

УДК 004.413.5

ОЦЕНКА РЕАЛИЗУЕМОСТИ ПРОЕКТА ПО СОЗДАНИЮ ИНФОРМАЦИОННО-УПРАВЛЯЮЩИХ СИСТЕМ С ПРИМЕНЕНИЕМ ПРОЦЕДУРЫ ОБУЧЕНИЯ НЕЧЕТКОЙ КОГНИТИВНОЙ МОДЕЛИ

А. Е. Колоденкова

anna82_42@mail.ru

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

Поступила в редакцию 11 2016

Аннотация. Рассмотрен метод оценки реализуемости проекта по созданию информационно-управляющих систем (ИУС) в условиях нечетких исходных данных с применением процедуры обучения нечеткой когнитивной модели, позволяющий осуществлять поиск наилучших значений параметров факторов, обеспечивающих выполнение выдвинутых требований к создаваемой ИУС. Предложен алгоритм обработки нечетких исходных данных, позволяющий реализовать нечеткое когнитивное моделирование. Приведен подробный пример, иллюстрирующий метод и алгоритм.

Ключевые слова: реализуемость проекта; нечеткие исходные данные; обучение нечеткой когнитивной модели.

В настоящее время потребность в быстрой *оценке возможности* реализации проекта по созданию информационно-управляющих систем (ИУС) приобрела особую актуальность на этапе участия в конкурсных и тендерных процедурах, когда имеется минимум технической информации (технических требований) при жестко заданных временных и стоимостных параметрах. Следующая актуальная задача состоит в *оценке практической* реализуемости проекта по созданию ИУС на ее начальном этапе жизненного цикла, когда контракт подписан, а техническое задание в стадии разработки [1–4].

Однако такая оценка является достаточно сложной и многофакторной процедурой, в которой присутствует слабая структурированность теоретических и фактических знаний о проекте, не всегда возможно получить точное математическое описание процесса создания ИУС, так как отсутствуют точные количественные исходные данные о разрабатываемом проекте [5].

В связи с этим для гарантированного выполнения требований заказчика, достижения

необходимых технических и экономических показателей целесообразно для оценки реализуемости проекта по созданию ИУС в условиях нечетких исходных данных применить нечеткое когнитивное моделирование, заключающееся в построении и анализе нечеткой когнитивной модели (НКМ) [6, 7].

В настоящей работе рассмотрен метод оценки реализуемости проекта по созданию ИУС в условиях нечетких исходных данных с применением процедуры обучения нечеткой когнитивной модели.

МЕТОД ОЦЕНКИ РЕАЛИЗУЕМОСТИ ПРОЕКТА ПО СОЗДАНИЮ ИНФОРМАЦИОННО-УПРАВЛЯЮЩИХ СИСТЕМ С ПРИМЕНЕНИЕМ ОБУЧЕНИЯ НЕЧЕТКОЙ КОГНИТИВНОЙ МОДЕЛИ

Модифицированный метод оценки реализуемости проекта по созданию ИУС на этапе предпроектного исследования заключается в гарантированном нахождении значений параметров факторов в интервалах $x_{C_i, \min}(0) \leq x_{C_i}(0) \leq x_{C_i, \max}(0)$ (x_{C_i} – идеальное значение параметра фактора, $i = \overline{1, h}$, h – количество факторов), отражающих реализуемость проекта при ограниченных (имеющихся в наличии) ресурсах.

Работа поддержана грантом РФФИ 15-08-06129.

Автор выражает благодарность д.т.н., проф. Г. В. Гореловой, а также к.т.н., главному конструктору по направлению, зав. лабораторией НИИ МВС ЮФУ В. В. Коробкину за высказанные замечания и пожелания по улучшению статьи.

Для реализации данного метода предлагается восемь этапов (рис. 1).

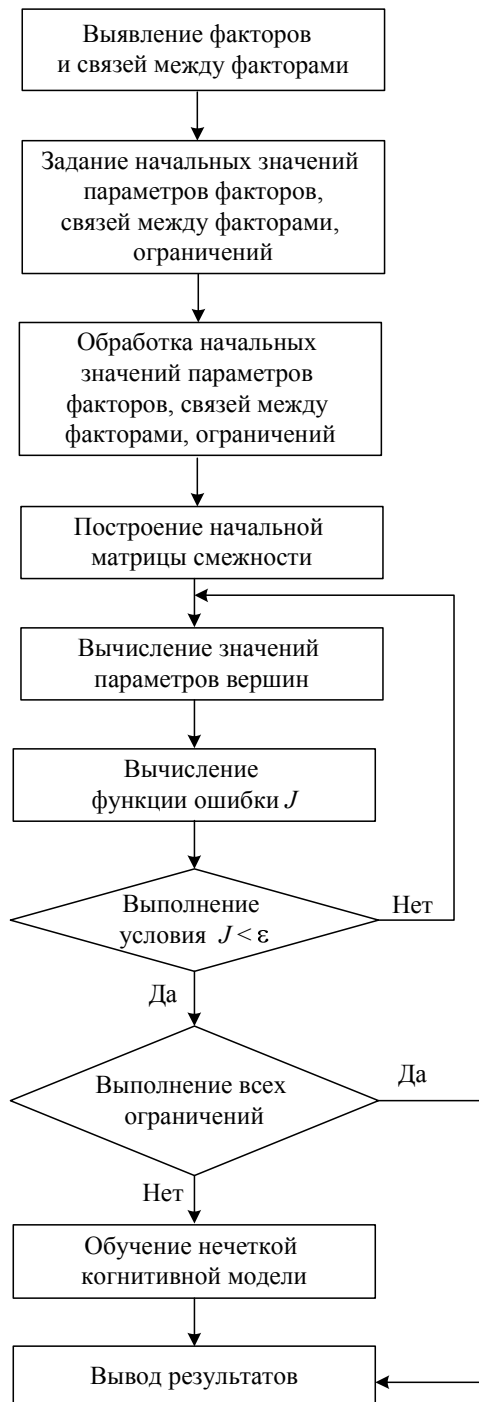


Рис. 1. Обобщенная схема оценки реализуемости проекта по созданию информационно-управляющих систем с применением процедуры обучения нечеткой когнитивной модели

Этап 1. Выявление факторов C_i , необходимых для оценки реализуемости проекта по созданию ИУС, взаимосвязей между факторами w_{ij} , $i, j = \overline{1, h}$.

Этап 2. Задание начальных значений параметров факторов $x_{C_i}(0)$, связей между факторами $w_{ij}(0)$, $i, j = \overline{1, h}$, а также ограничений, накладываемых на начальные значения параметров факторов $x_{C_i, \min}(0) \leq x_{C_i}(0) \leq x_{C_i, \max}(0)$.

Начальные значения параметров факторов $x_{C_i}(0)$ могут быть представлены в виде:

1) четких чисел (отличаются единицами измерения и порядком величин);

2) интервальных чисел

$$x_{C_i}(0) = [x_{C_i, \min}(0), x_{C_i, \max}(0)],$$

где $x_{C_i, \min}(0)$, $x_{C_i, \max}(0)$ – минимальное и максимальное значения интервала;

3) нечетких треугольных чисел

$$x_{C_i}(0) = [x_{C_i, \min}(0), x_{C_i, \text{cp}}(0), x_{C_i, \max}(0)],$$

где $x_{C_i, \text{cp}}(0)$ – среднее значение интервала;

4) нечетких трапециевидных чисел $x_{C_i}(0) = [x_{C_i,1}(0), x_{C_i,2}(0), x_{C_i,3}(0), x_{C_i,4}(0)]$, где $x_{C_i,1}(0), x_{C_i,4}(0)$ – пессимистическая и оптимистическая оценки; $[x_{C_i,2}(0), x_{C_i,3}(0)]$ – интервал наиболее возможной оценки.

5) лингвистических описаний.

Начальные значения связей между факторами $w_{ij}(0)$ могут быть представлены в виде:

1) нечетких чисел из интервала $w_{ij}(0) \in [-1; 1]$;

2) интервальных чисел

$$w_{ij}(0) = [w_{ij, \min}(0), w_{ij, \max}(0)],$$

где $w_{ij, \min}(0)$, $w_{ij, \max}(0)$ – минимальное и максимальное значения интервала;

3) нечетких треугольных чисел $w_{ij}(0) = [w_{ij, \min}(0), w_{ij, \text{cp}}(0), w_{ij, \max}(0)]$, где

$w_{ij, \text{cp}}(0)$ – среднее значение интервала;

4) трапециевидных чисел

$$w_{ij}(0) = [w_{ij,1}(0), w_{ij,2}(0), w_{ij,3}(0), w_{ij,4}(0)],$$

где $w_{ij,1}(0), w_{ij,4}(0)$ – пессимистическая и оптимистическая оценки; $[w_{ij,2}(0), w_{ij,3}(0)]$ – интервал наиболее возможной оценки.

5) лингвистических описаний.

Показатель интенсивности влияния w_{ij} обладает следующими свойствами [8, 9]:

1) w_{ij} принимает значения из интервала $w_{ij} \in [-1; 1]$, т.е. $-1 \leq w_{ij} \leq 1$;

2) $w_{ij} = 0$, если значение v_i не зависит от v_j , т.е. влияние v_i на v_j отсутствует;

3) $0 < w_{ij} \leq 1$ при положительном влиянии v_i на v_j , т.е. увеличение значения вершины v_i приводит к увеличению значения вершины v_j ;

4) $-1 \leq w_{ij} < 0$ при отрицательном влиянии v_i на v_j , т.е. увеличение значения вершины v_i приводит к уменьшению значения вершины v_j .

Начальные значения параметров факторов одновременно представляются в любом из перечисленных видов, а начальные значения связей между ними – одновременно только в одном из приведенных видов. Отметим, что пока работа не ведется с НКМ как с математическим аппаратом, оперируем понятием «факторы». Как только начинается работа с НКМ, вводится понятие «вершина».

Этап 3. Обработка начальных значений параметров факторов, связей между факторами и ограничений.

Обработка осуществляется по алгоритму, представленному ниже. Ограничения также необходимо обрабатывать, поскольку они представлены в виде четких чисел, которые отличаются единицами измерения и порядком величин.

Этап 4. Построение начальной матрицы смежности $W_{ij}(0)$ нечеткой когнитивной модели [6].

Этап 5. Вычисление значений параметров вершин $x_{v_i}(t)$.

Значения параметров вершин определяются в соответствии с формулой (1) [8, 9]:

$$x_{v_i}(t) = f \left(\sum_{\substack{j=1, \\ j \neq i}}^h w_{ji} x_{v_j}(t-1) + x_{v_i}(t-1) \right), \quad (1)$$

где $x_{v_j}(t-1)$ – значение параметра вершины v_j в момент времени $t-1$; $x_{v_i}(t-1)$ – значение параметра вершины v_i в момент времени $t-1$; $x_{v_i}(t)$ – значение параметра вершины v_i в момент времени t ; w_{ji} – значение связей между вершинами v_j к v_i ; f – пороговая функция, результат которой лежит в интервале $[0, 1]$; t – номер итерации.

В качестве пороговой функции в НКМ рассматривается униполярная сигмоидальная функция $f(x) = \frac{1}{1 - e^{-\lambda x}}$, где $\lambda > 0$ определяет крутизну непрерывной функции f .

Этап 6. Вычисление функции ошибки [10]:

$$J = \sum_{i=1}^h (x_{v_i}(t+1) - x_{v_i}(t))^2. \quad (2)$$

Если значение функции ошибки J находится ниже порогового значения ϵ , то необходимо вернуться на этап 5. В противном случае итерация заканчивается, и переходим к следующему условию. Пороговое значение ϵ в большинстве случаев берется 0,001 [11].

Далее рассматривается условие: если установившиеся значения из вектора параметров вершин $x_{v_i}(t)$ удовлетворяют всем ограничениям, то осуществляется вывод результатов, т.е. переходим к этапу 8. Если хотя бы одно из значений вектора параметров вершин не удовлетворяет ограничениям, то переходим к этапу 7.

Этап 7. Обучение нечеткой когнитивной модели.

Поскольку руководитель и исполнители проекта начальные значения связей между факторами назначают на основе предыдущего опыта, то может возникнуть проблема, связанная с неточной оценкой реализуемости проекта по созданию ИУС на этапе предпроектного исследования. Установившиеся значения параметров факторов, интересующие руководителя проекта, не удовлетворяют ограничениям, т.е. не попадают в заданный интервал $x_{C_i, \min}(0) \leq x_{C_i}(0) \leq x_{C_i, \max}(0)$.

Для решения возникшей проблемы рекомендуется использовать процедуру обучения НКМ. Под обучением НКМ понимается обновление значений связей, причем при проведении данной процедуры структура НКМ не изменяется, т.е. не вводятся и не выводятся вершины.

Этап 8. Вывод результатов в виде таблицы, содержащей итерации и результаты вычисления.

Модификация метода оценки реализуемости проекта по созданию ИУС с применением процедуры обучения НКМ заключается в применении этапа обработки начальных значений параметров факторов, связей между факторами и ограничений. В работах российских и зарубежных ученых рассматриваются значения факторов, которые являются сразу безразмерными величинами, принимающими значения в интервале $[0; 1]$ и значения связей из интервала $[-1; 1]$ [11–13].

На рис. 2 представлен модифицированный алгоритм, состоящий из девяти шагов, реализующий процедуру обучения НКМ.

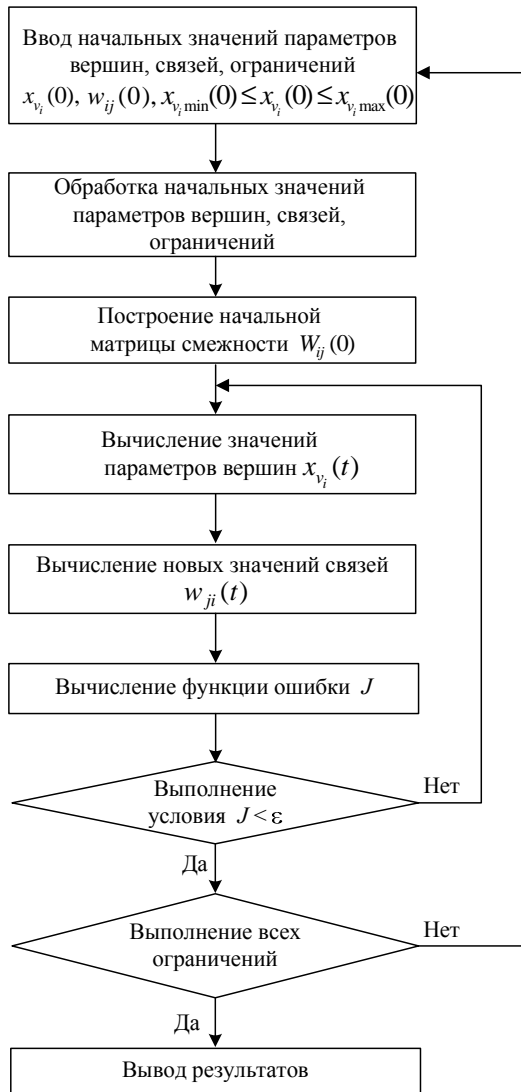


Рис. 2. Модифицированный алгоритм обучения нечеткой когнитивной модели

Шаг 1. Ввод начальных значений параметров вершин $x_{v_i}(0)$, связей между ними $w_{ij}(0)$, ограничений $x_{v_i, \min}(0) \leq x_{v_i}(0) \leq x_{v_i, \max}(0)$ (где x_{v_i} – идеальное значение параметра вершин).

Шаг 2. Обработка начальных значений параметров вершин, связей между вершинами, ограничений (рис. 3).

Шаг 3. Построение начальной матрицы смежности $W_{ij}(0)$.

Начальная матрица смежности состоит из нормированных значений связей между вершинами, которые принадлежат интервалу $[-1; 1]$.

Шаг 4. Вычисление значений параметров вершин $x_{v_i}(t)$.

Значения параметров вершин v_i определяются по (3) [9, 11, 14]:

$$x_{v_i}(t) = f \left(\sum_{\substack{j=1, \\ j \neq i}}^h w_{ji}(t) x_{v_j}(t-1) + x_{v_i}(t-1) \right), \quad (3)$$

где $w_{ji}(t)$ – новые значения связей между вершинами v_j к v_i в момент времени t .

Шаг 5. Вычисление новых значений связей $w_{ji}(t)$.

В качестве вычисления новых значений связей может использоваться нелинейный алгоритм обучения Хебба (*Nonlinear Hebbian Learning (NHL)*) [11, 13–15]

$$w_{ji}(t) = w_{ji}(t-1) + \eta x_{v_j}(t) \times (x_{v_i}(t) - x_{v_j}(t) w_{ji}(t-1)), \quad (4)$$

где η – параметр, определяющий скорость процесса обучения ($0 < \eta < 1$) [16, 17]; $w_{ji}(t)$, $w_{ji}(t-1)$ – значения связей между вершинами v_i и v_j в момент времени t , $t-1$.

Скорость процесса обучения, которая выбирается исходя из того, что при малых значениях параметра η возникает большое число повторений цикла обучения, а при больших значениях параметра – потеря устойчивости процесса обучения, т.е. НКМ обучится не верно [16, 17].

Шаг 6. Вычисление функции ошибки.

Вычисление осуществляется по формуле (2).

Шаг 7. Если условие $J < \epsilon$ соблюдается, то процедура обучения завершается (итерация заканчивается), т.е. переходим к шагу 8; если условие не соблюдается, то переходим к шагу 4.

Шаг 8. Если установившиеся значения из вектора параметров вершин удовлетворяют всем ограничениям, то переходим к шагу 9; если хотя бы одно значение из вектора не удовлетворяет ограничениям, то переходим к шагу 1, т.е. необходимо изменить структуру НКМ.

Шаг 9. Вывод результатов (конец алгоритма).

Модификация алгоритма обучения НКМ заключается в применении обработки начальных значений параметров факторов, связей между факторами и ограничений.

На рис. 3 представлен разработанный автором алгоритм обработки нечетких исходных данных (значений параметров вершин, связей и ограничений), состоящий из двенадцати шагов (рис. 3).

Шаг 1. Ввод начальных значений параметров вершин $x_{v_i}(0)$, $w_{ij}(0)$ значений связей между вершинами и ограничений.

Шаг 2. Если начальные значения параметров вершин $x_{v_i}(0)$ представлены в виде интер-

валов, то переходим к шагу 3; если условие не соблюдается, то переходим к шагу 4.

Шаг 3. Нормирование начальных значений параметров вершин, представленных в виде интервалов.

Для нормирования предлагаются следующие способы преобразования [18]:

1) для интервальных чисел

$$x_{v_i}(0) = [x_{v_i \min}(0), x_{v_i \max}(0)]$$

$$x_{v_i}^{\text{нор}} = \left[\frac{x_{v_i \min}(0)}{x_i^{\max}}, \frac{x_{v_i \max}(0)}{x_i^{\max}} \right], \quad (5)$$

где $x_{v_i}^{\text{нор}}$ – нормированные интервальные значения параметров вершин, $x_{v_i}^{\text{нор}} \in [0; 1]$; x_i^{\max} – максимальное значение интервала, $x_i^{\max} = \max_{1 \leq i \leq h^*} \{x_{v_i \max}(0)\}$, h^* – количество вершин, значения параметров которых представлены в виде интервальных чисел.

2) для нечетких треугольных чисел

$$x_{v_i}(0) = [x_{v_i \min}(0), x_{v_i \text{cp}}(0), x_{v_i \max}(0)]$$

$$x_{v_i}^{\text{нор}} = \left[\frac{x_{v_i \min}(0)}{x_i^{\max}}, \frac{x_{v_i \text{cp}}(0)}{x_i^{\max}}, \frac{x_{v_i \max}(0)}{x_i^{\max}} \right], \quad (6)$$

где $x_i^{\max} = \max_{1 \leq i \leq h^{**}} \{x_{v_i \max}(0)\}$, h^{**} – количество вершин, значения параметров которых представлены в виде нечетких треугольных чисел.

3) для нечетких трапециевидных чисел

$$x_{v_i}(0) = [x_{v_i 1}(0), x_{v_i 2}(0), x_{v_i 3}(0), x_{v_i 4}(0)]$$

$$x_{v_i}^{\text{нор}} = \left[\frac{x_{v_i 1}(0)}{x_i^{\max}}, \frac{x_{v_i 2}(0)}{x_i^{\max}}, \frac{x_{v_i 3}(0)}{x_i^{\max}}, \frac{x_{v_i 4}(0)}{x_i^{\max}} \right], \quad (7)$$

где $x_i^{\max} = \max_{1 \leq i \leq h^{***}} \{x_{v_i 4}(0)\}$, h^{***} – количество вершин, значения параметров которых представлены в виде нечетких трапециевидных чисел.

В результате нормирования значения параметров вершин представляют собой интервалы с нормированными значениями параметров вершин. Для того чтобы получить одно нормированное нечеткое значение из интервала, рекомендуется следующее:

1) для нормированных интервальных чисел

$$x_{v_i}^{*\text{нор}} = \frac{x_{v_i \min}^{\text{нор}} + x_{v_i \max}^{\text{нор}}}{2}, \quad (8)$$

где $x_{v_i}^{*\text{нор}}$ – нормированное нечеткое значение из интервала, $x_{v_i}^{*\text{нор}} \in [0; 1]$;

2) для нормированных нечетких треугольных чисел

$$x_{v_i}^{*\text{нор}} = x_{v_i \text{cp}}^{\text{нор}}, \quad (9)$$

3) для нормированных нечетких трапециевидных чисел

$$x_{v_i}^{*\text{нор}} = \frac{x_{v_i 1}^{\text{нор}} + x_{v_i 2}^{\text{нор}} + x_{v_i 3}^{\text{нор}} + x_{v_i 4}^{\text{нор}}}{4}. \quad (10)$$

Шаг 4. Если начальные значения параметров вершин представлены в виде лингвистических описаний, то переходим к шагу 5; если условие не соблюдается, переходим к шагу 6.

Шаг 5. Структуризация начальных значений параметров вершин. Затем переходим к шагу 8.

Для параметров вершин, значения которых представлены в виде лингвистических описаний, предлагается осуществлять структуризацию, где каждому лингвистическому описанию параметра вершины ставится в соответствие одно число из интервала $[0; 1]$. Для оценки значения параметров вершин введена лингвистическая переменная «Уровень фактора» (табл. 1).

Таблица 1

Оценка значения параметра вершины при лингвистической переменной «Уровень фактора»

Уровень фактора	Численное значение
Низкий	[0; 0,3)
Ниже среднего	[0,3; 0,5)
Средний	[0,5; 0,7)
Выше среднего	[0,7; 0,9)
Высокий	[0,9; 1]

Шаг 6. Если начальные значения параметров вершин представлены в виде четких чисел (отличаются единицами измерения и порядком величин), то переходим к шагу 8; если условие не соблюдается (начальные значения параметров вершин представлены в виде четких чисел, но не отличаются единицами измерения и порядком величин), то переходим к шагу 7.

Шаг 7. Нормирование значений параметров вершин, представленных в виде четких чисел.

Для нормирования предлагается следующий способ преобразования:

$$x_{v_i}^{\text{нор}} = \frac{x_{v_i \text{тек}}(0) - x_{v_i \min}(0)}{x_{v_i \max}(0) - x_{v_i \min}(0)}, \quad x_{v_i}^{\text{нор}} \in [0; 1], \quad (11)$$

где $x_{v_i \text{тек}}(0)$ – текущее значение параметра вершины; $x_{v_i \min}(0)$, $x_{v_i \max}(0)$ – минимальное и максимальное значения параметра вершины $v_i \in V$, $i = \overline{1, h}$, V – множество вершин.

Заметим, что формула (8) для нормирования значений параметров вершин, представленных в

виде интервальных, нечетких треугольных и трапециевидных чисел не подходит, т.к. интервальные значения параметров вершин не должны пересекаться, поскольку только в этом случае устанавливаются отношения «больше» (максимум) или «меньше» (минимум) [19].

Шаг 8. Если начальные значения связей между вершинами представлены в виде интервалов, то переходим к шагу 9; если условие не соблюдается, то переход к шагу 10.

Шаг 9. Нормирование значений связей между вершинами, представленными в виде интервалов.

Оценка характера и силы связей между вершинами, представленными в виде, например, нечетких треугольных чисел по пятибалльной шкале, приведена 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 значений связей предлагается следующие способы преобразования:

1) для интервальных чисел $w_{ij}(0) = [w_{ij \min}(0), w_{ij \max}(0)]$:

$$w_{ij}^{\text{нор}} = \left[\frac{w_{ij \min}(0)}{w^{\max}}, \frac{w_{ij \max}(0)}{w^{\max}} \right], \quad (12)$$

где w^{\max} – максимальное значение интервала,

$w^{\max} = \max_{\substack{1 \leq i \leq h, \\ 1 \leq j \leq h}} \{w_{ij \max}(0)\}$; $w_{ij}^{\text{нор}}$ – нормированные

интервальные значения связей между вершинами v_i и v_j , $w_{ij}^{\text{нор}} \in [-1; 1]$.

2) для нечетких треугольных чисел $w_{ij}(0) = [w_{ij \min}(0), w_{ij \text{ср}}(0), w_{ij \max}(0)]$:

$$w_{ij}^{\text{нор}} = \left[\frac{w_{ij \min}(0)}{w^{\max}}, \frac{w_{ij \text{ср}}(0)}{w^{\max}}, \frac{w_{ij \max}(0)}{w^{\max}} \right]; \quad (13)$$

3) для нечетких трапециевидных чисел $w_{ij}(0) = [w_{ij1}(0), w_{ij2}(0), w_{ij3}(0), w_{ij4}(0)]$:

$$w_{ij}^{\text{нор}} = \left[\frac{w_{ij1}(0)}{w^{\max}}, \frac{w_{ij2}(0)}{w^{\max}}, \frac{w_{ij3}(0)}{w^{\max}}, \frac{w_{ij4}(0)}{w^{\max}} \right], \quad (14)$$

где $w^{\max} = \max_{\substack{1 \leq i \leq h, \\ 1 \leq j \leq h}} \{w_{ij4}(0)\}$ – максимальное значение интервала.

В результате нормирования значения связей между вершинами представляют собой интервалы с нормированными значениями связей. Для того, чтобы получить одно нормированное нечеткое значение из интервала рекомендуется следующее:

1) для нормированных интервальных чисел $w_{ij}^{\text{нор}} = [w_{ij \min}^{\text{нор}}, w_{ij \max}^{\text{нор}}]$ выбрать среднее арифметическое:

$$w_{ij}^{*\text{нор}} = \frac{w_{ij \min}^{\text{нор}} + w_{ij \max}^{\text{нор}}}{2}; \quad (15)$$

2) для нормированных нечетких треугольных чисел $w_{ij}^{\text{нор}} = [w_{ij \min}^{\text{нор}}, w_{ij \text{ср}}^{\text{нор}}, w_{ij \max}^{\text{нор}}]$ выбрать среднее нормированное значение:

$$w_{ij}^{*\text{нор}} = w_{ij \text{ср}}^{\text{нор}}; \quad (16)$$

3) для нормированных нечетких трапециевидных чисел $w_{ij}^{\text{нор}} = [w_{ij1}^{\text{нор}}, w_{ij2}^{\text{нор}}, w_{ij3}^{\text{нор}}, w_{ij4}^{\text{нор}}]$ выбрать среднее арифметическое:

$$w_{ij}^{*\text{нор}} = \frac{w_{ij1}^{\text{нор}} + w_{ij2}^{\text{нор}} + w_{ij3}^{\text{нор}} + w_{ij4}^{\text{нор}}}{4}. \quad (17)$$

Шаг 10. Если значения связей между вершинами представлены в виде лингвистических описаний, то переходим к шагу 11; если условие не соблюдается, т.е. значения связей между вершинами представлены в виде нечетких чисел из интервала $[-1; 1]$, то переходим к шагу 12.

Шаг 11. Структуризация значений связей между вершинами. Затем переходим к шагу 12.

Для установления причинно-следственных связей определена шкала для оценки характера и силы связей между вершинами (табл. 3). Структуризация заключается в следующем: каждому значению связи, представленному в виде лингвистического описания, ставится в соответствие одно нечеткое число из интервала $[-1; 1]$.

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

Таблица 3
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]

Шаг 12. Построение нечеткой когнитивной модели (конец алгоритма).

ПРИМЕР ОЦЕНКИ РЕАЛИЗУЕМОСТИ ПРОЕКТА ПО СОЗДАНИЮ ИНФОРМАЦИОННО-УПРАВЛЯЮЩИХ СИСТЕМ ДЛЯ АТОМНЫХ СТАНЦИЙ

Рассмотрим пример оценки реализуемости проекта по созданию ИУС для атомных станций (АС).

Пусть известны начальные значения факторов (табл. 4) и ограничения, накладываемые на целевые факторы ($5,5 \cdot 10^{-8} \leq v_7 \leq 1 \cdot 10^{-7}$ (реактор/в год), $164 \leq v_{10} \leq 180$ (дней), $1500 \leq v_{11} \leq 2000$ (тыс. руб.)). Ставится задача оценки реализуемости проекта за счет гарантированного нахождения значений параметров факторов в интервалах.

Начальные значения параметров факторов задаются руководителем и исполнителями проекта на основе конкурсной (тендерной) документации, контракта, а также нормативной документации.

Под производительностью исполнителей понимается скорость выполнения работ; количеством оценок проекта ИУС – оценки, которые могут быть получены с применением различных подходов и методов и представлены в форме, позволяющей принимать решение о способах реализуемости ИУС; завершением проекта – неудачное завершение проекта (отставание от графика работ); экономичностью – выполнение работ с наименьшими затратами; надежностью ИУС – ИУС, которое находится в работоспособном состоянии в течение определенного отрезка времени; безопасностью и защитой ИУС – свойство ИУС 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 ИУС; стоимостью создания ИУС – финансовые ресурсы, затрачиваемые на создание ИУС.

Таблица 4
Начальные значения факторов до обработки

Вершина	Наименование факторов	Значения
v_1	Количество задач	[40; 45; 49]
v_2	Производительность исполнителей	32 норм/часа
v_3	Количество оценок проекта ИУС	4
v_4	Завершение проекта	2 года
v_5	Экономичность	45 %
v_6	Надежность ИУС	[8000; 8300; 8500] часов
v_7	Безопасность и защита ИУС	$7,8 \cdot 10^{-8}$ реактор/в год
v_8	Внешние факторы	0,2
v_9	Количество ошибок исполнителей	0,6
v_{10}	Время создания ИУС	[149; 162; 178] дней
v_{11}	Стоимость создания ИУС	[1555; 1742; 1926] тыс. руб.

Отметим, что «Внешние факторы» и «Количество ошибок исполнителей» представлены в виде лингвистических описаний, оценены по табл. 1 и обработке не подлежат, поскольку значения находятся в интервале [0; 1].

Предположим, что силы связей между вершинами представлены в виде нечетких треугольных чисел и оценены по пятибалльной шкале (рис. 3).

Далее осуществляется обработка начальных значений параметров факторов: для четких значений по формуле (11); для значений, представленных нечеткими треугольными числами по формулам (6) и (9); лингвистических описаний по табл. 1. Обработка начальных значений связей между факторами осуществляется по формулам (13) и (16).

После обработки значения параметров целевых факторов будут следующими: $0,55 \leq v_7 \leq 1$; $0,93 \leq v_{10} \leq 1$; $0,75 \leq v_{11} \leq 1$, а начальные значения параметров факторов примут следующий вид (табл. 5).

Обработанные значения связей отражены на построенной НКМ оценки реализуемости проекта по созданию ИУС для АС (рис. 4).

	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	[1,1; 1,5; 2]	0	[-1,1; -1,5; -2]	0	0	0	0	[2,1; 2,5; 3]	[3,1; 3,5; 4]	[3,1; 3,5; 4]
v_2	0	0	[4,1; 4,5; 5]	0	[2,1; 2,5; 3]	0	0	0	0	0	0
v_3	0	0	0	0	0	[4,1; 4,5; 5]	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	[-2,1; -2,5; -3]	0	[4,1; 4,5; 5]	0	0	[3,1; 3,5; 4]	[3,1; 3,5; 4]
v_7	0	0	0	0	0	0	0	0	0	[4,1; 4,5; 5]	[4,1; 4,5; 5]
v_8	0	0	0	0	0	[-2,1; -2,5; -3]	[-2,1; -2,5; -3]	0	0	0	[2,1; 2,5; 3]
v_9	0	0	0	[3,1; 3,5; 4]	0	[-4,1; -4,5; -5]	[-4,1; -4,5; -5]	0	0	0	[3,1; 3,5; 4]
v_{10}	0	0	0	[-2,1; -2,5; -3]	[-2,1; -2,5; -3]	0	0	0	[-3,1; -3,5; -4]	0	0
v_{11}	0	0	0	0	[-2,1; -2,5; -3]	0	0	0	0	0	0

Рис. 3. Матрица смежности начальных значений связей между факторами

Таблица 5

Начальные значения параметров факторов после обработки

№	Наименование факторов	Значения
v_1	Количество задач	0,005
v_2	Производительность исполнителей:	0,71
v_3	Количество оценок проекта ИУС	0,09
v_4	Завершение проекта	0,04
v_5	Экономичность	1
v_6	Надежность ИУС	0,98
v_7	Безопасность и защита ИУС	0
v_8	Внешние факторы	0,2
v_9	Количество ошибок исполнителей	0,6
v_{10}	Время создания ИУС	0,019
v_{11}	Стоимость создания ИУС	0,92

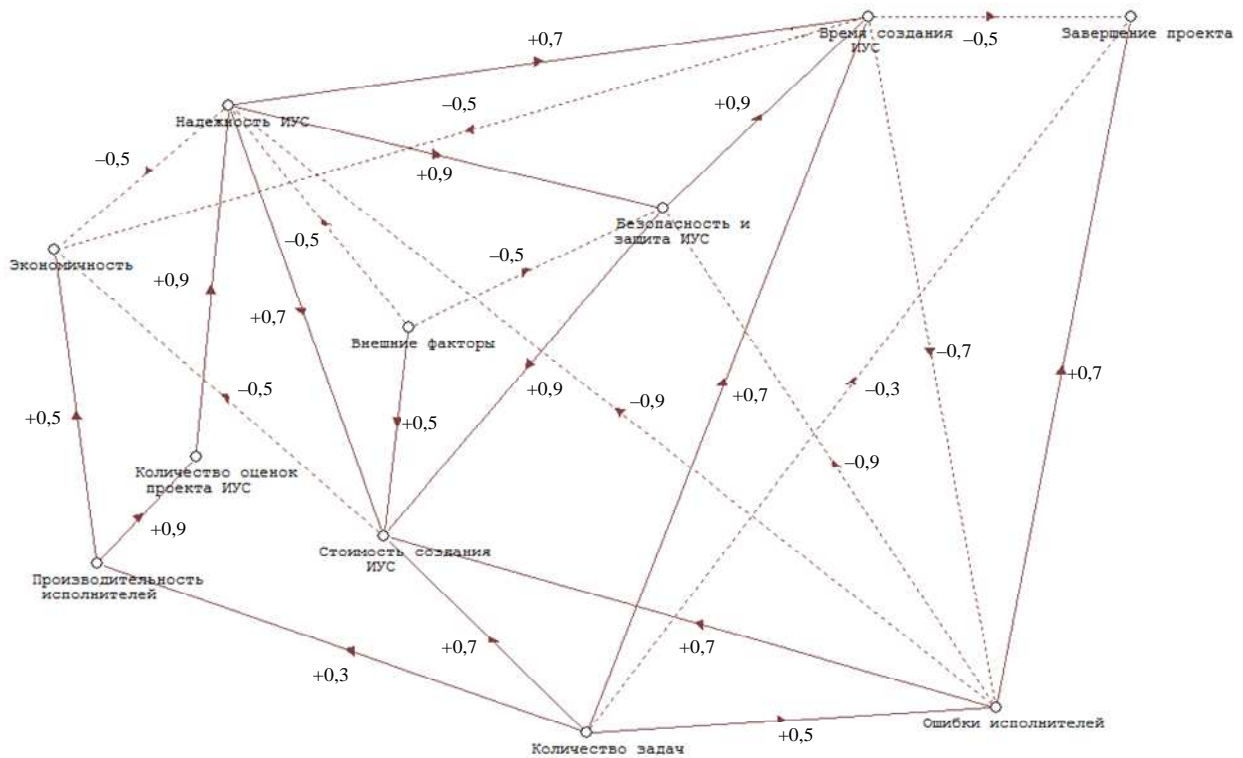


Рис. 4. Нечеткая когнитивная модель оценки реализуемости проекта по созданию информационно-управляющих систем для атомных станций

Вершины Шаг (t)	x_{v_1}	x_{v_2}	x_{v_3}	x_{v_4}	x_{v_5}	x_{v_6}	x_{v_7} (целевая)	x_{v_8}	x_{v_9}	$x_{v_{10}}$ (целевая)	$x_{v_{11}}$ (целевая)
1	0,5013	0,6709	0,6746	0,6114	0,5978	0,6026	0,5594	0,5498	0,6432	0,6695	0,89
2	0,6227	0,6945	0,7822	0,6403	0,4626	0,5881	0,5617	0,6341	0,6047	0,8749	0,9476
3	0,6508	0,7071	0,8033	0,6080	0,4024	0,6060	0,5572	0,6534	0,5753	0,9027	0,9544
4	0,6572	0,7114	0,8084	0,5901	0,3832	0,6188	0,5642	0,6578	0,5668	0,9075	0,9554
5	0,6586	0,7127	0,8098	0,5831	0,3771	0,6242	0,5700	0,6587	0,5647	0,9095	0,9561
6	0,6586	0,7127	0,8098	0,5831	0,3771	0,6242	0,5700	0,6587	0,5647	0,9095	0,9561
7	0,6586	0,7127	0,8098	0,5831	0,3771	0,6242	0,5700	0,6587	0,5647	0,9095	0,9561

Рис. 5. Значения параметров вершин нечеткой когнитивной модели до обучения

Далее, используя формулу (1), вычислялись значения параметров вершин. В качестве пороговой функции использовалась униполярная сигмоидальная функция, $\lambda = 1$. Результаты вычисления для 7-ми итераций представлены на рис. 5.

Как видно, уже после 5-ти итераций возникает установившееся (равновесное) состояние НКМ, определяемое вектором переменных:

$$X^{уст} = (0,6586; 0,7127; 0,8098; 0,5831; 0,3771; 0,6242; 0,5700; 0,6587; 0,5647; 0,9095; 0,9561).$$

Поскольку значение параметра установившейся вершины v_{10} (0,9095) не попало в заданный интервал (ограничение), то далее используется процедура обучения НКМ с помощью алгоритма, представленного на рис. 2.

Далее проводились вычисления для тех же начальных значений параметров вершин

$X(0) = (0,005; 0,71; 0,09; 0,04; 1; 0,98; 0; 0,2; 0,6; 0,019; 0,92)$ по формуле (3), с применением на каждой итерации обновления значений связей (4). В качестве параметра скорости обучения принималось $\eta = 0,05$, порогового значения – $\varepsilon = 0,001$.

Как видно из таблицы, представленной на рис. 6, уже после 2-х итераций возникает установившееся состояние НКМ, определяемое вектором переменных:

$$X^{уст} = (0,7026; 0,7549; 0,8427; 0,6273; 0,4030; 0,6654; 0,6151; 0,7026; 0,6109; 0,9287; 0,9657)$$

значения, которого v_7 (0,6151), v_{10} (0,9287), v_{11} (0,9657) удовлетворяют начальным ограничениям.

При этом матрица смежности НКМ после окончания процесса обучения имеет вид (рис. 7).

Вершины Шаг (t)	x_{v_1}	x_{v_2}	x_{v_3}	x_{v_4}	x_{v_5}	x_{v_6}	x_{v_7} (целевая)	x_{v_8}	x_{v_9}	$x_{v_{10}}$ (целевая)	$x_{v_{11}}$ (целевая)
1	0,6939	0,7457	0,8345	0,6165	0,3993	0,6616	0,6083	0,6939	0,5993	0,9217	0,9609
2	0,7026	0,7549	0,8427	0,6273	0,4030	0,6654	0,6151	0,7026	0,6109	0,9287	0,9657
3	0,7026	0,7549	0,8427	0,6273	0,4030	0,6654	0,6151	0,7026	0,6109	0,9287	0,9657
4	0,7026	0,7549	0,8427	0,6273	0,4030	0,6654	0,6151	0,7026	0,6109	0,9287	0,9657

Рис. 6. Значения параметров вершин нечеткой когнитивной модели после обучения

	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	0,333	0,055	-0,248	0,026	0,043	0,040	0,046	0,523	0,703	0,701
v_2	0,049	0	0,899	0,044	0,521	0,047	0,043	0,049	0,043	0,066	0,069
v_3	0,056	0,059	0	0,049	0,032	0,916	0,049	0,056	0,048	0,074	0,078
v_4	0,041	0,044	0,049	0	0,024	0,039	0,036	0,041	0,035	0,055	0,057
v_5	0,026	0,028	0,032	0,023	0	0,025	0,023	0,026	0,023	0,035	0,0366
v_6	0,043	0,047	0,052	0,038	-0,467	0	0,907	0,043	0,038	0,7	0,697
v_7	0,039	0,043	0,048	0,036	0,023	0,038	0	0,039	0,035	0,879	0,875
v_8	0,046	0,049	0,055	0,041	0,026	-0,436	-0,443	0	0,039	0,061	0,519
v_9	0,039	0,043	0,048	0,709	0,023	-0,825	-0,834	0,039	0	0,053	0,692
v_{10}	0,062	0,067	0,075	-0,427	-0,457	0,059	0,054	0,062	-0,622	0	0,086
v_{11}	0,064	0,070	0,078	0,057	-0,455	0,061	0,056	0,065	0,056	0,086	0

Рис. 7. Матрица смежности нечеткой когнитивной модели после окончания процесса обучения

Повторение процесса обучения с использованием других начальных значений параметров вершин и матрицы связей (рис. 7) в итоге дает один и тот же конечный результат. Это позволяет утверждать, что полученная НКМ оценки реализуемости проекта по созданию ИУС с матрицей смежности (рис. 7) обеспечивает реализуемость проекта по созданию ИУС при имеющихся в наличии ресурсах.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В данной работе предложен метод оценки реализуемости проекта по созданию ИУС с применением процедуры обучения НКМ в условиях нечетких исходных данных, позволяющий осуществлять поиск наилучших значений параметров факторов, отражающих реализуемость проекта при наличии ресурсов, в соответствии с конкурсной (тендерной) документацией или контрактом по созданию ИУС. Предложенный алгоритм обработки нечетких исходных данных, позволяет проводить нормирование и структуризацию значений параметров вершин и связей между ними в целях применения нечеткого когнитивного моделирования.

Данный метод опробован в инновационно-технологическом центре «Ядерная энергетика» ЮФУ при выполнении ряда ОКР и договоров поставки оборудования для АЭС.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. 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.]]
2. Колоденкова А. Е. Оценка жизнеспособности программных проектов в условиях нечеткости исходных данных // Программная инженерия. 2011. № 5. С. 10–16. [[A. E. Kolodenkova, "The Program Project Viability Estimation in the Conditions of Fuzzy Initial Data," (in Russian), in *Software engineering*, no. 5, pp. 10-16, 2011.]]
3. Колоденкова А. Е. Актуальные проблемы современной программной инженерии: концептуальное проектирование и жизнеспособность программного проекта // Вестник УГАТУ. 2011. Т. 15, № 2 (42). С. 8–21. [[A. E. Kolodenkova, "Actual problems of modern software engineering: conceptual designing and project viability," (in Russian), in *Vestnik UGATU*, vol. 15, no. 2(42), pp. 8-21, 2011.]]
4. Колоденкова А. Е. Оценка реализуемости создания программного обеспечения информационно-управляющих систем атомных станций при интервальном характере исходных данных // Известия высших учебных заведений. Северо-Кавказский регион. Сер.: Технические науки. 2015. № 4 (185). С. 28–34. [[A. E. Kolodenkova, "Assess implementation of creating software for information and control systems nuclear power plants at interval nature of the source data," (in Russian), in *University News. North-Caucasian Region. Technical Sciences Series*, no. 4, pp. 28-34, 2015.]]
5. 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.]]
6. 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, pp. 339-348, 2015.]]
7. 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.]]
8. Борисов В. В., Круглов В. В., Федулов А. С. Нечеткие модели и сети. М.: Горячая линия – Телеком, 2007. 284 с. [[V. V. Borisov, V. V. Kruglov, A. S. Fedulov, "Indistinct models and networks," (in Russian), Moscow: Gorychaya liniya – Telekom, 2007.]]
9. Stylios C. D., Groumpos P. P. Fuzzy cognitive map in modeling supervisory control systems [Электронный ресурс]. URL: <http://www.researchgate.net/publication/220256484> (дата обращения 10.03.2016). [C. D. Stylios, P. P. Groumpos (2016, March. 10). *Fuzzy cognitive map in modeling supervisory control systems* [Online]. Available: <http://www.researchgate.net/publication/220256484>]]
10. Zhaowei Ren Learning fuzzy cognitive maps by a hybrid method using nonlinear Hebbian learning and extended great deluge algorithm [Электронный ресурс]. URL: http://ceur-ws.org/Vol-841/submission_27.pdf (дата обращения 10.03.2016). [Ren Zhaowei (2016, March. 10). Learning fuzzy cognitive maps by a hybrid method using nonlinear Hebbian learning and extended great deluge algorithm [Online]. Available: http://ceur-ws.org/Vol-841/submission_27.pdf]]
11. Papageorgiou E. I., Groumpos P. P. A weight adaptation method for fuzzy cognitive map learning [Электронный ресурс]. URL: <http://www.researchgate.net/publication/220175959> (дата обращения 10.03.2016). [E. I. Papageorgiou, P. P. Groumpos (2016, March. 10). A weight adaptation

method for fuzzy cognitive map learning [Online]. Available: <http://www.researchgate.net/publication/220175959>]]

12. **Ильясов Б. Г., Васильев В. И.** Интеллектуальные системы управления. Теория и практика. М.: Радиотехника, 2009. 392 с. [[В. G. Ilyasov, V. I. Vasilyev, "Intelligent control systems. Theory and practice," (in Russian), Moscow: Radiotekhnika, 2009.]]

13. **Papageorgiou E. I., Stylios C. D., Groumpos P. P.** Un-supervised learning techniques for fine-tuning fuzzy cognitive map causal links // International Journal of Human-Computer Studies. 2006. Vol. 64 (8), pp. 727–743.

14. **Dickerson J., Kosko B.** Virtual worlds as fuzzy cognitive maps // IEEE Virtual Reality Annual International Symposium. 1993, pp. 471–477.

15. **Koulouriotis D. E., Diakoulakis I. E., Emiris D. M.** Learning fuzzy cognitive maps using evolution strategies: a novel schema for modeling a simulating high-level behavior // IEEE Congress on Evolutionary Computation. 2001. Vol. 1, pp. 364–371

16. **Douali N., Roo J., Jalent M.** Decision support system based semantic web for personalized patient care // Studies in Health Technology and Informatics. 2012. Vol. 180, pp. 1203–1205

17. **Karagiannis I. E., Groumpos P. P.** Input-Sensitive Fuzzy Cognitive Maps // IJCSI International Journal of Computer Science Issues. 2013. Vol. 10. No 1, pp. 143–151

18. **Колоденкова А. Е., Коробкин В. В., Кухаренко А. П.** Моделирование процессов создания и оценки реализуемости информационно-управляющих систем мехатронных комплексов // Известия ЮФУ. Технические науки. 2015. № 10 (171). С. 117–128. [[А. Е. Kolodenkova, V. V. Korobkin, A. P. Kuharenko, "Modeling of the processes of creation and estimation feasibility information and control systems mechatronic complexes," (in Russian), in Izvestiya SFedU. Engineering Sciences, no. 10 (171), pp. 117-128, 2015.]]

19. **Левин В. И.** Сравнение интервальных величин и оптимизация неопределенных систем // Информационные технологии. 1998. № 7. С. 22–32. [[V. I. Levin, "Comparison of interval sizes and optimization of uncertain systems," (in Russian), in Information technology, no. 7, pp. 22-32, 1998.]]

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, прогн. инженерии, сист. анализа.

METADATA

Title: Project feasibility estimation to creation information-control systems with procedure application learning of fuzzy cognitive model

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. 2(72), pp.123-133, 2016. ISSN 2225-2789 (Online), ISSN 1992-6502 (Print).

Abstract: The method of the project feasibility assessment to creation of information-control systems in the conditions of fuzzy initial data with application of procedure of learning of fuzzy cognitive model is considered. The method allows to conduct out search of the best values of parameters of the factors providing implementation of the made demands to reliability of the created information-control systems. The algorithm of updating of scales of communications between nodes of a graph of fuzzy cognitive model in the conditions of fuzzy initial data is offered. The example illustrating a method and algorithm is given.

Key words: project feasibility; fuzzy initial data; learning fuzzy cognitive models.

About the author:

KOLODENKOVA, Anna Evgenievna, Associate professor, Dept. of Mechanical engineering technology. Dipl. engineer system analyst of ASIPM (UGATU, 2004). Cand. of Tech. Sci. (UGATU, 2007).