Информатика, вычислительная техника и управление

УДК 519.6; 519.7; 519.21
DOI: 10.30987/article_5b5063dc7647e5.59070879

Е.Ю. Романова

МАРКОВСКАЯ МОДЕЛЬ САМООРГАНИЗУЮЩЕЙСЯ СОЦИО-ЭКОЛОГО-ЭКОНОМИЧЕСКОЙ СИСТЕМЫ С УЧЕТОМ ПЕРЕХОДОВ В РАЗЛИЧНЫЕ СОСТОЯНИЯ ПОД ДЕЙСТВИЕМ ИНФОРМАЦИОННЫХ ПОТОКОВ

Обсуждается марковская модель сложной самоорганизующейся социо-эколого-экономической системы, которая рассматривается как единое целое и характеризуется состояниями *Si*. Переходы из одного состояния в другое ($Si \rightarrow Sj$) происходят под действием потоков событий (информационных потоков). На основе построенного размеченного графа системы составляются уравнения Колмогорова. Рассматривается один из возможных марковских процессов - однородный эргодический случайный процесс. Делается вывод о том, что, изменяя значения интенсивности информационных потоков (λ_{ij}, λ_{ji}), можно оценивать вероятности состояний $P_i(t)$.

Ключевые слова: система, информация, поток, моделирование, процесс, вероятность, состояние.

E.Yu. Romanova

MARKOV'S MODEL OF SELF-ORGANIZING SOCIO-ECOLOGICAL ECONOMIC SYSTEM TAKING INTO ACCOUNT TRANSITIONS INTO DIFFERENT STATES AFFECTED BY INFORMATION FLOWS

The purpose of this work is a model formation of a complex self-organizing system with the use of mathematical apparatus of Markov's process (Markov's continuous chains). Usually, in literature one discusses separately models ecological, social and economic systems. In reality these systems are interconnected which is manifested in the paper. The peculiarities of complex self-organizing systems are under discussion and on the basis of their peculiarities a chosen simulation method of a system developing under conditions of uncertainty is substantiated. A marked graph of the system in which the states S_i of the system are defined on the whole by possible states of elements included in the system. As system transitions from one state into the other takes place under the influence of signal flows, that is, information flows there are introduced information flow intensities λji. On the basis of the graph Kolmogorov's equation set is written the solution of which gives a possibility to determine probabilities of the states $P_i(t)$. There is considered a special case when P_i does not change in the course of time (final probabilities), $\lambda_{ij} = \lambda_{ji}$ = const (for Markov's homogeneous ergodic process). On the basis of the result analysis there is drawn a conclusion that the changes of the values λ_{ij} ($0 \le \lambda_{ij} \le 1$) allow considering different versions of system states on the whole depending on states of its elements. In such a way, it is possible to reveal an unstable state of the system in which minor fluctuations (chances) can transfer it into bifurcation states.

Key words: system, information, flow, modeling, process, probability, state.

Введение

В статье обсуждается социо-эколого-экономическая система, являющаяся открытой, нелинейной, самоорганизующейся. Система состоит из трех частей и представляет собой единое целое. В литературе, как правило, рассматриваются и моделируются отдельно социальные, экологические и экономические системы. Практика показала, что разделять эти части нельзя, они взаимосвязаны. В работе [1] рассматривается эколого-экономическая система, доказывается связь экологии и экономики, их взаимодействие, приводятся модели подобных систем. Очевидно, что экономика и экология взаимодействуют с социумом. События последнего десятилетия наглядно продемонстрировали это взаимодействие (антропогенное и техногенное воздействие на окружающую среду, влияние экономических кризисов на социум, создание климатического оружия и т.п.).

Определение процесса самоорганизации, самоорганизующихся систем, их различные виды, свойства, особенности и закономерности описаны в литературе [2; 3]. Самоорганизующиеся системы могут находиться в квазистационарном состоянии определенное время. В процессе развития подобные системы попадают в неустойчивое состояние, когда даже малые флуктуации (случайности) могут перевести систему в бифуркационное состояние (в точках бифуркации), в котором система выбирает дальнейший путь развития. Выбор возможного пути развития происходит случайным образом, но в границах спектра возможностей [4]. Поэтому для описания состояний самоорганизующихся систем часто используется вероятностный подход. Переходы системы из одного состояния в другое происходят под воздействием сигналов (информационных потоков), поступающих из окружающей среды, или в результате обмена сигналами между частями системы.

К самоорганизующимся системам относятся технические, химические, физические, биологические, социальные, экономические и др.

Марковская модель социо-эколого-экономической системы. Значение информации для самоорганизующихся систем

Первые попытки моделирования самоорганизующихся технических систем, функционирующих в заданном режиме, были предприняты в кибернетике [5]. Развитие подобных систем связано с их информационными свойствами и задачами управления. В связи с этим возникла необходимость определить понятие «информация», так как стало очевидно, что информация выполняет функциональную и управляющую роль. В работах [6-8] анализируются различные определения понятия «информация» и дискуссия по этому поводу продолжается до сих пор. Классическая теория информации, как известно, занимается вопросами передачи, приема, хранения, использования информации, которая распространяется в виде сигналов. Количество информации - основное понятие теории информации. В динамической теории информации [6] используются такие важные свойства информации, как ценность и запомненность. Для самоорганизующихся сложных систем, процессов самоорганизации функциональную и управляющую роль играет именно ценная и запомненная информация [11], которая имеется в виду при моделировании рассматриваемой системы.

Методы построения модели и ее основные положения

Математический аппарат марковских случайных процессов широко используется в теории массового обслуживания, при моделировании экономических систем [9; 10]. Процессы, происходящие в реальных системах, являются случайными, время переходов из одного состояния в другое неопределенно, состояния системы дискретны (S_1, S_2, S_3, ..., S_n). Рассматриваемую систему, состоящую из трех частей, можно считать целой системой, переходящей из одного состояния в другое под воздействием информационных потоков (сигналов), исходящих из внешней среды, или в результате обмена потоками между частями системы. Если поток постоянен, то процесс называется однородным. Для моделирования подобной системы используется непрерывная цепь Маркова, когда вероятности состояний ($P_i(t)$) в будущем зависят только от состояния в настоящем в любой момент времени. Марковский процесс изображается размеченным графом состояний, на основе которого составляются уравнения Колмогорова, решения которых определяют вероятности состояний.

Основные положения модели: 1) условно можно представить рассматриваемую систему замкнутой, считая это предположение предельным случаем открытой системы; 2) состояния системы формируются следующим образом: S_1 - все части системы функционируют нормально; S_2, S_3, S_4 - состояния, в которых нарушено функционирование только одной части, а остальные две функционируют нормально; S_5, S_6, S_7 - состояния, в которых функционирование нарушено в разных комбинациях двух частей (1-я и 2-я, 2-я и 3-я, 1-я и 3-я), а нормально функционируют оставшиеся части; 3) интенсивности потоков информации обозначаются λ_{ij}, (λ_{ji}); 4) составляется размеченный граф системы; 5) составляются уравнения Колмогорова согласно следующему алгоритму [9; 10]:

$$\frac{dP_i(t)}{dt} = \sum_{j=1}^{n} \lambda_{ji} P_j(t) - P_i(t) \sum_{j=1}^{n} \lambda_{ij} ,$$

где λ_{ij} и λ_{ji} - интенсивности потоков налов; $P_i(t)$ - вероятность состояния частей системы; λ_{ji} $P_j(t)$ и λ_{ij} $P_i(t)$ - потоки вероятностей для переходов $S_i \leftrightarrow S_j$. димо также учесть уравнение нормировки $\sum_{i=1}^{n} P_i(t) = 1$ (n = 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7). На рисунке изображен размеченный граф обсуждаемой системы.

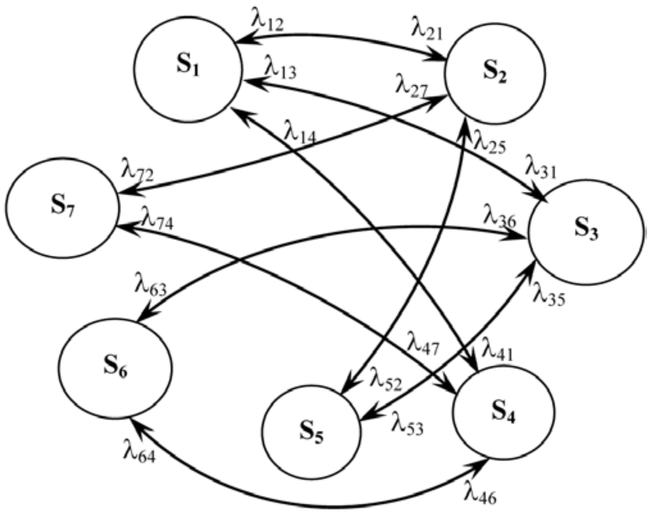

Рис. Размеченный граф системы

Система уравнений Колмогорова:

$$\begin{cases}
\frac{dP_1}{dt} = \lambda_{21}P_2 + \lambda_{31}P_3 + \lambda_{41}P_4 - \left(\lambda_{12} + \lambda_{13} + \lambda_{14}\right)P_1; \\
\frac{dP_2}{dt} = \lambda_{12}P_1 + \lambda_{52}P_5 + \lambda_{72}P_7 - \left(\lambda_{21} + \lambda_{27} + \lambda_{25}\right)P_2; \\
\frac{dP_3}{dt} = \lambda_{13}P_1 + \lambda_{63}P_6 + \lambda_{53}P_5 - \left(\lambda_{31} + \lambda_{35} + \lambda_{36}\right)P_3; \\
\frac{dP_4}{dt} = \lambda_{14}P_1 + \lambda_{64}P_6 + \lambda_{74}P_7 - \left(\lambda_{41} + \lambda_{46} + \lambda_{47}\right)P_4; \\
\frac{dP_5}{dt} = \lambda_{25}P_2 + \lambda_{35}P_3 - \left(\lambda_{52} + \lambda_{53}\right)P_5; \\
\frac{dP_6}{dt} = \lambda_{36}P_3 + \lambda_{46}P_4 - \left(\lambda_{63} + \lambda_{64}\right)P_6; \\
\frac{dP_7}{dt} = \lambda_{27}P_2 + \lambda_{47}P_4 - \left(\lambda_{72} + \lambda_{74}\right)P_7.
\end{cases} \quad (1)$$

Для иллюстрации определения $P_i(t)$ при решении системы (1) можно рассмотреть модель для квазиравновесной системы, когда процесс длится довольно долго ($t \to \infty$), $\lambda_{ij} = \lambda_{ji}$ = const, вероятности состояний не зависят от времени и называются финальными, а система - эргодической. Необходимые и достаточные условия существования финальных вероятностей: 1) λ_{ij} = const; 2) наличие существенных состояний, т.е. выполнение условия $S_i \leftrightarrow S_j$ ($\lambda_{ij} = \lambda_{ji}$); 3) стационарность; 4) ординарность (за малый промежуток времени возможно появление только одного события) [10].

Для финальных вероятностей и с учетом условия $\lambda_{ij} = \lambda_{ji}$ = const система (1) принимает следующий вид:

$$
\begin{aligned}
&\lambda P_2 + \lambda P_3 + \lambda P_4 = 3\lambda P_1;\\
&\lambda P_1 + \lambda P_5 + \lambda P_7 = 3\lambda P_2;\\
&\lambda P_1 + \lambda P_6 + \lambda P_5 = 3\lambda P_3;\\
&\lambda P_1 + \lambda P_6 + \lambda P_7 = 3\lambda P_4;\\
&\lambda P_2 + \lambda P_3 = 2\lambda P_5;\\
&\lambda P_3 + \lambda P_4 = 2\lambda P_6;\\
&\lambda P_2 + \lambda P_4 = 2\lambda P_7;\\
&P_1 + P_2 + P_3 + P_4 + P_5 + P_6 + P_7 =\\
&= 1 (\text{условие нормировки}).
\end{aligned} \tag{2}
$$

Решение системы (2) представляет ожидаемый результат: финальные вероятности равны (когерентность системы).

Заключение

Социо-эколого-экономическая система является сложной, нелинейной, самоорганизующейся, состоящей из трех частей, каждая из которых также относится к сложным самоорганизующимся системам, характеризующимся информационными свойствами [11], самосогласованностью составляющих ее частей. Ценная, запомненная информация выполняет функциональную и управляющую роль.

В процессе развития система переходит из одного состояния в другое под действием информационных потоков. В результате система из квазистационарного состояния попадает в неустойчивое состояние, в котором она выбирает дальнейший путь развития. Для моделирования социо-эколого-экономической системы с учетом вышеперечисленных свойств и характера поведения используется вероятностный подход и математический аппарат марковских случайных процессов (непрерывная цепь Маркова). Моделью переходов системы в различные состояния является размеченный граф, на основании которого составляются уравнения Колмогорова. Решение системы уравнений определяет значения вероятностей переходов, которые характеризуют состояния в условиях неопределенности. Таким образом, можно прогнозировать поведение системы, варьируя значения λ_{ij} и λ_{ji}. Аналогичные результаты были получены для еще более сложной системы, включающей социо-эколого-экономическую систему как подсистему [12]. Части системы также меняют свои состояния, эволюционируют, вследствие чего меняются значения интенсивностей информационных потоков λ_{ij} и состояния системы в целом. В практическом отношении важно знать возможности социо-эколого-экономической системы.

Необходимо также отметить, что в самоорганизующихся системах их части самосогласовываются, но если все же система переходит в неустойчивое состояние (вероятность которого можно оценить с помощью модели), то следующий этап развития системы – это формирование нового пути ее развития. В силу особенностей самоорганизующихся систем возникает вопрос о выборе стратегий управления. Необоснованное вмешательство в развитие системы может привести к ее разрушению.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Чернавская, Н.М. Эколого-экономическая деятельность предприятий при техногенезе и случайных ситуациях / Н.М. Чернавская, Л.Ю. Васильева, Т.Б. Плескачева, В.Е. Домбровская. - М.: Янус-К, 2010. - 332 с.
2. Хакен, Г. Информация и самоорганизация. Макроскопический подход к сложным системам / Г. Хакен. - М.: КомКнига, 2005. - 848 с.
3. Теория систем и системный анализ в управлении организациями. Справочник: учеб. пособие / под ред. В.Н. Волковой, А.А. Емельянова. - М.: Финансы и статистика; Инфра-М, 2009. - 848 с.
4. Князева, Е.Н. Основания синергетики. Синергетическое мировидение / Е.Н. Князева, С.П. Курдюмов. - М.: КомКнига, 2005. - 240 с.

5. Винер, Н. Кибернетика или управление и связь в животном и машине / Н. Винер. - М.: Наука, 1983. - 344 с.
6. Чернавский, Д.С. Синергетика и информация. Динамическая теория информации / Д.С. Чернавский. - М.: Либроком, 2013. - 34 с.
7. Мелик-Гайказян, И.В. Информационные процессы и реальность / И.В. Мелик-Гайказян. - М.: Наука; Физматлит, 1997. - 192 с.
8. Корогодин, В.И. Информация и феномен информации / В.И. Корогодин. - Пущино: АН СССР, 1991. - С. 22-24.
9. Вентцель, Е.С. Исследование операций. Задачи, принципы, методология / Е.С. Вентцель. - М.: Высш. шк., 2001. - 208 с.
10. Бережная, Е.В. Математические методы моделирования экономических систем / Е.В. Бережная, В.И. Бережной. - М.: Финансы и статистика, 2001. - 968 с.
11. Romanova, E.Yu. The Role of Information in the Functioning of Self-Organizing Systems / E.Yu. Romanova // Nonlinearity. Problems, Solutions and Applications. - New York: Nova Science Publishers, 2017. - V. 2. - P. 251-267.
12. Романова, Е.Ю. Марковская модель процессов, происходящих в сложной самоорганизующейся системе под действием информационных потоков / Е.Ю. Романова, Л.А. Уварова, Л.Ю. Васильева // Фундаментальные физико-математические проблемы и моделирование технико-технологических систем: сб. науч. тр. - М.: Янус-К, 2017. - Вып. 18. - С. 110-115.

1. Chernavskaya, N.M. *Ecological Economic Activities of Enterprises at Technogenesis and Random Situations* / N.M. Chernavskaya, L.Yu. Vasilieva, T.B. Pleskacheva, V.E. Dombrovskaya. – M.: Janus-K, 2010. – pp. 332.
2. Haken, G. *Information and Self-organization. Macroscopic Approach to Complex Problems* / Haken. – M.: ComKniga, 2005. – pp. 848.
3. Theory of systems and system analysis in company management. Reference Book / under the editorship of V.N. Volkova, A.A. Emeliyanova. – M.: *Finances and Statistics*; Infra-M, 2009. – pp. 848.
4. Knyazeva, E.N. *Synergetics World-vision* / E.N. Knyazeva, S.P. Kurdyumov. – M.: ComKniga, 2005. – pp. 240.
5. Wiener, N. *Cybernetics or Management and Tie in Animal and Machine* / N. Wiener. – M.: Science, 1983. – pp. 344.
6. Chernavsky, D.S. *Synergetics and Information, Dynamic Theory of Information* / D.S. Chernavsky. = M.: Librocom, 2013. – pp. 34.
7. Melik-Gaikazyan, I.V. *Information Processes and Reality* / I.V. Melik-Gaikazyan. – M.: Science; Physmathlit, 1997. – pp. 192.
8. Korogodin, V.I. *Information and Information Phenomenon* / V.I. Korogodin. – Pushchino: AS of the USSR, 1991. – pp. 22-24.
9. Wentzel, E.S. *Operation Investigation. Problems, Principles, Methodology* / E.S. Wentzel. – M.: Higher School, 2001. – pp. 208.
10. Berezhnaya, E.V. Mathematical methods economic system simulation / E.V. Berezhnaya, V.I. Berezhnoy. – M.: *Finances and Statistics*, 2001. – pp. 968.
11. Romanova, E.Yu. The Role of Information in the Functioning of Self-Organizing Systems / E.Yu. Romanova // Nonlinearity. Problems, Solutions and Applications. - New York: Nova Science Publishers, 2017. - V. 2. - P. 251-267.
12. Romanova, E.Yu. Markov’s model of processes taking place in complex self-organizing system influenced by information flows / E.Yu. Romanova, L.A. Uvarova, L.Yu. Vasilieva // *Fundamental Physical Mathematical Problems and Technical-technological System Simulation: Transactions* – M.: Janus-K, 2017. – Issue 18. – pp. 110-115.

Статья поступила в редколлегию 21.03.18.
Рецензент: д.ф.-м.н., профессор «МГТУ «Станкин»
Уварова Л.А.

Сведения об авторах:

Романова Екатерина Юрьевна, к.ф.-м.н., стажер-докторант Института конструкторско-технологической информатики РАН, тел.: 8-920-176-77-71; 8(4822)56-48-51, e-mail: kati-v@yandex.ru.

Romanova Ekaterina Yurievna, Can. Phys-Math., Probationer-Doctoral Student, Institute of Design-Technological Informatics of RAS, e-mail: kati-v@yandex.ru.