УДК 519.876.2

С.П. Вовк, Л.А. Гинис

МОДЕЛИРОВАНИЕ ПЕРЕХОДОВ МЕЖДУ ЭТАЛОННЫМИ СИТУАЦИЯМИ В СЛОЖНЫХ СИСТЕМАХ В УСЛОВИЯХ НЕОПРЕДЕЛЕННОСТИ*

Рассмотрены вопросы моделирования процедуры выбора решения по управлению динамическими подсистемами сложных организационных систем. Предложен способ нахождения переходов между эталонными ситуациями в многоуровневых сложных системах, основанный на сравнении нечетких интервалов. Система описана нечеткой ситуационной сетью. Рассмотрены два способа описания признаков в эталонных ситуациях, определяющие переходы между эталонными ситуациями: описание признаков с помощью нечетких чисел и с помощью нечетких интервалов. Определены проблемы и приведены способы поиска решений в нечеткой иерархической системе управления.

Сложная система; управляющее решение; неопределенность; нечеткие числа; нечеткие интервалы; эталонная ситуация; нечеткий вывод.

S.P. Vovk, L.A. Ginis

MODELLING OF TRANSITIONS AMONG ETALON SITUATIONS IN DIFFICULT SYSTEMS IN THE CONDITIONS OF UNCERTAINTY

The paper considers the problem of decision-making modeling for controlling of dynamic subsystems in complex organizational systems. The way of finding of transitions among etalon situations in the multilevel difficult systems, based on comparison of fuzzy intervals is offered. The system is described by the fuzzy situational network. There are considered two ways of factors description in etalon situations that are define transitions between etalon situations. Those ways are description by means of fuzzy numbers and by means of fuzzy intervals. Decisions for known problems of search of decisions in a fuzzy hierarchical control system are defined and resulted.

Difficult system; the operating decision; uncertainty; fuzzy numbers; fuzzy intervals; a reference situation; fuzzy inference.

Проблема разработки методов моделирования и исследования функционирования сложных систем в последнее десятилетие стала весьма актуальна. К классу таких систем, как правило, относят крупные энергетические или производственные комплексы с автоматизированным управлением, социально-экономическую систему, вычислительные комплексы поддержания работы глобальных сетей и т.п. Отличительной и неотъемлемой характеристикой сложной системы является наличие у нее эмерджентных свойств. Измерение таких свойств актуальный вопрос, но количественно их измерить весьма затруднительно, поэтому говорят об изучении косвенных проявлений системы.

К классу сложных систем относятся различные организационные системы. Особый интерес представляют организационные системы, состоящие из нескольких подсистем, которые могут действовать согласованно или конфликтно в целях достижения наилучшей (в некотором смысле) общей для системы динамики нарастания некоторого необходимого качества и выстроены иерархично. При моделировании выбора решения по управлению такими динамическими подсистемами приходится принимать во внимание интересы всех сторон, влияющих своими действиями на реальную динамику накопления качества, поскольку осуществляя их они оказывают активное или пассивное противодействие выполнению мероприятий, намеченных другой стороной. В таких подсистемах учет интересов сторон представляет слабо-

* Работа поддержана РФФИ, проект № 11-01-00011а.

структуризованную проблему, т.е. каким-либо образом можно описательно представить критерии, но установление зависимости между ними – принципиально невозможно, только на основе имеющейся у исследователя объективной информации.

Для исследования таких сложных систем предлагается создавать иерархию взаимосвязанных моделей – систему моделей [1]. Система моделей включает наиболее агрегированные (обобщенные) и детализированные модели, определяет условия их взаимодействия: выходные переменные агрегированных моделей рассматриваются как экзогенные, так и эндогенные параметры детализированных моделей. На каждом уровне системы определяется набор вершин, среди которых имеются и эталонные. Определение переходов между эталонными ситуациями зависит от способа описания признака в эталонной ситуации.

Рассмотрим два способа описания признаков в условиях неопределенности.

Признаки в эталонных ситуациях описываются нечеткими числами. Набор эталонных ситуаций $\tilde{S}_s^{t_j}$ не содержит нечетко равных ситуаций при заданном пороге равенства $t_{inc.}$ в отличие от набора типовых ситуаций шага управления $\tilde{S}^{t_j}$. Поскольку плохо определенных ситуаций нет, то в один класс эквивалентности попадают нечетко равные между собой ситуации (которые можно считать одной ситуацией) в пределах достоверности, ограничиваемой порогом нечеткого равенства t_{inc}, $\mu(\tilde{S}_i, \tilde{S}_j) \geq t_{inc}$. Для идентификации типовых ситуаций эталонными выполняются следующие операции [2]:

1) определяется степень равенства $\mu(\tilde{S}_i, \tilde{S}_{\hat{\imath}})$ ситуаций $\tilde{S}_i$ в $\tilde{S}_j$ с помощью формулы $\mu(\tilde{S}_i, \tilde{S}_{,,}) = \underset{y \in Y}{\&}(\upsilon(\tilde{S}_i, \tilde{S}_{,,}) \& \upsilon(\mu(\tilde{S}_{,,}, \tilde{S}_i)) = \underset{y \in Y}{\&}(\mu_{\mu_{S_i}}(y), \mu_{\mu_{S_j}}(y))$,

где $\mu(\mu_{S_i}(y_p), \mu_{S_j}(y_p)) = \underset{T_k^p \in T^p}{\&} B(\mu_{\mu_{S_i}(y_p)}(T_k^p), \mu_{\mu_{S_j}(y_p)}(T_k^p))$,

$$B(\mu_{\mu_{S_i}(y_p)}(T_k^p), \mu_{\mu_{S_j}(y_p)}(T_k^p)) = \begin{cases} \mu_{\mu_{S_i}(y_p)}(T_k^p) \leftrightarrow \mu_{\mu_{S_j}(y_p)}(T_k^p), \quad \text{если} \quad \mu_{\mu_{S_i}(y_p)}(T_k^p) \notin (1 - t_{inc}, t_{inc}); \\ \qquad \text{и} \quad \mu_{\mu_{S_j}(y_p)}(T_k^p) \notin (1 - t_{inc}, t_{inc}); \\ 1, \text{ если } \mu_{\mu_{S_i}(y_p)}(T_k^p) \in (1 - t_{inc}, t_{inc}) \text{ или } \mu_{\mu_{S_j}(y_p)}(T_k^p) \in (1 - t_{inc}, t_{inc}); \end{cases}$$

2) определяется ситуация $\tilde{S}_i$, имеющая максимальную степень равенства с $\tilde{S}_0$, т.е. $\mu(\tilde{S}_0, \tilde{S}_i) = \max\limits_{\tilde{S} \in S_S^0} \mu(\tilde{S}_0, \tilde{S})$.

С учетом дерева управляющих воздействий для иерархической системы определяются переходы из некоторой вершины иерархии, к которой типовая ситуация оказалась наиболее близкой, во все возможные эталонные ситуации следующего уровня иерархии.

Определение переходов между эталонными состояниями под воздействием управляющих воздействий разной силы, допустимых с учетом желаемого уровня достижения цели "I_1-I_2", позволяет представить совокупность сценариев с интервальными оценками исходов для представителей разных классов в виде нечеткой ситуационной сети управления и подробно описаны в [3].

Признаки в эталонных ситуациях описываются нечеткими интервалами. В этом случае сравнение нечетких множеств производится не путем определения степени равенства, а с помощью следующей процедуры [4]. Опишем процедуру сравнения нечетких множеств $\tilde{C}_0^{t_j}$ и $\tilde{C}_k^{t_j}$ на единичном интервале. Необходимо пройти следующие шаги.

1. Представить $\tilde{C}_0^{t_j}$ и $\tilde{C}_k^{t_j}$ на единичном интервале, для чего нечеткие числа, описываемые этими множествами, умножить на масштабирующий коэффициент $1/\mathrm{Rat}_{jmax}^{(1)}$.

2. Построить α-уровневые множества $C_{0\alpha}$ и $C_{k\alpha}$ на основе $\tilde{C}_0^{t_j}$ и $\tilde{C}_k^{t_j}$.

3. Определить средние величины $M(\tilde{C}_k^{t_j})$ элементов множества $C_{k\alpha}$ с помощью следующих формул:

- при построении термов с использованием статистических данных в случае $0 \le \ell_{11} \le \ell_{12} \le \ell_{21} \le \ell_{22} \le \ldots \le \ell_{n1} \le \ell_{n2} \le 1$,

$$M(\tilde{C}_k^{t_j}) = \bigcup_{l=1}^{n} \{\ell_{l1} \le \omega \le \ell_{l2}\}, \qquad M(\tilde{C}_k^{t_j}) = \frac{\sum_{l=1}^{n} (\frac{\ell_{l1} + \ell_{l2}}{2})(\ell_{l2} - \ell_{l1})}{\sum_{l=1}^{n} (\ell_{l2} - \ell_{l1})};$$

- при построении термов с помощью метода парных сравнений $M(\tilde{C}_k^{t_j}) = \frac{1}{n}\sum_{i=1}^{n} \tilde{C}_k^{t_{j+1}}$.

4. Определить средние величины $M(\tilde{C}_k^{t_j})$ элементов множества $C_{0\alpha}$ аналогично п. 3.

5. Определить функцию упорядоченности $F(\tilde{C}_k^{t_j}) = \int_0^{\rho_{\max}} M(\tilde{C}_k^{t_{j+1}}) d\rho$, где $\rho_{\max}$ – максимальная степень принадлежности элементов нечеткого множества

6. Определить функцию упорядоченности $F(\tilde{C}_0^{t_j})$ аналогично п. 5.

7. Если $F(\tilde{C}_0^{t_j}) < F(\tilde{C}_k^{t_j})$, то множество $\tilde{C}_k^{t_j}$ больше, чем $\tilde{C}_0^{t_j}$.

В сложной системе в условиях неопределенности возникает необходимость решения следующих проблем:

1) представителем какого класса по способностям к приобретению нужного качества является субъект;
2) наблюдается ли отклонения от эталонной промежуточной цели в рассматриваемый момент времени;
3) какое из максимизирующих управлений применимо для устранения отклонения от эталонной промежуточной цели;
4) моделирование силы управляющего воздействия, позволяющего осуществить переход из ситуации в ситуацию;
5) определение возможности события, описывающего признак y_q в момент t_j.

Для поиска решений перечисленных проблем в нечеткой иерархической системе управления, где отдельные вершины представлены нечеткими интервалами с границами на разных шкалах, неприменим подход, основывающийся на определении степени нечеткого равенства нечетких чисел. Поэтому предлагается применять второй подход, основанный на сравнении нечетких интервалов. Приведем пример решения для каждой проблемы.

Проблема 1. Выяснить, по исходу взаимодействия является ли I_2 представителем класса k с “высокими” способностями по приобретению нужного качества, описываемого эталонной ситуацией $\tilde{C}_k$. В текущий момент субъект находится в ситуации $\tilde{C}_0$.

Для представления двух сравниваемых нечетких интервалов, представленных на шкалах различной размерности, воспользуемся следующими функциями принадлежности термов лингвистической переменной «рейтинг»:
$\tilde{C}_0=\{0/<0,6>;\ 0,02/<0,7>;\ 0,16/<0,8>;\ 0,39/<0,9>;\ 1/<1>;\ 1/<1,33>;\ 1/<1,5>;\ 0,27/<1,66>\}$ и $\tilde{C}_k=\{0\ /<0,5>;\ 0,36/<0,6>;\ 0,39/<0,7>;\ 0,5/<0,8>;\ 1/<0,9>;\ 1/<1>;\ 1/<1,2>;\ 0,27/<1,33>\}$.

Для сравнения нечетких множеств $\tilde{C}_0$ и $\tilde{C}_k$ предварительно представим их на единичном интервале: $\tilde{C}_0=\{0/<0,36>;\ 0,02/<0,42>;\ 0,16/<0,48>;\ 0,39/<0,54>;\ 1/<0,6>;\ 1/<0,8>;\ 1/<0,9>;\ 0,27/<1>\}$ и $\tilde{C}_k=\{0\ /<0,375>;\ 0,36/<0,45>;\ 0,39/<0,525>;\ 0,5/<0,6>;\ 1/<0,675>;\ 1/<0,75>;\ 1/<0,9>;\ 0,27/<1>\}$.

Построим на основе $\tilde{C}_0$ уровневые множества $M_{0\alpha}$:

$C_{0\alpha}=\{0,36; 0,42; 0,48; 0,54; 0,6; 0,8; 0,9; 1\}$ для $0<\alpha\leq 0,3$;
$C_{0\alpha}=\{0,54; 0,6; 0,8; 0,9\}$ для $0,3<\alpha\leq 0,5$;
$C_{0\alpha}=\{0,6; 0,8; 0,9\}$ для $0,5<\alpha\leq 1$.
$M_{0\alpha}=5,1/\,8=0,6375$ для $0<\alpha\leq 0,3$;
$M_{0\alpha}=2,84/\,4=0,71$ для $0,3<\alpha\leq 0,5$;
$M_{0\alpha}=2,3/\,3=0,7666$ для $0,5<\alpha\leq 1$.

Определим функцию упорядоченности этого множества

$$F(C_0)=\int_0^{0,3}0,6375\,d\alpha+\int_{0,3}^{0,5}0,71\,d\alpha+\int_{0,5}^{1}0,7666\,d\alpha=$$
$$=0,3*0,6375+0,2*0,71+0,5*0,7666=0,7165.$$

Построим на основе $\tilde{C}_k$ уровневые множества $M_{k\alpha}$:

$C_{k\alpha}=\{0,375; 0,45; 0,525; 0,6; 0,675; 0,75; 0,9; 1\}$ для $0<\alpha\leq 0,3$;
$C_{k\alpha}=\{0,45; 0,525; 0,6; 0,675; 0,75; 0,9\}$ для $0,3<\alpha\leq 0,5$;
$C_{k\alpha}=\{0,675; 0,75; 0,9\}$ для $0,5<\alpha\leq 1$.
$M_{k\alpha}=5,275/\,8=0,6594$ для $0<\alpha\leq 0,3$;
$M_{k\alpha}=3,9/\,6=0,65$ для $0,3<\alpha\leq 0,5$;
$M_{k\alpha}=2,325/\,3=0,775$ для $0,5<\alpha\leq 1$.

Функция упорядоченности

$$F(C_k)=\int_0^{0,3}0,6594\,d\alpha+\int_{0,3}^{0,5}0,65\,d\alpha+\int_{0,5}^{1}0,775\,d\alpha=$$
$$=0,3*\,0,6594+0,2*\,0,65+0,5*\,0,775=0,7153.$$

Поскольку $F(C_0)>F(C_k)$, то I_2 является представителем класса k с “высокими ” способностями по приобретению нужного качества.

Проблема 2. Выяснить, имеется ли отклонение от промежуточной цели по признаку y_q (рейтинг) для I_2 как представителя класса k с “высокими ” способностями по приобретению нужного качества. $\tilde{C}_0$ представим на единичном интервале: $\tilde{C}_0=\{0/<0,4>;\ 0,31/<0,5>;\ 1/<0,6>;\ 1/<0,75>;\ 0,82/<0,8>;\ 0,29/<1>\}$.

$C_{0\alpha}=\{0,4; 0,5; 0,6; 0,75; 0,8; 1\}$ для $0<\alpha\leq 0,3$;
$C_{0\alpha}=\{0,5; 0,6; 0,75; 0,8\}$ для $0,3<\alpha\leq 0,5$;
$C_{0\alpha}=\{0,6; 0,75; 0,8\}$ для $0,5<\alpha\leq 1$.
$M_{0\alpha}=4,05/\,6=0,675$ для $0<\alpha\leq 0,3$;

$M_{0\alpha}$= 2,65/ 4= 0,6625 для $0,3<\alpha\leq 0,5$;
$M_{0\alpha}$= 2,15/ 3= 0,7166 для $0,5<\alpha\leq 1$.

$$F(C_0) = \int_0^{0,3} 0,675 d\alpha + \int_{0,3}^{0,5} 0,6625 d\alpha + \int_{0,5}^{1} 0,7166 d\alpha =$$

$$= 0,3*0,675+0,2*0,6625+0,5*0,7166=0,7153.$$

Поскольку эталонная ситуация $\tilde{C}_k$ осталась неизменной и взята из проблемы 1, для сравнения нечетких множеств $\tilde{C}_0$ и $\tilde{C}_k$={0/<0,375>; 0,36/<0,45>; 0,39/<0,525>; 0,5/<0,6>; 1/<0,675>; 1/<0,75>; 1/<0,9>; 0,27/<1>} воспользуемся ранее найденной функцией упорядоченности $F(C_k)$= 0,7153.

А учитывая, что $F(C_0)=F(C_k)$, то отклонения от эталонной промежуточной цели не наблюдается и для дальнейшего взаимодействия к I_2 как представителю класса k с “высокими ” способностями по приобретению нужного качества следует применять управления со “слабой” силой воздействия.

Проблема 3. Результат взаимодействия I_2 описывается нечетким множеством $\tilde{C}_0$={0/<0,4>; 0,31/<0,5>; 0,67/<0,6>; 1/<0,7>; 1/<0,9>; 0,82/<1>; 0,29/<1,2>}. Это одна из ситуаций множества Парето-оптимальных решений $\omega_3=[0,8^1; 0,8^2]$.

Выяснить, имеется ли отклонение от промежуточной цели по признаку y_q (рейтинг) для I_2 как представителем класса k с “высокими ” способностями по приобретению нужного качества.

$\tilde{C}_0$ представим в виде нечеткого множества на единой шкале:

$\tilde{C}_0$={0/<0,3>; 0,31/<0,4>; 0,67/<0,5>; 1/<0,6>; 1/<0,75>; 0,82/<0,8>; 0,29/<1>}.

$C_{0\alpha}$= {0,3; 0,4; 0,5; 0,6; 0,75; 0,8; 1} для $0<\alpha\leq 0,3$;
$C_{0\alpha}$= {0,4; 0,5; 0,6; 0,75; 0,8} для $0,3<\alpha\leq 0,5$;
$C_{0\alpha}$= {0,5; 0,6; 0,75; 0,8} для $0,5<\alpha\leq 1$.
$M_{0\alpha}$= 4,35/ 7= 0,6214 для $0<\alpha\leq 0,3$;
$M_{0\alpha}$= 3,05/ 5= 0,61 для $0,3<\alpha\leq 0,5$;
$M_{0\alpha}$= 2,65/ 4= 0,6625 для $0,5<\alpha\leq 1$.

$$F(C_0) = \int_0^{0,3} 0,6214 d\alpha + \int_{0,3}^{0,5} 0,61 d\alpha + \int_{0,5}^{1} 0,6625 d\alpha = 0,3*\ 0,6214+0,2*\ 0,61\ +0,5*\ 0,6625$$

$$= 0,1864+ 0,122+ 0,3312= 0,6396.$$

Поскольку эталонная ситуация $\tilde{C}_k$ осталась неизменной и взята из проблемы 1, для сравнения нечетких множеств $\tilde{C}_0$ и $\tilde{C}_k$={0 /<0,375>; 0,36/<0,45>; 0,39/<0,525>; 0,5/<0,6>; 1/<0,675>; 1/<0,75>; 1/<0,9>; 0,27/<1>} воспользуемся ранее найденной функцией упорядоченности $F(C_k)$= 0,7153.

Поскольку $F(C_0)<F(C_k)$, то имеет место отклонение от эталонной промежуточной цели и для дальнейшего взаимодействия с I_2 требуется применить максимизирующее управление с тем, чтобы на следующем шаге попытаться вернуть субъект к эталонной ситуации для представителя класса k с “высокими ” способностями по приобретению нужного качества.

Проблема 4. Признак y_q эталонной ситуации, описывающей состояние представителя класса с “высокими” способностями в момент t_{j-1}, представим нечетким исходом.

$\tilde{\Omega}_1 = \tilde{C}_k^{\,t_{j-1}} = \{0/<T_1^{q(t_{j-1})}>;\ 0{,}31/<T_2^{q(t_{j-1})}>;\ 1/<T_3^{q(t_{j-1})}>;\ 0{,}82/<T_4^{q(t_{j-1})}>;\ 0{,}29/<T_5^{q(t_{j-1})}>\} = \{0/<0{,}7>;\ 0{,}31/<0{,}8>;\ 1/<0{,}93>;\ 0{,}82/<1>;\ 0{,}29/<1{,}2>\}$.

Этот признак для эталонной ситуации в t_j описывается

$\tilde{C}_k^{\,t_j} = \tilde{\Omega}_2 = \{0/<T_1^{q(t_j)}>; 0{,}31/<T_2^{q(t_j)}>; 1/<T_3^{q(t_j)}>; 1/<T_4^{q(t_j)}>; 0{,}27/<T_5^{q(t_j)}>\} =$
$= \{0/<0{,}7>;\ 0{,}31/<0{,}8>;\ 1/<0{,}93>;\ 1/<1{,}2>;\ 0{,}27/<1{,}32>\}$.

Выполнить моделирование силы управляющего воздействия, позволяющего осуществить переход из $\tilde{C}_k^{\,t_{j-1}}$ в $\tilde{C}_k^{\,t_j}$. Сила управляющего воздействия определяется с помощью формулы $\Phi^{t(t_{j-1})} = \tilde{C}_k^{\,t_{j-1}} \times \tilde{C}_k^{\,t_j}$. Опишем нечеткие множества с помощью термов. Для заданных ситуаций она будет описывается матрицей $\Phi^{t(t_{j-1})}$:

	$T_1^{q(t_j)}$	$T_2^{q(t_j)}$	$T_3^{q(t_j)}$	$T_4^{q(t_j)}$	$T_5^{q(t_j)}$
$T_1^{q(t_{j-1})}$	0	0	0	0	0
$T_2^{q(t_{j-1})}$	0	0,31	0,31	0,31	0,27
$T_3^{q(t_{j-1})}$	0	0,31	1	1	0,27
$T_4^{q(t_{j-1})}$	0	0,31	0,82	0,82	0,27
$T_5^{q(t_{j-1})}$	0	0,29	0,29	0,29	0,27

Проблема 5. Задано нечеткое множество, описывающее признак эталонной ситуации в t_{j-1} следующим образом: $\tilde{C}_k^{\,t_{j-1}} = \tilde{\Omega}_1 = \{0/<T_1^{q(t_{j-1})}>;\ 0{,}31/<T_2^{q(t_{j-1})}>;\ 1/<T_3^{q(t_{j-1})}>;\ 0{,}82/<T_4^{q(t_{j-1})}>;\ 0{,}29/<T_5^{q(t_{j-1})}>\} = \{0/<0{,}7>;\ 0{,}31/<0{,}8>;\ 1/<0{,}93>;\ 0{,}82/<1>;\ 0{,}29/<1{,}2>\}$ и сила управляющего воздействия $\Phi^{t(t_{j-1})}$ из проблемы 4.

$\tilde{C}_k^{\,t_j} = \{0/<T_1^{q(t_j)}>;\ 0{,}5/<T_2^{q(t_j)}>;\ 1/<T_3^{q(t_j)}>;\ 1/<T_4^{q(t_j)}>;\ 1/<T_5^{q(t_j)}>\} = \{0/<0{,}7>;\ 0{,}5/<0{,}8>;\ 1/<0{,}93>;\ 1/<1{,}2>;\ 1/<1{,}33>\}$

Определить возможность события, описывающего признак y_q в момент t_j. [5].

Возможность события $\tilde{C}^{t_j}{}_k$ при наличии сведений $\tilde{C}_k^{\,t_{j-1}} \circ \Phi^{t(t_{j-1})}$ обозначается $POSS(C_k^{\,t_j} / C_k^{\,t_{j-1}} \circ \Phi^{t(t_{j-1})})$ и может быть определена по формуле

$$POSS\,(C_k^{\,t_j} / C_k^{\,t_{j-1}} \circ \Phi^{t(t_{j-1})}) = \sup_{T_n^{q(t_j)} \in \mathrm{TN}^{q(t_j)}} \min(\mu_{C_k^{t_{j-1}} \circ \Phi^{t(t_{j-1})}}(T_n^{q(t_j)}), \mu_{C_k^{t_j}}(T_n^{q(t_j)})),$$

где $\mu_{C_k^{t_{j-1}} \circ \Phi^{t(t_{j-1})}}(T_n^{q(t_j)}) = \sup_{T_m^{q(t_{j-1})} \in \mathrm{TM}^{q(t_j)}} \min(\mu_{C_k^{t_{j-1}}}(T_m^{q(t_{j-1})}), \mu_{\Phi^{t(t_{j-1})}}(T_m^{q(t_{j-1})}, T_n^{q(t_j)}))$. Имеем:

$$\mu_{C_k^{t_j} \circ \Phi^{t(t_{j-1})}} = (T_1^{q(t_j)}) = \max_{T^{q(t_{j-1})}} (0;\ 0;\ 0;\ 0;\ 0) = 0;$$

$$\mu_{C_k^{t_j} \circ \Phi^{t(t_{j-1})}} = T_2^{q(t_j)} = \max_{T^{q(t_{j-1})}} (0;\ 0{,}31;\ 0{,}31;\ 0{,}31;\ 0{,}29) = 0{,}31;$$

$$\mu_{C_k^{t_j} \circ \Phi^{t(t_{j-1})}} = T_3^{q(t_j)} = \max_{T^{q(t_{j-1})}} (0;\ 0{,}31;\ 1;\ 0{,}82;\ 0{,}29) = 1;$$

$$\mu_{C_k^{t_j} \circ \Phi^{t(t_{j-1})}} = T_4^{q(t_j)} = \max_{T^{q(t_{j-1})}} (0;\ 0{,}31;\ 1;\ 0{,}82;\ 0{,}29) = 1;$$

$$\mu_{C_k^{t_j} \circ \Phi^{t(t_{j-1})}} = T_5^{q(t_j)} = \max_{T^{q(t_{j-1})}} (0;\ 0{,}27;\ 0{,}27;\ 0{,}27;\ 0{,}27) = 0{,}27.$$

Тогда композиция представляет собой: $\tilde{C}_k^{t_{j-1}} \circ \Phi^{t(t_{j-1})} = \{0/<T_1^{q(t_j)}>;\ 0{,}31/<T_2^{q(t_j)}>;\ 1/<T_3^{q(t_j)}>;\ 1/<T_4^{q(t_j)}>;\ 0{,}27/<T_5^{q(t_j)}>\} = \{0/<0{,}7>;\ 0{,}31/<0{,}8>;\ 1/<0{,}93>;\ <1/<1{,}2>;\ 0{,}27/<1{,}33>\}$. А возможность события определяется как

$$POSS(C_k^{t_j} / C_k^{t_{j-1}} \circ \Phi^{t(t_{j-1})}) = \max_{TN^{q(t_j)}} (0;\ 0{,}31;\ 1;\ 1;\ 0{,}27) = 1.$$

В статье рассмотрен способ нахождения максимизирующего управления, который позволяет работать с вершинами нечеткой ситуационной сети и текущим состоянием управляемой системы, описанным в виде нечетких интервалов. Оптимальность найденного решения обеспечивается за счет того, что при выполнении прогноза учитывается полная предыстория процесса управления.

Предложенный подход, использующий нечеткое моделирование при анализе сложных систем и сложноформализуемых процессов, в зависимости от специфики организационных систем предоставляет эффективные методы и средства для проведения прогнозных исследований в иерархических многоуровневых системах с целью принятия оптимального решения.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. *Боженюк А.В., Гинис Л.А.* Об использовании нечетких баз и антибаз при анализе нечетких когнитивных карт. – НАНУ, Институт проблем искусственного интеллекта, «Искусственный интеллект». – Украина, Донецк: ІПШІ «Наука і освіта». – 2004. – № 4. – С. 276-285.
2. *Мелихов А.Н., Берштейн Л.С., Коровин С.Я.* Ситуационные советующие системы с нечеткой логикой. – М.: Наука, 1990. – 272 с.
3. *Вовк С.П.* Ситуационное управление и нечеткие игры в моделировании организационных систем. – Таганрог: Изд-во ТРТУ, 2002, – 96 с.
4. *Борисов А.Н., Крумберг О.А., Федоров И.П.* Принятие решений на основе нечеткого описания системы исходов // Принятие решений на основе нечетких моделей. – Рига: Зинатне, 1990. – С. 126-132
5. *Vovk S.P., Ginis L.A.* Modelling and forecasting of transitions between levels of hierarchies in Difficult formalized systems // European Researcher. – 2012. – Vol. (20), № 5-1. – P. 541-545.

Статью рекомендовал к опубликованию д.т.н., профессор В.П. Карелин.

Гинис Лариса Александровна – Федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего профессионального образования «Южный федеральный университет»; e-mail: gla@sfedu.ru; 347928, г. Таганрог, пер. Некрасовский, 44; тел.: 88634371743; кафедра информационно-аналитических систем безопасности; к.п.н.; доцент.

Вовк Светлана Павловна – e-mail: vovk61@list.ru; кафедра информационно-аналитических систем безопасности; к.т.н.; доцент.

Ginis Larisa Aleksandrovna – Federal State-Owned Autonomy Educational Establishment of Higher Vocational Education “Southern Federal University”; e-mail: gla@sfedu.ru; 44, Nekrasovskiy, Taganrog, 347928, Russia; phone: +78634371743; the department of information-analytical systems of safety; cand. of eng. sc.; associate professor.

Vovk Svetlana Pavlovna – e-mail: vovk61@list.ru; the department of information-analytical systems of safety; cand. of eng. sc.; associate professor.