

UDC 62-501:001.57:519.87

Modeling and Forecasting of Transitions Between Levels of Hierarchies in Difficult Formalized Systems

¹ Svetlana P. Vovk² Larisa A. Ginis

¹Taganrog Institute of Technology, Southern Federal University, Russia
PhD, Associate professor
347931, Russia, Rostov rg., Taganrog, P. Toljati st. 26, fl. 13
E-mail: vovk61@list.ru

²Taganrog Institute of Technology, Southern Federal University, Russia
PhD, Associate professor
347922, Russia, Rostov rg., Taganrog, Ukrainsky by-st 21, fl. 62
E-mail: loric@pbox.ttn.ru

Abstract. Situations at different levels of functioning difficult formalized systems are modelled by the fuzzy situational network, allowing to analyze as strong, as weak hierarchies. At forecasting of transitions the force of communication is considered.

Keywords: multilevel hierarchy; modeling; forecasting; fuzzy controlling influence; force of influence.

Введение. В процессе системного анализа согласно [1] сложился перечень основных задач анализа сложноформализуемых систем. Подходы к решению задач идентификации и оптимизации системы; анализа связности и сложности; анализа на устойчивость и чувствительность системы; принятие решений в системе описаны в [2]. В данной работе будет рассмотрен подход к решению задачи перехода между уровнями иерархий, с помощью которой может быть описана любая сложноформализуемая система, в частности, социально-экономическая система (СЭС).

Классификация существующих подходов и инструментов, использующихся при моделировании и прогнозировании функционирования СЭС приведена в [3]. Мы выбрали теорию иерархических многоуровневых систем как основополагающий инструмент и используем нечеткое описание состояний, переходов и целей, в которых может находиться система, в разные моменты времени ее функционирования.

Одним из основных методов системного анализа является метод декомпозиции, позволяющий проблему достижения некоторой глобальной цели представить как сильную или слабую иерархическую структуру с некоторым количеством уровней. Задача моделирования иерархической структуры хорошо укладывается в рамки ситуационного подхода, когда вершины разных уровней иерархии описываются нечеткими ситуациями.

Иерархическое представление социально-экономической системы. Разрабатывая менее структуризованную модель, опирающуюся лишь на ключевые факторы, т.е. на модель теоретико-множественного или алгебраического типа, мы можем существенно повысить эффективность анализа поведения системы или же просто обеспечить возможность такого анализа. Поэтому для описания СЭС, как представителя сложноформализуемой системы, мы предлагаем использовать с математической точки зрения более абстрактное и менее структуризованное описание следующим образом.

Понятие многоуровневой иерархической структуры нельзя определить одной краткой и сжатой формулировкой и в виде перечисления присущих характеристик дано в [4], на которое мы и опираемся в исследовании. Почти в любой реальной ситуации принятия решения существует две предельно простые особенности: когда приходит время принимать решения, и когда принятие и выполнение решения нельзя откладывать, а неясность относительно последствий различных альтернативных действий и отсутствие необходимых знаний об имеющихся связях препятствуют достаточно полному формализованному описанию ситуации, необходимому для рационального выбора действий. Эти два фактора приводят к основной дилемме принятия решения: с одной стороны необходимо действовать

немедленно, с другой же – столь же необходимо, прежде чем приступать к действиям, попытаться лучше понять ситуацию. При принятии решения в сложных ситуациях разрешение этой дилеммы ищут в иерархическом подходе: определяют семейство проблем, которые пытаются разрешить последовательным путем в том смысле, что решение любой проблемы из этой последовательности определяет и фиксирует какие-то параметры в следующей проблеме, так что последняя становится полностью определенной и можно приступить к ее решению. Решение первоначальной проблемы достигнуто, как только решены все подпроблемы. Сложная проблема принятия решения разбивается на семейство последовательно расположенных более простых подпроблем, так что решение всех подпроблем позволяет решить и исходную более простыми моделями и методами.

Такую иерархию проблем называют иерархией слоев принятия решений, а всю систему – многослойной системой принятия решений [4].

В соответствии с основными положениями системного подхода для эффективного использования многоуровневой структуры существенно, чтобы решающим элементам была предоставлена некоторая свобода действий. Такая свобода действий – безусловно отличительная черта СЭС. В созданных человеком системах, используемых для принятия решений затрачиваемые ресурсы могут быть сэкономлены только в том случае, если элементам нижних уровней предоставлена такая свобода действий; только при этом условии будет оправдано само существование иерархии.

Как известно, иерархию, можно представить как совокупность вертикально расположенных решающих подсистем (или ситуаций) S_i .

Возможны два вида иерархии: элементы нижестоящего уровня строго различимы и подчиняются лишь вышестоящему элементу, и элементы нижестоящего уровня могут пересекаться между собой, т.е. мы рассматриваем так называемые сильные и слабые иерархии.

В этих случаях каждая из таких ситуаций может быть и отображением $S_i: G_i \rightarrow G_{i-1}$, и решающим элементом. А именно, заданы множество решаемых задач $D_i(\gamma)$, $\gamma \in G_i$ и преобразование T_i , такое, что для любого входа γ выход $\gamma_{i-1} = S_i(\gamma)$ определяется функцией $\gamma_{i-1} = T_i(x_i)$, где x_i – решение задачи $D_i(\gamma)$. Таким образом, входы γ выступают в качестве параметров (задаваемых непосредственно вышестоящим элементом), конкретизирующих решаемые задачи в S_i ; соответственно выходы γ_{i-1} , получающиеся после применения преобразования T_i , являются в свою очередь параметрами, задаваемыми непосредственно нижестоящему элементу [4, 5].

Для построения ситуационной модели управления СЭС опишем каждое состояние, в котором она может находиться набором качественных признаков y_q . Ими могут быть, например, величина овладения некоторым качеством, темпом накопления качества, темпом продвижения в накоплении. Согласно [6] назовем текущей ситуацией ($t=j$) набор признаков $Y = \{y_1, y_2, \dots, y_q\}$, значениями которых описываются текущее состояние СЭС. Каждый y_q описывается $\langle y_q, T_q, D_q \rangle$. Для описания некоторого l -го термина T_q^l используются тройка $\langle T_q^l, D_q, \tilde{C}_q^l \rangle$ с нечетким множеством $\tilde{C}_q^l = \{ \langle \mu_{C_q^l}(d) / d \rangle \}$, $d \in D_q$.

Нечеткая ситуация \tilde{S} [6] описывается с помощью составной лингвистической переменной, определяемой рекуррентно через лингвистические переменные более низких порядков $\tilde{S} = \{ \langle \mu_S(y_q) / y_q \rangle \}$, $y_q \in Y$, где $\mu_S(y_q) = \{ \langle \mu_{\mu_S(y_q)}(T_q^l) / T_q^l \rangle \}$, $l \in L$, $q \in Q$.

В зависимости от конкретных значений $\{y_q\}$, СЭС более близка или далека к промежуточной цели своего функционирования в момент $t=j$, и описывается нечеткой ситуацией $\tilde{S}^{t=j}$.

С помощью системы продукций произведем логико-лингвистическое описание переходов ситуации, в которой находится система, к желательной промежуточной цели последующего уровня иерархии:

Если $\rho^{t=j} 11, \dots, \rho 1q^{t=j}$, то $\varphi^{t=j+1} 11, \dots, \varphi 1g^{t=j+1}$, иначе,

если $\rho^{t=j} 2_1, \dots, \rho 2_q^{t=j}$, то $\varphi^{t=j+1} 2_1, \dots, \varphi 2_g^{t=j+1}$, иначе,

.....
 если $\rho^{t=j} p_1, \dots, \rho p_q^{t=j}$, то $\varphi^{t=j+1} p_1, \dots, \varphi p_g^{t=j+1}$, иначе...

Прогноз перехода объекта из состояния в состояние. Вершины ситуационной модели характеризуются значением $v_i(t) \in R$, считая при этом, что время t принимает дискретные значения $t = 0, 1, 2, \dots, N$. Вершина характеризуется q параметрами, каждый из которых можно представить значениями n лингвистических переменных $\rho_{nq} \in v_{iq}(t)$. Значениям лингвистических переменных соответствуют нечеткие множества B_{nq} с функциями принадлежности $\mu_{B_{nq}} \in F(v_{iq}(t))$. Признаки, которыми описывается исходная ситуация, будем обозначать символом q , а признаки последующей ситуации g . Ей соответствуют лингвистические переменные φ_{ng} . Этим лингвистическим переменным соответствуют нечеткие подмножества B_{ng} с функциями принадлежности $\mu_{B_{ng}} \in F(v_{ig}(t+1))$, где под $F(v_{iq}(t))$, $F(v_{ig}(t+1))$, понимаются множества нечетких подмножеств, определенных на базовых множествах $v_{iq}(t)$, $v_{ig}(t+1)$.

Введем понятие силы управляющего воздействия ι , которое может принимать три значения:

$\iota=0$, если дуга u_j между вершинами $\tilde{S}^{t=j}, \tilde{S}^{t=j+1}$ отрицательна,

$\iota=1$, если дуга u_j между вершинами $\tilde{S}^{t=j}, \tilde{S}^{t=j+1}$ отсутствует,

$\iota=2$, если дуга u_j между вершинами $\tilde{S}^{t=j}, \tilde{S}^{t=j+1}$ положительна.

Для моделирования силы ι воспользуемся нечетким отображением $\Phi^{(\iota)}$:

$F(v_{iq}^t) \xrightarrow{H} F(v_{ig}^{t+1})$, которое может быть получено как нечеткое соответствие для всех

$\mu_{B_{nq}} \in v_{iq}(t)$, $\mu_{B_{ng}} \in v_{ig}(t+1)$.

Управление с силой воздействия ι можно представить как декартово произведение:

$$\Phi^{(\iota)} = \mu_{\rho_n} \times \mu_{\varphi_n} \tag{1}$$

где $\mu_{\rho_n} = \times_{q \in Q} \mu_{\rho_{nq}}$, $\mu_{\varphi_n} = \times_{g \in G} \mu_{\varphi_{ng}}$

С помощью отображений, подобных (1) моделируем силу других классов управлений $\Phi^{(\iota)} \in \Phi$.

Нечеткое соответствие (1) позволяет учитывать неопределенность типа возможности для разных по силе классов управлений. Для моделирования силы управления на оставшиеся $(N-j-1)$ периоды воспользуемся операцией композиции управляющих воздействий с некоторой силой управления [6]:

$$\Phi^{(N-j-1)} = \Phi^{(t=j+2)} \circ \Phi^{(t=j+3)} \circ \dots \circ \Phi^{(t=N)} \tag{2}$$

Под прогнозом перехода объекта из состояния в состояние будем понимать процедуру определения вектора значений лингвистической переменной $\varphi' \in v_{ig}(t+1) : \varphi' = \{\varphi_{g'}^{t=0}, \dots, \varphi_{g'}^{t=1}, \dots, \varphi_{g'}^{t=n}\}$ при новом наборе вектора значений входной лингвистической переменной $\rho' = \{\rho_{q'}^{t=0}, \dots, \rho_{q'}^{t=1}, \dots, \rho_{q'}^{t=n}\} \in v_{iq}$.

Прогноз можно выполнить, используя нечеткие подмножества $\mu_{\rho_i} : v_{iq}(t) \rightarrow [0,1]$ и нечеткое соответствие $\Phi^{(\iota)}$. При этом φ' соответствует выводимому нечеткому соответствию $\mu_{\varphi'} \in F(v_{ig}^{t+1})$, которое определим с помощью композиционного правила вывода [6] как

$$\mu_{\varphi'} = \mu_{\rho'} \circ \Phi^{(\iota)}$$

Моделирование применения нечеткого управляющего воздействия.

Изменение состояния СЭС происходят в дискретные моменты времени контроля $t = 0, 1, 2, \dots, N$. При некоторой степени близости ситуации, в которой находится система, и желательной промежуточной цели функционирования выше порога включения $t_{inc} \in [0, 6; 1]$, промежуточная цель считается достигнутой. Математически это можно записать так: ставится цель, согласно которой необходимо достичь в момент $t=j$ такого нечеткого состояния $\tilde{S}_l^{t=j}$, которое было бы при заданном пороге нечеткого равенства $\mu(S_l^{t_j}, S_s^{t_j}) \geq t_{inc}$ [6] близко к предварительно заданной нечеткой промежуточной цели $\tilde{S}_l^{t=j}$ при наличии предыстории $Z^{t=j-1}$ функционирования рассматриваемой СЭС, накладывающей нечеткое ограничение на силу воздействия $\mu^{(t)}$. При отклонении от предварительно запланированной промежуточной цели $G^{t=j}$, описываемой нечетко $\tilde{S}_l^{t=j}$, требуется определение максимизирующего управления, при помощи которого можно постараться выдержать изначально запланированную динамику процесса.

Нечеткая промежуточная цель μ_G совпадает с рассматриваемой в данный момент $t=j$ $\tilde{S}_l^{t=j}$ и принадлежит семейству $\mu_G \in F(S_S^t)$, т.е. задается в виде класса. Нечеткое ограничение на класс управляющего воздействия представляет нечеткое ограничение на множество альтернатив $\mu_Z \in F(u_j)$, $\{u_j\} = \cup_l \{u_j\}^l$, где $\{u_j\}^l$ - множество управляющих воздействий с силой l .

При применении одного из управлений с $\Phi^{(t=j)}$, моделируемого (1), возможность достижения цели $G^{t=j}$ на шкале Ω_N^2 в условиях существования ограничения Z^{t-1} на шкале Ω_N^1 можно записать [7]:

$$POSS(G^{t=j} | Z^{t=j-1} \circ \Phi^{(t=j)}) = \sup_{\omega_2 \in \Omega_N^2} \min(\mu_{Z^{t=j-1} \circ \Phi^{(t=j)}}(\omega_2), \mu_{G^{t=j}}(\omega_2)), \quad (3)$$

где $\mu_{Z^{t=j-1} \circ \Phi^{(t=j)}}(\omega_2) = \sup_{\omega_1 \in \Omega_N^1} \min(\mu_{Z^{t=j-1}}(\omega_1), \mu_{\Phi^{(t=j)}}(\omega_1, \omega_2)), \quad \forall \omega_2 \in \Omega_N^2$.

Выводы. Мы предлагаем использовать нечеткое моделирование не в качестве безусловной альтернативы известным подходам к моделированию сложных систем и процессов, а, прежде всего, как дополнительный современный инструмент математического моделирования, предоставляющий эффективные методы и средства для проведения прогнозных исследований в иерархических многоуровневых системах с целью принятия оптимального решения.

Достоинством такого комплексного подхода является то, что он позволяет: наглядно моделировать силу управляющего воздействия при разных типах связей между предшествующей и последующей целями функционирования; при различных типах связей на каждом этапе единообразно (с помощью композиционного подхода) получать прогнозы состояний СЭС для сопоставления с промежуточной целью функционирования и «подтягивания» к запланированной цели.

Примечания:

1. Касти Дж. Большие системы: связность, сложность и катастрофы. М.: Мир, 1982. 216 с.
2. Горелова Г.В. Когнитивный анализ и моделирование устойчивого развития социально-экономических систем / Г.В. Горелова Г.В., Е.Н. Захарова, Л.А. Гинис. Ростов н/Д: Изд-во РГУ, 2005. 288 с.
3. Гинис Л.А. Научное предвидение в современном мире. Таганрог: Изд-во ТТИ ЮФУ, 2011. 172 с.
4. Месарович М. Теория иерархических многоуровневых систем. Пер. с англ. под ред. Шахнова И.Ф. / М. Месарович, Д. Мако, И. Такакура. М.: Мир, 1973. 344 с.

5. Месарович М. Общая теория систем: математические основы. Пер. с англ. Наппельбаума Э.Л. / М. Месарович, Я. Такахара. М.: Мир, 1978. 311 с.

6. Вовк С.П. Ситуационное управление и нечеткие игры в моделировании организационных систем. Таганрог: Изд-во ТРТУ, 2002. 96 с.

7. Нгуен Ф.Т. О возможностном подходе к анализу сведений // Теория возможностей и ее применение. М.: Наука, 1992. 272 с.

УДК 62-501:001.57:519.87

Моделирование и прогнозирование переходов между уровнями иерархий в сложноформализуемых системах

¹ Светлана Павловна Вовк

² Лариса Александровна Гинис

¹ ТТИ ЮФУ, Россия

Кандидат технических наук, доцент

347931, Россия, Ростовская обл., г. Таганрог, ул. П. Тольятти д. 26, кв. 13

E-mail: vovk61@list.ru

² ТТИ ЮФУ, Россия

Кандидат педагогических наук, доцент

347922, Россия, Ростовская обл., г. Таганрог, пер. Украинский д. 21, кв. 62

E-mail: logic@pbox.ttn.ru

Аннотация. Предлагается подход для моделирования ситуаций на разных уровнях функционирования сложноформализуемых систем. Система описывается нечеткой ситуационной сетью, позволяющей анализировать и сильные, и слабые иерархии. При прогнозировании переходов учитывается сила связи.

Ключевые слова: многоуровневая иерархия; моделирование; прогнозирование; нечеткое управляющее воздействие; сила воздействия.