

УДК 007:681.518.2  
ББК 22.18 65.23 65.29

## **СИНТЕЗ УПРАВЛЯЮЩИХ РЕШЕНИЙ В СЛАБО СТРУКТУРИРОВАННЫХ ПЛОХО ФОРМАЛИЗУЕМЫХ СОЦИОТЕХНИЧЕСКИХ СИСТЕМАХ**

**Ажмухамедов И. М.<sup>1</sup>**

*(ФГБОУ ВПО Астраханский государственный техниче-  
ский университет, Астрахань)*

*Сформулирована методология построения нечетких когнитивных моделей плохо формализуемых слабоструктурированных социотехнических систем (СТС), отличающаяся тем, что в ее рамках введена количественная мера схожести двух нечетких состояний, а интенсивность нечетких связей в нечеткой когнитивной модели предложено определять с помощью обобщенных весов Фишберна. Это позволило разработать методику синтеза управляющих решений с минимальной «стоимостью», выводящих СТС на необходимый целевой уровень функционирования.*

Ключевые слова: плохо формализуемые слабоструктурированные социотехнические системы, нечеткое когнитивное моделирование, веса Фишберна, индекс схожести, синтез управляющих решений.

### **1. Введение**

По мере ускорения научно-технического прогресса разработка методов анализа и управления различными системами становится все более актуальной задачей. При этом значительная часть систем являются социотехническими и кроме естественной (природной) и искусственной (технической) составляю-

---

<sup>1</sup> *Искандар Маратович Ажмухамедов, кандидат технических наук, доцент (aim\_agtu@mail.ru).*

щей в качестве важнейшего элемента содержат в себе человека, который часто выступает не только в качестве лица, принимающего решение (ЛПР), но и сам представляет собой объект управления. Наличие антропогенного фактора превращает описание СТС в плохо формализуемую задачу [21].

Это связано с тем, что такие системы функционируют в условиях неопределенности, характеризуемой недостатком информации, необходимой для формализации протекающих в них процессов. Неопределенность обусловлена, с одной стороны, недостаточностью или полным отсутствием методов и средств измерения координат объекта управления в фазовом пространстве, а с другой стороны, с незнанием закономерностей протекания процессов ввиду их сложности и малоизученности. Указанные факторы приводят к невозможности построения формальных аналитических моделей, учитывающих специфику СТС, что, в свою очередь, значительно снижает эффективность управления подобными системами и часто делает его в принципе невозможным.

При этом резко возрастает роль ЛПР, который в случае, когда традиционные методы контроля, математического описания или управления не дают желаемых результатов, справляется с задачей с определенной степенью эффективности, опираясь на представления и знания экспертов в данной области и собственные опыт и интуицию [20].

В связи с этим возникает необходимость учета при формализации процессов, происходящих в СТС, особенностей, связанных с поведением человека, как важнейшего элемента социотехнической системы. Поэтому при построении формальной модели целесообразно применение методов, основанных на воспроизведении интеллектуальной деятельности ЛПР. Они позволяют снизить степень субъективности принимаемых решений и, как следствие, повышают эффективность управления системой.

Наиболее удобным математическим аппаратом для описания и исследования социотехнических систем, позволяющим реализовать указанные требования и объединить при моделировании аналитические, статистические, лингвистические описания различных подсистем СТС, является нечеткое когнитивное моделирование (НКМ). Неоспоримыми достоинствами НКМ по

сравнению с другими методами являются возможность формализации численно неизмеримых факторов, использования неполной, нечеткой и даже противоречивой информации [16].

Создание Л. Заде математического аппарата нечетких множеств, развитие теории когнитивного моделирования в работах ученых Института проблем управления РАН И.В. Прангишвили, О.П. Кузнецова, В.И. Максимова, Е.К. Корноушенко, А.А. Кулинича и других представителей этой отечественной научной школы позволило решить достаточно широкий класс задач исследования плохо формализуемых (ПФ) и слабоструктурированных (СС) систем. В работах этих ученых приведены разнообразные методы представления плохо формализуемых знаний, позволяющие отражать как фактуальные знания о структуре, свойствах объектов предметной области, так и операционные знания о логических, причинно-следственных, ассоциативных зависимостях.

Изучению социотехнических систем (СТС) также посвящен ряд работ отечественных и зарубежных ученых, например [18, 23, 25–28]. Однако, несмотря на несомненные успехи в рамках данного направления, существует достаточно много СТС, анализ и управление которыми не соответствует современным требованиям.

Основными причинами этого являются сложность определения значений антропогенных факторов, влияющих на состояние СТС, сложность оценки интенсивности («силы») связей между концептами НКМ, а также отсутствие формализованной методики синтеза управляющих решений (СУР) для вывода СТС в заданное состояние. При использовании НКМ подбор управляющих воздействий проводится, как правило, на основе имитационного моделирования. Однако перед тем как его проводить, модель необходимо верифицировать, т.е. сравнить прогноз состояния системы, полученный с помощью НКМ, с реальным состоянием СТС. Описание состояния системы и в том, и в другом случае является нечетким и дается обычно в терминах какой-либо лингвистической переменной (ЛП).

С другой стороны, перед тем как приступить к СУР, необходимо установить насколько текущее нечетко описанное со-

стояние системы отличается от целевого состояния, также задаваемого ЛПР, как правило, нечетко.

Таким образом, и при верификации, и при синтезе управляющих решений возникает необходимость введения количественной меры близости нечетко заданных состояний СТС.

Учет перечисленных причин, препятствующих эффективному управлению СТС, предопределил задачи, решению которых посвящена данная работа.

## **2. Постановка задачи**

Необходимо создать методологию моделирования и управления ПФ СС СТС, включающую в себя:

- методику перехода от вербального описания состояния концептов к количественному их определению, позволяющую достоверно отражать имеющуюся неопределенность;

- методику определения интенсивности нечетких связей в НКМ в случае, когда значение фактора-следствия или его приращения является результатом совместного влияния нескольких факторов;

- методику определения количественной меры схожести двух нечетких состояний;

- методику, позволяющую оценить уровень антропогенного фактора и основные причины, влияющие на поведение человека в составе СТС;

- методику синтеза управляющих решений, выводящих СТС на необходимый целевой уровень функционирования при минимуме «затрат».

## **3. Нечеткая когнитивная модель социотехнической системы**

Как было отмечено выше, основными особенностями, затрудняющими моделирование и управление плохо формализуемыми процессами в СТС и ограничивающими возможности применения традиционных методов поиска оптимального (или даже приемлемого) управленческого решения, являются нечеткость структуры системы в целом и/или отдельных ее подсистем.

тем; нечеткие связи между различными подсистемами и отдельными элементами; «размытость» значений элементов системы и целей ее функционирования; сложность оценки степени достижения нечетко определенного целевого состояния и отсутствие количественной меры отклонения текущего состояния системы от требуемого.

Поскольку в реальных управленческих ситуациях предварительный анализ проблемы и ее структуризация являются первым, наиболее сложным и трудно формализуемым этапом принятия решений [1, 8], ЛПР приходится манипулировать качественной информацией в виде гипотез (предположений), интуитивных понятий и смысловых образов. Многочисленные исследования процессов принятия решений подтверждают, что ему несвойственно мыслить и принимать решения только в количественных характеристиках. Он мыслит прежде всего качественно, и для него поиск решения – это поиск в первую очередь замысла решения, где количественные оценки играют вспомогательную роль [13].

Таким образом, подготовку и принятие решений в задачах управления СТС следует рассматривать как сложный интеллектуальный процесс разрешения проблем, не сводимый исключительно к рациональному выбору. Для поддержки этого процесса, особенно на ранних его этапах, целесообразно использовать когнитивный подход к моделированию и управлению, поскольку «он направлен на разработку формальных моделей и методов, поддерживающих интеллектуальный процесс решения проблем благодаря учету в этих моделях и методах когнитивных возможностей человека (восприятие, представление, познание, понимание, объяснение) при решении им управленческих задач» [1].

В соответствии с *принципом хранения и аккумуляции знаний в форме каузальных когнитивных карт* в качестве универсальной модели социотехнической системы (*STS*) предлагается использовать кортеж

$$(1) \quad STS = \langle G, QL, S, R, \Omega \rangle ,$$

где  $G$  – ориентированный граф, имеющий одну корневую вершину и не содержащий горизонтальных ребер в пределах одного уровня иерархии;  $QL$  – набор качественных оценок уровней

каждого фактора в иерархии (лингвистическая переменная);  $S$  – множество весов ребер графа  $G$ , отражающих степень влияния концептов на элементы следующего уровня иерархии;  $R$  – набор правил для вычисления значений концептов на каждом из уровней иерархии  $G$ ;  $\Omega$  – индекс схожести, позволяющий распознавать лингвистические значения концептов. В свою очередь  $G$  также представляет собой кортеж

$$(2) \quad G = \langle \{GF_i\}; \{GD_{ij}\} \rangle,$$

где  $\{GF_i\}$  – множество вершин графа (факторов или концептов в терминологии НКМ);  $\{GD_{ij}\}$  – множество дуг, соединяющих  $i$ -ю и  $j$ -ю вершины (множество причинно-следственных связей между концептами);  $GF_0 = K_0$  – корневая вершина, отвечающая цели функционирования системы в целом (целевой концепт).

При построении  $G$  в стационарном случае на уровне  $N$  предполагаются концепты, на которые могут оказывать влияние только факторы, расположенные на уровнях меньших  $N$ . В случае динамической модели на концепты могут дополнительно оказывать влияния обратные связи, возникающие в НКМ. Уровни иерархии целесообразно формировать на основе функциональной модели процесса. При этом каждый концепт « $m$ », находящийся на уровне « $n$ », получает на вход набор данных  $\{X_{nm}\}$  и перерабатывает его в выходное значение  $Y_{nm}$  согласно правилу  $R^{nm}$ :

$$(3) \quad Y_{nm} = R^{nm}(X_{nm})$$

Значения  $Y_{nm}$  в свою очередь являются входными данными для подсистем (концептов) более высокого уровня иерархии.

#### **4. Переход от вербального к нечеткому количественному описанию**

Концепты, участвующие в иерархии, в большинстве случаев представляют собой численно не измеримые величины. Поскольку информация о состоянии данных концептов обычно формулируется экспертом в вербальной форме, для *формализации качественной информации* вводится лингвистическая переменная «Уровень фактора»  $QL$  и определяется терм-множество ее значений, состоящее в общем случае из 9 элементов, принадлежащих отрицательной  $QL^-$  и положительной  $QL^+$  области зна-

чений (для большинства практических задач девяти уровней классификации более чем достаточно):

(4)  $QL = \{U(QL^-, 0; QL^+)\} = \{\text{Высокий отриц. (B}^-\text{); Выше среднего отриц. (BC}^-\text{); Средний отриц. (C}^-\text{); Низкий отрицательный (H}^-\text{); Нулевой (0); Низкий положит. (H}^+\text{); Средний положит. (C}^+\text{); Выше среднего положит. (BC}^+\text{); Высокий положит. (B}^+\text{)}\}.$

В качестве семейства функций принадлежности используется девятиуровневый классификатор, где соответствующие функции принадлежности нечетких чисел, заданных на отрезке  $[-1, 1]$  вещественной оси, представляют собой трапеции:

(5)  $\{B^-( -1; -1; -0,85; -0,75); BC^-( -0,85; -0,75; -0,65; -0,55); C^-( -0,65; -0,55; -0,45; -0,35); H^-( -0,45; -0,35; -0,25; -0,15); \ll 0 \gg ( -0,25; -0,15; 0,15; 0,25); H^+( 0,15; 0,25; 0,35; 0,45); C^+( 0,35; 0,45; 0,55; 0,65); BC^+( 0,55; 0,65; 0,75; 0,85); B^+( 0,75; 0,85; 1; 1)\},$

где в нечетком числе  $XX(a_1, a_2, a_3, a_4)$   $a_1$  и  $a_4$  – абсциссы нижнего основания;  $a_2$  и  $a_3$  – абсциссы верхнего основания трапеции.

Суть данного нечеткого классификатора в том, что если о факторе неизвестно ничего, кроме того, что он может принимать любые значения в пределах  $[-1, 1]$  (принцип равнопредпочтительности), и надо провести ассоциацию между качественной и количественной оценками фактора, то предложенный классификатор делает это с максимальной достоверностью. При этом сумма всех функций принадлежности для любого  $x \in [-1, 1]$  равна единице, что указывает на его непротиворечивость.

Построенный классификатор является разновидностью так называемой «серой» шкалы Поспелова [19], представляющей собой полярную (оппозиционную) шкалу, в которой переход от свойства  $A^+$  к свойству  $A^-$  происходит плавно, постепенно, в отличие от интервального шкалирования, используемого в популярных пакетах когнитивного моделирования [2, 5, 7, 10, 11, 12, 15]. Считается, что «серые» шкалы лучше отражают экспертные оценки в условиях неопределенности [24].

Применение классификатора позволяет перейти от качественного описания уровня параметра к стандартному количественному виду соответствующей функции принадлежности из множества нечетких трапецевидных чисел.

Если кроме качественных («нечетких») значений факторов в НКМ присутствуют и количественные («четкие») данные, то простейшим способом для их совместного учета является закругление количественных оценок до их качественного описания. Однако такой подход приводит к потере точности.

Для совместного использования количественной и качественной информации без закругления предлагается методика, предусматривающая использование точного значения количественно измеряемого параметра  $P_i$ . Для этого вычисляется нормированное значение  $\bar{P}_i$  по формуле

$$(6) \quad \bar{P}_i = (P_i - P_{min}) / (P_{max} - P_{min}),$$

где  $P_{min}$  и  $P_{max}$  – минимальное и максимальное значение  $P_i$  соответственно.

Нормирование приводит разнородные параметры к единому интервалу  $[-1, 1]$ . Затем значение фактора представляется в виде НЧ  $X(a_1, a_2, a_3, a_4)$ , в котором  $a_1 = a_2 = a_3 = a_4 = \bar{P}_i$ . Если измерения  $\bar{P}_i$  произведены с известной погрешностью  $\delta$ , то  $a_1 = a_2 - \delta$ ;  $a_2 = a_3 = \bar{P}_i$ ;  $a_4 = a_3 + \delta$ . Таким образом, нормированное значение фактора, имеющего четкое количественное представление, рассматривается как частный случай НЧ, заданного на  $[-1, 1]$ .

## 5. Определение силы влияния факторов в НКМ

Значения весов  $s_{ij} \in [-1, 1]$  из множества  $S$  могут быть получены экспертным путем.

Например, в системах «Ситуация» и «Компас» эксперту предлагается упорядоченное множество лингвистических оценок силы влияния. Затем каждый элемент этого множества отображается на отрезок числовой оси  $[-1, 1]$  в виде равноотстоящих точек [15, 12].

В системе «Канва» применяются косвенные методы определения силы влияния [11]. Эксперт определяет ее, отвечая на вопросы о возможном изменении значения фактора-следствия при фиксированном изменении фактора причины, что, по мнению авторов системы, уменьшает ошибку экспертного оценивания.



Данные подходы к определению весов связей в НКМ предполагают независимое воздействие факторов-причин на факторы-следствия, при котором на верхний уровень передается максимальное из всех возможных значений нижнего уровня.

Если же значение фактора-следствия или его приращения является результатом совместного влияния нескольких факторов (такая модель была предложена в работе Робертса [22], затем анализировалась и модифицировалась в работах [9, 14]), то вклад каждого из факторов-причин в эту функциональную зависимость целесообразно определить по-иному. При этом необходимо учесть, что «мягкие» качественные измерения типа сравнения, отнесения к классу, упорядочения гораздо более надежны, чем назначение субъективных вероятностей, количественных оценок важности критериев, «весов» полезностей и т.п. [4, 13]. Кроме того, для эксперта в большинстве случаев затруднительно дать непосредственные численные оценки. Поэтому предпочтительнее ранговые методы, при реализации которых требуется лишь упорядочить критерии.

Для оценки *силы нечетких связей между концептами* в [3] предложен модифицированный метод нестрогого ранжирования, в соответствии с которым экспертом производится нумерация всех критериев по возрастанию степени их значимости. Причем допускается, что эксперту не удастся различить между собой некоторые критерии. В этом случае при ранжировании он помещает их рядом в произвольном порядке. Затем проранжированные критерии последовательно нумеруются. Оценка (ранг) критерия определяется его номером. Если на одном месте находятся несколько неразличимых между собой критериев, то за ранг каждого из них принимается номер всей группы как целого объекта в упорядочении.

Найденные предложенным способом оценки представляют собой обобщение системы весов Фишберна для случая смешанного распределения предпочтений, когда наряду с предпочтениями в систему входят и отношения безразличия. Веса Фишберна отражают тот факт, что системе убывающего предпочтения  $N$  альтернатив наилучшим образом отвечает система снижающихся по правилу арифметической прогрессии весов. Поэтому эти веса представляют собой рациональные дроби, в зна-

менателе которых стоит сумма  $N$  первых членов натурального ряда (арифметической прогрессии с шагом 1), а в числителе – убывающие на единицу элементы натурального ряда, от  $N$  до 1 (например,  $3/6, 2/6, 1/6$ ). Таким образом, предпочтение по Фишберну выражается в убывании на единицу числителя рациональной дроби весового коэффициента более слабой альтернативы.

При использовании метода нестрогого ранжирования на граф  $G$  необходимо наложить систему отношений предпочтения отдельно для концептов, оказывающих положительное влияние, отдельно для концептов, оказывающих отрицательное влияние:

$$(7) \quad E = \{GF_i(e)GF_j \mid e \in (>, \approx)\},$$

где  $GF_i$  и  $GF_j$  – факторы одного уровня иерархии  $G$ ;  $>$  – отношение предпочтения;  $\approx$  – отношение безразличия.

Такая система позволяет определить обобщенные на случай предпочтения/безразличия факторы по отношению друг к другу *нормированные* веса Фишберна для каждой дуги  $GD_{ij}$  (веса связей) в случае совместного влияния факторов-причин на фактор-следствие.

## **6. Индекс схожести нечетких состояний. Уровень антропогенных факторов в СТС**

Для вычисления значений на следующем уровне иерархии при известных значениях концептов более низкого уровня, определенных в терминах лингвистической переменной  $QL$ , и заданном множестве весов дуг  $S$ , влияния нижестоящих концептов агрегируются по правилам  $R_i$  из множества  $R$ . В качестве элементов множества  $R$ , в зависимости от специфики влияния концептов друг на друга, могут выступать мультипликативная, аддитивная, минимаксная и т.п. свертки векторного критерия. При этом на нижних уровнях иерархии из-за возможности компенсации значений одних факторов за счет других чаще всего применяется аддитивная или максиминная свертка. Для нахождения значения комплексного критерия  $GF_0$  в случае, когда он не может рассматриваться как сумма частных критериев, можно применить мультипликативную свертку:

$$(8) \quad GF_0 \equiv K_0 = \prod_j K_j^{sign(s_0)(1-|s_0|)},$$

в которой под произведением понимается операция умножения соответствующих лингвистическим значениям  $K_j$  НЧ из (5);  $s_{0j}$  – веса влияния частных критериев  $K_j$  на  $K_0$ ,  $\sum s_{0j} = 1$ . Значение мультипликативного критерия, в отличие от аддитивного, резко уменьшается при малых значениях отдельных критериев, что позволяет исключить нежелательные варианты при принятии решения в случае, когда каждый из частных критериев значим и не допускается их взаимная компенсация. В особо критичных системах в качестве  $K_0$  необходимо использовать минимальное значение критериев  $K_j$  (принцип «самого слабого звена»).

Если известно четкое аналитическое описание влияния одних концептов на другие, то в качестве элементов множества  $R$  выступают соответствующие формулы, преобразующие входные данные в выходные.

При нахождении сверток иногда возникает необходимость предварительно инвертировать значения некоторых концептов. В случае лингвистического описания для нахождения инверсии (противоположного значения) фактора  $F$  предлагается использовать формулу

$$(9) \text{ Inv}(F) = \begin{cases} (1 - \mu(F)), & \text{если } \mu(F) \text{ задана на } [0, 1], \\ (-1 - \mu(F)), & \text{если } \mu(F) \text{ задана на } [-1, 0], \\ (-\mu(F)), & \text{если } \mu(F) \text{ задана на } [-1, 1]; \end{cases}$$

где  $\mu(F)$  – функция принадлежности нечеткого числа, соответствующего лингвистическому значению  $QL_F$  фактора  $F$ .

При нахождении сверток векторного критерия в иерархии  $G$  под суммой или произведением лингвистических значений факторов понимается сумма или произведение соответствующих им нечетких чисел. В этом случае результат также является нечетким числом, которое необходимо лингвистически распознать, чтобы выработать суждение о качественном уровне показателей. Для этого вычисляется индекс схожести  $\Omega$ , характеризующий степень соответствия значения фактора той или иной качественной оценке из терм-множества лингвистической переменной  $QL$ .

Индекс схожести  $\Omega$  предлагается находить следующим образом:

$$(10) \Omega = \frac{(1+\tilde{\rho})}{2},$$

$$(11) \tilde{\rho} = \frac{\rho_{in} - \rho_{out}}{\rho_{in} + \rho_{out}},$$

где

$$\rho_{in} = \int_{a_1}^{a_4} \min[\mu_1(x); \mu_2(x)] dx; \quad \rho_{out} = \left| \int_{b_1}^{b_4} [\mu_2(x)] dx - \rho_{in} \right|,$$

( $\rho_{out}$  представляет собой площадь НЧВ ( $b_1, b_2, b_3, b_4$ ), характеризующего результат, лежащую вне эталонного НЧ  $A(a_1, a_2, a_3, a_4)$ , а  $\rho_{in}$  – площадь, лежащая внутри этого же НЧ).

Определенный таким образом индекс схожести, изменяясь от 0 до 1, характеризует близость найденной свертки к тому или иному нечеткому числу, которое, в свою очередь, соответствует элементу эталонного терм-множества. При этом обеспечивается семантическое соответствие: чем больше индекс схожести, тем выше степень соответствия вычисленного значения одному из элементов терм-множества  $QL$ .

Разница индексов схожести качественных оценок может быть использована в качестве *метрической характеристики степени близости двух нечетких состояний*. В частности, она может быть использована в качестве *метрической характеристики степени адекватности нечеткой когнитивной модели*.

Построенная НКМ должна быть открыта для совершенствования и уточнения. Этому способствует принцип *унификации представления новых знаний для включения их в состав модели*. Для включения в состав модели новых знаний, полученных в результате изучения процессов, происходящих в исследуемой системе, предлагается представлять эти знания в виде НКМ более низкого уровня, построенной по изложенному выше алгоритму. При этом на верхний уровень передается максимальное значение связи, выявленное в ходе анализа НКМ нижнего уровня. Такой иерархический способ построения НКМ позволяет унифицировать форму представления знаний, способствует более эффективному их хранению и обработке.

Значения концептов НКМ в общем случае являются функциями времени  $t$ . При проведении динамических расчетов необходимо задать их начальные значения при  $t = 0$ . Тогда значение произвольного концепта  $K_j$  в дискретные моменты времени  $t = 1, 2, 3, \dots$  находится по формуле

$$(12) K_j(t) = K_j(t-1) + H(\Delta U_i, STS, t),$$

где  $H(\Delta U_i, STS, t)$  – заданная кортежем  $STS$  обобщенная функция влияния приращений  $\Delta U_i$  воздействующих на  $K_j$  концептов на выходное значение  $K_j$ .

Алгоритм нахождения начальных значений концептов зависит от того, к какому типу процессов они относятся. В случае объективных процессов, вызванных техногенными или природными источниками, для этого используются методы статистического анализа, в результате применения которых после нормирования каждому фактору ставится в соответствие некоторая функция принадлежности на  $[-1, 1]$ .

В случае же субъективного фактора для определения значения концепта необходимо построить «модель субъекта» – НКМ более низкого уровня иерархии. При этом учитываются: уровень прав субъекта в системе; уровень мотивированности его действий, зависящий от степени лояльности, от его психологического портрета, преследуемых субъектом целей и т.д.; психофизические возможности субъекта; его компетентность (уровень знаний и навыков); техническая оснащенность (используемые методы и средства) (рис. 1).

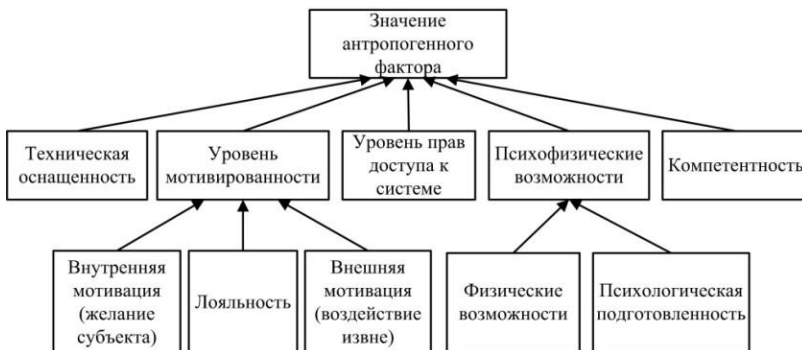


Рис. 1. НКМ для определения уровня антропогенных факторов

Последовательное нахождение сверток векторного критерия на всех уровнях иерархии когнитивного функционального графа позволяет оценить состояние системы в текущий момент времени и выработать обоснованное суждение о необходимости *синтеза управляющих решений (СУР)*.

## 7. Синтез управляющих решений.

Решение задачи СУР подразумевает вывод системы на необходимый целевой уровень функционирования, обычно определяемый ЛПР нечетко, путем соответствующих воздействий на наиболее значимые наборы факторов  $X_i$  (управляющие кластеры), на которые ЛПР имеет возможность влиять, путем изменения значений входящих в эти кластеры концептов  $U_i$ .

Управляющие кластеры  $X_i$  *независимо* друг от друга влияют на целевые концепты. Для нахождения значений управляющих концептов  $U_i$ , совокупность которых обеспечивает необходимое значение кластера  $X_i$ , строится НКМ более низкого уровня, согласно принципу *унификации представления знаний*.

При использовании для нахождения значений концептов на каждом из уровней иерархии НКМ (кроме, возможно, последнего, «нулевого») аддитивной свертки вида

$$(13) K_j = \sum_i s_{ij} K_i,$$

где  $\{K_i\}$  — совокупность факторов, влияющих на фактор более высокого уровня  $K_j$ ;  $s_{ij}$  — веса влияния  $i$ -го фактора на  $j$ -й;  $\{K_i\}$  и  $K_j$  нормированы относительно своих максимально и минимально возможных значений по формуле (6)); совокупный по всем возможным путям влияния  $t$  вклад приращений управляющих факторов  $\Delta U_i$  в приращение значения целевого концепта  $\Delta K_n$  находится по формуле

$$(14) \Delta K_n = \sum_i a_{in} \Delta U_i,$$

где

$$(15) a_{in} = \sum_m a_m^{in};$$

$$(16) a_m^{in} = \prod_l s_{ml}^{in};$$

$s_{ml}^{in}$  — вес ребра  $l$  в  $m$ -й связи между  $U_i$  и  $K_n$ .

Исходя из принципа *совместного использования количественной и качественной информации*, все значения концептов

представляются в виде нечетких чисел. Аддитивная свертка не меняет форму нечетких чисел, она лишь сдвигает их в рамках  $[-1, 1]$ . Это позволяет использовать значение сдвига в качестве числовой характеристики приращения факторов. Разница между значениями факторов в этом случае также может быть выражена величиной сдвига, отличающего одно НЧ от другого.

С учетом вышеизложенного в случае использования в НКМ аддитивной свертки предлагается следующая методика СУР, состоящая из *двух* этапов. *На первом* решается задача нахождения минимальных наборов кластеров и их приращений для приведения целевых концептов к заданному ЛППР уровню. *На втором этапе* для каждого кластера в каждом из наборов определяется такое множество приращений входящих в него управляющих концептов, которое, с одной стороны, обеспечивает необходимое приращение значения кластера, вычисленное на предыдущем этапе, а с другой – требует минимальных затрат (материальных, временных, финансовых и т.п.) для его достижения. В качестве управляющего решения выбирается набор кластеров, имеющий минимальную «стоимость» реализации.

Задача *первого этапа* – нахождение необходимого приращения значений кластеров – сводится к решению матричного уравнения

$$(17) A \cdot \Delta X = \Delta K,$$

где  $A = \{a_{ij}\}$  – матрица коэффициентов влияния приращений кластера  $X_i$  на приращение  $j$ -го целевого концепта  $K_j$  (матрица смежности);  $a_{ij} \in [0, 1]$  и находится по формулам (15) и (16), в которых в качестве  $U_i$  выступают кластеры  $X_i$ ;  $\Delta X = \{\Delta X_i\}$  – вектор приращений значений кластеров  $X_i$ ;  $\Delta K = \{\Delta K_j\}$  – вектор необходимых приращений значений целевых концептов ( $K_j$  находятся как разница между заданными ЛППР для  $j$ -го целевого концепта значениями и текущей величиной данного целевого концепта);  $\cdot$  – символ операции агрегирования нечетких значений, в качестве которой используется композиция «*max-product*»:  $K_j = \max \{a_{ij} \cdot \Delta X_i\}$ . Матричное уравнение, расписанное по элементам вектора  $K_j$ , превращается в систему уравнений вида

$$(18) \vee_i a_{ij} \cdot \Delta X_i = K_j,$$

где под дизъюнкцией понимается операция взятия максимума.

В общем случае нахождение решений такой системы уравнений, как было показано А.В. Марковским [17], эквивалентно решению задачи нахождения множества безыбыточных покрытий, которая является  $NP$ -полной задачей, поскольку к ней сводится известная  $NP$ -полная задача нахождения минимального покрытия (содержащего минимальное число элементов и, следовательно, безыбыточного). Поэтому необходимо использовать все возможные средства упрощения как самой системы, так и соответствующей ей таблицы покрытий.

Алгоритм сокращения размерности задачи и ее решения сводится к следующему:

1. Исключаются из рассмотрения несущественные переменные  $X_i$ , коэффициенты при которых удовлетворяют неравенству  $a_{ij}/K_j < 1$  во всех уравнениях системы (т.е. диапазон изменения значений несущественных переменных недостаточен для того, чтобы влиять на выполнение уравнений системы).

2. Для оставшихся (существенных) переменных находятся их базовые значения в соответствующих уравнениях. Базовым значением существенной переменной  $X_i$  называется величина  $\hat{X}_i$ , равная минимуму отношений  $K_j/a_{ij}$  для всех уравнений, содержащих  $X_i$ . Значение  $\hat{X}_i$  считается *принадлежащим* уравнению  $j$ , если  $\hat{X}_i = K_j/a_{ij}$ , т.е. минимум достигается на данном уравнении  $j$ . Базовое значение может принадлежать нескольким уравнениям.

3. Строится таблица покрытий  $T$ . Столбцы таблицы соответствуют переменным  $X_i$ , строки – номерам уравнений системы. Если значение  $\hat{X}_i$  *принадлежит* уравнению  $j$ , то в ячейке  $(i, j)$  таблицы  $T$  ставится 1, иначе – 0. При этом считается, что столбец принадлежит *ядру* таблицы покрытий, если существует строка, покрываемая только им. Такой столбец входит в любое покрытие. Не каждая таблица имеет ядро, но если оно выделено, то таблицу можно сократить, вычеркнув все принадлежащие ядру столбцы и покрываемые ими строки.

4. Находится множество безыбыточных покрытий. Избыточной называют строку  $t_j$ , которую можно удалить из таблицы без изменения множества возможных покрытий. Строка является избыточной, если любое покрытие строк таблицы  $T$ , отличных от  $t_j$ , покрывает также и строку  $t_j$ . Это имеет место, если



строка  $t_j$  мажорирует некоторую другую строку  $t_j$ , т.е.  $t_j$  содержит единицы во всех столбцах таблицы  $T$ , в которых содержит единицы строка  $t_j$ .

Оставшиеся после удаления избыточных строк ненулевые столбцы образуют множество безызбыточных решений, которые соответствуют минимальным наборам приращений кластеров  $D_q = \{\Delta X_j\}$ , обеспечивающим переход системы в целевое состояние.

Задача *второго этапа* решается следующим образом. Каждый кластер  $X_j$ , входящий в  $D_q$ , представляется в виде НКМ, описывающей влияние приращений входящих в него управляющих факторов  $U_i^j$  на приращение всего кластера  $\Delta X_j$ . С учетом (14)–(16) значения  $\Delta U_i^j$  должны удовлетворять уравнениям

$$(19) \sum_i b_{ij} \Delta U_i^j = \Delta X_j, \quad i=1, \dots, N; \quad q=1, \dots, M,$$

где  $M$  – количество кластеров в минимальном наборе;  $N$  – количество  $U_i^j \in X_j$ ;  $b_{ij}$  – веса влияния  $\Delta U_i^j$  на  $\Delta X_j$ . При этом, поскольку кластеры должны различаться хотя бы одной парой  $U_i^j$ , то всегда  $N > M$ . На приращения  $\Delta U_i^j$  накладываются ограничения

$$(20) \Delta \tilde{U}_i^j \leq \Delta U_i^j \leq \Delta \hat{U}_i^j,$$

где  $\Delta \tilde{U}_i^j$ ;  $\Delta \hat{U}_i^j$  – минимально и максимально возможное приращение  $U_i^j$ .

После перехода к переменным  $\Delta \dot{U}_i^j = \Delta U_i^j - \Delta \tilde{U}_i^j$  выражения (19) и (20) примут вид

$$(21) \sum_i b_{ij} \Delta \dot{U}_i^j = \Delta \dot{X}_j, \quad \text{где } \Delta \dot{X}_j = \Delta X_j - \sum_i b_{ij} \Delta \tilde{U}_i^j,$$

$$(22) \Delta \dot{U}_i^j \leq \Delta \hat{U}_i^j - \Delta \tilde{U}_i^j; \quad \Delta \dot{U}_i^j \geq 0.$$

Для каждого набора  $D_q$ , подбирается такая совокупность приращений управляющих факторов  $\Delta U_i^j$ , входящих в кластеры  $X_j$ , которая удовлетворяет (21)–(22) и обеспечивает минимум «стоимости»  $P_{D_q}$  реализации приращения набора  $D_q$ :

$$(23) P_{D_q} = \sum_i P_{\Delta U_i} \cdot \Delta U_i \rightarrow \min,$$

где  $P_{\Delta U_i}$  – «стоимость» приращения управляющего фактора  $U_i$  (суммирование ведется по всем  $U_i$ , независимо от того, в какой кластер  $X_j$  набора  $D_q$  они входят).

Таким образом, для реализации второго этапа СУР получаем задачу линейного программирования (ЗЛП) (21)–(23), которая решается симплекс-методом. Если каждый управляющий фактор  $U_i^j$  входит лишь в один кластер  $X_j$ , решение ЗЛП упрощается. В этом случае с целью удовлетворения условия (23) при решении уравнений (21) для каждого  $U_i^j$  вычисляется величина  $c_{ij}=b_{ij}/P_{\Delta U_i^j}$ . Затем  $U_i^j$  упорядочиваются по убыванию значений  $c_{ij}$  и решение уравнений (21) обеспечивается последовательным выбором максимально возможных значений  $\Delta \tilde{U}_i^j$  в упорядоченной последовательности до получения значения  $\Delta \bar{X}_j$ , после чего оставшиеся значения  $\Delta U_i^j$  принимаются равными нулю. Найденные значения  $\Delta U_i^j$  обеспечивают минимум «стоимости»  $P_{D_q}$  для каждого из наборов  $D_q$ . В качестве управляющего решения (УР) выбирается  $D_q$ , имеющий минимальную «стоимость» реализации:

$$(24) \text{ УР} = D_Q, \text{ где } Q = \arg \min_q (P_{D_q}).$$

В общем случае при использовании в НКМ не аддитивной свертки методика СУР сводится к обеспечению минимума разницы между заданным ЛПР значением  $\bar{K}_0$  и текущей величиной данного целевого концепта  $\tilde{K}_0$ :

$$\Delta K_0(\Delta U_i) = |\tilde{K}_0(t) - \bar{K}_0| \rightarrow \min.$$

С учетом (12):

$$(25) \Delta K_0(\Delta U_i) = |K_0(t-1) + H(\Delta U_i, STS, t) - \bar{K}_0| \rightarrow \min.$$

Остаются в силе ограничения (20), которые совместно с (25) образуют задачу условной оптимизации на пространстве нечетких управляющих воздействий  $\Delta U_i$ . Ее решение целесообразно осуществлять методом прямого поиска (например, методом Хука–Дживса), поскольку применение градиентных методов затруднено из-за необходимости вычисления производных функции  $H(\Delta U_i, STS, t)$ . В качестве начальной выбирается точка с координатами  $(\Delta \tilde{U}_i^j)$ . Если при уменьшении  $\Delta U_i$  уменьшения  $\Delta K_0(\Delta U_i)$  не происходит, то это означает, что решения задачи нет.

В случае, когда функция  $\Delta K_0(\Delta U_i)$  оказывается не унимодальной (т.е. достигает целевого состояния при разных значени-

ях  $\Delta U_i$ ), необходимо оценить «стоимость» каждого решения и выбрать решение с минимальной «стоимостью».

### 8. Расчетный пример

В качестве примера рассмотрим процесс СУР, направленных на усиление безопасности информационных систем (ИС). Пусть необходимо вывести основные сервисы информационной безопасности (ИБ), такие как конфиденциальность ( $K_1$ ), целостность ( $K_2$ ) и доступность ( $K_3$ ), на уровень, характеризуемый лингвистическим значением «Выше среднего» ( $BC^+$  по шкале (4)). Предположим, что для достижения поставленной цели ЛПР имеет возможность усилить различные наборы механизмов защиты информации (ЗИ). В качестве таковых могут, например, выступать: набор средств правовой защиты ( $X_1$ ), набор организационно-технических мер ( $X_2$ ), набор программно-аппаратных (в том числе криптографических) мер ЗИ ( $X_3$ ), набор инженерно-технических мер ЗИ ( $X_4$ ). Допустим в результате построения НКМ были определены веса влияния  $X_i$  на  $K_j$  в соответствии с формулами (15)–(16) (таблица 1). В этой же таблице приведены начальные и целевые значения сервисов ИБ, а также величина приращения (сдвига трапецидальных НЧ из терм-множества (5)), необходимых для достижения целевого значения.

Таблица 1.

	$\Delta X_1$	$\Delta X_2$	$\Delta X_3$	$\Delta X_4$	$K_j^{\text{нач}}$	$K_j^{\text{целевое}}$	$\Delta K_j$
$K_1$	0,35	0,60	0,26	0,76	НС <sup>+</sup>	BC <sup>+</sup>	0,40
$K_2$	0,15	0,26	0,80	0,60	C <sup>+</sup>	BC <sup>+</sup>	0,20
$K_3$	0,15	0,30	0,80	0,60	C <sup>+</sup>	BC <sup>+</sup>	0,20

Соответствующая система уравнений (18) будет иметь вид:

$$(26) \begin{cases} 0,35\Delta X_1 \vee 0,60\Delta X_2 \vee 0,26\Delta X_3 \vee 0,76\Delta X_4 = 0,40, \\ 0,15\Delta X_1 \vee 0,26\Delta X_2 \vee 0,80\Delta X_3 \vee 0,60\Delta X_4 = 0,20, \\ 0,15\Delta X_1 \vee 0,30\Delta X_2 \vee 0,80\Delta X_3 \vee 0,60\Delta X_4 = 0,20. \end{cases}$$

Очевидно, что приращение кластера  $X_1$  несущественно. Остальные переменные ( $\Delta X_2, \Delta X_3, \Delta X_4$ ) являются существенными и

имеют следующие базовые значения (в скобках указаны номера уравнений, которым эти значения принадлежат):

$$\Delta\widehat{X}_2=2/3 \text{ (1; 3); } \Delta\widehat{X}_3=1/4 \text{ (2; 3); } \Delta\widehat{X}_4=1/3 \text{ (2; 3).}$$

Соответствующая таблица покрытий имеет следующий вид (таблица 2):

Таблица 2.

	$\Delta X_2$	$\Delta X_3$	$\Delta X_4$
$K_1$	1		
$K_2$		1	1
$K_3$	1	1	1

Строка  $K_3$  мажорирует строки  $K_1$  и  $K_2$ . Следовательно, она может быть исключена из рассмотрения. В результате после первого этапа процедуры СУР получаются два минимальных решения:

$$D_1 = \{\Delta\widehat{X}_2; \Delta\widehat{X}_3\} \text{ и } D_2 = \{\Delta\widehat{X}_2; \Delta\widehat{X}_4\}.$$

На втором этапе рассмотрим более подробно  $\Delta X_j$ , входящие в наборы  $D_1$  и  $D_2$ . Допустим известно, что каждое  $\Delta X_j$  аддитивно зависит от приращений входящих в его состав механизмов ЗИ ( $\Delta U_i$ ) и методом нестрогого ранжирования определены веса данного влияния (веса Фишберна). Предположим, что в результате получены следующие зависимости:

$$\Delta X_2 = (1/3)\Delta U_1 + (1/3)\Delta U_2 + (1/3)\Delta U_3,$$

$$\Delta X_3 = (2/4)\Delta U_4 + (1/4)\Delta U_5 + (1/4)\Delta U_6,$$

$$\Delta X_4 = (1/3)\Delta U_7 + (1/3)\Delta U_8 + (1/3)\Delta U_9,$$

где под  $\Delta U_i$  могут пониматься, например, следующие механизмы ЗИ:

$\Delta U_1$  – разграничения доступа к информации (0,4 у.е.;  $\Delta U_1 \leq 0,4$ );

$\Delta U_2$  – разработка и внедрение инструкций по работе с информацией ограниченного доступа (ИОД) (0,2 у.е.;  $\Delta U_2 \leq 0,8$ );

$\Delta U_3$  – увеличение технических параметров вычислительных устройств (1,0 у.е.;  $\Delta U_3 \leq 0,9$ );

$\Delta U_4$  – усиление криптографических средств ЗИ (1,0 у.е.;  $\Delta U_4 \leq 0,4$ );

$\Delta U_5$  – усиление средств аутентификации пользователей (0,4 у.е.;  $\Delta U_5 \leq 0,4$ );

$\Delta U_6$  – усиление средств антивирусной защиты (0,6 у.е.;  $\Delta U_6 \leq 0,2$ );

$\Delta U_7$  – улучшение характеристик источников бесперебойного питания (1,0 у.е.;  $\Delta U_7 \leq 0,6$ );

$\Delta U_8$  – усиление инженерной защиты помещений (0,8 у.е.;  $\Delta U_8 \leq 0,6$ );

$\Delta U_9$  – улучшение характеристик коммуникационного оборудования (0,4 у.е.;  $\Delta U_9 \leq 0,4$ ).

В скобках указана относительная стоимость приращения  $\Delta U_i$  на 0,1 единицы и ограничения по возможности таких приращений.

Поскольку управляющие воздействия  $\Delta U_i$  в данном примере образуют непересекающиеся множества, при СУР каждый из наборов  $\Delta X_j$  можно рассматривать независимо.

Для каждого  $\Delta U_i$ , имеющего стоимость приращения  $P_{\Delta U_i}$  и влияющего на  $\Delta X_j$  с весом  $b_{ij}$ , вычислим величину  $c_{ij} = \frac{b_{ij}}{P_{\Delta U_i}}$ :

$$c_{12} = \left(\frac{1}{3}\right) : 0,4 = \frac{5}{6}; \quad c_{22} = \left(\frac{1}{3}\right) : 0,2 = \frac{10}{6}; \quad c_{32} = \left(\frac{1}{3}\right) : 1,0 = \frac{2}{6};$$

$$c_{43} = \left(\frac{2}{4}\right) : 1,0 = \frac{4}{8} = \frac{12}{24}; \quad c_{53} = \left(\frac{1}{4}\right) : 0,4 = \frac{15}{24}; \quad c_{63} = \left(\frac{1}{4}\right) : 0,6 = \frac{10}{24};$$

$$c_{74} = \left(\frac{1}{3}\right) : 1,0 = \frac{10}{30}; \quad c_{84} = \left(\frac{1}{3}\right) : 0,8 = \frac{8}{30}; \quad c_{94} = \left(\frac{1}{3}\right) : 0,4 = \frac{4}{30}.$$

Упорядочим  $c_{ij}$  в порядке убывания:

для  $\Delta X_2$ :  $c_{22} > c_{12} > c_{32} \Rightarrow$  порядок применения  $\Delta U_i$  с целью обеспечения приращения  $\Delta \widehat{X}_2 = 2/3$ :  $\{\Delta U_2, \Delta U_1, \Delta U_3\}$ ;

для  $\Delta X_3$ :  $c_{53} > c_{43} > c_{63} \Rightarrow$  порядок применения  $\Delta U_i$  с целью обеспечения приращения  $\Delta \widehat{X}_3 = 1/4$ :  $\{\Delta U_5, \Delta U_4, \Delta U_6\}$ ;

для  $\Delta X_4$ :  $c_{74} > c_{84} > c_{94} \Rightarrow$  порядок применения  $\Delta U_i$  с целью обеспечения приращения  $\Delta \widehat{X}_4 = 1/3$ :  $\{\Delta U_7, \Delta U_8, \Delta U_9\}$ .

Таким образом, для обеспечения необходимых приращений  $\Delta \widehat{X}_j$  получаем следующие решения:

$$\Delta \widehat{X}_2 = \frac{2}{3} = \frac{1}{3} 0,8(U_2) + \frac{1}{3} 0,4(U_1) + \frac{1}{3} 0,8(U_3),$$

$$\Delta \widehat{X}_3 = \frac{1}{4} = \frac{1}{4} 0,4(U_5) + \frac{2}{4} 0,3(U_4) + \frac{1}{4} 0,0(U_6),$$

$$\Delta \widehat{X}_4 = \frac{1}{3} = \frac{1}{3} 0,6(U_7) + \frac{1}{3} 0,4(U_8) + \frac{1}{3} 0,0(U_9).$$

Стоимость приращения  $\Delta\widehat{X}_3$  составляет  
 $P_{\Delta\widehat{X}_3} = 0,4P_{\Delta U_5} + 0,3P_{\Delta U_4} = 0,4 \cdot 0,4 + 0,3 \cdot 1,0 = 0,46$ .

Стоимость приращения  $\Delta\widehat{X}_4$  составляет  
 $P_{\Delta\widehat{X}_4} = 0,6P_{\Delta U_7} + 0,4P_{\Delta U_8} = 0,6 \cdot 1,0 + 0,4 \cdot 0,8 = 0,92$ .

Расчеты показывают, что стоимость минимального решения  $D_1 = \{\Delta\widehat{X}_2; \Delta\widehat{X}_3\}$  меньше стоимости решения  $D_2 = \{\Delta\widehat{X}_2; \Delta\widehat{X}_4\}$ . Следовательно, первое минимальное решение является более предпочтительным.

Таким образом, в состав УР в рассмотренном примере войдут приращения следующих механизмов ЗИ:  $U_1$  (разграничения доступа к информации) на 0,4;  $U_2$  (разработка и внедрение инструкций по работе с ИОД) на 0,8;  $U_3$  (увеличение технических параметров вычислительных устройств) на 0,8;  $U_4$  (усиление криптографических средств ЗИ) на 0,3;  $U_5$  (усиление средств аутентификации пользователей) на 0,4.

Заметим, что если исходные значения параметров заданы лингвистически (в терминах классификатора (4)), то приращение их функций принадлежности на 0,2 означает переход к следующему значению терм-множества ЛП «Уровень фактора». Например, от значения  $HC^+$  к значению  $C^+$ .

## 9. Выводы

Предложенный подход к исследованию и управлению СТС позволяет учесть все их основные особенности. Для оценки значений антропогенных факторов предложено использовать НКМ, в перечень концептов которой входят основные свойства, влияющие на поведение человека в составе СТС. При переходе от вербального описания состояния концептов к количественному их определению в виде нечеткого числа (НЧ) использован 9-уровневый классификатор, представляющий собой «серую» оппозиционную шкалу, которая более достоверно отражает имеющуюся неопределенность, поскольку в такой шкале переход от свойства к его отрицанию осуществляется постепенно, а не ступенчато, как при обычно применяемом в нечетком когнитивном моделировании интервальном шкалировании. В рамках концепции введена количественная мера схожести двух нечет-

ких состояний, а интенсивность нечетких связей в НКМ в случае, когда значение фактора-следствия или его приращения является результатом совместного влияния нескольких факторов, предложено определять с помощью обобщенных весов Фишберна. Все это, в свою очередь, позволило разработать методику синтеза управляющих решений с минимальной «стоимостью», выводящих СТС на необходимый целевой уровень функционирования.

### Литература

1. АВДЕЕВА З.К., КОВРИГА С.В., МАКАРЕНКО Д.И. *Когнитивное моделирование для решения задач управления слабоструктурированными системами (ситуациями)* // Когнитивный анализ и управление развитием ситуаций. Труды 6-й Межд. конф. / Под ред. З.К. Авдеевой, С.В. Ковриги. М.: Институт проблем управления РАН, 2006. – С. 41–54.
2. АВДЕЕВА З.К., МАКСИМОВ В.И., РАБИНОВИЧ В.М. *Интегрированная система «КУРС» для когнитивного управления развитием ситуаций* // Тр. ИПУ РАН. – Т. XIV. – М.: ИПУ РАН, 2001. – С. 89–114.
3. АЖМУХАМЕДОВ И.М. *Анализ и управление комплексной безопасностью на основе когнитивного моделирования* // Управление большими системами. – 2010. – №29. – С. 5–15.
4. АСАНОВ А.А., ЛАРИЧЕВ О.И. *Влияние надежности человеческой информации на результаты применения методов принятия решений* // Автоматика и телемеханика. – 1999. – №5. – С. 20–31.
5. ГОРЕЛОВА Г.В., РАДЧЕНКО С.А. *Программная система когнитивного моделирования социотехнических систем* // Изв. ТРТУ. Тем.вып. «Актуальные проблемы экономики, менеджмента и права». – 2004. – №4(39). – С. 218–227.
6. ДИЕВ В.С. *Нечеткость в принятии решений* // Философия науки. – 1998. – №1 (4). – С. 45–52.
7. ЗАБОЛОТСКИЙ М.А., ПОЛЯКОВА И.А., ТИХОНИН А.В. *Применение когнитивного моделирования в управлении ка-*

- чеством подготовки специалистов // Управление большими системами. – 2007. – №16. – С. 91–98.
8. КОВРИГА С.В., МАКСИМОВ В.И. *Применение структурно-целевого анализа развития социально-экономических ситуаций* // Проблемы управления. – 2005. – №3. – С. 39–43.
  9. КОРНОУШЕНКО Е.К., МАКСИМОВ В.И. *Управление ситуацией с использованием структурных свойств ее когнитивной карты* // Тр. ИПУ РАН. – Т. XI. – М.: ИПУ РАН, 2000. – С. 85–90.
  10. КОРОСТЕЛЕВ Д.А., ЛАГЕРЕВ Д.Г., ПОДВЕСОВСКИЙ А.Г. *Система поддержки принятия решений на основе нечетких когнитивных моделей «ИГЛА»* // Труды 11-й нац. конф. по искусственному интеллекту с международным участием КИИ-2008.– Т.3. – М., 2008. – С. 327–329.
  11. КУЛИНИЧ А.А. *Когнитивная система поддержки принятия решений «Канва»* // Программные продукты и системы. – 2002. – №3. – С. 25–28.
  12. КУЛИНИЧ А.А., МАКСИМОВ В.И. *Система концептуального моделирования социально-политических ситуаций «Компас»* // Сб. докл. «Современные технологии управления». Науч.-практ. семинар «Современные технологии управления для администрации городов и регионов». – М., 1998. – С. 115–123.
  13. ЛАРИЧЕВ О.И., МОШКОВИЧ Е.М. *Качественные методы принятия решений. Вербальный анализ решения*. – М.: Наука, 2006. – 208 с.
  14. МАКСИМОВ В.И. *Структурно-целевой анализ развития социально-экономических ситуаций* // Проблемы управления. – 2005. – №3. – С. 30–38.
  15. МАКСИМОВ В.И., ГРИГОРЯН А.К., КОРНОУШЕНКО Е.К. *Программный комплекс «Ситуация» для моделирования и решения слабоформализованных проблем* // Междунар. конф. по проблемам управления. – Т.2.– М., 1999. – С. 58–65.
  16. МАКСИМОВ В.И., КОРНОУШЕНКО Е.К. *Аналитические основы применения когнитивного подхода при решении слабоструктурированных задач* // Труды ИПУ РАН. – Т.2. – М., 1999. – С. 95–109.



17. МАРКОВСКИЙ А.В. *О решении нечетких уравнений типа «max-product» в обратных задачах управления и принятия решений* // Автоматика и телемеханика. – 2004. – №9. – С. 149–159.
18. ОСТАПЕНКО Г.А., МЕШКОВА Е.А. *Информационные операции и атаки в социотехнических системах* / Под редакцией Борисова В.И. – М: Горячая линия-Телеком, 2006. – 184 с.
19. ПОСПЕЛОВ Д.С. «Серые» и/или «черно-белые» шкалы // Прикладная эргономика. Специальный выпуск «Рефлективные процессы». – 1994. – №1. – С. 15–21.
20. ПРОТАЛИНСКИЙ О.М. *Применение методов искусственного интеллекта при автоматизации технологических процессов*. – Астрахань: Изд. АГТУ, 2004. – 184 с.
21. ПРОТАЛИНСКИЙ О.М., АЖМУХАМЕДОВ И.М. *Системный анализ и моделирование слабо структурированных и плохо формализуемых процессов в социотехнических системах* // «Инженерный вестник Дона»: электронный научно-инновационный журнал, 3/2012. – [Электронный ресурс] URL: <http://www.ivdon.ru/magazine/latest/n3y2012/910> (дата обращения 27.03.2013).
22. РОБЕРТС Ф.С. *Дискретные математические модели с приложениями к социальным, биологическим и экономическим задачам*. – М.: Наука, 1986. – 497 с.
23. ЧИМШИР В.И. *Проектное управление сложными социотехническими системами на основе рефлексии* // Восточно-Европейский журнал передовых технологий. – 2011. – №3/2(51). – С. 25–28.
24. ЯРУШКИНА Н.Г. *Нечеткие гибридные системы. Теория и практика* – М.: Физматлит, 2007. – 208 с.
25. CHAULA J.A. *A Socio-Technical Analysis of Information Systems Security Assurance A Case Study for Effective Assurance* // Department of computer and systems sciences Stockholm University/KTH Ph.D. theses: No 06-016. – [Электронный ресурс] URL: [www.dsv.su.se/eng/publikationer/index.html](http://www.dsv.su.se/eng/publikationer/index.html) (дата обращения 27.03.2013).

26. FREY W. *Socio-Technical Systems in Professional Decision Making*. – [Электронный ресурс] URL: <http://cnx.org/content/m14025/latest> (дата обращения 27.03.2013).
27. GREEN D. *Socio-technical Systems in Global Markets*. – [Электронный ресурс] URL: <http://nuleadership.wordpress.com/2010/08/23/socio-technical-systems-in-global-markets> (дата обращения 27.03.2013.)
28. TRIST E.L. *The evolution of socio-technical systems: A conceptual framework and an action research program* // Ontario Quality of Working Life Center, Occasional Paper No. 2. – URL: <http://EzineArticles.com/239366> (дата обращения 27.03.2013).

## **CONTROL OF BADLY FORMALIZABLE AND POORLY STRUCTURED SOCIAL ENGINEERING SYSTEMS**

**Iskandar Azmuhamedov**, Astrakhan State Technical University, Astrakhan, Cand.Sc., assistant professor (aim\_agtu@mail.ru).

***Abstract:** We suggest a methodology for fuzzy cognitive modeling in badly formalizable social engineering systems (SES). We introduce the qualitative similarity measure for a pair of fuzzy states, and suggest using generalized Fishburn weights to determine the intensity of fuzzy links in a system. Also, we develop a technique for the synthesis of minimum cost management solutions, which bring the system to the desired target level of functioning.*

**Keywords:** badly formalized social engineering system, fuzzy cognitive modeling, similarity index, synthesis of control solutions.

*Статья представлена к публикации членом редакционной коллегии М. В. Губко*