

УДК 004.82

ТОПОЛОГИЧЕСКИЙ АНАЛИЗ СТРУКТУРЫ НЕЧЕТКОЙ КОГНИТИВНОЙ МОДЕЛИ ОЦЕНКИ РЕАЛИЗУЕМОСТИ ПРОЕКТА ПО СОЗДАНИЮ ИНФОРМАЦИОННО-УПРАВЛЯЮЩИХ СИСТЕМ ДЛЯ СЛОЖНЫХ ТЕХНИЧЕСКИХ ОБЪЕКТОВ

А. Е. Колоденкова

anna82_42@mail.ru

ФГБОУ ВО «Уфимский государственный авиационный технический университет» (УГАТУ)

Поступила в редакцию 29.07.2016.

Аннотация. Рассматривается метод топологического анализа структуры нечеткой когнитивной модели оценки реализуемости проекта по созданию информационно-управляющих систем в условиях нечетких исходных данных. Предлагается алгоритм обработки нечетких исходных данных. Приведен пример топологического анализа структуры нечеткой когнитивной модели, который позволяет выявить значимые факторы для оценки реализуемости проекта.

Ключевые слова: топологический анализ; нечеткая когнитивная модель; оценка реализуемости проекта; информационно-управляющая система.

Построение нечеткой когнитивной модели оценки реализуемости проекта по созданию информационно-управляющих систем (ИУС) является слабоструктурированным процессом, поскольку характеризуется отсутствием точных количественных исходных данных о разрабатываемом проекте (иногда значения параметров проекта точно неизвестны в силу ограниченности знаний руководителя и исполнителей проекта), а также многофакторностью и их взаимосвязанностью [1–5]. Одним из наиболее эффективных подходов к исследованию слабоструктурированных процессов является нечеткое когнитивное моделирование, заключающееся в построении и анализе нечеткой когнитивной модели (НКМ).

Для анализа структуры НКМ целесообразно применить аппарат алгебраической топологии, а именно топологический (симплициальный) анализ [1, 6], оперирующий понятиями симплекса, симплициального комплекса, q -связности.

В настоящей статье предлагается метод топологического анализа структуры НКМ оценки

реализуемости проекта по созданию ИУС в условиях нечетких исходных данных.

МЕТОД ТОПОЛОГИЧЕСКОГО АНАЛИЗА СТРУКТУРЫ НЕЧЕТКОЙ КОГНИТИВНОЙ МОДЕЛИ

Модифицированный метод топологического анализа структуры НКМ заключается в обработке нечетких исходных данных и в составлении рекомендаций обоснования выбора целевых и управляющих вершин НКМ. Для реализации данного метода предлагается пять этапов.

Этап 1. Выявление факторов C_i , $i = \overline{1, h}$ (h – количество факторов) и связей между факторами w_{ij} , $i, j = \overline{1, h}$.

Заметим, что для проведения топологического анализа структуры НКМ значения параметров факторов не используются. Значения связей между факторами w_{ij} могут быть представлены в виде:

- 1) нечетких чисел из интервала $[-1; 1]$;
- 2) интервальных чисел $w_{ij} = [w_{ij \min}, w_{ij \max}]$;
- 3) нечетких треугольных чисел $w_{ij} = [w_{ij \min}, w_{ij \text{ср}}, w_{ij \max}]$;
- 4) нечетких трапециевидных чисел $w_{ij} = [w_{ij1}, w_{ij2}, w_{ij3}, w_{ij4}]$;
- 5) лингвистических описаний.

Работа поддержана грантом РФФИ 15-08-06129.

Автор выражает благодарность д.т.н., проф. Г. В. Гореловой за высказанные замечания и пожелания по улучшению статьи.

Здесь $x_{C_i, \min}$, $x_{C_i, \max}$, $w_{ij, \min}$, $w_{ij, \max}$ – минимальные и максимальные значения параметров факторов и связей; $x_{C_i, \text{ср}}$, $w_{ij, \text{ср}}$ – средние значения параметров факторов и связей; $x_{C_i, 1}$, $x_{C_i, 4}$; $w_{ij, 1}$, $w_{ij, 4}$ – соответственно пессимистические и оптимистические оценки факторов и их связей; $x_{C_i} = [x_{C_i, 2}, x_{C_i, 3}]$; $w_{ij} = [w_{ij, 2}, w_{ij, 3}]$ – интервалы наиболее возможных оценок соответственно факторов и их связей.

Отметим, что пока работа не ведется с НКМ как с математической моделью, оперируем понятием «факторы», «объекты» (C_i). Как только началась работа с НКМ, оперируем понятием – вершина (v_i).

Этап 2. Обработка нечетких исходных данных (значений связей между вершинами).

Этап 3. Построение матрицы смежности и нечеткой когнитивной модели [7].

Этап 4. Проведение топологического анализа структуры нечеткой когнитивной модели.

Этап 5. Составление правил и рекомендаций обоснования выбора целевых и управляющих факторов в условиях нечетких исходных данных.

Далее рассмотрим основные понятия и определения, связанные с симплициальными комплексами [1, 4].

В общем случае НКМ можно представить в виде множества пар вершин, связанных некоторым отношением λ , порождающим множество многомерных связей между вершинами. Под симплексом $\sigma_p^{(v_i)}$ понимается множество элементов, относимых к конкретному элементу v_i (например вершине когнитивной карты) отношения λ (например матрицы инцидентности когнитивной карты) размерности p , а их совокупность образует симплициальный комплекс $K_\lambda(X; \lambda)$ по строкам (вершины кодируются как X) или $K_\lambda(Y; \lambda^*)$ по столбцам (вершины кодируются как Y) матрицы λ . Симплициальный комплекс – обобщение понятия планарного графа, отражающий бинарное отношение между вершинами НКМ. Задача изучения структуры связности комплекса K сводится к построению q -эквивалентности. Для каждого значения размерности $q = 0, 1, 2, \dots, \dim K$ ($\dim K$ – максимальная размерность комплекса) можно определить число различных классов эквивалентности Q_q . Данная операция называется q -анализом симплициального комплекса K , а вектор $Q = \{Q_{\dim K}, \dots, Q_1, Q_0\}$ – первым структурным вектором комплекса, позволяющим увидеть связ-

занность комплексов на всех уровнях q , определить, существуют ли препятствия для эффективного взаимодействия симплексов, а также сделать вывод о геометрическом препятствии потоку информации, направленной на изменение той или иной ситуации на каждом уровне размерности.

Таким образом, информация, содержащаяся в векторе Q , отражает в определенной степени глобальную структуру комплекса K .

Для проведения топологического анализа структуры НКМ предлагается модифицированный алгоритм, состоящий из четырнадцати шагов (рис. 1).

Шаг 1. Ввод значений связей между вершинами нечеткой когнитивной модели.

Шаг 2. Рассматривается условие:

- если условие, что значения связей между вершинами представлены в виде лингвистических описаний, соблюдается, то переходим к шагу 3;

- если условие не соблюдается, то переходим к шагу 4.

Шаг 3. Структуризация значений связей между вершинами.

Для установления причинно-следственных связей определена шкала для оценки характера связей и силы связей между вершинами (табл. 1). Структуризация заключается в следующем: каждому значению связи, представленному в виде лингвистического описания, ставится в соответствие одно нечеткое число из интервала $[-1; 1]$.

Таблица 1

Оценка характера и силы связей между вершинами, представленными в виде лингвистических описаний

Лингвистическое описание	Численное значение
Отсутствует	0
Очень слабо усиливает	[0,1; 0,3]
Очень слабо ослабляет	[-0,1; -0,3]
Слабо усиливает	[0,31; 0,5]
Слабо ослабляет	[-0,31; -0,5]
Умеренно усиливает	[0,51; 0,7]
Умеренно ослабляет	[-0,51; -0,7]
Сильно усиливает	[0,71; 0,9]
Сильно ослабляет	[-0,71; -0,9]
Очень сильно усиливает	[0,91; 1]
Очень сильно ослабляет	[-0,91; -1]

Нормирование и структуризация значений связей между вершинами необходима для того, чтобы все значения связей принадлежали интервалу $[-1; 1]$.

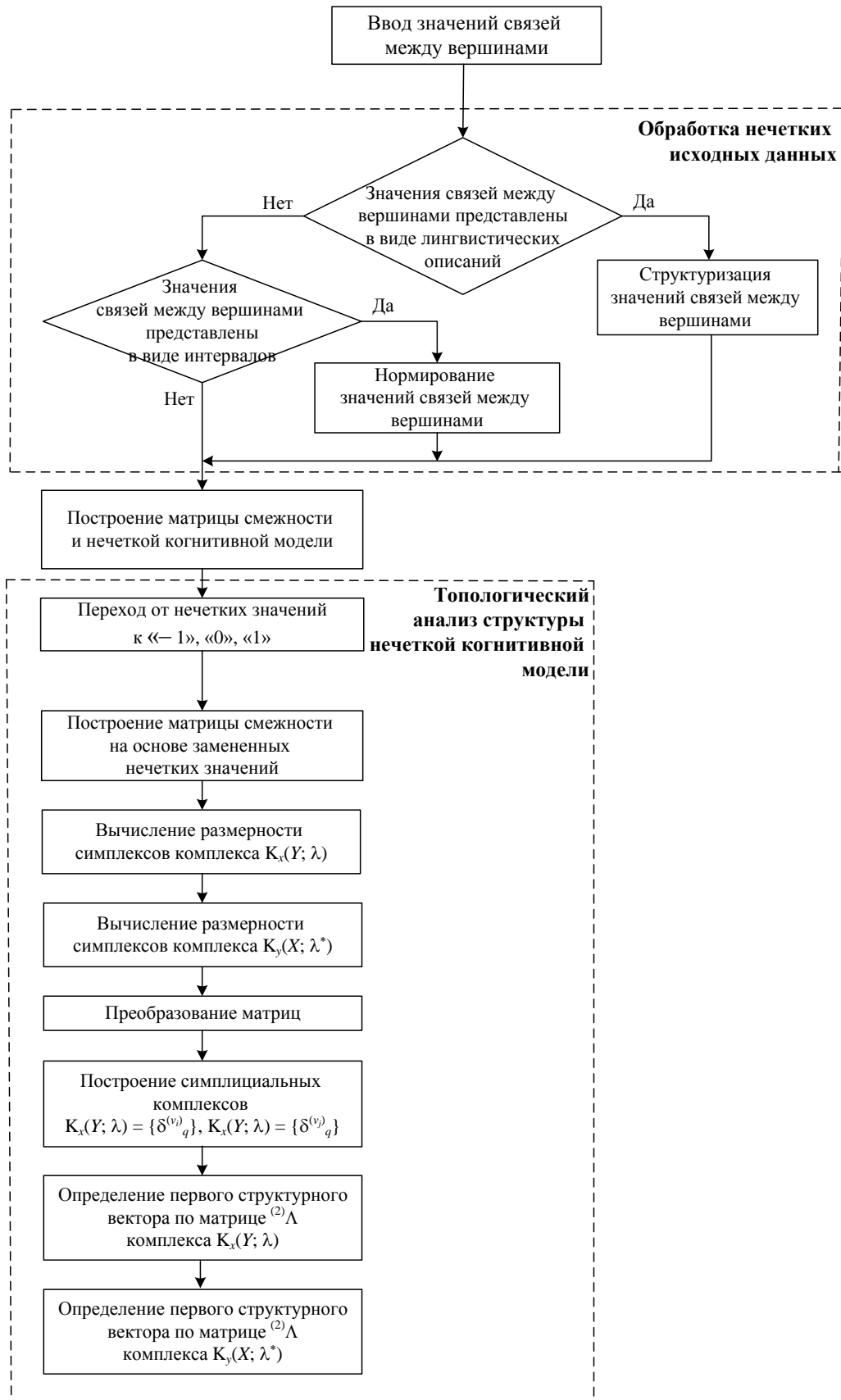


Рис. 1. Модифицированный алгоритм топологического анализа структуры нечеткой когнитивной модели

Шаг. 4. Рассматривается условие:

• если условие, что значения связей между вершинами представлены в виде интервалов, соблюдается, то переходим к шагу 5;

• если условие не соблюдается, т.е. значения связей между вершинами представлены нечеткими числами из интервала $w_{ij} \in [-1; 1]$, то переходим к шагу 6.

Шаг. 5. Нормирование значений связей между вершинами, представленных в виде интервалов.

Оценка характера и силы связей между вершинами, представленными в виде интервальных, нечетких треугольных и трапециевидных чисел по пятибалльной шкале, приведены в табл. 2.

Таблица 2

Оценка характера и силы связей между вершинами, представленными в виде нечетких треугольных чисел

Численное значение	Лингвистическое описание
0	Отсутствует
[0,1; 0,5; 1] [-0,1; -0,5; -1]	Очень слабо усиливает Очень слабо ослабляет
[1,1; 1,5; 2] [-1,1; -1,5; -2]	Слабо усиливает Слабо ослабляет
[2,1; 2,5; 3] [-2,1; -2,5; -3]	Умеренно усиливает Умеренно ослабляет
[3,1; 3,5; 4] [-3,1; -3,5; -4]	Сильно усиливает Сильно ослабляет
[4,1; 4,5; 5] [-4,1; -4,5; -5]	Очень сильно усиливает Очень сильно ослабляет

Для нормирования предлагаются следующие соотношения:

1) для интервальных чисел

$$w_{ij} = [w_{ij \min}, w_{ij \max}],$$

$$w_{ij}^{\text{нор}} = \left[\frac{w_{ij \min}}{w^{\max}}, \frac{w_{ij \max}}{w^{\max}} \right], \quad w^{*\max} = \max_{\substack{1 \leq i \leq h, \\ 1 \leq j \leq h}} \{w_{ij \max}\};$$

2) для нечетких треугольных чисел

$$w_{ij} = [w_{ij \min}, w_{ij \text{ср}}, w_{ij \max}],$$

$$w_{ij}^{\text{нор}} = \left[\frac{w_{ij \min}}{w^{\max}}, \frac{w_{ij \text{ср}}}{w^{\max}}, \frac{w_{ij \max}}{w^{\max}} \right],$$

$$w^{**\max} = \max_{\substack{1 \leq i \leq h, \\ 1 \leq j \leq h}} \{w_{ij \max}\};$$

3) для трапециевидных чисел

$$w_{ij} = [w_{ij1}, w_{ij2}, w_{ij3}, w_{ij4}],$$

$$w_{ij}^{\text{нор}} = \left[\frac{w_{ij1}}{w^{\max}}, \frac{w_{ij2}}{w^{\max}}, \frac{w_{ij3}}{w^{\max}}, \frac{w_{ij4}}{w^{\max}} \right],$$

$$w^{***\max} = \max_{\substack{1 \leq i \leq h, \\ 1 \leq j \leq h}} \{w_{ij4}\},$$

где $w_{ij}^{\text{нор}}$ – нормированные интервальные значения связей между вершинами v_i и v_j , $w_{ij}^{\text{нор}} \in [-1; 1]$; w^{\max} , $w^{*\max}$, $w^{***\max}$ – максимальные значения среди максимальных значений связей, представленных в виде интервальных, нечетких треугольных и трапециевидных чисел.

В результате нормирования интервальные значения связи представляют собой нормированные интервальные значения связей. Для того чтобы получить одно нечеткое значение из интервала, рекомендуется следующее:

1) для нормированных интервалов

$w_{ij}^{\text{нор}} = [w_{ij \min}^{\text{нор}}, w_{ij \max}^{\text{нор}}]$ выбрать

$$w_{ij}^{*\text{нор}} = \frac{w_{ij \min}^{\text{нор}} + w_{ij \max}^{\text{нор}}}{2};$$

2) для нормированных нечетких треугольных интервалов $w_{ij}^{\text{нор}} = [w_{ij \min}^{\text{нор}}, w_{ij \text{ср}}^{\text{нор}}, w_{ij \max}^{\text{нор}}]$ вы-

бирать

$$w_{ij}^{*\text{нор}} = w_{ij \text{ср}}^{\text{нор}};$$

3) для нормированных нечетких трапециевидных интервалов

$$w_{ij}^{\text{нор}} = [w_{ij1}^{\text{нор}}, w_{ij2}^{\text{нор}}, w_{ij3}^{\text{нор}}, w_{ij4}^{\text{нор}}]$$

выбирать

$$w_{ij}^{*\text{нор}} = \frac{w_{ij1}^{\text{нор}} + w_{ij2}^{\text{нор}} + w_{ij3}^{\text{нор}} + w_{ij4}^{\text{нор}}}{4}.$$

Нормирование и структуризация значений связей между вершинами необходима для того, чтобы все значения связей принадлежали интервалу $[-1; 1]$.

Шаг. 6. Построение матрицы смежности и нечеткой когнитивной модели.

Шаг. 7. Переход от нечетких значений к «-1», «0» и «1».

Для применения топологического анализа структуры НКМ полученные нормированные интервальные значения связей между вершинами рекомендуется преобразовать:

1) если нормированные числа лежат в интервале $[-1; 0)$, то присваивается минус «единица»;

2) если нормированные числа лежат в интервале $[0; 0,5)$ – «ноль»;

3) если нормированные числа лежат в интервале $[0,5; 1]$ – «единица».

Например, в работе [8] в качестве перехода от нечетких чисел к четким («1» и «0») предлагается использовать α -уровень нечеткого соответствия, от которого зависит конечный результат.

Шаг. 8. Построение матрицы смежности, состоящей из замененных нечетких значений («-1», «0» и «1»).

Шаг. 9. Вычисление размерности симплексов комплекса $K_x(Y; \lambda)$.

Сначала осуществляется подсчет единиц в каждой i -строке, $i=1, 2, \dots, m$, а затем вычисление размерности симплексов комплекса $K_x(Y; \lambda)$

$$q = q^{(v_i)} = \sum_{j=1}^m \lambda_{ij} - 1.$$

Шаг. 10. Вычисление размерности симплексов комплекса $K_y(X; \lambda^*)$.

Сначала осуществляется подсчет единиц в каждом j -столбце, а затем вычисление размерности симплексов комплекса $K_y(X; \lambda^*)$

$$q = q^{(v_j)} = \sum_{i=1}^m \lambda_{ij} - 1.$$

Шаг. 11. Осуществляется преобразование матриц.

Преобразование матрицы Λ в $(1)\Lambda$ – упорядочивание i -строк сверху вниз осуществляется по следующему правилу

$$q^{(v_1)} > q^{(v_2)} > q^{(v_3)} > \dots > 0 > -1. \quad (1)$$

Преобразование матрицы $(1)\Lambda$ в $(2)\Lambda$ – упорядочивание j -столбцов слева направо осуществляется по правилу

$$q^{(v_1)} > q^{(v_2)} > q^{(v_3)} > \dots > 0 > -1. \quad (2)$$

Шаг. 12. Осуществляется построение симплицальных комплексов.

Построение комплекса $K_x(Y; \lambda) = \{\delta_q^{(v_i)}\}$ представляет собой последовательность симплексов $\delta_q^{(v_i)}$, которая упорядочена по правилу (1) убывания их размерности.

Построение комплекса $K_x(Y; \lambda) = \{\delta_q^{(v_j)}\}$ представляет собой последовательность симплексов $\delta_q^{(v_j)}$, которая упорядочена по правилу (2) убывания их размерности.

Шаг. 13. Определяется первый структурный вектор по матрице $(2)\Lambda$ комплекса $K_x(Y; \lambda)$.

Определение по матрице $(2)\Lambda$ первого структурного вектора $Q_x = \{Q_{\dim K}, \dots, Q_q, \dots, Q_1, Q_0\}$ комплекса $K_x(Y; \lambda)$ осуществляется следующим образом. Для каждой размерности $q^{(v_i)}$ количе-

ство симплексов в каждом классе эквивалентности Q_q устанавливается по правилу: если хотя бы одна вершина симплекса не входит в предыдущий симплекс большей размерности, то это отдельный класс (т.е., если хотя бы одна единица i -строки не входит в предыдущие строки $i-1, i-2, \dots, 1$, то соответствующий этой строке симплекс образует отдельный класс эквивалентности).

Шаг. 14. Определяется первый структурный вектор по матрице $(2)\Lambda$ $K_y(X; \lambda^*)$.

Определение по матрице $(2)\Lambda$ первого структурного вектора $Q_y = \{Q_{\dim K}, \dots, Q_q, \dots, Q_1, Q_0\}$ комплекса $K_y(X; \lambda^*)$ осуществляется следующим образом. Для каждой размерности $q^{(v_j)}$ количество симплексов в каждом классе эквивалентности Q_q устанавливается по правилу: если хотя бы одна вершина симплекса не входит в предыдущий симплекс большей размерности, то это отдельный класс (т.е., если хотя бы одна единица j -столбца не входит в предыдущие столбцы $j-1, j-2, \dots, 1$, то соответствующий этому столбцу симплекс образует отдельный класс эквивалентности).

Отметим, что модификация метода топологического анализа структуры НКМ, заключается в применении этапа обработки нечетких исходных данных с целью использования классического топологического анализа. Модификация алгоритма топологического анализа НКМ заключается в применении перехода от нечетких значений связей к четким.

ПРИМЕР ТОПОЛОГИЧЕСКОГО АНАЛИЗА СТРУКТУРЫ НЕЧЕТКОЙ КОГНИТИВНОЙ МОДЕЛИ ОЦЕНКИ РЕАЛИЗУЕМОСТИ ПРОЕКТА

Проведем топологический анализ на примере НКМ оценки реализуемости проекта по созданию ИУС для атомных станций (АС) [9–11].

Предположим, что силы связей оценены по пятибалльной шкале и представлены в виде нечетких треугольных чисел (см. табл. 2). В результате обработки значений связей, получается матрица смежности, где значения связей представлены из интервала $w_{ij} \in [-1; 1]$ и отражаются на построенной НКМ оценки реализуемости проекта по созданию ИУС для АС (рис. 2)

Здесь под производительностью исполнителей понимается скорость выполнения работ; завершением проекта – неудачное завершение проекта, т.е. отставание от графика работ; экономичностью – выполнение работ с наименьшими затратами; надежностью ИУС – работоспособное состояние в течение определенного

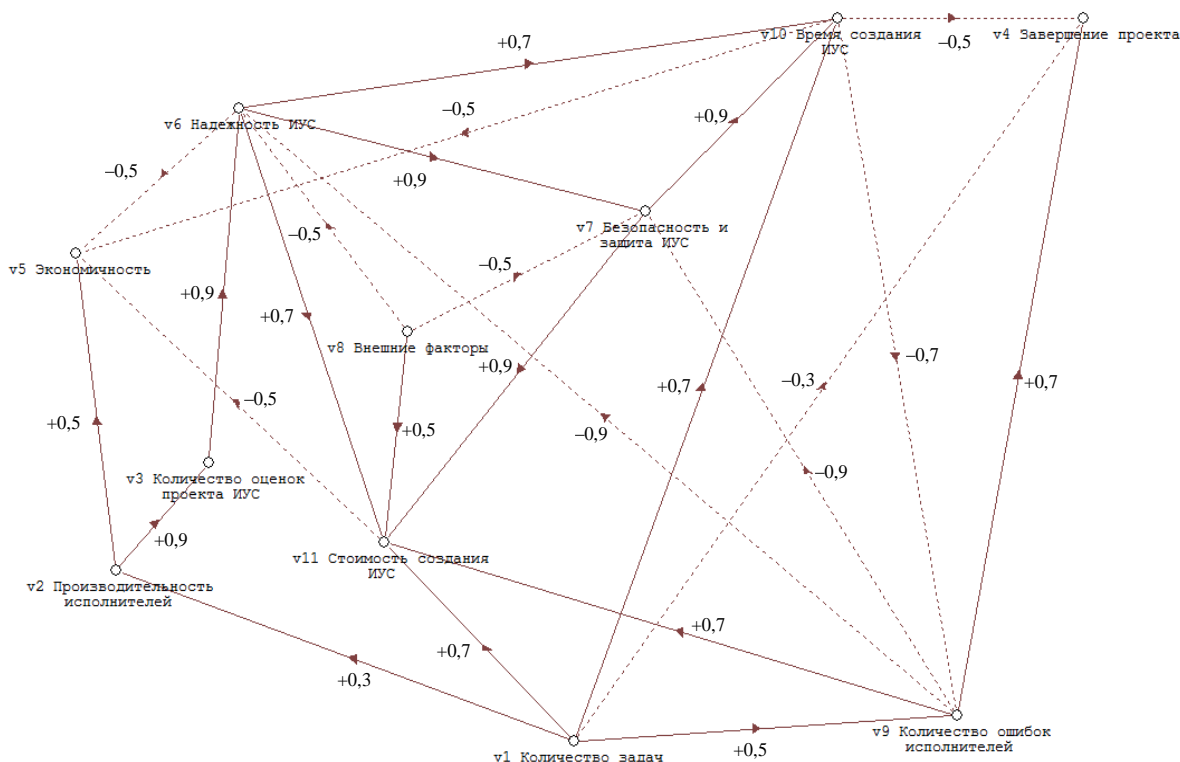


Рис. 2. Нечеткая когнитивная модель оценки реализуемости проекта по созданию информационно-управляющих систем для атомных станций

отрезка времени; безопасностью и защитой ИУС – свойство исправно функционировать без проявления различных негативных последствий для людей и внешней среды; внешними факторами – внешние воздействующие факторы на АС (сейсмика, климатика, наводнение); временем создания ИУС – время, затраченное на создание системы; стоимостью создания ИУС – финансовые ресурсы, затрачиваемые на создание системы.

Далее проведем топологический анализ структуры НКМ, представленной на рис. 2.

После перехода от нечетких значений к «-1», «0» и «1», матрица смежности примет вид

	v_1	v_2	v_3	v_4	v_5	v_6	v_7	v_8	v_9	v_{10}	v_{11}
v_1	0	0	0	-1	0	0	0	0	1	1	1
v_2	0	0	1	0	1	0	0	0	0	0	0
v_3	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0
v_4	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
v_5	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
v_6	0	0	0	0	-1	0	1	0	0	1	1
v_7	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1
v_8	0	0	0	0	0	-1	-1	0	0	0	1
v_9	0	0	0	1	0	-1	-1	0	0	0	1
v_{10}	0	0	0	-1	-1	0	0	0	-1	0	0
v_{11}	0	0	0	0	-1	0	0	0	0	0	0

Затем осуществляется подсчет единиц в каждой i -строке и вычисление размерности симплексов комплекса $K_x(Y;\lambda)$:

- $X_1: \sigma^{(1)}_3; q = 4 - 1 = 3;$
- $X_2: \sigma^{(2)}_1; q = 2 - 1 = 1;$
- $X_3: \sigma^{(3)}_0; q = 1 - 1 = 0;$
- $X_6: \sigma^{(6)}_3; q = 4 - 1 = 3;$
- $X_7: \sigma^{(7)}_1; q = 2 - 1 = 1;$
- $X_8: \sigma^{(8)}_2; q = 3 - 1 = 2;$
- $X_9: \sigma^{(9)}_3; q = 4 - 1 = 3;$
- $X_{10}: \sigma^{(10)}_2; q = 3 - 1 = 2;$
- $X_{11}: \sigma^{(11)}_0; q = 1 - 1 = 0.$

Затем осуществляется подсчет единиц в каждом j -столбце и вычисление размерности симплексов сопряженного комплекса $K_y(X; \lambda^*)$:

- $Y_3: \sigma^{(3)}_0; q = 1 - 1 = 0;$
- $Y_4: \sigma^{(4)}_1; q = 2 - 1 = 1;$
- $Y_5: \sigma^{(5)}_3; q = 4 - 1 = 3;$
- $Y_6: \sigma^{(6)}_2; q = 3 - 1 = 2;$
- $Y_7: \sigma^{(7)}_2; q = 3 - 1 = 2;$
- $Y_9: \sigma^{(9)}_1; q = 2 - 1 = 1;$
- $Y_{10}: \sigma^{(10)}_2; q = 3 - 1 = 2;$
- $Y_{11}: \sigma^{(11)}_4; q = 5 - 1 = 4.$

Далее осуществляется преобразование матриц. Сделаем замену: вершины в строках заменим буквой x , вершины в столбцах – y . Преобразование матрицы R в $^{(1)}\Lambda$ и в $^{(2)}\Lambda$ представлено ниже:

	y_1	y_2	y_3	y_4	y_5	y_6	y_7	y_8	y_9	y_{10}	y_{11}	q
x_1	0	0	0	-1	0	0	0	0	1	1	1	3
x_2	0	0	1	0	1	0	0	0	0	0	0	1
x_3	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0
x_4	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	-1
x_5	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	-1
$\Lambda = x_6$	0	0	0	0	-1	0	1	0	0	1	1	3
x_7	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	1
x_8	0	0	0	0	0	-1	-1	0	0	0	1	2
x_9	0	0	0	-1	0	-1	-1	0	0	0	1	3
x_{10}	0	0	0	0	-1	0	0	0	-1	0	0	2
x_{11}	0	0	0	0	-1	0	0	0	0	0	0	0

	y_1	y_2	y_3	y_4	y_5	y_6	y_7	y_8	y_9	y_{10}	y_{11}	q
x_1	0	0	0	1	0	0	0	0	1	1	1	3
x_6	0	0	0	0	1	0	1	0	0	1	1	3
x_9	0	0	0	1	0	1	1	0	0	0	1	3
x_8	0	0	0	0	0	1	1	0	0	0	1	2
x_{10}	0	0	0	1	1	0	0	0	1	0	0	2
${}^{(1)}\Lambda = x_2$	0	0	1	0	1	0	0	0	0	0	0	1
x_7	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	1
x_3	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0
x_{11}	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0
x_4	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	-1
x_5	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	-1

	y_{11}	y_5	y_4	y_6	y_7	y_9	y_{10}	y_3	y_1	y_2	y_8	$q^{(i)}$
x_1	1	0	1	0	0	1	1	0	0	0	0	3
x_6	1	1	0	0	1	0	1	0	0	0	0	3
x_9	1	0	1	1	1	0	0	0	0	0	0	3
x_8	1	0	0	1	1	0	0	0	0	0	0	2
x_{10}	0	1	1	0	0	1	0	0	0	0	0	2
${}^{(1)}\Lambda \rightarrow {}^{(2)}\Lambda = x_2$	0	1	0	0	0	0	0	1	0	0	0	1
x_7	1	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	1
x_3	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0
x_{11}	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
x_4	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	-1
x_5	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	-1
$q^{(j)}$	4	3	2	2	2	1	1	0	-1	-1	-1	

Затем осуществляется построение симплициальных комплексов. Симплициальный комплекс $K_x(Y; \lambda) = \{\sigma^{(1)}_3; \sigma^{(6)}_3; \sigma^{(9)}_3; \sigma^{(8)}_2; \sigma^{(10)}_2; \sigma^{(2)}_1; \sigma^{(7)}_1; \sigma^{(3)}_0; \sigma^{(11)}_0\}$. Пустые симплексы $X_4: \delta^{(4)}_{-1}; q = 0 - 1 = -1; X_5: \delta^{(5)}_{-1}; q = 0 - 1 = -1$ не принадлежат комплексу.

Далее осуществляется симплициальный комплекс $K_y(X, \lambda^*) = \{\sigma^{(11)}_4; \sigma^{(5)}_3; \sigma^{(4)}_2; \sigma^{(6)}_2; \sigma^{(7)}_2;$

$\sigma^{(9)}_1; \sigma^{(10)}_1; \sigma^{(3)}_0\}$. Пустые симплексы $Y_1: \delta^{(1)}_{-1}; q = 0 - 1 = -1; Y_2: \delta^{(2)}_{-1}; q = 0 - 1 = -1; Y_8: \delta^{(8)}_{-1}; q = 0 - 1 = -1$ не принадлежат комплексу.

Затем определим по матрице ${}^{(2)}\Lambda$ первый структурный вектор комплекса $K_x(Y; \lambda)$.

Значения связностей для $K_x(Y; \lambda)$:

$q = 3, Q_3 = 3, \{x_1\}, \{x_6\}, \{x_9\};$

$q = 2, Q_2 = 4, \{x_1\}, \{x_6\}, \{x_9, x_8\}, \{x_{10}\};$

$q = 1, Q_1 = 5, \{x_1\}, \{x_6, x_7\}, \{x_9, x_8\}, \{x_{10}\}, \{x_2\};$

$q = 0, Q_0 = 1, \{\text{все, за исключением } x_4 \text{ и } x_5\}$.

Структурный вектор комплекса $K_x(Y; \lambda)$ равен: $Q_x = \{3451\}$. Относительно вершин $v -$ «входов X НКМ» – видно, что на уровне $q = 2$ и $q = 1$ появляются связные компоненты ($\{x_6, x_7\}, \{x_9, x_8\}$). Это означает, что, внося управляющее воздействие в v_6 ($x_6 -$ характеризует надежность ИУС), v_7 ($x_7 -$ безопасность и защита ИУС) отреагирует на это воздействие. Вершины v_1, v_{10} , которым соответствует симплекс наибольшей размерности, могут быть выбраны в качестве управляющих для всей системы. При этом вершины v_4 и v_5 рекомендуется исключить из НКМ, поскольку они могут являться «препятствием» на пути эффективного взаимодействия вершин между собой.

Значения связностей для $K_y(X, \lambda^*)$:

$q = 4, Q_4 = 1, \{x_{11}\};$

$q = 3, Q_3 = 2, \{x_{11}\}, \{x_5\};$

$q = 2, Q_2 = 4, \{x_{11}, x_7\}, \{x_5\}, \{x_4\}, \{x_6\};$

$q = 1, Q_1 = 5, \{x_{11}, x_7, x_{10}\}, \{x_5\}, \{x_4, x_9\}, \{x_6\};$

$q = 0, Q_0 = 1, \{\text{все, за исключением } v_1, v_2, v_8\}$.

Структурный вектор комплекса $K_y(X, \lambda^*)$ равен: $Q_x = \{12451\}$. Анализ показал, что относительно вершин $v -$ «выходов Y НКМ» – на уровне $q = 2$ и $q = 1$ появляются связные компоненты ($\{x_{11}, x_7\}, \{x_{11}, x_7, x_{10}\}, \{x_4, x_9\}$). В качестве целевых факторов могут быть выбраны вершины v_5, v_6, v_{11} . При этом вершины v_1, v_2 и v_8 рекомендуется исключить из НКМ.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Предложен метод топологического анализа структуры НКМ, который на этапе предпроектного исследования предоставляет рекомендации обоснования выбора целевых и управляющих вершин НКМ в условиях нечетких исходных данных, а также информацию для управленческих действий, направленных на повышение безопасности функционирования ИУС. Результаты изучения структуры взаимосвязей блоков вершин симплициального комплекса и выявления существенных связей, нарушение или возникновение которых может привести к

провалу поставленных целей предпроектного исследования, позволяют создавать эффективные структуры НКМ.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. **Горелова Г. В., Захарова Е. Н., Радченко С. А.** Исследование слабоструктурированных проблем социально-экономических систем: когнитивный подход. Ростов н/Д, 2006. 332 с. [[G. V. Gorelova, E. N. Zaharova, S. A. Radchenko, "The semi structured research problems of socio-economic systems: a cognitive approach," (in Russian). Rostov-on-Don: Adygeya State University, 2006.]]

2. **Колоденкова А. Е.** Оценка жизнеспособности программных проектов в условиях нечеткости исходных данных // Программная инженерия. 2011. № 5. С. 10–16. [[A. E. Kolodenkova, "Modern approaches to the program project viability estimation in the conditions of initial data," (in Russian), in Software engineering, no. 5, pp. 10-16, 2011.]]

3. **Колоденкова А. Е.** Оценка рисков создания программного обеспечения информационно-управляющих систем для высокорисковых промышленных предприятий в условиях интервальной неопределенности исходных данных // Вестник УГАТУ. 2015. Т. 19, № 1. С. 192–199. [[A. E. Kolodenkova, "Risk assessment software information and control systems for high-risk industrial enterprises in terms of interval of initial data vagueness," (in Russian), in Vestnik UGATU, vol. 19, no. 1, pp. 192-199, 2015.]]

4. **Колоденкова А. Е.** Статистический подход к оценке реалистичности программных проектов для автоматизированных информационно-управляющих систем // Мехатроника, автоматизация, управление. 2010. № 4. С. 52–60. [[A. E. Kolodenkova, "Statistic method to estimate program projects reality for automated information-controlling systems," (in Russian), in Mechatronics, automation, control, no. 4, pp. 52-60, 2010.]]

5. **Колоденкова А. Е.** Нечетко-множественный подход к оценке реалистичности альтернатив программного обеспечения мехатронных систем // Мехатроника, автоматизация, управление. 2011. № 4. С. 45–53. [[A. E. Kolodenkova, "Multi-fuzzy approach for estimation alternatives reality in the mechatronic systems software," (in Russian), in Mechatronics, automation, control, no. 4, pp. 45-53, 2011.]]

6. **Касты Дж.** Большие системы: связность, сложность и катастрофы. М.: Мир, 1982. 216 с. [[J. Kasti, "Connectivity, Complexity, and Catastrophe in Large-Scale Systems", (in English). Moscow: Mir, 1982]]

7. **Горелова Г. В.** Когнитивный подход к имитационному моделированию сложных систем // Известия ЮФУ. Технические науки. 2013. № 3. С. 239–250. [[G. V. Gorelova, "Cognitive approach to simulation modeling of complex systems," (in Russian), in Izvestiya SFedU. Engineering Sciences, no. 3, pp. 239-250, 2013.]]

8. **Скорород С. В.** Оптимизация трудового коллектива в условиях четкой и нечеткой информации // Известия ЮФУ. Технические науки, 2009. № 4(93). С. 136–141. [[S. V. Skorohod, "Labour group optimization in conditions of the certain or fuzzy information," (in Russian), in Izvestiya SFedU. Engineering Sciences, no. 4(93), pp. 136-141, 2009.]]

9. **Колоденкова А. Е.** Предпроектные исследования по созданию информационно-управляющих систем атомных станций в условиях неопределенности // Глобальная

ядерная безопасность. 2016. № 1 (18). С. 26–33. [[A. E. Kolodenkova, "Exploratory researches in creating information-control systems for nuclear power plants under uncertainty," (in Russian), in Global nuclear safety, no. 1 (18), pp. 26-33, 2016.]]

10. **Горелова Г. В., Колоденкова А. Е., Коробкин В. В.** Построение комплексной оценки разработки информационно-управляющих систем на основе когнитивных моделей // Проблемы управления и моделирования в сложных системах: XVII Междунар. конф. (Самара, 22–25 июня 2015): тр. конф. Самара: Самарский научный центр РАН, 2015. С. 326–331. [[G. V. Gorelova, A. E. Kolodenkova, V. V. Korobkin, "Creation of a complex assessment development of the information-control systems on the basis of cognitive models," (in Russian), in Proc. XVII Int. Conference Complex System: Control and Modeling Problems (CSCMP-2015), Samara, Russia, 2015, pp. 326-331.]]

11. **Горелова Г. В., Колоденкова А. Е.** Оценка безопасности информационно-управляющих систем атомных станций с использованием когнитивного моделирования // Технологии техносферной безопасности. 2015. № 4 (62). С. 339–348. [[G. V. Gorelova, A. E. Kolodenkova, "Safety assessment of the information-control systems for nuclear power plants using cognitive modeling," (in Russian), in Technologies of the technosphere safety, no. 4 (62), pp. 339-348, 2015.]]

ОБ АВТОРЕ

КОЛОДЕНКОВА Анна Евгеньевна, доц. каф. Технологии машиностроения. Дипл. инж.-с/техн. по АСОИУ (УГАТУ, 2004). Канд. техн. наук (УГАТУ, 2007). Иссл. в обл. атомн. энергетики, нечеткого когнитивного моделирования, прогр. инженерии, сист. анализа.

METADATA

Title: Topological analysis of the structure of fuzzy cognitive model of project feasibility assessment to create of the information-control systems for complex technical objects

Authors: A. E. Kolodenkova

Affiliation:

Ufa State Aviation Technical University (UGATU), Russia.

Email: anna82_42@mail.ru.

Language: Russian.

Source: Vestnik UGATU (scientific journal of Ufa State Aviation Technical University), vol. 20, no. 3 (73), pp. 129-136, 2016. ISSN 2225-2789 (Online), ISSN 1992-6502 (Print).

Abstract: The method of topological analysis of the structure of a fuzzy cognitive model of project feasibility assessment for the establishment of information-control systems in conditions of fuzzy input data is being considered. The algorithm for processing the fuzzy input data is being offered. The example of topological analysis of the structure of a fuzzy cognitive model that identifies significant factors for project feasibility assessment is given.

Key words: topological analysis, fuzzy cognitive model, project feasibility assessment, information-control systems.

About the author:

КОЛОДЕНКОВА, Анна Евгеньевна, Associate professor, Dept. of Mechanical engineering technology. Dipl. engineer system analyst of ASIPM (UGATU, 2004). Cand. of Tech. Sci. (UGATU, 2007).