

УДК 004.827

## ПОСТРОЕНИЕ БАЗЫ ЗНАНИЙ ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНОЙ СИСТЕМЫ КОНТРОЛЯ И ПРЕДУПРЕЖДЕНИЯ РИСКОВЫХ СИТУАЦИЙ ДЛЯ ЭТАПА ПРОЕКТИРОВАНИЯ СЛОЖНЫХ ТЕХНИЧЕСКИХ СИСТЕМ

С.М. Ковалев<sup>1</sup>, А.Е. Колоденкова<sup>2</sup>

<sup>1</sup> Ростовский государственный университет путей сообщения, Ростов-на-Дону, Россия  
ksm@rfnias.ru

<sup>2</sup> Самарский государственный технический университет, Самара, Россия  
anna82\_42@mail.ru

### Аннотация

Процесс проектирования сложных технических систем (СТС) является итеративным процессом, который характеризуется значительными затратами ресурсов (финансовых, трудовых, временных), оформлением большого объёма документации, а также множеством возникающих рискованных ситуаций. Для надёжного создания СТС необходима интеллектуальная система контроля и предупреждения рискованных ситуаций, которая позволит быстро обработать и проанализировать большие объёмы разнородной информации, выявить рискованные ситуации на этапе проектирования, а также ответить на вопрос типа «Что будет с проектом создаваемой СТС, если на этапе проектирования произойдут какие-либо изменения...?». Статья посвящена построению базы знаний интеллектуальной системы контроля и предупреждения рискованных ситуаций в условиях разнородной информации для этапа проектирования СТС критической инфраструктуры. Проведён анализ основных типов моделей представления знаний, применяемых при создании баз знаний. Предложена база знаний, основанная на модульном принципе и использующая обобщённую схему методологии когнитивного и нечёткого когнитивного моделирования. Новыми результатами являются: разработанный модуль обработки исходных данных, позволяющий обрабатывать разнородные данные; представление знаний в базе знаний в виде чётких или нечётких моделей; сценарии развития рискованных ситуаций, связанных с проектированием СТС.

**Ключевые слова:** база знаний; модульный подход; чёткие и нечёткие когнитивные модели; сложная техническая система.

**Цитирование:** Ковалев, С.М. Построение базы знаний интеллектуальной системы контроля и предупреждения рискованных ситуаций для этапа проектирования сложных технических систем / С.М. Ковалев, А.Е. Колоденкова // Онтология проектирования. – 2017. – Т.7, №4(26). – С. 398-409. – DOI: 10.18287/2223-9537-2017-7-4-398-409.

### Введение

Развитие сложных технических систем (СТС) критической инфраструктуры, эффективность и работоспособность которых зависит от качества, надёжности многих сотен и тысяч взаимосвязанных элементов (конструктивных, технических, управляющих) требует особого внимания к этапу проектирования СТС. Этот этап характеризуется широким спектром неопределённостей, часто изменяющимися требованиями заказчика, возникающими рискованными ситуациями, существенными затратами ресурсов (финансовыми, временными, трудовыми и др.), а также большим объёмом разнообразной документации [1-3]. К рискованным ситуациям можно отнести:

- разработку новых требований к СТС;

- срыв сроков разработки конструкторской, технологической, программной документации;
- задержка согласования технической документации заинтересованными организациями;
- срыв сроков поставки комплектующих, материалов и полуфабрикатов;
- срыв поставки СТС заказчику;
- нарушение сроков сдачи готовой СТС;
- экономические потери и др.

Это приводит к значительному увеличению трудоёмкости рутинных процедур, которые в ходе проектирования СТС выполнялись и продолжают выполняться «вручную» и сравнительно редко изучались в системной инженерии. Даже незначительные ошибки, допущенные на данном этапе, могут привести к ситуации, когда принятые решения по проектированию могут в дальнейшем привести к критическому несоответствию СТС заявленным целям и требованиям заказчика.

В связи с этим, на этапе проектирования СТС необходима интеллектуальная система контроля и предупреждения рискованных ситуаций (СКПРС), основанная на знаниях, которая позволит быстро обрабатывать и анализировать большие объёмы разнородной информации; проводить оценку текущей ситуации, а также отвечать на вопросы типа: «Что будет с проектом создаваемой СТС, если на этапе проектирования произойдут какие-либо изменения...?».

## **1 Построение базы знаний интеллектуальной системы контроля и предупреждения рискованных ситуаций**

База знаний (БЗ) является одним из важнейших компонентов интеллектуальной СКПРС, которая создаётся на основе знаний высококвалифицированных специалистов. При построении БЗ важным является выбор способа представления знаний. Основные типы моделей представления знаний, которые часто применяются к процессу построения БЗ представлены ниже [4, 5]:

1) *продукционные модели* – модель, основанная на правилах, позволяющая представить знание в виде предложений типа: «Если условие, то действие». Продукционная модель обладает тем недостатком, что при накоплении достаточно большого числа продукций они начинают противоречить друг другу;

2) *семантические сети* – ориентированный граф, в котором понятия и объекты изображаются как вершины, а отношения между объектами – дуги. Одним из недостатков является то, что однозначного определения семантической сети в настоящее время не существует;

3) *фреймовая модель* – модель, в основе которой лежат фреймы. Фрейм состоит из конечного числа слотов, каждый из которых имеет имя и значение.

4) *онтологическая модель* – понятийная конструкция, базирующаяся на определённых глобальных категориях (пространстве, времени и качестве).

5) *модель в исчислении высказываний* – самая простая формальная модель представления знаний. Её применение невозможно для описания сложных систем знаний, однако она позволяет понять основной механизм вывода в системах искусственного интеллекта.

В работе [6] рассматривается построение БЗ для распределённых информационно-управляющих систем. В работе [7] предложен подход к построению нечёткой БЗ, положенный в основу построения систем нечёткого вывода для оперативного управления пожарной безопасностью взрыво- и пожароопасных производств. В работе [8] рассматривается построение БЗ интеллектуальной системы управления безопасностью сложных транспортных комплексов. В работе [9] предлагается архитектурная, многоуровневая модель БЗ для хранения информации в предметно-ориентированной интеллектуальной системе. В данных работах не

рассматривается случай, когда знания одновременно могут быть представлены в виде разнородных данных (вербальных описаний, интервалов, нечётких «треугольных» и «трапециевидных» чисел). Это может привести к неверной оценке рисков, а также к ошибочной оценке осуществимости проекта по созданию СТС на этапе проектирования.

В предлагаемой авторами БЗ модели знания представлены в виде чётких когнитивных моделей (ЧКМ) и нечётких когнитивных моделей (НКМ), а также сценариев развития рискованных ситуаций, возникающих при проектировании СТС.

## 2 Структура базы знаний интеллектуальной системы контроля и предупреждения рискованных ситуаций

На рисунке 1 представлена структура БЗ интеллектуальной СКПРС, основанной на модульном принципе, использующей обобщённую схему методологии когнитивного и нечёткого когнитивного моделирования.



Рисунок 1 – Структура базы знаний интеллектуальной СКПРС

Предлагаемая БЗ интеллектуальной СКПРС содержит 6 модулей.

**Модуль сбора исходных данных** позволяет собирать исходные данные о создании СТС на протяжении всего этапа проектирования. Под *исходными данными* понимаются факторы, необходимые для контроля и предупреждения рисков ситуаций, связи между факторами, а также их значения. Значения факторов могут быть представлены в виде:

- чисел, которые отличаются единицами измерения и порядком величин;
- интервалов (произвольные данные, которые связаны с определёнными датами или промежутками времени (темпоральные данные)) [10];
- нечётких «треугольных» и «трапециевидных» чисел;
- вербальных описаний.

Значения связей между факторами могут быть представлены в виде: интервалов; нечётких «треугольных» и «трапециевидных» чисел; вербальных описаний.

Обычно множество факторов, связей между ними, а также их значения определяются на основе предыдущего опыта, по результатам опроса исполнителей, анализа нормативной документации или контракта. Необходимость привлечения экспертных знаний нередко обусловлена отсутствием каких-либо других способов получения информации.

**Модуль обработки исходных данных** позволяет обрабатывать исходные данные с тем, чтобы можно было применить чёткое либо нечёткое когнитивное моделирование.

Под *обработкой неопределённых исходных данных* понимается структуризация и нормирование значений факторов, а также связей между ними, представленных в виде чисел (отличаются единицами измерения и порядком величин), вербальных описаний, интервалов, нечётких треугольных и трапециевидных чисел, позволяющая применить методологию нечёткого когнитивного моделирования. Алгоритм обработки неопределённых исходных данных описан в работе [11].

**Модуль диагностики** позволяет строить ЧКМ, НКМ выявления и предупреждения рисков ситуаций при проектировании СТС с применением методологии когнитивного и нечёткого когнитивного моделирования.

Для применения темпоральных методов, методов «мягких вычислений» используются исходные данные, в качестве которых выступают показатели, характеризующие рисков ситуации, заданные в виде интервалов, нечётких треугольных и трапециевидных чисел. Результатом использования данных методов является рассчитанная интервальная оценка, характеризующая приемлемую альтернативу проекта создания СТС на этапе проектирования, которая проходит этап обработки и предназначена для применения в процедурах поддержки принятия решений.

Под *ЧКМ* понимается когнитивная карта (знаковый ориентированный граф) [12]:

$$G = \langle V, E \rangle,$$

где  $V = \{v_i\}$  – множество вершин,  $i = 1, \dots, h$ ,  $h$  – количество вершин;

$E$  – бинарное отношение на  $V$  (связи между вершинами  $v_i$  и  $v_j$ ). Элементы  $e_{ij}$ ,  $e_{ij} \in E$  ( $i, j = 1, \dots, h$ ) характеризуют направление и силу влияния между вершинами  $v_i$  и  $v_j$ ,  $e_{ij} = e(v_i, v_j)$ . Элемент  $e_{ij}$  может принимать значения «1», «-1» либо «0»:

- значение «1» означает положительную связь между вершинами  $v_i$  и  $v_j$ , т.е. увеличение (уменьшение) влияния вершины  $v_i$  вызывает увеличение (уменьшение) в вершине  $v_j$ ;
- значение «-1» означает отрицательную связь между  $v_i$  и  $v_j$ , т.е. увеличение (уменьшение) влияния вершины  $v_i$  вызывает уменьшение (увеличение) в вершине  $v_j$ ;
- значение «0» означает, что влияние  $v_i$  на  $v_j$  отсутствует.

Под *НКМ* понимается нечёткая когнитивная карта, в которой вершины представляют факторы, а рёбра – нечёткие причинно-следственные связи между факторами [13]:

$$G_{\text{неч}} = \langle V, W \rangle,$$

где  $V = \{v_i\}$  – множество вершин,  $v_i \in V$ ,  $i = \overline{1, h}$ ,  $h$  – количество вершин;  $X = \{x_{v_i}\}$  – множество параметров вершин (каждой вершине ставится один параметр);  $W$  – нечёткие причинно-следственные связи между вершинами. Элементы  $w_{ij}$ ,  $w_{ij} \in W$  характеризуют направление и силу влияния между вершинами  $v_i$  и  $v_j$  и обладают следующими свойствами [14]:

- 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 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  $v_j$ .

Заметим, что на данном этапе может быть построена не одна чёткая и/или нечёткая когнитивная модель, а набор ЧКМ ( $G$ ) и/или НКМ ( $G_{\text{неч}}$ ). Построенная модель (ЧКМ, НКМ) отражает субъективные представления исполнителей проекта об исследуемой проблеме, связанной с рисковыми ситуациями при проектировании СТС.

Существует два подхода к построению ЧКМ и НКМ.

«Сверху». На начальном этапе строится общая ЧКМ либо НКМ, которая в дальнейшем достраивается с помощью отдельных блоков когнитивной модели (рисунок 2). Здесь Бл1 КМ, Бл2 КМ, ..., Бл $l$  КМ – отдельные блоки ЧКМ и/или НКМ ( $r = 1, \dots, l$ ), которые достраиваются до общей ЧКМ либо НКМ;  $vo1, vo2, \dots, voh$  – вершины общей ЧКМ либо НКМ.

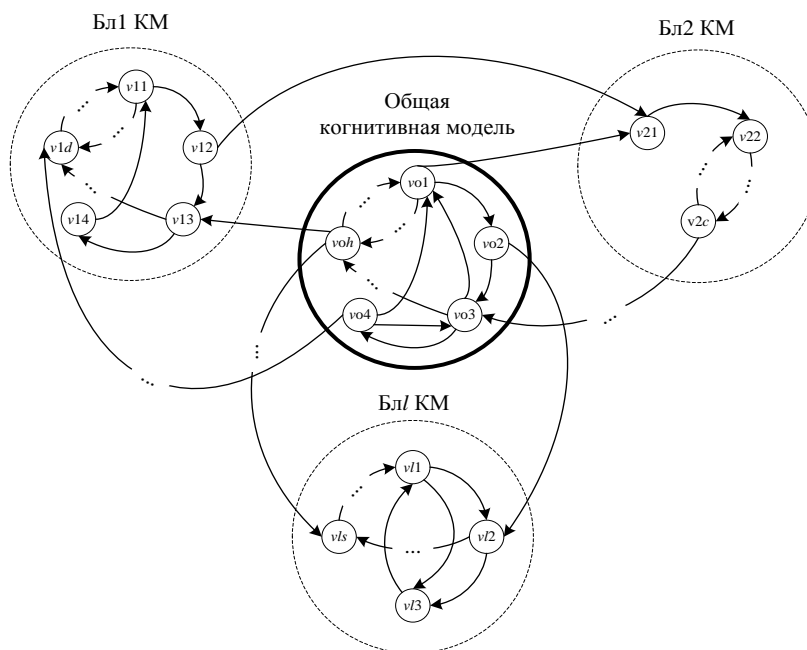


Рисунок 2 – Подход «сверху» к построению когнитивных моделей

«Снизу». На начальном этапе сначала строятся отдельные блоки когнитивной модели, а затем происходит их объединение в общую когнитивную модель (рисунок 3). Данный модуль позволяет структурировать знания исполнителей (теоретические представления, исходные данные) и преобразовывать их в модель знаний – ЧКМ, НКМ.

**Модуль прогнозирования** позволяет проводить чёткий и нечёткий когнитивный анализ, импульсное моделирование, предвидение тенденций развития системы, а также прогнозирование количественных значений параметров по ЧКМ либо НКМ. Для ЧКМ проводится ана-

лиз циклов модели, поиск собственных чисел, анализ устойчивости процесса, анализ структурной устойчивости к возмущающим и управляющим воздействиям, а также топологический анализ структуры модели [15]. Для НКМ проводится топологический анализ, расчёт системных показателей НКМ, а также обучение НКМ [16-18].

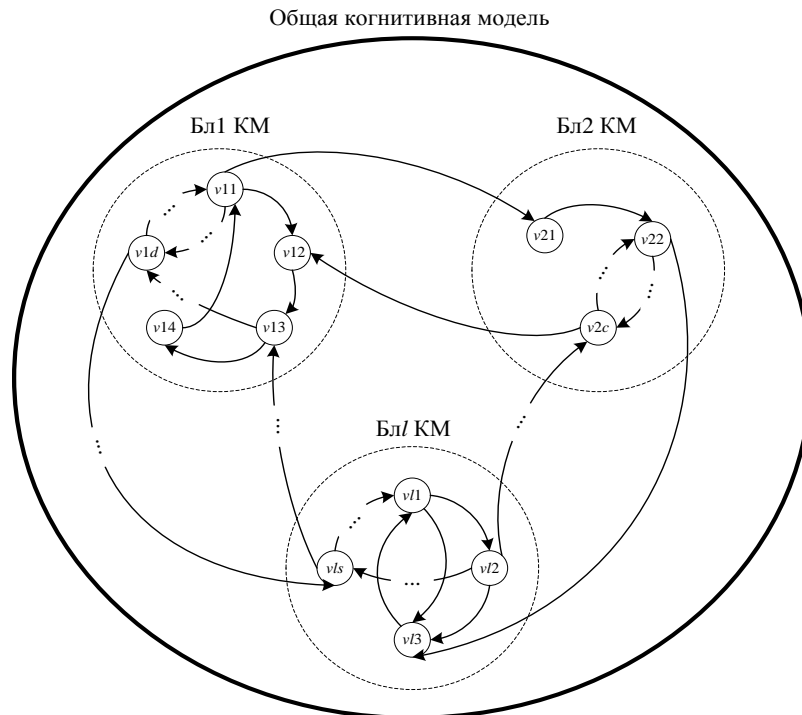


Рисунок 3 – Подход «снизу» к построению когнитивных моделей

В случае проведения импульсного моделирования на ЧКМ, НКМ, сценарного анализа могут быть построены различные сценарии прогноза развития ситуаций, связанные с возникновением рискованных ситуаций при проектировании СТС. Сценарии, порождаемые возмущениями, дают ответ на вопрос: «А что будет с создаваемой СТС на этапе проектирования в момент  $t(n+1)$ , если произойдут какие-либо изменения ...?».

Для проведения импульсного моделирования на моделях, необходимо исследовать зависимости изменения параметров вершин  $x_{v_i}$  от времени  $x_{v_i}(t)$ ,  $t = 1, 2, 3, \dots$ . Процесс распространения возмущения по графу описан в работе [15].

$$x_{v_i}(n+1) = x_{v_i}(n) + \sum_{v_j: e=e_{ij}}^{h-1} f(x_{v_i}, x_{v_j}, e_{ij})P_j(n) + Q_i(n),$$

где  $x_{v_i}(n+1)$ ,  $x_{v_i}(n)$  – значение параметра вершины  $v_i$  в момент  $t = n$  и  $t = n + 1$ ;  $n$  – такты моделирования;  $P_j(n)$  – изменение в вершине  $v_j$  в момент времени  $t(n)$ ;  $Q_i(n)$  – вектор внешних импульсов  $q_i$ , вносимых в вершины  $v_i$  в момент времени  $t(n)$ ;  $f$  – коэффициент связи между вершинами  $v_i$  и  $v_j$ .

Проведение вычислительного эксперимента путём импульсного моделирования требует предварительного его планирования. Под *планированием* понимается выбор вершин, в которые должны вноситься возмущающие воздействия.

**Модуль формирования управляющих воздействий** осуществляет корректировку моделей ЧКМ либо НКМ. Под *корректировкой модели* понимается изменение структуры модели (добавление либо удаление каких-либо факторов и связей между ними), а также изменение значений факторов и связей. Исполнителям предлагается сделать выбор: принять решение о

корректировке / не корректировке начальной ЧКМ  $G$  либо НКМ  $G_{\text{неч}}$  или о разработке новой ЧКМ  $G_{\text{(нов)}}$  либо НКМ  $G_{\text{неч(нов)}}$ .

**Модуль принятия решения** позволяет оценивать сценарии развития ЧКМ, НКМ и выбирать наилучший сценарий, а также выводить результаты анализа структур ЧКМ, НКМ.

Для оценивания и выбора наилучшего сценария развития проектирования СТС необходимо применить различные математические методы сравнения [19-21]. Результатами анализа структур ЧКМ, НКМ являются:

- топологический анализ структур ЧКМ, НКМ (рекомендации обоснования выбора целевых и управляющих вершин ЧКМ, НКМ);
- расчёты системных показателей НКМ (сила взаимовлияний между вершинами, либо вершиной и НКМ; наибольшее влияние на всю НКМ);
- нахождение наилучших значений факторов, отражающих рисковые ситуации при проектировании СТС при наличии имеющихся ресурсов.

### 3 Пример оценки рисковых ситуаций на этапе проектирования СТС

Рассмотрим пример оценки рисковых ситуаций на этапе проектирования СТС для машиностроительного предприятия.

Для построения НКМ оценки рисковых ситуаций на этапе проектирования СТС были выявлены факторы, необходимые для оценки рисковых ситуаций, связи между ними, а также их значения. На последующих этапах проектирования при построении НКМ могут использоваться факторы, характеризующие индивидуальность объектов.

Значения связей между вершинами назначаются экспертами на основе предыдущего опыта, что диктуется предметной областью и обусловлено отсутствием точных количественных исходных данных и каких-либо других способов получения информации. Словесные суждения были получены на основе опроса и формализованы с помощью специально разработанных шкал [11] для рассматриваемой предметной области.

На рисунке 4 представлена нечёткая модель оценки рисковых ситуаций на этапе проектирования СТС с применением принципа «снизу».

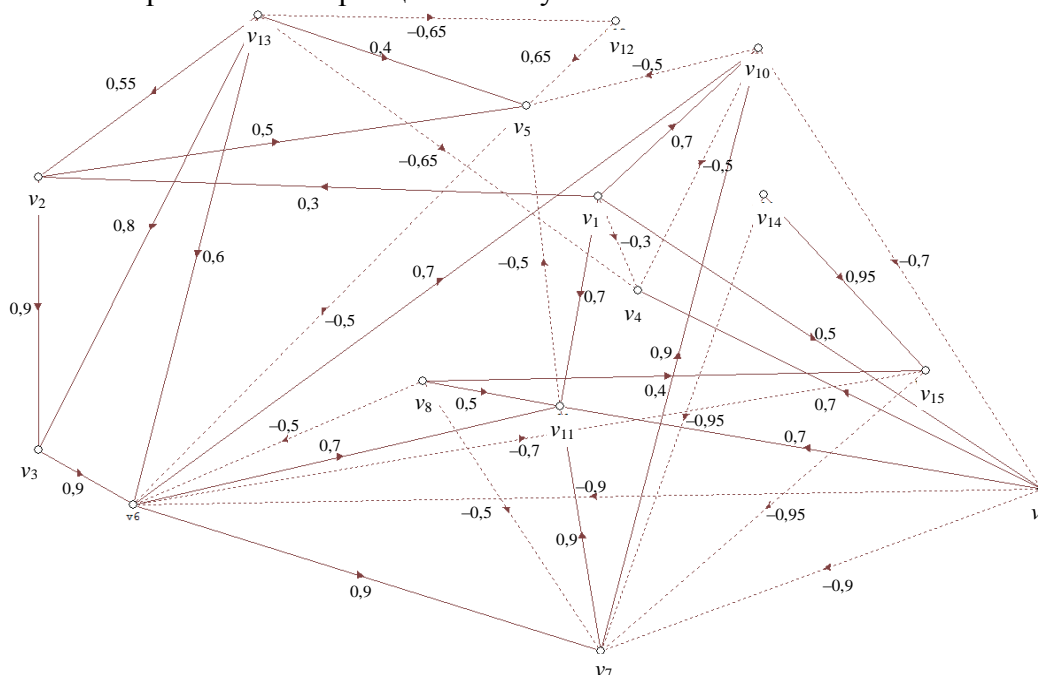


Рисунок 4 – Нечёткая когнитивная модель оценки рисковых ситуаций на этапе проектирования СТС

Здесь  $v_1$  – количество задач;  $v_2$  – производительность исполнителей (скорость выполнения работ);  $v_3$  – количество оценок осуществимости проекта по проектированию СТС (оценки могут быть получены с применением различных подходов и методов);  $v_4$  – завершение проекта по созданию СТС (неудачное завершение проекта, т.е. отставание от графика работ либо провал проекта);  $v_5$  – экономичность (выполнение работ с наименьшими затратами);  $v_6$  – надёжность СТС (система находится в работоспособном состоянии в течение определенного отрезка времени),  $v_7$  – безопасность и защита СТС (свойство системы исправно функционировать без проявления различных негативных последствий для людей и внешней среды);  $v_8$  – внешние факторы (пожар, энергоснабжение);  $v_9$  – количество ошибок исполнителей;  $v_{10}$  – время, затраченное на создание СТС;  $v_{11}$  – финансовые ресурсы, затрачиваемые на создание СТС;  $v_{12}$  – количество исполнителей;  $v_{13}$  – квалификация исполнителей;  $v_{14}$  – нарушение нормальной эксплуатации;  $v_{15}$  – аварийная ситуация.

Интерпретировать связи, представленные на рисунке 4, можно следующим образом: например, связь  $v_3 \rightarrow v_6$  с весом 0,9 означает, что если значение параметра вершины  $v_3$  возрастёт (уменьшится) на 10 %, то значение параметра вершины  $v_6$  возрастёт (уменьшится) (знак «+») на 9%; связь  $v_{10} \rightarrow v_9$  с весом  $-0,7$  означает, что если значение параметра вершины  $v_{10}$  уменьшится на 10 %, то значение параметра вершины  $v_9$  возрастёт (знак «-») на 7%.

Для выработки обоснованных управленческих решений проводится анализ структурной устойчивости модели в виде НКМ [22]. В данной работе под структурной устойчивостью предлагается понимать степень живучести нечёткого графа.

Проведённый анализ структурной устойчивости НКМ показал, что степень структурной устойчивости исследуемой модели находится на уровне 0,53, что классифицирует модель как устойчивую.

На рисунке 5 приведены фрагменты импульсного моделирования сценариев развития ситуаций на НКМ. На графиках по оси абсцисс отмечены итерации  $n$ , по оси ординат – изменение значений параметров вершин  $\Delta$ , %. Для лучшего восприятия изображения графики импульсных процессов содержат по четыре вершины. При этом отметим, что на графиках представлено такое количество итераций, которое отражает тенденции изменений. Дальнейший вычислительный эксперимент показал, что на последующих итерациях тенденции нарастания или убывания не меняются.

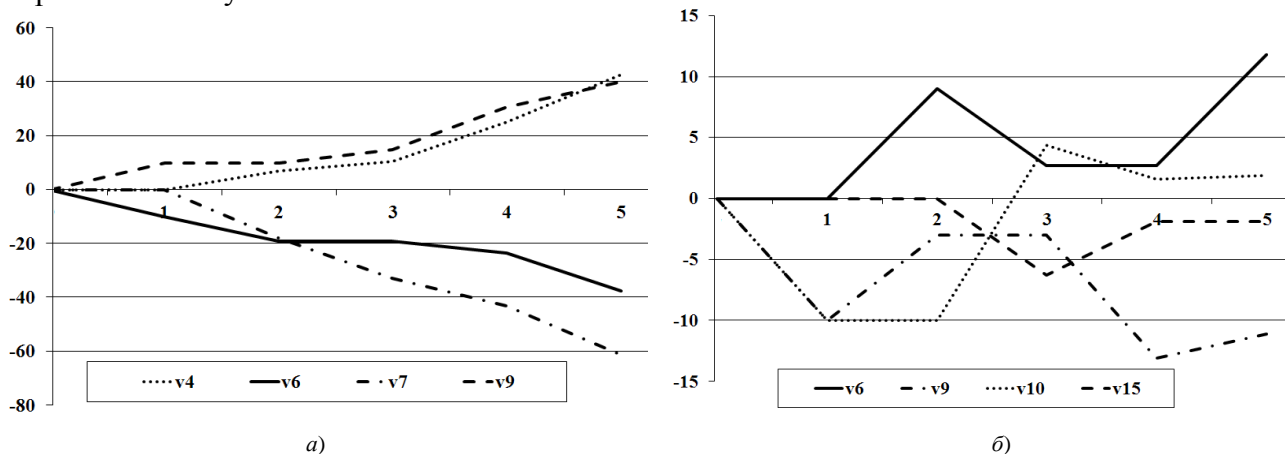


Рисунок 5 – Результаты импульсного моделирования развития ситуаций на НКМ

*Сценарий № 1.* Импульс поступает в две вершины. Зададимся вопросом: «Что будет с СТС на этапе проектирования, если увеличить  $v_9 = 10\%$ , уменьшить  $v_6 = -10\%$  (рисунок 5а).

*Рекомендации:* если увеличить количество ошибок исполнителей и уменьшить надёжность СТС на  $(-10\%)$ , то наблюдается резкое увеличение неудачного завершения проекта и



уменьшение безопасности СТС. Однако при небольшом увеличении надёжности наблюдается небольшое уменьшение неудачного завершения проекта.

*Сценарий № 2.* Импульс поступает в две вершины. Зададимся вопросом: «Что будет с СТС на этапе проектирования, если уменьшить  $v_9 = -10\%$  и  $v_{10} = -10\%$  (рисунок 5б).

*Рекомендации:* если уменьшить количество ошибок исполнителей и время создания СТС на 10%, то наблюдается небольшое уменьшение надёжности СТС и аварийных ситуаций. Однако при небольшом увеличении времени на создание СТС, наблюдается резкое увеличение надёжности СТС, при которой возникновение аварийных ситуаций мало.

Для получения информации о неявных взаимных влияниях между факторами НКМ был проведён анализ структуры НКМ [11], который показал:

1) уровень доверия к полученному значению итогового влияния вершины « $v_1$  – количество задач» на  $v_6, v_7, v_9, v_{15}$  низкий, на что и указывает малое значение консонанса (0,01). Это означает, что вершину  $v_1$  можно исключить из НКМ, поскольку она не сильно влияет на структуру модели.

2) наибольшее положительное влияние на НКМ оказывают вершины  $v_2$  (0,19),  $v_3$  (0,10), при этом они практически не испытывают обратного сильного влияния. Чуть меньшее положительное влияние на НКМ оказывают вершины  $v_3$  (0,08),  $v_{13}$  (0,08). Влияя на вышеперечисленные вершины, можно «повернуть» всю систему в положительную сторону.

3) наибольшему влиянию со стороны НКМ подвержены вершины  $v_{11}$  (0,2),  $v_3$  (0,13),  $v_{10}$  (0,13),  $v_6$  (0,08). Высока вероятность того, что влияние НКМ на эти вершины способно погасить любые рискованные ситуации, а также любое отрицательное воздействие извне.

## Заключение

Предлагаемая БЗ позволяет выявлять и предупреждать рискованные ситуации при проектировании СТС в условиях разнородной информации, на основе заложенных в ней ЧКМ и НКМ, а также сценариев развития рискованных ситуаций, полученных с помощью проведения импульсного моделирования. Полученная информация является основой для выработки научно-обоснованных управленческих действий, направленных на выявление и предотвращение возможных рискованных ситуаций на этапе проектирования СТС.

Представленный прототип БЗ интеллектуальной СКПРС может быть адаптирован к различным объектам критической инфраструктуры (энергетика, транспорт, атомная энергетика, производственные предприятия (оборонная, ракетно-космическая, горнодобывающая, металлургическая и химическая промышленность и т.п.)) за счёт обработки неопределённых исходных данных (способа нормирования и структуризации), построения новых когнитивных моделей, которые характеризуют индивидуальность объектов, сценариев развития рискованных ситуаций.

## Благодарности

Исследования проводились в рамках работ, поддержанными грантами РФФИ 16-07-00032-а, 16-07-00086-а, 17-08-00402-а.

## Список источников

- [1] **ГОСТ Р 15.000-2016.** Система разработки и постановки продукции на производство. Основные положения. - Москва: Стандартинформ, 2016. - 15 с.

- [2] **Юрков, Н.К.** Системный подход к организации жизненного цикла сложных технических систем / Н.К. Юрков // Надежность и качество сложных систем: Научно-практический журнал. - 2013. - № 1. - С. 27-35.
- [3] **Липаев, В.В.** Проблемы программной инженерии: качество, безопасность, риски, экономика / В.В. Липаев // Программная инженерия. - 2010. - № 1. - С. 7-20.
- [4] **Гаврилова, Т.А.** Базы знаний интеллектуальных систем / Т.А. Гаврилова, В.Ф. Хорошевский. - СПб.: Питер, 2000. - 384 с.
- [5] **Люгер, Д.** Искусственный интеллект: стратегии и методы решения сложных проблем / Д. Люгер. - М.: Вильямс, 2003. - 864 с.
- [6] **Горелова, Г.В.** Проектирование интеллектуальных распределенных информационно-управляющих систем / Г.В. Горелова, Э.В. Мельник, Я.С. Коровин // Актуальные проблемы информационно-компьютерных технологий, мехатроники и робототехники: Многопроцессорные вычислительные и управляющие системы: тр. Междунар. науч.-техн. мультikonф. Таганрог: ТТИ ЮФУ, 2009. - Т. 2. - С. 28-31.
- [7] **Тупиков, Д.В.** Подход к построению нечёткой базы знаний для определения пожароопасных ситуаций / Д.В.Тупиков, А.Ф. Резчиков // Математические методы в технике и технологиях. - 2014. - № 3 (62). - С. 125-127.
- [8] **Искандеров, Ю.М.** База знаний интеллектуальной системы управления безопасностью сложных транспортных комплексов / Ю.М. Искандеров, С.П. Крейтер // Труды Всероссийской научно-практической конференции «Транспорт России: проблемы и перспективы». - М.: МИИТ, 2007. - С. 99.
- [9] **Нечаев, В.В.** Архитектура предметно-ориентированной базы знаний интеллектуальной системы / В.В. Нечаев, М.И. Кошкарев // Образовательные ресурсы и технологии. - 2015. - № 1. - С. 156-163.
- [10] **Ковалев, С.М.** Формирование темпоральных баз знаний на основе аппарата растущих пирамидальных сетей / С.М. Ковалев // Интегрированные модели и мягкие вычисления в искусственном интеллекте: сб. научн. тр. III Международного научно-практического семинара. - М.: Физматлит, 2005. - С. 351-357.
- [11] **Колоденкова, А.Е.** Моделирование процесса реализуемости проекта по созданию информационно-управляющих систем с применением нечётких когнитивных моделей / А.Е. Колоденкова // Вестник компьютерных и информационных технологий. - 2016. - № 6 (144). - С. 10-17.
- [12] **Робертс, Ф.С.** Дискретные математические модели с приложениями к социальным, биологическим и экологическим задачам / Ф.С. Робертс. - М.: Наука, 1986. - 496 с.
- [13] **Dickerson, J.** Virtual worlds as fuzzy cognitive maps / J. Dickerson, B. Kosko // Virtual reality annual international symposium, 1993. - P. 471-477.
- [14] **Силов, В.Б.** Принятие стратегических решений в нечёткой обстановке / В.Б. Силов. - М.: ИНПРО-РЕС, 1995. - 228 с.
- [15] **Горелова, Г.В.** Когнитивный подход к имитационному моделированию сложных систем / Г.В. Горелова // Известия ЮФУ. Технические науки. - 2013. - № 3. - С. 239-250.
- [16] **Борисов, В.В.** Нечёткие модели и сети / В.В. Борисов, В.В. Круглов, А.С. Федулов. - М.: Горячая линия - Телеком, 2007. - 284 с.
- [17] **Papageorgiou, E.I.** Unsupervised hebbian algorithm for fuzzy cognitive map training / E.I. Papageorgiou, C.D. Stylios, P.P. Groumpos // Proc. Of the 5-th International Workshop on Computer Science and Information Technologies. - Ufa, 2003. - Vol. 1. - P. 209-216.
- [18] **Колоденкова, А.Е.** Оценка реализуемости проекта по созданию информационно-управляющих систем с применением процедуры обучения нечёткой когнитивной модели / А.Е. Колоденкова // Вестник УГАТУ. 2016. - Т. 20. - № 2 (72). - С. 123-133.
- [19] **Новичихин, А.В.** Методические особенности проектного программирования развития предприятий ресурсного региона (на примере угольной отрасли). - [http://www.giab-online.ru/files/Data/2011/3/Novichihin\\_3\\_2011.pdf](http://www.giab-online.ru/files/Data/2011/3/Novichihin_3_2011.pdf).
- [20] **Sadovnikova, N.P.** Application of the cognitive modeling for analysis of the ecological and economical efficiency of the urban planning project. - [www.vestnik.vgasu.ru](http://www.vestnik.vgasu.ru).
- [21] **Казанин, И.Ю.** Исследование социально-экономической безопасности Ростовской области, когнитивное моделирование стратегии развития. - [http://cyberleninka.ru/article/n/issledovanie\\_sotsialno\\_ekonomicheskoy\\_bezopasnosti\\_rostovskoy\\_oblasti\\_kognitivnoe\\_modelirovanie\\_strategii\\_razvitiya](http://cyberleninka.ru/article/n/issledovanie_sotsialno_ekonomicheskoy_bezopasnosti_rostovskoy_oblasti_kognitivnoe_modelirovanie_strategii_razvitiya).
- [22] **Боженюк, А.В.** Применение нечетких моделей для анализа сложных систем / А.В. Боженюк, Л.А. Гинис // Системы управления и информационные технологии. - 2013. - Т. 51. - № 1.1. - С. 122-126.

## KNOWLEDGE BASE DESIGN FOR THE INTELLIGENT SYSTEM FOR CONTROL AND PREVENTIONS OF RISK SITUATIONS IN THE DESIGN STAGE OF COMPLEX TECHNICAL SYSTEMS

S.M. Kovalev<sup>1</sup>, A.E. Kolodenkova<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Rostov State Transport University, Rostov-on-Don, Russia  
ksm@rfnias.ru

<sup>2</sup>Samara State Technical University, Samara, Russia  
anna82\_42@mail.ru

### Abstract

Design of complex technical systems (CTS) is a difficult iterative process. It involves large capital investments, considerable expenses of resources (financial, labor, time), development of a large number of various documentations and also a set of the emerging risk situations. The intelligent control system and preventions of risk situations is necessary for reliable creation of CTS. Such a system would allow to process and analyse quickly large volumes of diverse information, to reveal risk situations at a design stage. Such a system would also be capable of resolving a common question "what would happen with the project of CTS in case of some changes made at the design stage...?" This article is dedicated to creation of the knowledge base of the intelligent control and prevention of risk situations system in the conditions of diverse information environment for design of CTS for a critical infrastructure. The analysis of the main types of models of knowledge representation commonly applied for creation of knowledge bases is carried out. The offered knowledge base is built on the modular principle and uses the generalized scheme of methodology of cognitive and fuzzy cognitive modeling. Novelty is that knowledge in the offered knowledge base is presented in the form of accurate or fuzzy cognitive models and also scenarios of development of the risk situations connected with design of complex technical systems.

**Key words:** knowledge base, modular approach, accurate and fuzzy cognitive model, complex technical system.

**Citation:** Kovalev SM, Kolodenkova AE. Knowledge base design for the intelligent system for control and preventions of risk situations in the design stage of complex technical systems [In Russian]. *Ontology of designing*. 2017; 7(4): 398-409. DOI: 10.18287/2223-9537-2017-7-4-398-409.

### Acknowledgment

This work was supported by Russian Foundation for Basic Research grants 16-07-00032-a, 16-07-00086-a, 17-08-00402-a.

### References

- [1] GOST R 15.000-2016. System development and launching products to the production. The main provisions [In Russian]. - Moscow: Standartinform, 2016.
- [2] *Yurkov NK*. System approach to the organization of life cycle of complex technical systems [In Russian]. Reliability and quality of difficult systems: Scientific and practical magazine 2013; 1: 27-35.
- [3] *Lipaev VV*. The problems of software engineering: quality, safety, risk, economy [In Russian]. Software engineering 2010; 1: 7-20.
- [4] *Gavrilova TA, Khoroshevsky VF*. Knowledge bases of intelligent systems [In Russian]. Saint Petersburg: Piter, 2000.
- [5] *Luger D*. Artificial intelligence: strategies and methods for solving complex problems [In Russian]. - Moscow: Williams, 2003.
- [6] *Gorelova GV, Melnik EV, Korovin YS*. The design of intelligent distributed information management systems [In Russian]. Proc. of the Internat. scientific-technical conference: Actual problems information and computer technologies, mechatronics and robotics, Multiprocessor computing and control systems. Taganrog 2009; 2: 28-31.
- [7] *Tupikov DV, Rezhikov AF*. Approach to build a fuzzy knowledge base to determine fire-hazard [In Russian]. Mathematical methods in technics and technologies 2014; 3: 125-127.
- [8] *Iskander JM, Crater SP*. A knowledge base of intellectual system of safety management of complex transport systems [In Russian]. Proc. of all-Russian scientific-practical conference: Transport of Russia: problems and prospects. Moscow; 2007: 99.

- [9] *Nechaev VV, Koshkarev MI*. Architecture of object-oriented knowledge base intelligent systems [In Russian]. Educational resources and technology 2015; 1: 156-163.
- [10] *Kovalev SM*. Formation of temporal knowledge bases on the basis of the office of the growing pyramidal networks [In Russian]. Works III of the International scientific and practical seminar: Integrated models and soft computing in artificial intelligence (Moscow, Russia, 2005). - Moscow; 2005: 351-357.
- [11] *Kolodenkova AE*. The process modeling of project feasibility for information management systems using the fuzzy cognitive models [In Russian]. Herald of computer and information technologies 2016; 6: 10-17.
- [12] *Roberts FS*. Discrete mathematical models with applications to social, biological and eco-logical objectives [In Russian]. - Moscow: Nauka, 1986.
- [13] *Dickerson J, Kosko B*. Virtual worlds as fuzzy cognitive maps. Virtual reality annual international symposium; 1993: 471-477.
- [14] *Silov VB*. Strategic decision making in fuzzy environment [In Russian]. - Moscow: INPRO-RES, 1995.
- [15] *Borisov VV, Kruglov VV., Fedulov AS*. Fuzzy models and networks [In Russian]. - Moscow: Telecom, 2007.
- [16] *Papageorgiou EI, Stylios CD, Groumpos PP*. Unsupervised hebbian algorithm for fuzzy cognitive map training. Proc. Of the 5-th International Workshop on Computer Science and Information Technologies. - Ufa 2003; 1: 209-216.
- [17] *Kolodenkova AE*. Project feasibility estimation to creation information-control systems with procedure application learning of fuzzy cognitive model Vestnik UGATU 2016; 2: 123-133.
- [18] *Gorelova GV*. A cognitive approach for modeling of complex systems [In Russian]. News of SFU. Technical science 2013; 3: 239-250.
- [19] *Novichikhin AV, Ulankin AN*. Methodical features of design programming of development of the enterprises of the resource region (on the example of coal branch). - [http://www.giab-online.ru/files/Data/2011/3/Novichihin\\_3\\_2011.pdf](http://www.giab-online.ru/files/Data/2011/3/Novichihin_3_2011.pdf).
- [20] *Sadovnikova NP*. Application of the cognitive modeling for analysis of the ecological and economical efficiency of the urban planning project. - <http://www.vestnik.vgasu.ru>.
- [21] *Kazanin IU*. The study of socio-economic security of the Rostov region, cognitive modeling strategy development. - [http://cyberleninka.ru/article/n/issledovanie\\_sotsialno\\_ekonomicheskoy\\_bezopasnosti\\_rostovskoy\\_oblasti\\_kognitivnoe\\_modelirovanie\\_strategii\\_razvitiya](http://cyberleninka.ru/article/n/issledovanie_sotsialno_ekonomicheskoy_bezopasnosti_rostovskoy_oblasti_kognitivnoe_modelirovanie_strategii_razvitiya).
- [22] *Bozhenuk AV, Ginis LA* Application of fuzzy models for the analysis of complex systems [In Russian]. Control systems and information technology. - 2013; 1.1: 122-126.

## Сведения об авторах



**Ковалев Сергей Михайлович**, 1954 г. рождения. Окончил Таганрогский радиотехнический институт в 1976 г., д.т.н. (2002). Профессор кафедры «Автоматика и телемеханика на железнодорожном транспорте» Ростовского государственного университета путей сообщения. В списке научных трудов более 200 работ в области интеллектуальных и нечетких систем, нечётко-темпоральных баз знаний, мягких вычислений и экспертной поддержки принятия решений.

**Sergey Mikhailovich Kovalev** (b. 1954) graduated from the Taganrog radio engineering Institute (Taganrog-city) in 1976, D. Sc. Eng. (2002). He is Professor at Rostov State Transport University (Department of Automation and Remote Control at the Railway on Transport). He is co-author of about 200 scientific articles and abstracts in the field of intelligent and fuzzy systems, fuzzy temporal knowledge bases, soft computing, expert and decision support.



**Колоденкова Анна Евгеньевна**, 1982 г. рождения. Окончила Уфимский государственный авиационный технический университет в 2004 г., д.т.н. (2017). Инженер Инновационного центра трансфера технологий Самарского государственного технического университета. В списке научных трудов более 120 работ в области атомной энергетики, программной инженерии, системного анализа, интеллектуальных систем, мягких вычислений и экспертной поддержки принятия решений.

**Anna Evgenievna Kolodenkova** (b. 1982) graduated from the Ufa State Aviation Technical University (Ufa-city) in 2004, D. Sc. Eng. (2017). She is Associate Professor, Engineer Samara State Technical University (Innovative Centre of Transfer of Technologies). She is co-author of about 120 scientific articles and abstracts in the field of nuclear energy, software engineering, system analysis, intelligent systems, soft computing and expert decision support.