

УДК 004.4, 004.822, 004.827

МОДЕЛИРОВАНИЕ ПРОЦЕССОВ УПРАВЛЕНИЯ В ОРГАНИЗАЦИОННЫХ СИСТЕМАХ НА ОСНОВЕ ТЕОРИИ НЕЧЕТКИХ КОГНИТИВНЫХ КАРТ

А. В. Крошилин, д.т.н., профессор кафедры ВПМ РГРТУ, Рязань, Россия;
orcid.org/0009-0007-0044-6570, e-mail: av_kroshilin@mail.ru

С. В. Крошилина, к.т.н., доцент кафедры ВПМ РГРТУ, Рязань, Россия;
orcid.org/0009-0009-0067-1115, e-mail: asak_kasa@mail.ru

Г. В. Овечкин, д.т.н., заведующий кафедрой ВПМ РГРТУ, Рязань, Россия;
orcid.org/0000-0001-6887-2217, e-mail: g_ovechkin@mail.ru

О. Д. Саморукова, аспирант РГРТУ, Рязань, Россия;
orcid.org/0009-0005-7168-9989, e-mail: samorukova.od@yandex.ru

Для обоснования принятия управленческих решений в бизнес-процессах в качестве научной базы выступает анализ деятельности предприятия (АДП). В связи с этим актуальным становится вопрос обеспечения автоматизации данного процесса в различных ситуациях, в том числе и связанных с неопределенностью, осуществляя оценку на заданном уровне, применяя современные методы исследований. В качестве решения упомянутой задачи рассматривается совершенствование методологии проектирования систем поддержки принятия решений, предназначенных для анализа функциональной деятельности организационной системы.

Цель работы: рассмотреть особенности разработки нечетких когнитивных карт для моделирования процессов управления в организационных системах. Авторами предложен метод построения универсальной когнитивной карты, который позволяет учесть различное направление дуг, представляющих концепты и их влияние друг на друга, кроме того, фиксировать изменение состояния концепта во времени и учет воздействия при его нелинейном характере. При такой реализации карты размерность представляемой с ее помощью модели управления значительно уменьшается.

Для процессов моделирования и анализа поведения организационных систем авторами разработана динамическая модель управления для нечеткой когнитивной карты, позволяющая описывать разные предметные области с учетом нелинейного характера влияния между концептами.

Ключевые слова: организационные системы, универсальные когнитивные карты, системы поддержки принятия управленческих решений, нечеткая логика.

DOI: 10.21667/1995-4565-2025-91-64-75

Введение

Непрерывно прогрессирующие процессы информационного и технологического характера, отличительными чертами которых являются масштабность, комплексность и стремительность изменений внешней среды и социально-экономические отношения, – вот реалии, в которых функционируют современные организации. Существующие учреждения, как правило, могут быть представлены в виде организационной системы, имеющей сложную устойчивую структуру, выполняющей ряд определенных самостоятельных функций. Методы моделирования на основе теории нечетких множеств считаются одним из наиболее продуктивных механизмов исследования вопросов и проектирования информационных систем в области управления организационными системами (ОргСис) [1, 6, 8]. Такое научное направление, как методология регулирования потоков, эффективным инструментом которой являются универсальные нечеткие когнитивные карты (УНКК) лежит в основе развития задач эффективного регулирования материальных потоков. УНКК получают широкое применение при автоматизации организационных систем, связанных с повышением эффективности стратегии управления, а именно при исследовании структуры модели процессов в ОргСис и прогнозирова-

нии ее изменений в условиях формирования различных управленческих воздействий [15]. Представление процессов в описанных системах в виде моделей считается основой построения систем поддержки принятия решений (СППР). Использование указанных методов позволяет существенно повысить эффективность управленческих решений в частности и привести к более рациональному управлению учреждением в целом [4, 6, 8, 14].

Применение теории когнитивного отображения в организационных системах

Одним из активно развивающихся и перспективных направлений прикладной когнитивной науки и теории поддержки принятия управленческих решений является когнитивное отображение предметной области (ПрО). Искусственный интеллект (ИИ) и методы управления знаниями находят свое применение в технологическом, методологическом и структурно-когнитивном отображении ПрО. Под когнитивным направлением понимается область междисциплинарных исследований с целью познания различных ПрО, которая характеризуется совокупностью накапливаемых, хранимых, преобразовываемых и используемых знаний, получаемых с применением автоматизированных искусственных или живых информационных систем (ИС). Когнитивный анализ пользуется методами математического моделирования, которые применяют различные подходы, как аппаратной, так и программной базы вне зависимости от рассматриваемой ПрО [10, 11, 19].

Ставить задачу эффективного планирования, прогнозирования и управления учреждением возможно исключительно после проведения анализа внешней среды, в условиях которой предполагается функционирование данной организационной системы. Внешняя среда может быть определена как совокупность факторов и субъектов, которые способны оказывать непосредственное или косвенное воздействие на возможность объекта управления и достигать запланированных целей развития [7, 9].

Необходимо отметить такую особенность внешней среды ОргСис, что и на нее саму оказывается влияние каких-либо внешних воздействий. Возьмем во внимание, что субъекты, которые могут автономно воздействовать на систему и обладают субъективными представлениями, образуют внешнюю среду. Введем предположение для разрабатываемой модели, что в большинстве случаев внешняя среда не подчиняется линейным законам, с помощью которых можно однозначно описать причинно-следственные связи [4, 15].

Применение НКК в качестве средств моделирования процессов управления ПрО позволяет наглядно отображать связи между причинами и следствиями, которые возникают между концептами, а также легко интерпретировать анализируемую ПрО [7, 16]. В качестве отличительных черт НКК важно отметить гибкость отображения области изучения, возможность абстрактной интерпретации и наличие некоторых элементов нечеткой логики (суждений) [12, 17]. Данные особенности делают возможным применение НКК в разных направлениях моделирования организационных систем.

Причинно-следственная связь, возникающая между концептами, отображается направленным ребром графа и определяет степень влияния между концептами (вес). Основной проблемой можно назвать процесс построения НКК, не поддающейся формализации. Дополнительные трудности возникают в процессе доказательства соответствия когнитивной карты реальной системе управления, выбранной для моделирования. Решение данной проблемы возможно с помощью разработки алгоритмов автоматического построения когнитивных карт на основе выборок различных данных [9, 16].

Учет динамики и накапливание связей между концептами

С целью моделирования процессов управления в организационных системах будем применять универсальные когнитивные карты с реализованными в них детерминированными имитационными моделями [3, 13], которые интерпретируют в качестве передаточных коэффициентов динамики значение веса в связях (на дугах), объединяющих концепты.

Таким образом, возможно проследить динамику происходящих процессов внутри имитационной модели, поскольку система реагирует на абсолютные приращения или уменьшения величины параметров на входе организационной системы, что позволяет производить анализ развития различных обстоятельств.

Приведем примеры нескольких видов моделей, они отображены на рисунке 1.

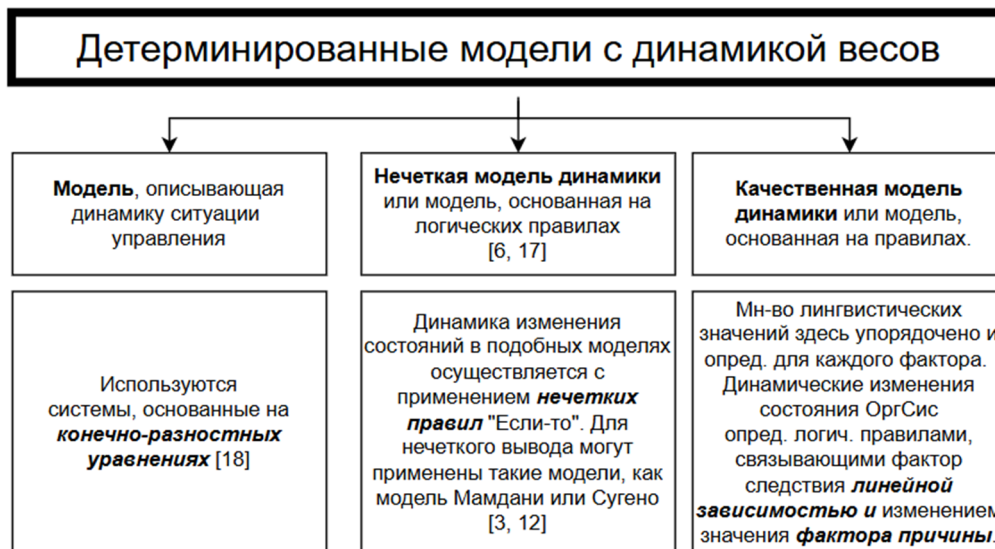


Рисунок 1 – Виды детерминированных моделей

Figure 1 - Types of deterministic models models

Подобно модели динамики [18], для анализа аккумуляции связей концептов, а также для учета их взаимного воздействия одного на другой применяется динамическое моделирование процессов управления. При таком подходе концепт модели управления может быть представлен как:

$$Con_j(t_2) = Con_j(t_1) + \sum_{i=1}^M \Delta Con_{ji}(t_2), \quad (1)$$

где t_1 – точка времени, в котором находится ОргСис; t_2 – следующая точка времени, в котором находится ОргСис; $\Delta Con_{ji}(t_2)$ – приращение измеряемого параметра; $Con_j(t_1)$ – значение j -го концепта в точке времени t_1 ; $Con_j(t_2)$ – значение j -го концепта в точке времени t_2 . Приращение параметра измерения является функцией нелинейного вида (получено авторами империческим путём) и вычисляется по формуле:

$$\Delta Con_{ji}(t_2) = g_{ji} [Con_i(t_1), Con_j(t_1), \Delta Con_i(t_1)]. \quad (2)$$

Эта функция $g_{ji} []$, отражает уровень влияния на выходные концепты Con_j , концепта Con_i , который является входным для организационной системы. Зависимости, представленные подобным образом, дают возможности моделировать поведение ОргСис даже с учетом нелинейного характера ее развития.

Если допустить, что воздействие концептов на входе независимо и аддитивно относительно концептов на выходе, то одну нечеткую систему (FS) с M входами можно представить как M систем с одним входом. Подобный подход позволяет в НКК динамично выстраивать модель управления. Далее будет рассмотрена именно совокупность таких систем (рисунок 2).

В моделях организационных систем, в которых используется один вход, для корректного анализа аккумуляции $\Delta \tilde{Con}_{ji}(t_2)$ кортежей нечетких выходных величин параметров используется специальное выражение, обозначаемое символом « $\oplus$ », – это операция алгебраического сложения для нечетких величин. Эта операция способна работать с нечеткими величинами обеих величин параметров и производить вычисления, меняя положение точки отсчёта в базовом кортеже [2, 5].

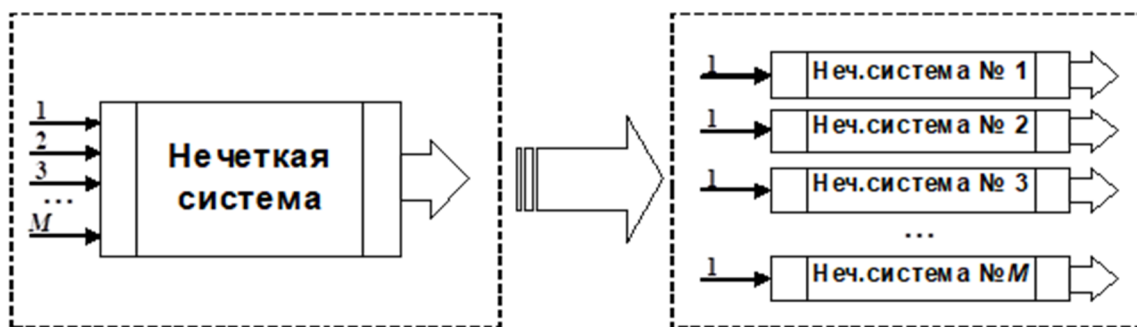


Рисунок 2 - Переход к системе с одним входом нечеткой когнитивной карты
Figure 2 – Transition to single-input fuzzy cognitive map system

После преобразований формула 2 будет иметь следующий вид:

$$\tilde{Con}_j(t_2) = \tilde{Con}_j(t_1) \oplus \left(\oplus \sum_{i=1}^M \Delta \tilde{Con}_{ji}(t_2) \right), \quad (3)$$

где $\oplus \sum_{i=1}^M$ – обозначается результат алгебраического сложения нечетких величин параметров модели организационной системы; $\Delta \tilde{Con}_{ji}(t_2)$ – увеличение концепта, представленное нечеткой величиной во временном промежутке t_2 . Увеличение концепта, возможно вычислить по следующей формуле:

$$\Delta \tilde{Con}_{ji}(t_2) = \tilde{f}_{ji} \left[\tilde{Con}_i(t_1), \tilde{Con}_j(t_1), \Delta \tilde{Con}_i(t_1) \right], \quad (4)$$

где $\Delta \tilde{Con}_{ji}(t_2)$ – кортеж нечетких величин параметров смежного с j -м выходным увеличением i -го концепта на входе организационной системы в точке времени t_2 ; $\tilde{Con}_j(t_1)$ – кортеж с нечеткими величинами параметров j -го концепта на входе организационной системы в точке времени t_1 ; $\tilde{Con}_i(t_1)$ – кортеж с нечеткими величинами параметров i -го концепта на выходе организационной системы в точке времени t_1 , $\Delta \tilde{Con}_i(t_1)$ – кортеж с нечеткими значениями величин параметров увеличения j -го концепта на входе организационной системы в точке времени t_1 ; $\tilde{f}_{ji} []$ – обозначается нечеткое представление функции отображения, в которой три параметра на входе преобразуются в один итоговый параметр на выходе.

Произведем преобразования в математической записи для ее упрощения – к нечеткому представлению функции отображения $\tilde{f}_{ji} []$ с тремя параметрами на входе можно свести друг за другом объединение двух нечетких систем, имеющих один с нечеткими величинами входной параметр.

Первую организационную систему с нечеткими величинами отобразим оператором $\tilde{u}_{ij}$, который работает с нечеткими представлениями. Кроме того, эта система будет определять величину влияния концептов друг на друга, характеризуя эти величины в абсолютных значениях.

Вторую организационную систему с нечеткими величинами FS отобразим нечетким представлением функции отображения $\tilde{f}_{ji} []$. После произведенных преобразований получим математическую запись:

$$\tilde{C}_i(t_2) = \tilde{C}_i(t_1) \oplus \left(\oplus \sum_{j=1}^M \tilde{f}_{ij} \left[\tilde{\omega}_{ij}(t_1), \Delta \tilde{C}_j(t_1) \right] \right), \quad (5)$$

где $\tilde{\omega}_{ij}(t_1)$ – величина меры воздействия концептов друг на друга, учитывая их начальное состояние; $\tilde{C}$ – обозначим концепты. Представленную величину возможно вычислить по формуле:

$$\tilde{\omega}_{ij}(t_1) = \tilde{u}_{ij} \left[\tilde{C}_i(t_1), \tilde{C}_j(t_1) \right]. \quad (6)$$

В терминах, применяемых в теории построения нечетких когнитивных карт возможно представить структурную схему модели динамики нечеткой когнитивной карты. Нечеткие продукционные системы типа Е. Мамдани [3, 8] наиболее соответствуют представленной структурной схеме.

Анализ области изучения позволил сделать вывод о том, что целесообразно применить $\tilde{u}_{ij}$ и $\tilde{f}_{ij}$. Соответственно для реализации идеи посредством применения набора терм-множеств (далее – ТМ) лингвистических термов (величин) паре концептов присваивается собственная функция принадлежности. Концепты модели управления $\tilde{C}_i$ и $\tilde{C}_j$ реализованы кортежами с нечеткими величинами параметров. Для приращения $\Delta\tilde{C}_j$ задается функция принадлежности, при этом $\tilde{C}_i$ оказывает влияние на выходной концепт. Из представленного терм-множества задаются определенные значения для лингвистических параметров $LP\tilde{C}_j$ и $LP\tilde{C}_i$, с помощью которых отображается концепт $\tilde{C}_j$ на входе организационной системы. Параметры $LP\tilde{C}_i$ можно представить следующей записью:

$$LP\tilde{C}_i = \langle \tilde{C}_i, L\tilde{C}_i, P\tilde{C}_i \rangle, \quad (7)$$

где $P\tilde{C}_i$ – для лингвистического параметра концепта $\tilde{C}_i$ на выходе организационной системы из начального ТМ; $L\tilde{C}_i$ – совокупность лингвистических параметров меры влияния i -го концепта области изучения (предметная область). $L\tilde{C}_i$ возможно представить записью, которая также позволяет определять совокупность начальных состояний i -го концепта:

$$L\tilde{C}_i = \{L\tilde{C}_{p_1}^i\} \text{ при } (p_1 = 1, 2). \quad (8)$$

Составляющие представленной совокупности – это термы, содержащие базовую величину оценки влияния $\tilde{C}_i$.

Концепт на входе организационной системы из начального ТМ для лингвистического параметра концепта $LP\tilde{C}_j$ возможно представить записью:

$$LP\tilde{C}_j = \langle \tilde{C}_j, L\tilde{C}_j, P\tilde{C}_j \rangle, \quad (9)$$

где $L\tilde{C}_j$ – совокупность лингвистических параметров меры влияния j -го концепта области изучения. $L\tilde{C}_j$ возможно представить записью, которая также позволяет определять совокупность начальных состояний j -го концепта:

$$L\tilde{C}_j = \{L\tilde{C}_{p_2}^j\} \text{ при } (p_2 = 1, 2, 3). \quad (10)$$

Составляющие представленной совокупности $L\tilde{C}_{p_2}^j$ – это термы, содержащие базовую величину оценки влияния $\tilde{C}_j$.

Первая нечеткая продукционная система ($NPSI$) описывает влияние концептов на входе организационной системы на выходные концепты, а также характеризует начальные состояния этих концептов. $NPSI$ входит в логическую схему модели динамики универсальной нечеткой когнитивной карты. $NPSI$ представляется оператором $\tilde{u}_{ij}$ с нечеткими величинами параметров.

Для лингвистического параметра концепта $LP\tilde{u}_{ij}$ задается определенным значением из начального ТМ, которое возможно представить следующей записью:

$$LP\tilde{u}_{ij} = \langle \tilde{u}_{ij}, L\tilde{u}_{ij}, P\tilde{u}_{ij} \rangle, \quad (11)$$

где $L\tilde{u}_{ij}$ – лингвистические параметры меры влияния между j -м и i -м концептами области изучения; $L\tilde{u}_{ij}$ возможно представить записью, которая также позволяет определять совокупность начальных состояний:

$$L\tilde{u}_{ij} = \{L\tilde{u}_{kh}^{ij}\} \text{ при } (k=1,2,2,3; h=1,1,2,2). \quad (12)$$

Составляющие представленной совокупности $L\tilde{u}_{kh}^{ij}$ – это термы, содержащие базовую величину оценки взаимного влияния двух концептов организационной системы.

Воздействие концептов друг на друга в абсолютном выражении возможно определить, используя продукционные правила с нечеткой величиной параметров (см. таблицу 1).

Таблица 1 – Пример продукционных правил с нечеткой величиной параметров для NPS1

Table 1 – Example of production rules with fuzzy parameter values for NPS1

№ п/п	Нечеткое правило
Прав№11:	IF $\tilde{C}_j = Lc_1^j$ & $\tilde{C}_i = Lc_1^i$ THEN $\tilde{\omega}_{ij}(t_k) = Lu_{11}^{ij}$
Прав№12:	IF $\tilde{C}_j = Lc_2^j$ & $\tilde{C}_i = Lc_1^i$ THEN $\tilde{\omega}_{ij}(t_k) = Lu_{21}^{ij}$
Прав№13:	IF $\tilde{C}_j = Lc_2^j$ & $\tilde{C}_i = Lc_2^i$ THEN $\tilde{\omega}_{ij}(t_k) = Lu_{22}^{ij}$
Прав№14:	IF $\tilde{C}_j = Lc_3^j$ & $\tilde{C}_i = Lc_2^i$ THEN $\tilde{\omega}_{ij}(t_k) = Lu_{32}^{ij}$

Вторая нечеткая продукционная система (NPS2) описывает влияние увеличения концептов на входе организационной системы на выходные концепты, а также характеризуется определенной величиной из начального ТМ. NPS2 имеет два входа и включена в логическую схему модели динамики универсальной нечеткой когнитивной карты. NPS2 представляется оператором $\tilde{f}_{ij}$ с нечеткими величинами параметров.

Для лингвистического параметра концепта $LP\tilde{f}_{ij}$ задается определенным значением за начального ТМ, которое возможно представить следующей записью:

$$LP\tilde{f}_{ij} = \langle \tilde{f}_{ij}, L\tilde{f}_{ij}, P\tilde{f}_{ij} \rangle, \quad (13)$$

где $L\tilde{f}_{ij}$ – лингвистические параметры меры влияния между увеличением концепта на входе организационной системы на выходной концепт; $L\tilde{f}_{ij}$ возможно представить записью, которая также позволяет определять совокупность начальных состояний:

$$L\tilde{f}_{ij} = \{L\tilde{f}_{kh}^{ij}\} \text{ при } (k=1,2,2,3; h=1,1,2,2). \quad (14)$$

Составляющие представленной совокупности $L\tilde{f}_{kh}^{ij}$ – это термы, содержащие базовую величину оценки взаимного влияния двух концептов организационной системы.

Вторая нечеткая продукционная система (NPS2), которая входит в состав универсальной нечеткой когнитивной карты, определяется нечетким оператором $\tilde{f}_{ij}$, для которого необходимо задать совокупность продукционных правил с нечеткой величиной параметров.

Эта совокупность правил будет задавать величину влияния увеличения концептов на входе организационной системы на выходные концепты в абсолютном выражении.

В таблице 2 отражена шкала взаимовлияния концептов организационной системы, наиболее часто применяемая экспертами при реализации НКК [16, 17], значения влияний концептов извлекаются из данных статистики, полученных при обучении НКК, и входят в диапазон $[-1, 1]$.

В таблице 3 представлены формулы, описывающие продукционные правила с нечеткой величиной параметров, использующие набор обозначений из шкалы взаимовлияния концептов организационной системы.

Количество продукционных правил с нечеткой величиной параметров для реализации $\tilde{f}_{ij}$ (оператора нечеткого отображения) невелико, так как мощность представленной совокупности термов Lu^{ij} , содержащей базовую величину оценки взаимного влияния двух концептов организационной системы достаточно мала. Таким образом, использование логической

двухкаскадной нечеткой продукционной системы в сравнении с однокаскадной (три входа) является более преимущественным. Такой подход позволяет сократить и упростить в целом построение всей моделируемой системы.

Таблица 2 – Шкала взаимовлияния концептов организационной системы
Table 2 – Scale of mutual influence of organizational system concepts

Значение веса	Описание	Условное обозначение
-1,0	Влияние очень сильное отрицательное	V_1
-0,75	Влияние сильное отрицательное	V_2
-0,5	Влияние среднее отрицательное	V_3
-0,25	Влияние слабое отрицательное	V_4
0,0	Нет влияния	V_5
+0,25	Влияние слабое	V_6
+0,5	Влияние среднее	V_7
+0,75	Влияние сильное	V_8
+1,0	Влияние очень сильное	V_9

Таблица 3 – Пример продукционных правил с нечеткой величиной параметров для NPS2
Table 3 – Example of production rules with fuzzy parameter values for NPS2

№ п/п	Нечеткое правило
Прав№ 21:	IF $\tilde{\omega}_{ij}(t_1) = Lu_{11}^{ij}$ & $\Delta\tilde{C}_j(t_1) = V_3$ THEN $\Delta\tilde{C}_{ij}(t_2) = Lu_{11}^{ij}$
Прав№ 22:	IF $\tilde{\omega}_{ij}(t_1) = Lu_{21}^{ij}$ & $\Delta\tilde{C}_j(t_1) = V_1$ THEN $\Delta\tilde{C}_{ij}(t_2) = Lu_{11}^{ij}$
Прав№ 23:	IF $\tilde{\omega}_{ij}(t_1) = Lu_{11}^{ij}$ & $\Delta\tilde{C}_j(t_1) = V_8$ THEN $\Delta\tilde{C}_{ij}(t_2) = Lu_{21}^{ij}$
Прав№ 24:	IF $\tilde{\omega}_{ij}(t_1) = Lu_{22}^{ij}$ & $\Delta\tilde{C}_j(t_1) = V_9$ THEN $\Delta\tilde{C}_{ij}(t_2) = Lu_{32}^{ij}$

Моделирование на основе нечетких когнитивных карт процессов управления

Итоговое нечеткое множество $Vol\Delta\tilde{C}_{ij}(t_2)$, получаемое в результате применения последовательной схемы модели процесса динамики нечеткой когнитивной карты, позволяет отобразить величину увеличения i -го концепта на входе организационной системы на j -й выходной концепт в точке времени t_2 . Будем применять операцию «максимума» для получения значений увеличения. Расчет будет произведен по каждому продукционному правилу с нечеткой величиной параметров, используя объединения функций принадлежности усеченного вида, на основе теории Е. Мамдани для нечеткого логического вывода.

Для совокупности всех концептов (M – мощность множества входных концептов) на входе организационной системы производится действие для получения концепта на выходе, которое возможно представить следующей записью:

$$Vol\Delta\tilde{C}_i(t_2) = \oplus \sum_{j=1}^M Vol\Delta\tilde{C}_{ij}(t_2), \quad (15)$$

где $Vol\Delta\tilde{C}_i(t_2)$ – вычисленное значение параметра для i -го концепта на выходе организационной системы, с учетом суммируемых значений $Vol\Delta\tilde{C}_{ij}(t_2)$. После этого производится вычисление для i -го концепта на выходе организационной системы в точке времени t_2 , складываются (с помощью оператора нечеткого сложения) суммарно накопленное значение модельной величины и значение нечеткой величины параметра концепта из точки времени t_1 . Выражение возможно представить следующей записью:

$$\tilde{C}_i(t_2) = \tilde{C}_i(t_1) \oplus Vol \Delta \tilde{C}_i(t_2). \quad (16)$$

На очередном шаге моделирования организационной системы необходимо производить расчет величин параметров по формуле 16.

Применение описанного подхода построения динамической модели универсальной нечеткой когнитивной карты, когда требуется выполнить перечисленные действия для всех концептов из кортежа C организационной системы в точке времени t , значительно облегчает процесс реализации модели по следующим причинам.

Первая причина: число продукционных правил удалось в значительной степени уменьшить благодаря переходу от нечеткой продукционной системы с тремя входными параметрами к логической последовательности пары систем, каждая из которых содержит по два входа, что не помешало получить корректный конечный результат (авторами проведена серия экспериментов).

Вторая причина: авторами было сделано предположение, которое позволило нечеткую продукционную систему, у которой на входе M параметров, заменить на M продукционных систем, у которых только один вход, что взаимовлияние концептов на входе организационной системы на выходные концепты можно характеризовать как независимые воздействия, и представить аддитивным. Это предположение позволит избежать при увеличении количества концептов на входе организационной системы экспоненциального увеличения количества продукционных правил.

На основе разработанной универсальной НКК были сформирован набор матриц влияния концептов. Построенная НКК была проверена на устойчивость и оценено ее поведение при различных внешних воздействиях. Разработанная универсальная НКК была использована в решении задачи моделирования управления организационной системой для распределения материальных потоков. В ходе реализации и апробации НКК были рассчитаны консонансы и диссонансы воздействия концептов, а также системные показатели НКК [7, 16]. Сделан вывод, что представленный набор действий хорошо подходит для анализа и исследования слабоструктурированных задач.

Был проведен детальный анализ задачи управления организационной системой для распределения материальных потоков, который позволил выявить следующие закономерности.

– Модель наилучшего материального потока можно представить причинно-следственными связями объектов, принадлежащих конечным множеством.

– В представленной модели для задачи управления организационной системой для распределения материальных потоков объектом является характеристика (концепт) параметров системы.

– Компоненты модели можно разделить на внешние, целевые, управляемые и промежуточные. Влияния объектов модели друг на друга имеют различную силу. Это влияние (причинно-следственные связи внутри модели между объектами) возможно представить дугами с положительными и отрицательными знаками.

– Вектор величин нечетких параметров объектов модели управления организационной системы для распределения материальных потоков является целевой функцией. Вектором исходных величин, всех моделируемых объектов представляется начальное состояние системы.

Учитывая вышеизложенное, авторами была создана информационная модель управления организационной системы распределения материальных потоков на основе теории разработки систем поддержки принятия решений и общей концепции системного подхода. Информационную модель можно представить в терминах теории универсальных алгебр, алгеброй A :

$$A = \langle M, C, D, K, H, G, V, O, P, Z, R, N, T \rangle, \quad (17)$$

где значение каждого параметра представлено в таблице 4.

Использование теории нечетких когнитивных карт хорошо зарекомендовало себя в автоматизации процессов управления в организационных системах для задач эффективного распределения материальных потоков.

Таблица 4 – Элементы универсальной алгебры A Table 4 – Elements of universal algebra A

Элемент	Описание
M	Кортеж совокупности с описанием проблемы моделируемого материального потока
C	Кортеж параметров, определяющих материальный поток
D	Кортеж целей управления
K	Кортеж, задающий параметры эффективности управления материального потока
H	Кортеж шкал для вычисления параметров K
G	Кортеж совокупности видов исследования потока
V	Кортеж отображения совокупности вариантов для подбора на кортеж параметров K
O	Кортеж совокупности альтернатив управления
P	Кортеж совокупности представленных целевых функций управления
Z	Кортеж пользовательских предпочтений в рамках организационной системы
R	Кортеж совокупности правил для принятия управленческих решений
N	Кортеж заданных отношений параметров
T	Кортеж представленных совокупностей операций управления

Заключение

Рассмотрены особенности разработки и реализации нечетких когнитивных карт для решения вопросов моделирования процессов управления в организационных системах. Обосновано применение теории когнитивного отображения в организационных системах. Представлен подход, применение которого позволяет одновременно учитывать влияние концептов организационных систем разных знаков друг на друга, а также принимать во внимание воздействие изменений концептов при нелинейном характере. Возможно производить параллельный учет влияния состояний концептов и величины их изменений. Изложенное позволяет ощутимо уменьшить размерность модели управления в организационных системах.

Приведено описание подхода к построению динамической модели универсальной нечеткой когнитивной карты, которая позволяет осуществлять анализ поведения организационных систем и управление процессами при распределении материальных потоков, обеспечивая при этом учет нелинейного характера связей между входными и выходными концептами в корреляции с нечеткой величиной параметров концептов.

Построена НКК, которая была проверена на устойчивость, и оценено ее поведение при различных внешних воздействиях. Разработанная универсальная НКК была использована в решении задачи моделирования управления организационной системой для распределения материальных потоков. Нечеткая производственная система отображения нечеткого кортежа увеличения параметров концепта на входе на отображение нечеткого кортежа измерений концепта на выходе дает возможность представления влияния концепта на концепт. Показано, что связи между концептами и сами концепты в структуре разработанной НКК могут быть представлены как четкими значениями, так и нечеткими значениями или функциями.

Библиографический список

1. Tishkina V.V., Pylkin A.N., Kroshilin A.V., Kroshilina S.V. The Software of a Mobile Application for Analyzing a Management Object based on Using Semantic Networks // 8th Mediterranean Conference on Embedded Computing, MECO 2019 – Proceedings. Budva, 2019. P. 8760184, pp. 266-269. DOI: 10.1109/MECO.2019.8760184. EDN: RNKOMS.
2. Алексеев А.В., Борисов А.Н., Меркурьева Г.В. и др. Обработка нечеткой информации в системах принятия решений. М.: Радио и связь, 1989.
3. Горелова Г.В., Захарова Е.Н., Радченко С.Н. Исследование слабоструктурированных проблем социально-экономических систем: когнитивный подход. Ростов-на-Дону: изд. РГУ, 2006. 332 с.
4. Пылькин А.Н., Крошили А.В., Крошили С.В., Доан Д.Х. Построение медицинских экспертных систем сопровождения медико-технологического процесса // Вестник Рязанского государ-

ственного радиотехнического университета. 2017. № 60. С. 123-130. DOI: 10.21667/1995-4565-2017-60-2-123-130. EDN: YSRVGN.

5. Дюбуа Д., Прад А. Теория возможностей. Приложения к представлению знаний в информатике / пер. с фр. В. А. Тарасова. М.: Радио и связь. 1990.

6. Жулев В.И., Крошили А.В., Крошили С.В. Проектирование систем поддержки принятия решений: учеб. пособие для вузов. М.: Горячая линия – Телеком. 2023. 180 с.

7. Каширин И.Ю., Крошили А.В., Крошили С.В. Автоматизированный анализ деятельности предприятия с использованием семантических сетей: Монография. М.: Горячая линия – Телеком, 2011. 140 с. EDN: RBAWMH.

8. Крошили А.В., Крошили С.В., Овечкин Г.В. Предметно-ориентированные информационные системы. М.: Общество с ограниченной ответственностью Издательство «КУРС». 2023. 176 с. EDN: XBPJW.

9. Жулева С.Ю., Крошили А.В., Крошили С.В. Поддержка принятия управленческих медицинских решений и природа неопределенности в них // Биомедицинская радиоэлектроника. 2021. Т. 24. № 4. С. 89-96. DOI: 10.18127/j15604136-202104-12. EDN: IVGGSX.

10. Пылькин А.Н., Майков К.А., Крошили А.В., Белицкий А.М. Учет качества разбиения при использовании модифицированного алгоритма нечеткой кластеризации исследуемых данных и методика ее построения // Вестник Рязанского государственного радиотехнического университета. 2016. № 58. С. 57-63. DOI: 10.21667/1995-4565-2016-58-4-57-63. EDN: XRFDPB.

11. Пылькин А.Н., Крошили А.В., Крошили С.В. Построение модели оценки состояния здоровья пациента в медицинских экспертных системах // Вестник Рязанского государственного радиотехнического университета. 2012. № 41. С. 64-70. EDN: PCSWSJ.

12. Крошили С.В., Крошили А.В. Интеллектуальные поисковые системы на основе нечеткой логики: учеб. пособие для вузов. М.: Горячая линия – Телеком. 2023. 140 с.

13. Кулинич А.А. Моделирование динамических процессов в понятийной системе субъекта для генерации креативных решений. Когнитивные исследования: сб. науч. трудов / под ред. В.Д. Соловьева. Вып. 1. 2006.

14. Крошили А.В., Крошили С.В., Попова А.А. Система поддержки принятия решений в вопросах управления медицинским персоналом. Свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ РФ № 2024613875. Заявл. № 2024612504 от 02.02.2024. Опубл. 16.02.2024. EDN: RVGVBN.

15. Попова А.А. Бизнес-процессы делегирования полномочий в организационных системах // Новые информационные технологии в научных исследованиях: Материалы XXVIII Всероссийской научно-технической конференции студентов, молодых ученых и специалистов. Рязань, 22-24 ноября 2023. Рязань: Рязанский государственный радиотехнический университет им. В.Ф. Уткина. 2023. С. 61-62. EDN: GUQAHN.

16. Жулева С.Ю., Крошили А.В., Крошили С.В., Пылькин А.Н. Применение нечетких когнитивных карт при управлении медицинскими материальными потоками // Биомедицинская радиоэлектроника. 2019. Т. 22. № 4. С. 77-84. DOI: 10.18127/j15604136-201904-11. EDN: OMJFRX.

17. Пылькин А.Н., Крошили А.В., Крошили С.В. Применения нечеткой логики для поддержки принятия управленческих решений в медицинских экспертных системах // Математические и компьютерные методы в медицине, биологии и экологии / В.И. Левин, А.М. Бабич, Е.Ю. Буркина и др. Пенза: Автономная некоммерческая научно-образовательная организация «Приволжский Дом знаний», 2012. 132 с. EDN: VSKXBV.

18. Робертс Ф.С. Дискретные математические модели с приложениями к социальным, биологическим и экологическим задачам. Наука. 1986.

19. Саморукова О.Д., Крошили А.В., Крошили С.В. Ключевые аспекты разработки системы поддержки принятия решений при подборе схемы медикаментозного лечения // Биотехнические, медицинские и экологические системы, измерительные устройства и робототехнические комплексы – Биомедсистемы-2023: Сборник трудов XXXVI Всероссийской научно-технической конференции студентов, молодых ученых и специалистов, Рязань, 6-8 декабря 2023. Рязань, 2023. С. 181-184. EDN: XQSPTE.

UDC 004.4, 004.822, 004.827

MODELING OF MANAGEMENT PROCESSES IN ORGANIZATIONAL SYSTEMS BASED ON FUZZY COGNITIVE MAPS THEORY

A. V. Kroshilin, Dr. Sc. (Tech.), full professor, RSREU, Ryazan, Russia;

orcid.org/0009-0007-0044-6570, e-mail: av_kroshilin@mail.ru

S. V. Kroshilina, Ph.D. (Tech.), professor, RSREU, Ryazan, Russia;

orcid.org/0009-0009-0067-1115, e-mail: kroshilina_rzn@mail.ru

G. V. Ovechkin, Dr. Sc. (Tech.), professor, RSREU, Ryazan, Russia;

orcid.org/0000-0001-6887-2217, e-mail: g_ovechkin@mail.ru

O. D. Samorukova, post-graduate student, RSREU, Ryazan, Russia;

orcid.org/0009-0005-7168-9989, e-mail: samorukova.od@yandex.ru.

The analysis of enterprise activities in modern market conditions is the scientific basis for substantiating managerial decision-making in business processes. At the same time, the problem of automating the analysis of enterprise activities, which allows accurate assessing the uncertainty of the situation using modern research methods becomes relevant. The solution to this problem can be found in the development of a methodology to design decision support systems for analyzing organizational system functioning.

The aim of the work is to consider the features of developing fuzzy cognitive maps to model management processes in organizational systems. The authors propose an approach to construct universal mental map that allows simultaneous accounting the influence of changes values in concepts and the values of their states, while taking into account the nonlinear nature of the influence of changes in concepts, as well as simultaneous accounting of concepts of different signs on each other, which makes it possible to significantly reduce the dimension of management model.

A dynamic management model has been developed for a fuzzy cognitive map, which allows modeling and analyzing the behavior of organizational systems describing various subject areas, taking into account the nonlinear nature of the influence between concepts.

Keywords: modeling of management processes, organizational systems, decision support system, fuzzy logic, fuzzy cognitive maps.

DOI: 10.21667/1995-4565-2025-91-64-75

References

1. Tishkina V.V., Pylkin A.N., Kroshilin A.V., Kroshilina S.V. The Software of a Mobile Application for Analyzing a Management Object based on Using Semantic Networks. *8th Mediterranean Conference on Embedded Computing, MECO 2019 – Proceedings*. Budva, 2019. P. 8760184, pp. 266-269. DOI: 10.1109/MECO.2019.8760184. EDN: RNKOMS.

2. Alekseev A.V., Borisov A.N., Merkur'eva G.V. i dr. *Obrabotka nechetkoj informacii v sistemah prinyatiya reshenij*. Moscow: Radio i svyaz', 1989 (in Russian).

3. Gorelova G.V., Zaharova E.N., Radchenko S.N. *Issledovanie slabostrukturirovannykh problem social'no-ekonomicheskikh sistem: kognitivnyj podhod*. Rostov-na-Donu: izd. RGU. 2006, 332 p. (in Russian).

4. Pyl'kin A.N., Kroshilin A.V., Kroshilina S.V., Doan D.H. Postroenie medicinskih ekspertnykh sistem soprovozhdeniya mediko-tekhnologicheskogo processa. *Vestnik Ryazanskogo gosudarstvennogo radiotekhnicheskogo universiteta*. 2017, no. 60, pp. 123-130. DOI: 10.21667/1995-4565-2017-60-2-123-130. EDN: YSRVGN (in Russian).

5. Dyubua D., Prad A. *Teoriya vozmozhnostej. Prilozheniya k predstavleniyu znaniy v informatike*. Per. s fr. V.A. Tarasova. Moscow: Radio i svyaz'. 1990 (in Russian).

6. Zhulev V.I., Kroshilin A.V., Kroshilina S.V. *Proektirovanie sistem podderzhki prinyatiya reshenij. Uchebnoe posobie dlya vuzov*. Moscow: Goryachaya liniya – Telekom. 2023. 180 p. (in Russian).

7. **Kashirin I.Yu., Kroshilin A.V., Kroshilina S.V.** *Avtomatizirovannyj analiz deyatel'nosti predpriyatiya s ispol'zovaniem semanticheskikh setej*. Monografiya. Moscow: Goryachaya liniya – Telekom. 2011. 140 p. EDN: RBAWMH. (in Russian).

8. **Kroshilin A.V., Kroshilina S.V., Ovechkin G.V.** *Predmetno-orientirovannyye informacionnyye sistemy*. Moscow: Obshchestvo s ogranichennoj otvetstvennost'yu Izdatel'stvo «KURS». 2023. 176 p. EDN: XBPJIW (in Russian).

9. **Zhuleva S.Yu., Kroshilin A.V., Kroshilina S.V.** Podderzhka prinyatiya upravlencheskih medicinskih reshenij i priroda neopredelennosti v nih. *Biomedicinskaya radioelektronika*. 2021, vol. 24, no. 4, pp. 89-96. DOI: 10.18127/j15604136-202104-12. EDN IVGGSX (in Russian).

10. **Py'kin A.N., Majkov K.A., Kroshilin A.V., Belickij A.M.** Uchet kachestva razbieniya pri ispol'zovanii modificirovannogo algoritma nechetoj klasterizacii issleduemyh dannyh i metodika ee postroeniya. *Vestnik Ryazanskogo gosudarstvennogo radiotekhnicheskogo universiteta*. 2016, no. 58, pp. 57-63. DOI: 10.21667/1995-4565-2016-58-4-57-63. EDN XRFDPB (in Russian).

11. **Py'kin A.N., Kroshilin A.V., Kroshilina S.V.** Postroenie modeli ocenki sostoyaniya zdorov'ya pacienta v medicinskih ekspertnyh sistemah. *Vestnik Ryazanskogo gosudarstvennogo radiotekhnicheskogo universiteta*. 2012, no. 41, pp. 64-70. EDN: PCSWSJ. (in Russian).

12. **Kroshilina S.V., Kroshilin A.V.** *Intellectual'nye poiskovyie sistemy na osnove nechetoj logiki*. Uchebnoe posobie dlya vuzov. Moscow: Goryachaya liniya – Telekom. 2023, 140 p. (in Russian).

13. **Kulinich A.A.** *Modelirovanie dinamicheskikh processov v ponyatijnoj sisteme sub"ekta dlya generacii kreativnyh reshenij. Kognitivnye issledovaniya*. Sbornik nauchnyh trudov / Pod redakciej V.D. Solov'eva. 2006. Issue 1. (in Russian).

14. **Kroshilin A.V., Kroshilina S.V., Popova A.A.** *Sistema podderzhki prinyatiya reshenij v voprosah upravleniya medicinskim personalom*. Svidetel'stvo o gosudarstvennoj registracii programmy dlya EVM RF no. 2024613875. Zayavl. no. 2024612504 02.02.2024: opubl. 16.02.2024. EDN: RVGVBH. (in Russian).

15. **Popova A.A.** Biznes-processy delegirovaniya polnomochij v organizacionnyh sistemah. *Novye informacionnyye tekhnologii v nauchnyh issledovaniyah: Materialy XHVIII Vserossijskoj nauchno-tekhnicheskoy konferencii studentov, molodyh uchenyh i specialistov*. Ryazan', 22-24 noyabrya 2023. Ryazan': Ryazanskij gosudarstvennyj radiotekhnicheskij universitet im. V.F. Utkina. 2023, pp. 61-62. EDN: GUQAHN. (in Russian).

16. **Zhuleva S.Yu., Kroshilin A.V., Kroshilina S.V., Py'kin A.N.** Primenenie nechetkih kognitivnyh kart pri upravlenii medicinskimi material'nymi potokami. *Biomedicinskaya radioelektronika*. 2019, vol. 22, no. 4, pp. 77-84. DOI: 10.18127/j15604136-201904-11. EDN: OMJFRX. (in Russian).

17. **Py'kin A.N., Kroshilin A.V., Kroshilina S.V.** Primeneniya nechetoj logiki dlya podderzhki prinyatiya upravlencheskih reshenij v medicinskih ekspertnyh sistemah. *Matematicheskie i komp'yuternyye metody v medicine, biologii i ekologii* / V.I. Levin, A.M. Babich, E.Yu. Burkina i dr. Penza: Avtonomnaya nekommercheskaya nauchno-obrazovatel'naya organizaciya «Privolzhskij Dom znaniy». 2012. 132 p. EDN: VSKXBV. (in Russian).

18. **Roberts F.S.** *Diskretnyye matematicheskie modeli s prilozheniyami k social'nym, biologicheskim i ekologicheskim zadacham*. Nauka. 1986 (in Russian).

19. **Samorukova O.D., Kroshilin A.V., Kroshilina S.V.** Klyuchevyye aspekty razrabotki sistemy podderzhki prinyatiya reshenij pri podbore skhemy medikamentoznogo lecheniya. *Biotehnicheskyye, medicinskyye i ekologicheskie sistemy, izmeritel'nyye ustrojstva i robototekhnicheskyye komplekсы – Biomedistemy-2023*. Sbornik trudov XXXVI Vserossijskoj nauchno-tekhnicheskoy konferencii studentov, molodyh uchenyh i specialistov, Ryazan', 06-08 dekabrya 2023. Ryazan', 2023, pp. 181-184. EDN: XQSPTE (in Russian).