУ ВПО «Ставропольский государственный университет», г. Ставрополь.

для человечества и биосистем; X – множество входных значений системы; ξ – множество переменных – возмущений природного характера; W^+ – множество весовых коэффициентов, определяющих характер взаимосвязей.

При проведении анализа деятельности техногенного объекта и его влияния на экологическое окружение необходимо учитывать ответную реакцию (адаптацию). С позиции динамики состояния природных систем ключевыми являются наличие и скорость протекания адаптационных процессов, защищающих экосистему от разрушения [2]. В то же время целостность системы для живых организмов определяется их способностями адаптироваться к внешним условиям, для сложных региональных природных комплексов этим свойством является свойство аутостабилизации [7]. Введем понятие адаптера. Будем полагать, что адаптер – это абстрактное понятие, определяющее комплекс явлений для описания реакции системы на внешнее воздействие. Отрицательные обратные связи разрушают целостность системы, а положительные – восстанавливают.

Необходимо отметить, что деятельность любого технически сложного объекта (например, завода или гидроэлектростанции) находится в зависимости от заложенного алгоритма работы с заданными параметрами. Их предельные значения и являются главными критериями, с помощью которых человек управляет функционированием данного объекта. Эти критерии для экологической системы являются входными параметрами и могут рассматриваться как совокупность распознавателей, для которых выходами являются состояние безопасности и противоположное ему – нарушение целостности либо полное уничтожение.

Далее в модели безопасного развития экологической системы, находящейся под влиянием антропогенного воздействия, определяются входные параметры. Они обусловлены спецификой элементов рассматриваемой системы и оцениваются с помощью обобщенных количественных показателей на основе анализа системных энергетических взаимосвязей элементов системы при воздействии на нее внешних факторов. В качестве преобразующего механизма выступают адаптеры. При этом важная задача состоит в возможности включения в абстрактную модель адаптационных процессов.

Конечной целью является определение допустимых нагрузок со стороны антропогенных факторов на систему при условии реализации различных динамических сценариев.

В математической форме задачу сформулируем следующими условиями [3].

Условие 1. Определение границ входных воздействий

$$C \subset C_Q, \quad (1)$$

которое предполагает ограничение множества C допустимых входных воздействий множеством C_Q с входными воздействиями, результатами которых является множество безопасных состояний системы Q .

Условие 2. Выделение из общего числа выходных мгновенных значений Y индикаторов Y_I состояния системы, которые определяют множество безопасных состояний системы Q [3]

$$Y \rightarrow \begin{cases} Y_I, Y \rightarrow C_Q, \\ Y_N, X \leftrightarrow Y. \end{cases} \quad (2)$$

Это выражение позволяет выделить индикаторы Y_I из общего множества выходных значений Y .

Выходные индикаторы отражают процессы двух типов [3]:

1. Y_I^- – описывают количественные оценки негативного воздействия со стороны техногенного объекта на рассматриваемую экосистему, при этом потребляются (изымаются) необходимые для развития экосистемы ресурсы. Появляется недостаток относительной массы некоторой величины ψ , что определяется условием $\psi \geq \psi^-$.

2. Y_I^+ – описывают количественные оценки негативного воздействия со стороны техногенного объекта на рассматриваемую экосистему, при этом вредные для экосистемы вещества наоборот привносятся в систему (проблема промышленных отходов), что определяется условием $\psi \leq \psi^+$.

Таким образом, схему представления выходных данных определяем в виде

$$Y \rightarrow \begin{cases} Y_I^+, \text{ if } Y \rightarrow C_Q, \psi \leq \psi^+; \\ Y_I^-, \text{ if } Y \rightarrow C_Q, \psi \geq \psi^-; \\ Y_N, C_Q \rightarrow Y. \end{cases} \quad (3)$$

Условие 3. Определение методов и подходов к анализу воздействия антропогенных факторов, а также регулированию ситуации, сложившейся для природной системы [3],

$$U \rightarrow \begin{cases} U_{X \rightarrow Y}; \\ U_{X \leftrightarrow Q}; \\ U_{Q \leftrightarrow Y}. \end{cases} \quad (4)$$

Это условие задает входное антропогенное воздействие U , направленное на изменение динамики процессов в природной системе. Данные воздействия могут быть нескольких видов:

– без анализа последствий $U_{X \rightarrow Y}$, в результате которых множество входных данных X отображается на множестве выходных данных Y без учета интенсивности влияния антропогенных факторов на фоне остальных входных характеристик;

– с учетом обратной связи. Взаимосвязь воздействия с мгновенными состояниями системы считается известной, например, мониторинг изменений динамических характеристик и их учет при детерминации управляющих реакций $X \leftrightarrow Q$;

– на входные значения параметров при условии определенности знания переходных функций состояний (принципов изменения состояния, функциональных закономерностей, адаптационных механизмов) для системы, что определяет ситуацию, когда имеется понимание всех взаимосвязей, механизмов в системе.

Для анализа процессов, определяющих эти индикаторы, необходимо описать и исследовать взаимосвязи между различными входными и выходными данными. Будем полагать, что они взаимосвязаны между собой массообменными процессами. Далее выявляем положительные и отрицательные обратные связи. Положительными будем считать те, которые соответствуют уменьшению области пересечения множеств X и C_Q

$$X \cap C_Q \rightarrow \min, X \subset C_Q, \quad (5)$$

либо те, для которых отсутствуют существенные изменения

$$X \cap C_Q \approx \text{const}, X \subset C_Q. \quad (6)$$

То есть множества для положительных взаимосвязей входных и выходных данных можно определить следующим образом:

$$W^+ = \begin{cases} X \cap C_Q \rightarrow \min, \\ X \cap C_Q \approx \text{const}. \end{cases} \quad (7)$$

Для отрицательных связей аналогично получаем

$$W^- = X \cap C_Q \rightarrow \max, X \subset C_Q, \text{ где } \max \geq C_Q. \quad (8)$$

Множества, определяющие взаимосвязи элементов, дают общее представление о массообменных процессах в системе.

В такой постановке проблемы структурированного описания сложных природных систем можно определить проявление адаптеров при условии, что имеется механизм оценки входных и выходных данных во взаимосвязи.

Как известно, учет аутостабилизации (свойство системы, обеспечивающее целостность) определяется особенностями изменения параметров системы в зависимости от внешнего воздействия, в том числе от значений индикаторов

$$\alpha_i = f_\alpha(Y_i), \beta_j = f_\beta(I_j), \quad (9)$$

при условии квазистационарности процессов в системе

$$\frac{|F(u_m) - F(u_n)|}{\alpha_{ik}} |u_m - u_n| < \varepsilon_{ik}, \quad (10)$$

где u_m и u_n – различные внешние воздействия; $F(u_m) = \lim_{t \rightarrow \infty} Y(u_m, t)$ – функция состояния, определяющая реакцию системы при длительном воздействии.

Тогда можно определить параметр, при котором наблюдается аутостабилизация

$$\alpha_{ik} > \frac{|F(u_m) - F(u_n)|}{\varepsilon_{ik}} |u_m - u_n|. \quad (11)$$

Сравнив выражения (7) и (10), получаем, что условие аутостабилизации позволяет определить положительные связи в системе. Границы безопасного развития могут быть определены условием наличия в системе положительных связей, восстанавливающих состояние системы до воздействия.

Динамическое состояние системы определяем как совокупность входных и выходных данных

$$Y = F(X).$$

С учетом рассуждений, представленных выше, получаем, что для функции состояния F характерна зависимость типа

$$Y = A_n(X - X_0)^{2n} + A_{n-1}(X - X_0)^{2(n-1)} + \dots + A_1(X - X_0)^2 + A_0,$$

которая определяет, что относительно малые воздействия (изменения X относительно X_0) изменяют индикаторы системы в пределах некоторых значений. А превышение предельно допустимого воздействия переводит систему в другое состояние.

В соответствии с идеями [8] эволюция системы рассматривается как совокупность последовательных процессов самоорганизации. Отмечено, что процессы эволюции на Земле, по существу, развертывались в тонком слое земной поверхности, толщина которого составляет лишь незначительную долю радиуса Земли, – слое, состоящем из скальных и осадочных пород, вод и атмосферы. Энтропийными насосами, приводящими в действие эти процессы эволюции, служат солнечное излучение и запасы энергии в ядре Земли, передаваемые поверхностным слоям посредством теплопроводности и тепловой конвекции, радиоактивного излучения, извержений вулканов, энергии тектонических движений. Возникает вопрос о том, насколько влияет антропогенный фактор на уже сложившиеся веками процессы [8]. Вероятно, даже в самых простых системах заложены свойства аутостабилизации как условия, при которых система может эволюционировать без разрушения [5].

В работе [3], посвященной исследованию динамических процессов типа фликкер-шума (**ФС**), показано, что для сложных систем, подверженных внешнему воздействию, эти процессы обладают независимыми, соотносительными и целостными признаками, и это позволяет считать их критерием целостности открытой системы и открытого мира.

На основе метода [4] оценки условий, определяющих целостность системы, можно выявить значения собственного времени процессов самоорганизации, а также динамические величины, позволяющие выявить появление процессов аутостабилизации при некотором внешнем воздействии.

Рассмотрим два ряда данных, определяющих изменения:
– параметров, которые определяют воздействие на систему;
– индикаторов системы – реакцию на воздействие.

Определим в соответствии с формулой (11) значения параметров состояния системы в рамках процессов аутостабилизации. Далее, в соответствии с методикой [7], найдем динамические величины, характеризующие некоторый критерий целостности системы в результате протекающих в ней процессов самоорганизации. Задача состоит в том, чтобы установить взаимосвязь характеристик процессов, определяемых в соответствии с методиками [4, 7].

Для выявления причин самоорганизации необходимо сравнить два типа данных: полученные по формуле (11), и значения, определенные в соответствии с методом спектроскопии фликер-шума (СФШ). Очевидно, что реакции системы на воздействие и ее проявление будут последовательны во времени. Однако реакцией на структурные изменения в системе может быть аутостабилизация или, наоборот, проявлением аутостабилизации в системе могут быть структурные изменения. В зависимости от того, что является предшествующим при наличии существенных корреляций этих данных, можно говорить о причинах появления того или иного процесса.

Для иллюстрации анализа такой взаимосвязи возьмем ряды данных для описания общеизвестной проблемы влияния выбросов углекислого газа на изменение климата [1]. В качестве города-индикатора выбран Лондон, так как в этом крупном городе относительно высокий уровень выбросов, и явно отмечается тенденция роста среднегодовой температуры.

Были взяты данные мониторинга метеопараметров (температуры) и величин выбросов углекислого газа с 1982 по 2006 гг. Сформированы два временных ряда, определяющих изменения:

– параметров, которые оказывают воздействие на систему (выбросы углекислого газа) – входные данные;
– индикаторов системы, а также реакцию на воздействие (температуру) – выходные данные.

Одним из возможных вариантов исследования влияния выбросов углекислого газа на изменение климата является изучение спектрально-корреляционных свойств квазипериодических колебаний изменений температур в атмосфере Земли T в связи с изменениями выбросов углекислого газа. Для исследования используем современный метод математической статистики – метод СФШ [4]. В соответствии с этим методом рассчитаем спектральную плотность $S(\omega)$, учитывающую амплитудные колебания T и характеризующую спектральные (то есть зависящие от частот, а не от времени) свойства функции $T(t)$.

Построим зависимость спектральной плотности от средних значений частот наблюдения величин температуры из каждого выбранного интервала. Полученная зависимость характеризует ФШ, так как $S(\omega) = A\omega^{-1,2}$, а случайные процессы со спектральной плотностью $\omega^{-\alpha}$, где α принимает значения от 0,8 до 1,4, являются ФШ.

На основе метода СФШ обработаны зависимости $S(\omega)$ и экспериментально выявлены частотные области устойчивости нескольких процессов,

существующих в области ФШ. Каждой такой области принадлежит совокупность параллельных прямых, проведенных через экспериментальные точки значений $S(\omega)$, с определенным значением тангенса наклона к оси абсцисс [4]. Далее определим параметры (величины индикаторов, определяемые самоорганизацией), которые определяют точки пересечения этих прямых.

На рисунке 1 показано сравнение изменений величин параметров, определяемых самоорганизацией [3, 4], и параметров, определяемых аутостабилизацией [7]. Величины, при которых наблюдаются структурные перестройки (самоорганизация), определены в соответствии с методом СФШ. Величины, определяющие аутостабилизацию, вычислены по формуле (11). Из рисунка 1 видно, что отмечается периодичность в наблюдении максимумов (минимумов), соответствующая 4 годам. Также в периоды снижения выбросов углекислого газа отмечается относительное уменьшение разброса значений индикаторов в условиях аутостабилизации. Наблюдается наибольшая взаимосвязь для процессов аутостабилизации и процессов самоорганизации в периоды снижения выбросов углекислого газа (рис. 2). При этом корреляции соответствуют величинам порядка 0,6–0,8 для данных при условии, что ряд значений, определяющий процессы самоорганизации, смещен по времени относительно аутостабилизационных показателей на 4–5 лет вперед, и обуславливает возможную взаимосвязь аутостабилизации и процессов самоорганизации.

Так как условие (11) определяет минимальные значения параметров без указания временных интервалов, характеризующих реакцию системы с учетом аутостабилизации, можно предположить, что хорошие корреляции объясняют соответствие критерия целостности системы, установленного по методике [3, 4], параметру (11), определяющему процессы аутостабилизации.

Как показали расчеты, при увеличении внешнего воздействия (выбросы углекислого газа) значения корреляций уменьшаются, что может быть

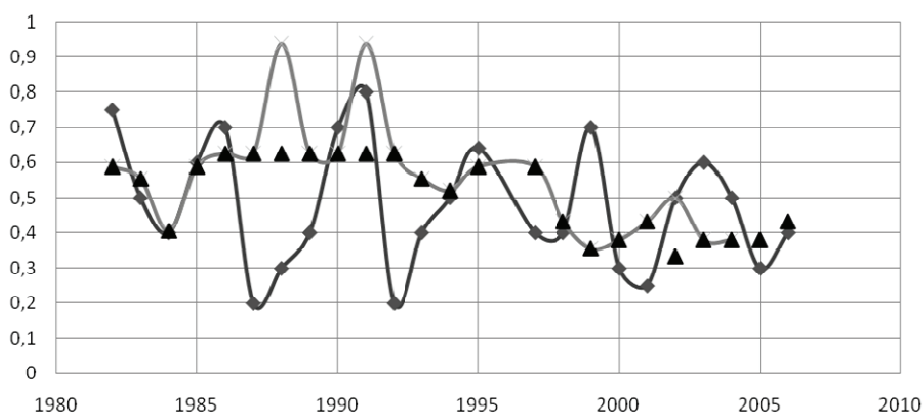


Рис. 1. Сравнение величин индикаторов, определяемых самоорганизацией [3], и индикаторов, определяемых аутостабилизацией [7]:

—◆— — величины для структурных перестроек; ▲ — динамика изменения выбросов углекислого газа; — — величины для аутостабилизации

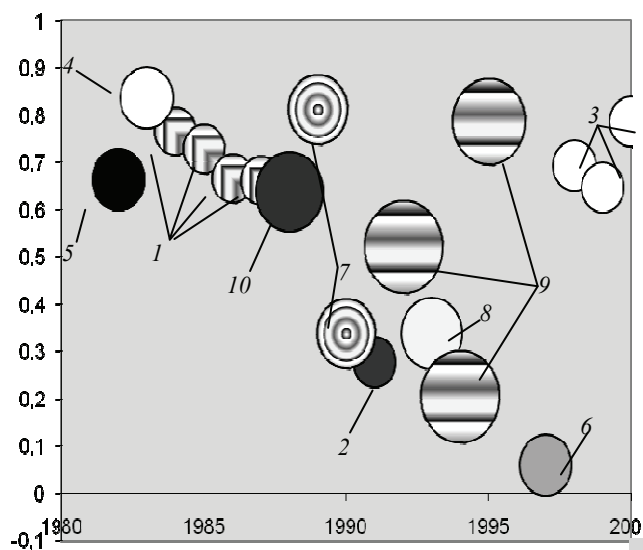


Рис. 2. Корреляции величин параметров, определяемых самоорганизацией [3, 4], и параметров, определяемых аутостабилизацией [7], по годам:
 1 – 1984–1987; 2 – 1991; 3 – 1998–2000; 4 – 1982, 1983; 5 – 1982; 6 – 1997;
 7 – 1989, 1990, 1993; 8 – 1993; 9 – 1995, 1992, 1994; 10 – 1988

объяснено либо отсутствием механизмов реакции системы, либо наличием некоторых механизмов, которые возможно проявятся через более длительный период времени.

Таким образом, условия безопасного развития системы могут быть заданы некоторыми индикаторами, определяемыми процессами аутостабилизации. Проблема состоит в поиске и обосновании методов определения этих индикаторов для различных природных систем. Предложено рассматривать в качестве одного из таких методов метод СФШ из области математической статистики. Для обоснования возможности его применения к анализу динамических процессов в системе, подверженной воздействию внешних факторов, рассмотрена проблема влияния выбросов углекислого газа на изменение климата. В результате вычислений в соответствии с методом СФШ показано, что при существенном увеличении выбросов углекислого газа наблюдаются расхождения полученных параметров со значениями, определяемыми по формуле для условия аутостабилизации [7].

Исследование выполнено в рамках работы по гранту МК-1070.2010.5 программы Президента РФ поддержки молодых ученых – кандидатов и докторов наук.

Список литературы

1. Бадахова, Г.Х. Ставропольский край: современные климатические условия / Г.Х. Бадахова, А.В. Кнутас. – Ставрополь : Краевые сети связи, 2007. – 272 с.
2. Богданов, А.А. Тектология: всеобщая организационная наука / А.А. Богданов. – М. : Экономика, 1989. – 304 с.

3. Ванярхо, В.Г. Единая структура процессов самоорганизации в природе и обществе: этический аспект закона устойчивости / В.Г. Ванярхо // Этика и наука будущего : материалы Моск. междисциплинар. науч. конф., М. 15–16 февраля 2001 г. / Моск. гос. ун-т им. М.В. Ломоносова. – М., 2001. – С. 66–72.

4. Пат. 2080923 Российская Федерация, МПК G 01 H1/00. Способ определения устойчивости структуры объекта [Электронный ресурс] / Ванярхо, В.Г. – № 94036801/28. ; заявл. 30.09.1994 ; опубл. 10.08.1997 : Режим доступа : <http://www.fips.ru/cdfi/Fips2009.dll/CurrDoc?SessionKey=FPVVP16EDIAQAEFZLU9UO&GotoDoc=7&Query=1>. – Загл. с экрана.

5. Малиновская, Е.А. Поиск условий саморегуляции природных систем при исследовании взаимодействия атмосферы и граничного слоя почвы / Е.А. Малиновская, Р.А. Рыскаленко // Системный подход в природопользовании. Тр. междунар. конф. «Проблемы экологической безопасности и сохранение природно-ресурсного потенциала». – Ставрополь, 2007. – С. 38–56.

6. Малиновская, Е.А. Математическое моделирование структурных процессов в природных системах / Е.А. Малиновская, Р.А. Рыскаленко. – Ставрополь : Бюро новостей, 2010. – 176 с.

7. Геоэкологическое моделирование для целей управления природопользованием в условиях изменений природной среды и климата / П.М. Хомяков [и др.]. – М. : УРСС, 2002. – 400 с.

8. Эбелинг, В. Физика процессов эволюции / В. Эбелинг. – М. : УРСС, 2001. – 498 с.

Model of Safe Development of Natural Systems Suffering from Anthropogenic Impact Given the Processes of Self-Organization and Auto-Stabilization

E.A. Malinovskaya, R.A. Ryskalenko

Stavropol State University, Stavropol

Key words and phrases: anthropogenic factors; auto-stabilization; dynamic system; indicators of safe development; natural system; problem of climate change.

Abstract: The dynamics of natural systems exposed to anthropogenic factors is analyzed; a very important element is the development of the model of safe development, which would determine the conditions for its adaptation. The boundaries of the safe development of the system can be specified by some indicators, determined by the processes of auto-stabilization. We consider the problem of search and study of methods of determining these indicators for different natural systems.

© Е.А. Малиновская, Р.А. Рыскаленко, 2011