

**Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение  
высшего образования  
«Уфимский государственный авиационный технический университет»**

**На правах рукописи**

**Колоденкова Анна Евгеньевна**

**МЕТОДЫ ПОДДЕРЖКИ ПРИНЯТИЯ РЕШЕНИЙ  
ПРИ АНАЛИЗЕ РЕАЛИЗУЕМОСТИ ПРОЕКТОВ  
ИНФОРМАЦИОННО-УПРАВЛЯЮЩИХ СИСТЕМ  
ПРОМЫШЛЕННЫХ ОБЪЕКТОВ**

Специальность 05.13.01 – Системный анализ, управление  
и обработка информации (промышленность)

Диссертация на соискание ученой степени  
доктора технических наук

Уфа – 2017

## Список сокращений

АС – атомная станция

БД – база данных

БЗ – база знаний

БП – библиотека прецедентов

ГА – генетический алгоритм

ЖЦ – жизненный цикл

ИУС – информационно-управляющая система

ЛПР – лицо, принимающее решение

НКМ – нечеткая когнитивная модель

ОП – объект проектирования

ПО – программное обеспечение

ПР – принятие решений

ПрО – промышленный объект

ПС – программное средство

ПТС СУ МП – программно-технические средства системы управления машины перезагрузочной для Ростовской АЭС

ПТС УС МП – программно-технические средства управляющей системы машины перегрузки Нововоронежской АЭС-2

СППР – система поддержки принятия решений

СУС – система управления складом

ЧКМ – четкая когнитивная модель

## ОГЛАВЛЕНИЕ

|                                                                                                                                                                                                 |     |
|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----|
| ВВЕДЕНИЕ.....                                                                                                                                                                                   | 6   |
| ГЛАВА 1. Анализ методов поддержки принятия решений для оценки реализуемости проектов по созданию информационно-управляющих систем.....                                                          | 18  |
| 1.1. Актуальность проблемы исследований реализуемости проектов .....                                                                                                                            | 18  |
| 1.2. Анализ проблем и существующих моделей, программных средств оценки реализуемости проектов .....                                                                                             | 28  |
| 1.3. Сравнительный анализ методов поддержки принятия решений для оценки реализуемости проектов .....                                                                                            | 39  |
| Выводы по главе 1.....                                                                                                                                                                          | 57  |
| ГЛАВА 2. Методологические основы анализа реализуемости проектов по созданию информационно-управляющих систем .....                                                                              | 59  |
| 2.1. Разработка комплекса когнитивных моделей и методов поддержки принятия решений при анализе реализуемости проектов.....                                                                      | 59  |
| 2.2. Принципы моделирования процесса анализа реализуемости проектов .....                                                                                                                       | 77  |
| 2.3. Методология когнитивного и нечеткого когнитивного моделирования процесса анализа реализуемости проектов.....                                                                               | 84  |
| Выводы по главе 2.....                                                                                                                                                                          | 99  |
| ГЛАВА 3. Методы поддержки принятия решений для оценки реализуемости проектов по созданию программного обеспечения и информационно-управляющих систем с использованием «мягких вычислений» ..... | 102 |
| 3.1. Разработка метода оценки затрат времени на создание программного обеспечения информационно-управляющих систем с использованием аппарата интервальной арифметики .....                      | 102 |

|                                                                                                                                                                                                                |     |
|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----|
| 3.2. Разработка метода оценки реализуемости проектов по созданию программного обеспечения информационно-управляющих систем с использованием топологических характеристик и нечетко-множественного метода ..... | 112 |
| 3.3 Разработка нечетко-множественного метода оценки реализуемости проектов по созданию информационно-управляющих систем в условиях нечеткости исходных данных.....                                             | 121 |
| 3.4. Разработка нечетко-интервального метода оценки реализуемости проектов по созданию информационно-управляющих систем в условиях интервальной неопределенности исходных данных .....                         | 129 |
| 3.5 Разработка метода оценки реализуемости проектов по созданию информационно-управляющих систем с использованием генетического алгоритма.....                                                                 | 136 |
| Выводы по главе 3.....                                                                                                                                                                                         | 143 |
| ГЛАВА 4. Методы поддержки принятия решений для оценки реализуемости проектов по созданию информационно-управляющих систем с использованием методологии нечеткого когнитивного моделирования .....              | 146 |
| 4.1. Разработка алгоритма обработки неопределенных исходных данных                                                                                                                                             | 146 |
| 4.2. Разработка метода оценки влияния факторов на реализуемость проектов по созданию информационно-управляющих систем с использованием нечетких когнитивных моделей.....                                       | 157 |
| 4.3. Разработка метода оценки реализуемости проектов по созданию информационно-управляющих систем с использованием процедуры обучения нечетких когнитивных моделей.....                                        | 165 |
| 4.4. Разработка метода топологического анализа структур нечетких когнитивных моделей .....                                                                                                                     | 172 |
| Выводы по главе 4.....                                                                                                                                                                                         | 179 |

|                                                                                                                                                          |     |
|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----|
| ГЛАВА 5. Примеры решения задач оценки реализуемости проектов по созданию информационно-управляющих систем промышленных объектов.....                     | 182 |
| 5.1. Оценка реализуемости проекта по разработке программно-технических средств управляющей системы машины перегрузки топлива Нововоронежской АЭС-2 ..... | 182 |
| 5.2. Оценка реализуемости проекта по разработке программно-технических средств системы управления машины перезагрузочной для Ростовской АЭС .....        | 212 |
| 5.3. Оценка реализуемости проекта по созданию системы управления складом в машиностроении.....                                                           | 217 |
| Выводы по главе 5.....                                                                                                                                   | 232 |
| ЗАКЛЮЧЕНИЕ.....                                                                                                                                          | 234 |
| СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ .....                                                                                                                                  | 237 |
| ПРИЛОЖЕНИЕ А Свидетельства о государственной регистрации программ для ЭВМ.....                                                                           | 264 |
| ПРИЛОЖЕНИЕ Б Акты о внедрении, об использовании результатов диссертационной работы .....                                                                 | 270 |

## ВВЕДЕНИЕ

**Актуальность темы.** В настоящее время существует достаточно много отраслей промышленности, необходимых для полноценного функционирования страны, обладающих своей значимостью, спецификой, особенностями, возможными проблемами, характеризующихся сложными технологическими процессами. В Российской Федерации активно развивается множество конкурентоспособных отраслей промышленности, таких как нефтеперерабатывающая, горнодобывающая, атомная энергетика, химическая, металлургическая, деревообрабатывающая, авиационная, ракетно-космическая, пищевая и другие, которым свойственен рост числа производственных отношений между отделами предприятия, повышение эффективности производства, сопровождающиеся усложнением процессов и систем управления. Нарастание объема информации, масштабов производства, требующего обеспечения все возрастающими объемами ресурсов (материальных, финансовых, трудовых и др.), приводит к значительному усложнению задач управления.

Решение задач управления в настоящее время невозможно без применения информационно-управляющих систем (ИУС). Информационно-управляющие системы промышленных объектов (ПрО) создаются для сбора, обработки и выдачи руководителям информации, необходимой для принятия управленческих решений и контроля их выполнения с применением математических методов, современных средств вычислительной техники для увеличения выпуска продукции, повышения производительности труда, роста прибылей и прочее. Подобные ИУС обладают сложностью комплекса взаимосвязанных программ с использованием современных методов и средств программирования; высокой сложностью программного обеспечения (ПО) и программных средств (ПС), которые входят в состав ИУС; высокой надежностью и безопасностью функционирования.

Сейчас в Российской Федерации и за рубежом наблюдается низкая эффективность реализации проектов по созданию ИУС ПрО. Судя по

литературным источникам, причиной низкой производительности, несоответствия требованиям заказчика, существенного отставания от графика либо просто провала проекта часто является недостаточный анализ реализуемости проекта по созданию ИУС на этапе предпроектного исследования, который приобретает особую актуальность в случае, когда контракт подписан.

Дело в том, что исполнители не всегда владеют полной информацией о проекте, которая в большинстве случаев носит нечисловой характер (интервальный, нечеткий), и поэтому не в состоянии дать точную оценку его реализуемости и, прежде всего, сроков его выполнения. При этом недостаточная осведомленность исполнителей часто сопровождается постоянным изменением требований, сроков и объема ресурсов, выделяемых на проект. Данные обстоятельства, а также связанные с ними риски и последствия, естественно, приводят к неизбежным ошибкам при планировании проекта, из-за которых предварительные оценки его реализуемости теряют свою актуальность.

В силу вышеизложенного проведение анализа реализуемости проекта по созданию ИУС ПрО на этапе предпроектного исследования для соблюдения всех соответствующих требований к созданию ИУС, принятия обоснованных управленческих решений является весьма актуальной задачей.

### **Степень разработанности темы.**

Особенности и проблемы создания систем ПрО и, в частности ИУС, нашли широкое отражение в трудах таких отечественных и зарубежных ученых, как А.Г. Ананенков, Б.М. Горенский, М.Н. Красильщиков, В.В. Липаев, А.С. Тимонин, В.С. Харченко, М.А. Ястребенецкий, Яекшан Парк (Jaekwan Park), Йонгсук Сун (Jongsuk Sun), Бромбачер (A.C. Brombacher), Дж. Вортман (J.C. Wortmann) и др. Тем не менее вопросы проведения предпроектных исследований по созданию ИУС и, в частности, оценки реализуемости ИУС, не исследованы.

Оценка реализуемости проекта по созданию ИУС ПрО является сложной процедурой, поскольку при ее проведении отсутствуют точные количественные исходные данные о разрабатываемом проекте. Поэтому для преодоления

трудностей, вызванных *НЕ*-факторами (неточность, нечеткость) для решения задач оценки реализуемости проектов по созданию ИУС целесообразно применять методы поддержки принятия решений с использованием «мягких вычислений», методологии когнитивного и нечеткого когнитивного моделирования процесса анализа реализуемости, которые обеспечивают приемлемую формализацию неопределенности, обусловленной наличием субъективных суждений эксперта.

Решению вопросов анализа и оценки проектов по созданию систем ПрО и ИУС, основанных на методах «мягких вычислений», были посвящены работы А.Ю. Гайда, А.П. Еремеева, М.В. Лапа, Ю.С. Манжос, Е.С. Яшиной, И. Аттараздеха (I. Attarzadeh), А. Хатйимихаила (A. Hatjimihail), П. Кумара (P. Kumar), Амир Паурали (Amir Pourali), Росина Вебер (Rosina Weber), Али Идри (Ali Idri) и многих др. Однако во многих рассматриваемых работах в качестве оценки проектов по созданию ИУС рассматривается лишь оценка экономической эффективности проекта, и оценка проектов проводится на этапах проектирования, изготовления и эксплуатации систем, а не на этапе предпроектного исследования. Это связано с тем, что на этапах проектирования, изготовления и эксплуатации систем достаточно легко провести оценку проекта в силу наличия статистических данных.

Вопросам когнитивного моделирования посвящены работы Н.А. Абрамовой, З.К. Авдеевой, Г.В. Гореловой, В.В. Кульбы, В.И. Максимова, В.Г. Хорошевского, Р. Аткина (R.H. Atkin), Р. Акселрода (R. Axelrod), Дж. Касти (J. Casti), Ф. Робертса (F. Roberts) и др. Но в данных работах не рассматриваются возможности когнитивного моделирования для проведения анализа реализуемости проекта по созданию ИУС.

Вопросам нечеткого когнитивного моделирования посвящены работы Л.А. Гинис, О.П. Кузнецова, А.А. Кулинича, Д.Г. Лагерева, А.Г. Подвесовского, П. Гроумпоса (P.P. Groumpos), Е. Папагеоргио (E.I. Papageorgiou), С. Стийлоса (C.D. Stylios) и др. Однако в данных работах не рассматривается нечеткое когнитивное моделирование для проведения анализа реализуемости проектов по



созданию ИУС, а также обработка исходных данных, представленных в виде вербальных описаний, интервалов, нечетких треугольных и трапециевидных чисел.

Проблемам поддержки принятия решений в задачах управления сложными процессами, созданию программных средств интеллектуальных систем и систем поддержки принятия решений (СППР) посвящены работы В.И. Батищева, В.Н. Вагина, В.А. Виттиха, Н.В. Дилигенского, Б.Г. Ильясова, Н.Г. Загоруйко, С.М. Ковалева, В.Г. Крымского, Д.А. Новикова, Д.А. Поспелова, А.Ф. Резчикова, С.В. Смирнова, В.Ф. Хорошевского, Дж. Аллен (J. Allen), Т. Грубера (T. Gruber), Р. Детчер (R. Detcher), М. Кинга (M. King), Г. Ржевского (G. Rzewski) и др.

Несмотря на обширное количество работ отечественных и зарубежных авторов, посвященных созданию систем ПрО, и ИУС, в частности, проблема проведения анализа реализуемости проектов по созданию ИУС на этапе предпроектного исследования в условиях неопределенных исходных данных до сих пор остается открытой. Выраженный системный характер данной проблемы определяет необходимость в разработке такого комплекса когнитивных моделей и методов, который смог бы обеспечить поддержку принятия эффективных управленческих решений в условиях ограниченных финансовых, временных и трудовых ресурсов на основе использования методов «мягких вычислений», методологии когнитивного и нечеткого когнитивного моделирования процесса анализа реализуемости проектов.

#### **Цель и задачи исследования.**

Целью диссертационной работы является повышение уровня обоснованности принимаемых управленческих решений на этапе предпроектного исследования за счет разработки методологических основ анализа реализуемости проектов по созданию ИУС промышленных объектов, базирующихся на комплексе когнитивных моделей, методов поддержки принятия решений и оценка эффективности их применения.

Для достижения поставленной цели необходимо решение следующих задач:

- 1) разработать методологические основы, базирующиеся на комплексе когнитивных моделей, методов поддержки принятия решений, и выбрать механизмы их реализации;
- 2) разработать методы поддержки принятия решений для оценки реализуемости проектов ИУС с использованием «мягких вычислений»;
- 3) разработать алгоритм обработки неопределенных исходных данных;
- 4) разработать когнитивные модели, методы поддержки принятия решений для оценки реализуемости проектов ИУС с использованием методологии когнитивного и нечеткого когнитивного моделирования процесса анализа реализуемости проектов;
- 5) разработать структуру базы знаний (БЗ) интеллектуальной СППР, использующей обобщенную схему методологии когнитивного и нечеткого когнитивного моделирования процесса анализа реализуемости проектов;
- 6) разработать ПО, которое реализует когнитивные модели, основные методы поддержки принятия решений; исследовать эффективность применения разработанного комплекса когнитивных моделей и методов поддержки принятия решений при анализе реализуемости проектов ИУС промышленных объектов.

**Объект исследования:** процесс анализа реализуемости проекта по созданию ИУС ПрО в условиях неопределенных исходных данных на этапе предпроектного исследования.

**Предмет исследования:** методологические основы, когнитивные модели и методы поддержки принятия решений при анализе реализуемости проектов по созданию ИУС в условиях неопределенных исходных данных.

**Методы исследований.**

При проведении исследований использовались методы системного анализа, имитационного моделирования, методология когнитивного и нечеткого когнитивного моделирования процесса, аппарат интервальной арифметики, теория нечетких множеств, графов, генетических алгоритмов, принятия решений.

### **Научная новизна работы.**

1) Новизна методологических основ анализа реализуемости проектов по созданию ИУС на этапе предпроектного исследования заключается в использовании общесистемных принципов, принципов управления и моделирования, в комплексной интеграции когнитивных моделей, методов поддержки принятия решений, что позволяет научно доказать осуществимость исследуемого проекта, а также минимизировать затраты на ресурсы при проведении оценки реализуемости проектов в условиях неопределенных исходных данных.

2) Новизна методов и алгоритмов поддержки принятия решений для оценки реализуемости проектов по созданию ПО и ИУС с использованием «мягких вычислений» заключается, во-первых, в том, что имеется возможность проведения сравнительного анализа возможных альтернатив разработки проектов с учетом интервальной неопределенности и нечеткости исходных данных, во-вторых, даются новые постановки и решения задач оценки реализуемости проектов, учитывающих пересечение интервалов и нечетких треугольных, трапециевидных чисел, что позволяет сэкономить бюджетные средства, сократить управленческие ошибки, принимаемые руководителем проекта на этапе предпроектного исследования, тем самым принимая взвешенное решение о дальнейшем этапе проектирования и изготовления или формировании новых возможных альтернатив по созданию ПО и ИУС.

3) Новизна алгоритма обработки неопределенных исходных данных заключается как в нормировании и структуризации значений факторов и связей между ними, так и в учете неопределенных исходных данных, представленных в виде вербальных описаний, интервалов, нечетких треугольных и трапециевидных чисел, что позволяет применить методологию нечеткого когнитивного моделирования процесса реализуемости проектов в случае неопределенных исходных данных.

4) Новизна когнитивных моделей, методов и алгоритмов поддержки принятия решений для оценки реализуемости проектов по созданию ИУС с

использованием методологии когнитивного и нечеткого когнитивного моделирования процесса анализа реализуемости проектов заключается в том, что в них применяется алгоритм обработки неопределенных исходных данных и решаются новые задачи оценки реализуемости проекта, которые в известных источниках не рассматривались, что позволяет предоставлять реализуемые рекомендации по обоснованию выбора целевых и управляющих факторов; выявлять, какие из факторов оказывают наибольшее влияние на всю систему и наоборот; осуществлять поиск наилучших значений факторов, отражающих реализуемость проекта в условиях неопределенных исходных данных, тем самым повышая уровень обоснованности принятия решений на этапе предпроектного исследования.

5) Новизна структуры БЗ интеллектуальной СППР, основанной на модульном принципе, заключается в использовании обобщенной схемы методологии когнитивного и нечеткого когнитивного моделирования процесса анализа реализуемости проектов, чем и отличается от известных способов создания структур БЗ, что позволяет осуществлять поиск информации в виде когнитивных моделей, сценариев развития системы, заложенных в БЗ. Это позволяет преобразовывать полученную информацию в четкие и/или нечеткие когнитивные модели; сократить время проведения анализа реализуемости проектов, уменьшить в некоторой степени количество исполнителей, участвующих при анализе реализуемости проектов.

6) Новизна ПО заключается в реализации когнитивных моделей и основных методов поддержки принятия решений при анализе реализуемости проектов по созданию ИУС, что позволяет сократить время, уменьшить в некоторой степени количество исполнителей, участвующих в выполнении анализа, а также отобразить на экране результаты оценки реализуемости проектов и требовать для решения подобных задач от пользователя только системных знаний и понимания.

Новизна результатов экспериментальных исследований эффективности комплекса когнитивных моделей, методов поддержки принятия решений при анализе реализуемости проектов по созданию ИУС состоит в том, что

предложенный комплекс по сравнению с другими методиками аналогичного назначения показал более точный результат по факторам реализуемости проектов.

### **Результаты, выносимые на защиту.**

1) Методологические основы анализа реализуемости проектов по созданию ИУС в условиях неопределенных исходных данных.

2) Методы и алгоритмы поддержки принятия решений для оценки реализуемости проектов по созданию ПО и ИУС с использованием «мягких вычислений» в условиях интервальной неопределенности и нечеткости исходных данных.

3) Алгоритм обработки неопределенных исходных данных.

4) Когнитивные модели, методы и алгоритмы поддержки принятия решений для оценки реализуемости проектов по созданию ИУС с использованием методологии когнитивного и нечеткого когнитивного моделирования процесса анализа реализуемости проектов в условиях неопределенных исходных данных.

5) Структура БЗ интеллектуальной СППР, основанной на модульном принципе, использующей обобщенную схему методологии когнитивного и нечеткого когнитивного моделирования процесса анализа реализуемости проектов.

6) Программное обеспечение, реализующее когнитивные модели и основные методы поддержки принятия решений и результаты экспериментальных исследований эффективности разработанного комплекса когнитивных моделей и методов поддержки принятия решений при анализе реализуемости проектов по созданию ИУС.

### **Практическая ценность и внедрение результатов.**

Практическую ценность диссертационного исследования составляют:

– когнитивные модели с применением методологии когнитивного и нечеткого когнитивного моделирования процесса анализа реализуемости проектов, методы поддержки принятия решений с использованием «мягких вычислений», на основе которых базируется методика анализа реализуемости проектов по созданию ИУС на этапе предпроектного исследования;

– программное обеспечение, реализующее когнитивные модели и основные методы, позволяющие обеспечить визуальную, информационную и интеллектуальную поддержку при анализе реализуемости проектов в условиях неопределенных исходных данных;

– результаты экспериментальных исследований эффективности предложенного комплекса когнитивных моделей и методов поддержки принятия решений при анализе реализуемости проектов по созданию ИУС показали обоснованность и объективность использования предложенных методологических основ анализа реализуемости проектов по созданию ИУС промышленных объектов на этапе предпроектного исследования.

**Основные результаты диссертационной работы внедрены:** ФГБУН ИМех УНЦ РАН (г. Уфа); АО «Атоммашэкспорт» (г. Волгодонск); Инновационно-технологический центр «Ядерная энергетика» ЮФУ (г. Ростов-на-Дону); НИИ многопроцессорных вычислительных систем ЮФУ (г. Таганрог).

**Степень достоверности результатов проведенных исследований.** Полученные результаты исследования базируются на обобщении опыта в области программной инженерии, когнитивного и нечеткого когнитивного моделирования, «мягких вычислений». Проведенные автором эксперименты с применением разработанного ПО подтверждают обоснованность и объективность использования предложенных методологических основ анализа реализуемости проектов по созданию ИУС промышленных объектов. Разработанные в ходе исследования когнитивные модели, методы и алгоритмы для оценки реализуемости проектов по созданию ИУС проверены в ходе компьютерных экспериментов и успешно прошли апробацию на реальных примерах, что подтверждается актами внедрения.

**Апробация работы.** Основные результаты диссертационной работы были представлены на следующих конференциях: XII, XIII, XV, XVI, XVII Международные конференции «Проблемы управления и моделирования в сложных системах», г. Самара (2010, 2011, 2013–2015 гг.); Международная научно-техническая конференция «Мехатроника, автоматизация, управление»,

г. Санкт-Петербург (2010); 6-я, 11-я Всероссийские научно-практические конференции «Перспективные системы и задачи управления» и 3-я, 7-я молодежные школы-семинары «Управление и обработка информации в технических системах», п. Домбай (2011); г. Симферополь–г. Евпатория, Республика Крым (2016); Международная научно-техническая конференция «Управление, автоматизация и окружающая среда», г. Севастополь (2011); 14-й Международный семинар по информатике и информационным технологиям, г. Гамбург (2012); 6-я, 7-я Международные научно-технические конференции «Интегрированные модели и мягкие вычисления в искусственном интеллекте», г. Коломна (2011, 2013); Международный конгресс по интеллектуальным системам и информационным технологиям «IS&IT», с. Дивноморское (2011, 2014, 2015); 7-я, 8-я Международные конференции «Управление развитием крупномасштабных систем (MLDS)», г. Москва (2013, 2014, 2015); 4-я, 6-я, 8-я Всероссийские мультikonференции по проблемам управления, с. Дивноморское (2011, 2013, 2015); Международная научно-техническая конференция «Современные технологии проектирования управляющих и мехатронных систем – 2013» г. Севастополь (2013); Международная научно-техническая конференция «Управление в мехатронных и автоматизированных системах – 2014», г. Севастополь (2014); XII Всероссийское совещание по проблемам управления ВСПУ-2014, г. Москва (2014); 9-я, 10-я Международные научно-технические конференции «Безопасность, эффективность и экономика атомной энергетики», АО «Концерн Росэнергоатом», г. Москва (2014, 2016); Международная научно-техническая конференция «Полувековое обеспечение безопасности АЭС с ВВЭР в России и за рубежом», Нововоронежская АЭС (2014); 10-я Международная научно-практическая конференция «Безопасность ядерной энергетики», г. Волгодонск (2014); Международная научно-техническая конференция «Интеллектуальные системы, управление и мехатроника – 2015», г. Севастополь (2015); 23-я Международная конференция «Проблемы управления безопасностью сложных систем», г. Москва (2015); Всероссийская научно-

техническая конференция «Авиационные системы в XXI веке», ФГУП ГосНИИАС, г. Москва (2016).

### **Связь исследований с научными программами.**

Диссертационная работа выполнялась в рамках следующих работ: договор № 606-42206 от 05.02.2014 с ООО «Атомспецсервис» на разработку и изготовление системы управления шлюзом персонала, 2014 г.; грант РФФИ № 15-08-06129 «Разработка методов анализа и управления рисками при проектировании встроенного программного обеспечения распределенных информационно-управляющих систем для сложных технических объектов», где соискатель является руководителем проекта, 2015–2016 гг.; грант РФФИ № 16-58-00191 Бел\_а «Функциональная верификация VHDL описаний синхронных цифровых систем», где соискатель является исполнителем проекта, 2016–2017 гг.; Государственное задание № 11.6893.2017/БЧ «Исследование влияния качества поверхности на физико-химические процессы при формообразовании и упрочнении деталей из сталей и титановых сплавов», где соискатель является исполнителем, 2017–2019 гг.

### **Публикации.**

Результаты диссертации отражены в 65 работах, все по теме диссертации. По основным результатам опубликована 41 работа, в том числе 20 статей в рецензируемых центральных журналах, входящих в список ВАК, из них 14 опубликованы автором единолично; 1 монография; 3 статьи в международных научных изданиях, индексируемых Scopus; 11 тезисов докладов и статей в сборниках трудов конференций; 6 свидетельств о государственной регистрации программ для ЭВМ. Работы приведены в списке литературы и автореферате.

### **Структура и краткое содержание диссертации.**

Диссертация состоит из введения, пяти глав, заключения, списка литературы и приложений. Содержание работы изложено на 263 страницах, работа содержит 61 рисунок и 34 таблицы, список использованной литературы из 246 наименований.



**Благодарности.**

Автор выражает глубокую и искреннюю благодарность ректору университета ФГБОУ ВО «УГАТУ» д.т.н., профессору, заведующему кафедрой технологии машиностроения Н.К. Криони за ценные замечания по теме диссертации; д.т.н., профессору Г.В. Гореловой, оказавшей определяющее влияние на становление научных взглядов в области когнитивного моделирования сложных систем, а также к.т.н., главному конструктору по направлению, зав. лабораторией НИИ МВС ЮФУ В.В. Коробкину за многолетнее плодотворное сотрудничество в области создания информационно-управляющих систем промышленных объектов.

## **Глава 1. Анализ методов поддержки принятия решений для оценки реализуемости проектов по созданию информационно-управляющих систем**

Рассматривается актуальность и обсуждаются проблемы, возникающие при проведении анализа реализуемости проектов по созданию информационно-управляющих систем промышленных объектов (ИУС ПрО) в условиях неопределенных исходных данных. Рассматриваются основные причины неэффективности применения вероятностно-статистических подходов для решения задач оценки реализуемости проектов по созданию ИУС. Приводится сравнительный анализ существующих методов поддержки принятия решений, а также моделей и программных средств для оценки реализуемости проектов по созданию ИУС.

### **1.1. Актуальность проблемы исследований реализуемости проектов**

В настоящее время существует достаточно много отраслей промышленности, необходимых для полноценного функционирования страны, обладающих своей значимостью, спецификой, особенностями, возможными проблемами, характеризующихся сложными технологическими процессами. В Российской Федерации активно развивается множество конкурентоспособных отраслей промышленности, таких как нефтеперерабатывающая, горнодобывающая, атомная энергетика, химическая, металлургическая, деревообрабатывающая, авиационная, ракетно-космическая, пищевая и другие (рисунок 1.1) [78, 173, 174].

Как видно из рисунка 1.1, бóльшую часть занимают ПрО, на которых возможно возникновение и развитие аварийных и нештатных ситуаций, основными причинами которых являются: неисправность технологического оборудования; конструктивные недоработки; промышленный запуск неотработанных технологий; ошибка персонала; недостаточный квалификационный уровень персонала промышленного объекта.

Под *промышленным объектом* понимается предприятие, цех, участок, агрегат и другие производственные подразделения, используемые для осуществления промышленной деятельности [166].



Рисунок 1.1 – Структура промышленного производства Российской Федерации в 2014 г.<sup>1</sup>

Под *аварийной ситуацией* понимается состояние технической системы, объекта, характеризующееся нарушением пределов и (или) условий безопасной эксплуатации и не перешедшее в аварию [162].

Под *нештатной ситуацией* понимается ситуация, при которой технологический процесс или состояние оборудования выходит за рамки нормального функционирования и может привести к аварии [172].

По статистическим данным Федеральной службы по экологическому, технологическому и атомному надзору [78, 175] был проведен анализ аварий и несчастных случаев на ПрО за 2013–2015 гг. (таблица 1.1).

Результаты анализа показали, что в 2014 г. достигнуто снижение аварийности в горнорудной промышленности; значительное снижение смертельного травматизма в угольной и металлургической промышленности. В 2013–2015 гг. на атомных станциях событий с радиационными последствиями не

<sup>1</sup> Рисунок из [78]

было зарегистрировано. Радиоактивные выбросы в окружающую среду были ниже допустимых уровней, не были зафиксированы также случаи смертельного травматизма. В качестве нарушений рассматриваются нарушения, подлежащие учету в соответствии с НП-004–08.

Таблица 1.1 – Статистика по авариям и несчастным случаям со смертельным исходом на промышленных объектах за 2013–2015 гг.<sup>2</sup>

| №<br>п/<br>п | Отрасль промышленности                                             | Количество<br>аварий |         |            | Количество<br>несчастных случаев<br>со смертельным исходом |         |         |
|--------------|--------------------------------------------------------------------|----------------------|---------|------------|------------------------------------------------------------|---------|---------|
|              |                                                                    | 2013 г.              | 2014 г. | 2015 г.    | 2013 г.                                                    | 2014 г. | 2015 г. |
| 1            | Объекты угольной промышленности                                    | 11                   | 8       | 8          | 63                                                         | 26      | 20      |
| 2            | Объекты горнорудной промышленности                                 | 7                    | 2       | 1          | 55                                                         | 58      | 46      |
| 3            | Объекты нефтегазодобычи                                            | 18                   | 18      | 17         | 18                                                         | 9       | 19      |
| 4            | Объекты нефтегазохимической и нефтеперерабатывающей промышленности | 9                    | 15      | 19         | 4                                                          | 9       | 8       |
| 5            | Объекты металлургической промышленности                            | 2                    | 2       | 4          | 9                                                          | 9       | 4       |
| 6            | Объекты газораспределения и газопотребления                        | 40                   | 21      | 33         | 2                                                          | 6       | 5       |
| 7            | Объекты химической промышленности                                  | 2                    | 3       | 2          | 5                                                          | 2       | 3       |
|              |                                                                    | Нарушения в работе   |         |            |                                                            |         |         |
| 8            | Атомные станции                                                    | 39                   | 42      | нет данных | –                                                          | –       | –       |

Промышленным объектам свойственен рост числа производственных отношений между отделами предприятия, повышение эффективности производства, сопровождающиеся ростом сложности процессов и систем управления. Нарастание объема информации, масштабов производства, требующего обеспечения все возрастающими объемами ресурсов (материальных, финансовых, трудовых и др.), приводит к значительному усложнению задач управления.

Решение задач управления в настоящее время невозможно без применения информационно-управляющих систем (ИУС). Информационно-управляющие

<sup>2</sup> Таблица составлена по материалам [78, 175]

системы промышленных объектов (ПрО) создаются для сбора, обработки и выдачи руководителям информации, необходимой для принятия управленческих решений и контроля их выполнения с применением математических методов, современных средств вычислительной техники для увеличения выпуска продукции, повышения производительности труда, роста прибылей и прочее.

Согласно источнику [27], *под информационно-управляющей системой* понимается цифровая система контроля и управления некоторым реальным объектом.

Отличительной особенностью ИУС ПрО является наличие [97]:

- сложного комплекса взаимосвязанных программ с использованием современных методов и средств программирования;
- высокой сложности программного обеспечения (ПО), программных средств (ПС), которые входят в их состав;
- высоких требований по надежности и безопасности функционирования.

Сейчас в Российской Федерации и за рубежом наблюдается низкая эффективность реализации проектов по созданию ИУС ПрО. Судя по литературным источникам, причиной низкой производительности, несоответствия требованиям заказчика, существенного отставания от графика либо просто провала проекта часто является недостаточный анализ реализуемости проекта по созданию ИУС на этапе предпроектного исследования, который приобретает особую актуальность в случае, когда контракт подписан.

Для соблюдения всех соответствующих требований к созданию ИУС, принятия обоснованных управленческих решений руководителю проекта (как лицу, принимающему решения (ЛПР)) необходимо вместе с исполнителями на начальном этапе жизненного цикла (ЖЦ) ИУС проводить предпроектные исследования, в частности, анализ реализуемости проектов по созданию ИУС [86, 99].

*Предпроектные исследования* заключаются в изучении предметной области, в сборе информации о предстоящем создании ИУС, в оценке реализуемости проекта по созданию ИУС с учетом имеющихся ресурсов (материальных,

финансовых, трудовых и др.), а также в выработке рекомендаций для принятия управленческих решений руководителем проекта.

Необходимость проведения предпроектных исследований обусловлена тем, что созданная ИУС ПрО без исследований может привести к ситуации, когда на этапе эксплуатации придется столкнуться с тем, что поведение системы не будет отвечать заявленным целям и требованиям к ИУС, что, в свою очередь, приведет к необходимости срочной адаптации уже внедренной ИУС.

В силу того, что процесс создания ИУС ПрО является сложным, предложить единый подход к разделению процесса на этапы ЖЦ весьма сложно. В.В. Липаев обращает внимание на то, что в существующие стандарты Единой системы программной документации, которые предусматривают этапы (создание, сопровождение и совершенствование) ЖЦ ИУС [137, с. 2], «отражены недостаточно, а многие их положения устарели». Решая данную задачу, исполнители проекта должны руководствоваться накопленным опытом и конкретными условиями его выполнения. Здесь можно согласиться с мнением И.И. Мазура [140, с. 54]: «универсального подхода к разделению процесса реализации проекта на фазы не существует».

В связи с этим принята разработанная автором структурная схема ЖЦ ИУС ПрО, представленная на рисунке 1.2 [115], показывающая место диссертационных исследований.

Жизненный цикл ИУС разделен на следующие этапы:

1) **Этап предпроектного исследования** включает планирование работ над проектом и включает три предварительных этапа: *определение потребностей* (анализ идеи, выбор целей и постановка задач); *формирование требований к ИУС* (выявление и анализ требований, документирование и проверка правильности требований); *анализ реализуемости проекта по созданию ИУС* (сбор и анализ информации о проекте в форме, позволяющей принимать обоснованные управленческие решения о реализуемости ИУС, формирование и оценка альтернатив, выбор критериев принятия управленческих решений); *анализ рисков*

*проекта ИУС* (выявление и оценка рисков, выбор соответствующих стратегий и методов снижения/контроля рисков).

Если при выработке управленческих решений были учтены все значимые факторы, характеризующие проблемную ситуацию, необходимые для анализа реализуемости проекта по созданию ИУС; решения подтверждены расчетами, показывающими целесообразность принятия решения; рассмотрены альтернативные варианты решения, проведено сравнение вариантов решения, то такие решения можно признать *обоснованными*.

2) *Этап проектирования и изготовления ИУС* включает определение состава системы и взаимосвязь ее элементов, инструментальных средств и методик, по которым будет проводиться разработка, проверка выполнения требований к созданию ИУС, выделение наиболее значимых рисков, которые могут негативно влиять в целом на функциональность, а также методы их снижения или исключения и др.

3) *Этап ввода в эксплуатацию ИУС* включает в себя испытания ИУС и опытную эксплуатацию в эксплуатирующей организации.

4) *Этап эксплуатации ИУС* – применение системы для удовлетворения потребностей эксплуатирующей организации.

5) *Этап вывода из эксплуатации ИУС* позволяет вывести из эксплуатации и утилизировать систему.

Далее подробно представлены этапы предпроектного исследования ИУС.

#### 1) *Определение потребностей* [45].

1) *Сбор и анализ исходных данных*. Собираются необходимые данные, которые проверяются на необходимость и достоверность, а затем они анализируются.

2) *Выявление и анализ проблемной ситуации*. Анализируются исходные данные о состоянии объекта и внешней среды, выявляются и анализируются проблемы, которые могут возникнуть при разработке проекта по созданию ИУС, рассматриваются пути их решения, а также ресурсы для их решения.

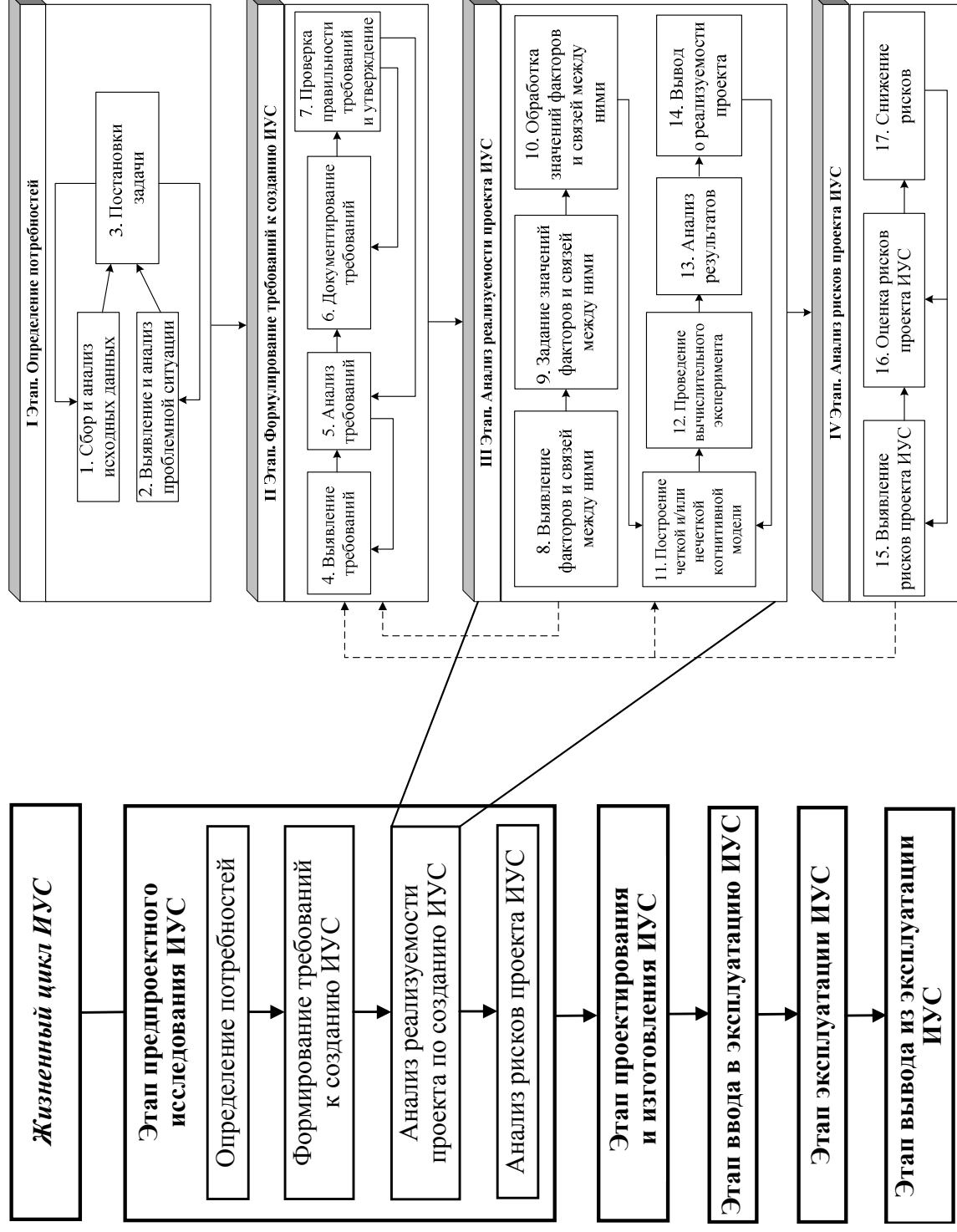


Рисунок 1.2 – Структурная схема жизненного цикла информационно-управляющих систем промышленных объектов<sup>3</sup>

<sup>3</sup> Рисунок разработан автором



3) *Постановки задачи.* Здесь происходит формирование целей проекта; критериев, по которым будет проводиться оценка реализуемости проекта по созданию ИУС; предпочтений руководителя проекта.

**II) *Формулирование требований к созданию ИУС*** [26, 85].

4) *Выявление требований.* Руководитель проекта, работая с заказчиками, выявляет и согласовывает с ними требования к ИУС, т.е. проводится глубокий системный анализ.

5) *Анализ требований.* Руководитель совместно с исполнителями проекта обрабатывает полученную информацию, а затем сопоставляет желания, потребности заказчика с согласованными требованиями к ИУС.

6) *Документирование требований.* Руководитель проекта оформляет информацию в виде различных документов, графиков, диаграмм и схем.

7) *Проверка правильности требований и утверждение.* Руководитель проекта предлагает представителям заказчика подтвердить то, что написанный текст соглашения и алгоритм его реализации точен и полон. Заметим, что из-за разнообразия проектов по созданию ИУС единого подхода к формированию требований нет, а процесс уточнения и согласования требований может пересматриваться во время выполнения проекта.

**III) *Анализ реализуемости проекта ИУС*** [12, 14, 86, 87, 101, 205, 229, 233]. Данный этап включает подэтапы 8–14 и является самым трудноформализуемым из всех этапов предпроектного исследования зачастую из-за неопределенной исходной информации, и направлен на выявление факторов, оказывающих негативное влияние на процесс создания ИУС; на качество принимаемых решений из-за наличия возможных слабых мест в проекте и выработку обоснованных управленческих решений по улучшению ИУС в трудноформализуемых условиях; на исключение провала проекта; на достижение выполнения всех требований к созданию ИУС, необходимых для этапа проектирования и изготовления ИУС. Анализ реализуемости проекта по созданию ИУС осуществляется с целью проведения оценки реализуемости проекта.

Решение данной проблемы относится к слабоформализуемым процессам, поэтому необходимо применять современные методы системного анализа.

IV) *Анализ рисков проекта ИУС* подробно рассматривается в работах [54, 134].

15) *Выявление рисков проекта ИУС*. Проводится выявление проектных рисков, способных повлиять реализацию проекта по созданию ИУС.

16) *Оценка рисков проекта ИУС*. Формирование показателей риска (качественных и количественных).

17) *Снижение/контроль рисков проекта ИУС*. Происходит снижение возможности наступления риска.

Отметим, что вопросы анализа и оценки рисков требуют специальной проработки.

Далее рассмотрим содержательную сторону понятий оценки реализуемости проекта, которые, к сожалению, различными исследователями толкуются по-разному.

*Оценку реализуемости проекта* (в англоязычной литературе часто называют *feasibility study*), часто понимают как реалистичность, осуществимость или жизнеспособность.

Согласно [14], *оценка реализуемости проекта* характеризует удовлетворение проекта всем ограничениям финансового, научно-технического, производственного, экономического, экологического и иного характера, возникающим при его реализации.

В данном определении внимание обращается на характер различных ограничений, возникающих при реализации проекта.

Согласно источнику [28], *оценка реализуемости проекта* характеризует наличие объективных предпосылок (технологические возможности организации, экономические и социальные показатели проекта, рыночные предпосылки) для выполнения проекта, т.е. здесь внимание обращается на объективные возможности выполнения проекта.

Согласно [140], *оценка реализуемости проекта* характеризует возможность наиболее эффективного решения комплекса финансовых, научно-технических, проектно-конструкторских, производственно-технологических и управленческих задач с целью создания новой продукции или оказания услуг требуемого научно-технического уровня, объема и в заданные сроки в условиях действующих ресурсных ограничений и их прогноза на период выполнения проекта.

Здесь внимание обращается на то, от чего зависит эффективность решения всех вопросов, связанных с реализуемостью проекта.

В настоящей работе *оценка реализуемости проекта* характеризует наличие необходимых финансовых, трудовых и материальных ресурсов для осуществления реализации проекта по созданию ИУС в соответствии с заданными требованиями заказчика [93, 99, 104]. В данном определении особое внимание уделяется наличию трудовых (интеллектуальных, творческих), материально-технических, методических и финансовых ресурсов.

Под *интеллектуальными ресурсами* понимаются исполнители (специалисты), обладающие необходимыми профессиональными знаниями и умеющими их использовать. Под *творческими ресурсами* понимаются интеллектуальные исполнители, способные ставить и решать принципиально новые задачи.

Таким образом, для соблюдения всех соответствующих требований к созданию ИУС ПрО, принятия обоснованных управленческих решений, необходимо на начальном этапе ЖЦ ИУС в условиях неопределенных исходных данных и недостатка ресурсов проводить предпроектные исследования, играющие важнейшую роль в реализации проекта, и, в частности, анализ реализуемости проектов по созданию ИУС, направленный на выявление факторов, оказывающих негативное влияние на процесс создания ИУС; качество принимаемых решений и возможных слабых мест в проекте; выработку обоснованных управленческих решений по улучшению ИУС; исключение провала проекта; достижение выполнения всех требований к созданию ИУС, необходимых для этапа проектирования и изготовления ИУС.

## 1.2. Анализ проблем и существующих моделей, программных средств оценки реализуемости проектов

В целях обеспечения контроля за ходом работ по созданию ИУС, прогнозированию стоимости и сроков ее создания возникает **программная инженерия** (*software engineering*) [136] – область компьютерных наук и технологий, связанная с производством качественных, экономичных и надежных *программных систем* для решения определенной проблемы в виде сложного комплекса взаимосвязанных программ и сопроводительной технической документации, необходимой для ее эксплуатации.

Несмотря на достигнутые успехи программной инженерии, разработка большинства проектов по созданию ИУС характеризуется низкой производительностью, несоответствием требованиям заказчика, существенным отставанием от графика либо сорванными сроками и провалом проекта [80, 134, 136]. Перечисленные проблемы являются проявлением «кризиса программного обеспечения».

Динамика успешности проектов по созданию систем и программного обеспечения в США (согласно данным *CHAOS Research by The Standish Group*) [238, 239] представлена в таблице 1.2.

Так, например, согласно статистике «Хаос» в 2015 году, из 50000 проектов по разработке систем и программного обеспечения 29 % проектов завершились успешно, 52 % проектов завершились с опозданием (превысили бюджет, выпали из сроков и пр.) и 19 % проектов полностью провалились. По мнению Э. Йордана [76, с. 20], «безнадежные проекты являются нормой, а не исключением».

Таблица 1.2 – Динамика успешности проектов по созданию систем и программного обеспечения<sup>4</sup>

| Год  | Успешные проекты | Проблемные проекты | Проваленные проекты |
|------|------------------|--------------------|---------------------|
| 1994 | 16               | 53                 | 31                  |
| 1995 | 27               | 33                 | 40                  |
| 1998 | 26               | 46                 | 28                  |
| 2000 | 28               | 49                 | 23                  |
| 2002 | 30               | 54                 | 16                  |
| 2004 | 29               | 53                 | 18                  |
| 2006 | 35               | 46                 | 19                  |
| 2008 | 32               | 44                 | 24                  |
| 2009 | 28               | 49                 | 23                  |
| 2010 | 37               | 42                 | 21                  |
| 2011 | 29               | 49                 | 22                  |
| 2012 | 27               | 56                 | 17                  |
| 2013 | 31               | 50                 | 19                  |
| 2014 | 28               | 55                 | 17                  |
| 2015 | 29               | 52                 | 19                  |

Успешность выполнения проектов по созданию ИУС можно спрогнозировать, однако при прогнозе возникает ряд проблем [32, 86, 87, 97, 106]. Проблемная триада создания ИУС представлена на рисунке 1.3.

1) **Проблемы формирования команды исполнителей.** Одной из главных проблем успешного создания ИУС является *дефицит исполнителей проекта* требуемой квалификации. Поэтому необходимо определить количество исполнителей, принимающих участие в создании ИУС, четко структурировать работы, определить обязанности исполнителей на этапе предпроектного исследования, что позволит руководителю проекта оценить реальную потребность в человеческих ресурсах [142].

Коппельман (J. Koppelman) – гендиректор компании Primavera Systems, Inc. подчеркивает [133, общие ошибки управления проектами]: «Ключевое условие успешной реализации проекта – тщательный подбор людей, обладающих

<sup>4</sup> Таблица составлена по материалам [239]

требуемой квалификацией» на основе принципа «синхронизации проектов и человеческих усилий».

Успешная реализация проектов по созданию ИУС зависит не только от руководителей проектов, но и от высококвалифицированных исполнителей [63]. Согласно мнению ведущего специалиста компании Construx Software Builders Inc Макконнелла (S.C. McConnell) [16, использование Microsoft Solution Framework (MSF) в малых командах разработчиков]: «Даже при наличии квалифицированных, мотивированных и трудолюбивых людей неверная структура команды способна свести на нет их усилия, вместо того, чтобы привести их к успеху. Слабая структура команды может послужить причиной увеличения времени разработки, снижения качества, понижения морального духа, повышения текучести кадров и, в конечном итоге, привести к провалу проекта».

Для снижения ошибок и дефектов в технических и ПС, которые появляются из-за недостаточного понимания исполнителями процесса ЖЦ ИУС, необходимо процесс создания ИУС сделать более формальным и менее зависимым от конкретных исполнителей.



Рисунок 1.3 – Проблемная триада создания ИУС<sup>5</sup>

<sup>5</sup> Рисунок разработан автором

**2) Проблемы разработки требований к созданию ИУС.** Данные проблемы возникают из-за неясности, двусмысленности, противоречивости и частоты изменений требований заказчика. Данная ситуация может привести к разработке новых требований и внесению их в технические и программные средства, а также к нарушению сроков сдачи готовой ИУС.

Отметим, что правильно сформулированные в техническом задании требования к созданию ИУС обеспечивают до 40 % успеха конечного программного продукта. Причем спецификации, влияющие на поведение ИУС, должны обеспечивать нужную функциональность и не иметь уязвимых мест [26, 110]. Как справедливо заметил Ф. Брукс (F. Brooks), сложной задачей при создании сложной системы является четкое и точное определение того, что требуется создать.

**3) Проблемы оценки реализуемости проектов по созданию ИУС.** При осуществлении проектов по созданию ИУС необходимо оценить оправданность вложения в него финансовых, трудовых и материальных ресурсов, т.е., как отмечает В.В. Липаев [135, с. 18], «... провести оценку реализуемости проекта в условиях и ресурсах, предлагаемых заказчиком». Как отмечает директор консалтингового департамента КГ СЭТ И. Абрамова – следствием непрерывного цейтнота является отсутствие подготовительного этапа работы над проектом.

Создание ИУС всегда сопровождается разработкой альтернатив, которые сравниваются между собой, чтобы осуществить выбор наилучшей. Для повышения эффективности принимаемых решений по реализуемости проекта, руководители проекта, как правило, рассматривают 3-4 альтернативы, поскольку большее число альтернатив приводит к большим затратам времени.

Отметим, что оценка реализуемости проектов сопровождается проблемами, такими как [87, 104]:

- *Неполнота исходных данных для создания ИУС* связана в основном с игнорированием накопленного опыта исполнителей, т.е. полученные данные по одному проекту не используются для управления новыми проектами.

ДеМарко (Т. DeMarco) утверждает, что необходимо анализировать проблемы предыдущих проектов.

- *Изменение требований, сроков и объема выделяемых ресурсов на создание ИУС* связано с увеличением риска осуществления проектов. Согласно Боэму (В. Boehm), самым распространенным риском программного проекта является «непрекращающийся поток изменений» [200]. Здесь можно согласиться с И. Абрамовой, что непрерывный цейтнот в конце проекта часто связан с постановкой новых задач, которые не предусмотрены первоначальным планом.

- *Слабая структурированность теоретических и фактических знаний о проектах.* Дать оценку реализуемости проектов по созданию ИУС, опираясь только на собственный опыт и неформализованные методы практически невозможно. В связи с этим специалист по управлению проектами А. Коуберн (А. Cockburn) отмечает [122, люди как нелинейные и наиболее важные компоненты в создании программного обеспечения]: «... в разработке программного обеспечения (ПО) проблема заключается в том, что при постановке задачи и проектировании допускается слишком много неточностей. Все будет хорошо, если мы сможем заставить людей работать с математическим формализмом».

*НЕ-факторы* существовали всегда, «пронизывая» всю жизнедеятельность человека. Однако обратили на них внимание лишь при исследовании формальных аппаратов в сложных предметных областях. В задаче оценки реализуемости проектов *НЕ-факторы* играют важную роль, поскольку негативно влияют на ход их выполнения и, прежде всего, на планирование работ и принятие управленческих решений по проектам. Как подчеркивал А.С. Нариньяни [152, инженерия знаний и *НЕ-факторы*: краткий обзор-08], «игнорируя *НЕ-факторы*, мы расплачиваемся за это потерей решений или их качества, а во многих случаях и уверенности в их адекватности».

Понятие «*НЕ-факторы*» впервые введены А.С. Нариньяни в 1982 г. для обозначения комплекса свойств, факторов, которые характерны для реальной системы знаний (неполнота, некорректность и т.п.) [150, 151]. Перед выбором



метода учета *НЕ*-факторов, характеризующих соответствующую проблемную область, необходимо содержательное их исследование.

В работе [21] дан обзор исследований в области моделирования *НЕ*-факторов и введена их классификация в условной трехмерной системе координат  $\langle \text{НЕ-факторы, методы их моделирования, моделируемые объекты} \rangle$ . На рисунке 1.4 представлена классификация *НЕ*-факторов и методы их учета применительно к задаче оценки реализуемости проектов ИУС [89, 94, 97, 105].



Рисунок 1.4 – Классификация *НЕ*-факторов и методы их учета применительно к оценке реализуемости проектов ИУС<sup>6</sup>

<sup>6</sup> Рисунок разработан автором

Выделим следующие *НЕ*-факторы, порождающие неопределенность при оценке реализуемости проектов по созданию ИУС:

♦ *Неточность* – неточное значение, которое может быть получено с точностью, не превышающей порог некоторого параметра. Неточность является универсальным фактором и проявляется в тех случаях, когда исполнитель проекта в своих рассуждениях оперирует значениями каких-либо параметров (например, объем работ по проекту), полученных на основе опроса мнения группы экспертов в виде интервалов, являющихся неточным значением, задаваемым двумя более точными величинами, – границами.

♦ *Неоднозначность* – величина, отражающая множество альтернатив оцениваемого параметра неравномерно, с точки зрения некоторой конкретной семантики (реалистичность, желательность проекта и т.п.). Неоднозначное значение включает недоопределенный интервал и заданное на нем распределение, отражающее оценку каждого значения интервала. Заметим, что недоопределенный интервал может быть доопределен новой информацией, дополняющей знания о представляемом параметре (например, объем и время выполнения работ).

♦ *Нечеткость (размытость)* – величина, связанная с отсутствием точных границ соответствующего параметра. В большинстве случаев нечеткость в исходных данных возникает, когда разработчик пытается количественно охарактеризовать качественные понятия (например, «возможный объем проектных работ из интервала»), которые он использует в своих рассуждениях. Необходимо отметить, что любому измеримому параметру может соответствовать несколько нечетких значений, каждому из которых, в свою очередь, соответствует определенная функция принадлежности.

В зависимости от типа неопределенности (вероятностная, интервальная, нечеткая) исходных данных о значениях располагаемых ресурсов (объем, стоимость, продолжительность работ и др.) при выполнении проектов по созданию ИУС, необходимо различать класс *НЕ*-факторов, математический аппарат описания их модели, а также методы их учета.

В настоящее время для оценки реализуемости проектов по созданию ИУС частично используются различные программные средства (ПС), например, отдельные приложения, предназначенные для оценки стоимости, времени проекта, потребности в денежных ресурсах, а также эффективности проекта. При этом выбор конкретного ПС для оценки реализуемости проектов по созданию ИУС прежде всего зависит от уникальности и отраслевых особенностей конкретных проектов.

Далее в качестве примера приводится перечень моделей и ПС для оценки реализуемости проектов по созданию ИУС, которые используются в организациях и на предприятиях в Российской Федерации и за рубежом.

На данный момент наиболее распространенным ПС управления проектами является *Microsoft Project (Microsoft)*, которое обладает основными возможностями управления проектами: создание и управление задачами и ресурсами, контроль выполнения, отчеты, возможности совместной работы, инструменты для анализа сценариев и принятия решений. Данное ПС достаточно часто используют для оценки стоимости и сроков небольшого проекта на начальных стадиях планирования. Однако оценка общей стоимости проекта складывается из двух составляющих: из фиксированной стоимости ресурсов и работ, а также стоимости назначений (цены на материальные ресурсы и ставки оплаты труда). При оценке сроков проекта по умолчанию используется статистический метод (оценка по трем точкам *PERT* (оптимистическая, ожидаемая и пессимистическая)) [29].

В настоящее время существует достаточно много моделей и ПС для оценки затрат проекта, а также стоимости проекта по созданию ПО, ИУС, с помощью которых можно автоматизировать данный процесс: *COCOMO II*, *Price-S*, *SEER-SEM*, *SLIM (Software Life-cycle model)*, *Knowledge Plan* и *Checkpoint*, *SLIM Estimate*, *Estimacs*, *Cost XPert*, *Costar*, *Borland CaliberRM* [199] и многие другие.

Наиболее известным методом оценки трудоемкости и времени проекта по созданию ПО, ИУС, основанным на большом количестве данных из проведенных ранее проектов, является модель *COCOMO II (COConstructive COst MOdel)*.

Поскольку данная модель расширила возможности модели *COCOMO*, то теперь возможно оценивать приложения, созданные с помощью современных методов разработки. В модели *COCOMO II* трудозатраты нелинейно зависят от размера проекта. Размер проекта измеряется числом строк кода, функциональными и объектными точками. В качестве недостатка можно отметить то, что в отдельных случаях необходимо производить калибровку модели, которая требует большого количества сведений о предыдущих проектах, которых может и не быть [34, 178].

Модель *SLIM* была разработана на основе анализа ЖЦ ПО, в которой применяются распределения Рейлиха для оценки трудоемкости исполнителей за конкретное время. Данная модель является простой и имеет небольшое число параметров, характеризующих проект. Однако стоит отметить, что база данных проекта не опубликована; *SLIM*-модель применима только для больших проектов по созданию ИУС объемом больше 70 000 строк кода; нет статистических доказательств того, что индекс продуктивности, используемый в модели, должен быть именно таким [34, 178, 201, 231].

*SLIM Estimate* – ПС, которое основано на *SLIM*-моделях. Программное средство включает решение задач оценки; сбора и хранения данных о реализованных ранее проектах; анализ этих данных; общий контроль над процессом разработки ПО. Данное ПС позволяет выполнять оценку стоимости с помощью мастера быстрой оценки либо оценки, которая основана на исторических данных [178].

Модель *Price-S* основывается на том, что затраты на разработку ПО распределяются согласно кривым Нордена-Рэйли [202]. Данная модель содержит три подмодели: приобретение (подмодель рассматривает графики работ и затраты); измерение (измерение произведено в функциональных точках); жизненный цикл затрат (определяются затраты на разработку и планирование). Однако база данных, на основании которой производится первоначальная калибровка модели, недоступна пользователям; оценки, полученные исполнителями, могут расходиться, поскольку модели основаны на свойствах, которые являются достаточно размытыми.

Модель *SEER-SEM* основана на комбинировании математики и статистики, предназначена для оценки, планирования и управления проектом по созданию ПО. Данная модель учитывает пять составляющих: параметры (персонал, сложность проекта, ограничения); прогноз (расписание); анализ рисков; калибровка (функциональные точки); вывод (оценки, отчеты, диаграммы). Однако в качестве недостатков данной модели можно выделить: отсутствие опубликованных исследований об использовании данной модели; требование калибровки для использования информации от организации [201, 210].

Наиболее известным ПС для оценки сложности, длительности и трудоемкости проектов при разработке ПО является *Knowledge Plan* [237]. Данное ПС содержит базу знаний (БЗ), в которой хранятся характеристики 8 000–15 000 ранее успешно завершенных проектов. Для вычислений оценок данные обновляются по результатам выполнения реальных проектов. Для оценки параметров работ проекта *Knowledge Plan* можно воспользоваться одним из методов: метод метрик (*Metrics – Function Point Method*), метод аналогий (*Analogy*), компонентный метод (*Components*) [29, 237]. Причем результаты оценки могут быть экспортированы в *Microsoft Project* и использованы совместно с ним. Однако при использовании метода метрик точность оценок будет зависеть от квалификации исполнителей и руководителя проекта, поскольку метод основан на экспертных оценках сложности, а метод аналогий для оценки реализуемости проекта по созданию ИУС для СПО не работает в условиях неопределенных исходных данных.

*Estimacs* – ПС, построенное на основе внутренней методологии оценки стоимости компании IBM в области проектов по разработке информационных систем, поддерживающее метрику оценки с помощью функциональных точек. Полученные модели основаны на следующих составляющих: системная оценка; расписание и оценка стоимости; оценки конфигурации оборудования; оценка риска; анализ результатов. Однако использование функциональных точек, которые необходимо перевести в строки кода, влечет за собой снижение точности оценки [201].

Программное средство *Checkpoint* основано на знаниях и содержит базу данных, включающую 8000 программных проектов. Для поддержки ЖЦ создания ПО полученные модели основаны на трех составляющих: оценка (учитываются ресурсы, затраты, графики работ); измерения (проводится сравнительный анализ производительности); оценивание (оцениваются сильные и слабые стороны среды программного продукта) [201].

*Cost Xpert* представляет собой ПС, основанное на уравнениях модели *COCOMO II*, для планирования разработки ПО и оценки стоимости проектов [165]. Данное ПС полностью сопровождает процесс оценки от этапа определения размера продукта, до этапа создания плана графика проекта; оценивает затраты на создание проектов с помощью более чем 500 средств разработки, а также стоимость проекта, который использует два языка программирования. Однако методы, заложенные в *Cost Xpert*, основаны на расчете функциональных точек, которые необходимо перевести в строки кода, что влечет за собой снижение точности оценки.

*Costar (SoftStar Systems)* – ПС, основанное на моделях *COCOMO*. Данное ПС позволяет проводить оценку в пошаговом режиме (мастер оценки стоимости) и интерактивном (непосредственно указываются значения параметров, влияющих на стоимость проекта), а также поддерживать ограничения проекта. Для анализа результатов создаются различные формы отчетов (сохранены в формате *Microsoft Excel*), графиков и диаграмм (сохранены в формате растрового изображения *BMP*) [178].

Таким образом, для успешной реализации проектов по созданию ИУС, необходимо на этапе анализа реализуемости проектов своевременно и максимально полно выявлять и формализовывать возможные *НЕ*-факторы, влияющие на создание ИУС, тем самым обеспечивая руководителей проектов своевременной корректной и релевантной информацией (поддержкой принятия решений). Для преодоления трудностей, вызванных *НЕ*-факторами, целесообразно для оценки реализуемости проектов по созданию ИУС

использовать методы поддержки принятия решений, обеспечивающие приемлемую формализацию неопределенностей.

Проведенный анализ существующих моделей и ПС показал, что рассмотренные модели и ПС требуют большого количества точных сведений о предыдущих проектах; учитывают не все параметры проектов, которые влияют на оценку реализуемости; не применимы в условиях неопределенных исходных данных. Поэтому возникает необходимость в разработке программного обеспечения (ПО) для анализа реализуемости проектов по созданию ИУС, которое бы отображало на экране результаты оценки реализуемости проектов и требовало для решения подобных задач от пользователя только системных знаний и понимания.

### **1.3. Сравнительный анализ методов поддержки принятия решений для оценки реализуемости проектов**

Поскольку задача оценки реализуемости проектов по созданию ИУС является задачей сложной, программная инженерия предлагает новые подходы и методы к ее решению. Однако на сегодняшний день до сих пор нет универсальной методики, которая давала бы гарантированный результат.

В настоящее время самое широкое распространение к формализации неопределенности получил *стохастический (вероятностно-статистический) подход*. Например, вероятностно-статистический подход весьма эффективен при проектировании рельсового транспорта: железнодорожного, трамвайного, рудничного [25]; анализе безопасности сложных технических систем на стадии проектирования и эксплуатации [8]; обеспечении безопасности ядерных энергетических установок [13] и в других областях науки.

Однако применение вероятностно-статистических методов в задачах оценки реализуемости проектов по созданию ИУС оказывается не всегда возможным [101, 107]. Во-первых, при разработке проектов по созданию ИУС невозможно провести многочисленные эксперименты с тем, чтобы собрать статистические исходные данные для оценки реализуемости проекта, поскольку создание каждой

ИУС является уникальным. В связи с этим построение эмпирической вероятностной модели не представляется возможным. Во-вторых, исходные данные для оценки реализуемости проектов, полученные от руководителя и исполнителей проекта на основе контракта, а также нормативной документации в большинстве случаев носят нечисловой характер. Это связано с тем, что процесс анализа реализуемости проектов является сложным и характеризуется высоким уровнем неопределенности.

Для преодоления трудностей при оценке реализуемости проектов весьма перспективно использовать провозглашенные в 1994 г. Л. Заде (L.A. Zadeh) методы и технологии «мягких вычислений» (*soft computing*), позволяющие «устранить» неопределенности и придать задаче анализа реализуемости проектов количественную определенность. По мнению Л. Заде [123, с. 7] «...нужна новая точка зрения, новый комплекс понятий и методов, в которых нечеткость принимается как универсальная реальность человеческого существования».

*Мягкие вычисления* имитируют поведение и воспроизводят мышление человека и, в отличие от традиционных классических *жестких вычислений* (*hard computing*), «терпимы» к НЕ-факторам и нацелены на максимальное приспособление к работе с неточными или частично истинными данными.

Особенностью жестких вычислений является точность, определенность и строгость вычислительного результата, поэтому в условиях неопределенных исходных данных они оказываются малоэффективными. Пожалуй, здесь можно согласиться с мнением В.И. Арнольда [11, с. 15], что «жесткие модели – это путь к ошибочным предсказаниям».

На рисунке 1.5 предложена классификация методов поддержки принятия решений при оценке реализуемости проектов по созданию ИУС [93].

Системы, в которых комбинируются подходы и методы вычислительного интеллекта, называются *гибридными системами* (*hybrid systems*). Такие системы используют преимущества традиционных средств вычислительного интеллекта, преодолевая некоторые их недостатки и решают задачи, не решаемые отдельными методами мягких вычислений. По мнению Л. Заде [70, с. 3], «в конечном итоге



большинство систем с высоким коэффициентом машинного интеллекта будут гибридными системами».

Методологии когнитивного и нечеткого когнитивного моделирования процесса анализа реализуемости проектов далее будем именовать просто методологии когнитивного и нечеткого когнитивного моделирования.



Рисунок 1.5 – Классификация методов поддержки принятия решений для оценки реализуемости проектов по созданию информационно-управляющих систем<sup>7</sup>

Важнейшими методами поддержки принятия решений для оценки реализуемости проектов по созданию ИУС являются методы с использованием «мягких вычислений», а также методологии когнитивного и нечеткого когнитивного моделирования.

**Метод деревьев решений** (*decision trees*) впервые был предложен П. Ховилендом (P. Hoveland) и Е. Хантом (E. Hunt) в конце 50-х годов прошлого века. Деревья решений – это способ представления правил в иерархической, последовательной структуре [220]. Узлы дерева представляют объекты анализа и

<sup>7</sup> Рисунок разработан автором

момент выбора направления действий, ветви дерева изображают события, которые могут иметь место, а листья – альтернативные решения. Деревья решений оказываются эффективным средством описания и хранения информации, классификации и кластеризации данных, построения иерархических нелинейных регрессионных моделей [185].

Наибольшее распространение получили следующие алгоритмы, реализующие построение деревьев решений [64, 84]:

- *CART (Classification and Regression Tree)*, разработан Л. Брейманом (L. Breiman), Дж. Фриедманом (J. Friedman), Р. Олшеном (R. Olshen) и Ч. Стоуном (Ch. Stone), представляет собой алгоритм построения бинарного дерева решений, т.е. деревья решений содержат два потомка в каждом узле дерева.
- *C 4.5* – алгоритм для построения дерева решений, у которого может быть неограниченное количество потомков у узла, разработан Р. Куинленом (R. Quinlan). Поскольку данный алгоритм работает только с дискретным зависимым атрибутом, то он может решать только задачи классификации;
- *QUEST (Quick, Unbiased, Efficient Statistical Trees)* – метод предназначен для быстрого построения бинарного дерева решений, при этом зависимая переменная должна измеряться в номинальной шкале.

Метод деревьев решений широко используется в задачах интеллектуального анализа данных (*Data Mining*), принятия управленческих решений и для решения практических задач (оценка рисков проекта, контроль выявления дефектов, диагностика заболеваний в медицине).

Например, в работе [124] рассматривается применение булевых производных для анализа темпоральных деревьев решений при оперативном функциональном диагностировании сложных технических объектов, которое позволяет уменьшить объем обрабатываемой информации за счет минимизации продукционных правил в диагностической экспертной системе, а также упрощает процедуру регистрации диагностических процессов во временной области.

Преимущества использования аппарата деревьев решений: разработка правил в трудноформализуемых условиях; интуитивно понятная

классификационная модель; возможность построения непараметрических моделей. Однако имеется проблема определения значимости узлов, чтобы можно было достичь некоторого окончательного узла (узлов), где стоит указание, к какому классу нужно отнести рассматриваемый объект.

Начиная с конца 50-х годов прошлого столетия происходит значительный технологический рост в области проектирования **нейронных сетей** (*Neuro network*), основанных на модели искусственного нейрона, имитирующего свойства биологического нейрона, способного изменять свое поведение в зависимости от состояния окружающей среды [121, 126, 171].

Теория нейронных сетей (НС) как научное направление, а также первые результаты в данной области были получены и представлены в работах зарубежных ученых В. Маккаллоха (W. McCulloch), В. Питтса (W. Pitts), Ф. Розенблатта (F. Rosenblatt), Д. Хэбба (D. Hebb).

Большой теоретический и практический вклад в развитие технологий искусственных НС внесли такие ученые как В.В. Борисов, А.И. Галушкин, А.Н. Горбань, А.Г. Ивахненко, В.В. Круглов, Э.М. КуССуль, М. Минский, С.А. Терехов, В. Видроу (W. Widrow), Р. Дж. Вильямс (R.J. Williams), Т. Кохонен (T. Kohonen), Дж. Хинтон (G.E. Hinton), Дж. Хопфилд (J.J. Hopfield) и многие другие.

В настоящее время известно большое количество программных продуктов, позволяющих создавать и исследовать НС для решения различных прикладных задач, выпускаемых рядом фирм и отдельными исследователями. К наиболее мощным зарубежным и российским пакетам можно отнести:

- ◆ NeuralShell фирмы Ward Systems Group, позволяющий моделировать многослойные нейронные сети, сети Кохонена и др.;
- ◆ MatLab (компонент Neural Network Toolbox) фирмы MathWorks (США), позволяющий проектировать нечеткие нейросети;
- ◆ Нейроимитатор фирмы АО «Нейрома – РД» (Москва), позволяющий моделировать биологические нейронные сети;

♦ «Neuro Office» АОЗТ «Альфа Систем» (ЛЭТИ, Санкт-Петербург), позволяющий проектировать интеллектуальные программные модули на основе нейронных сетей с ядерной организацией и др.

В настоящее время исследования в области искусственных нейронных сетей ориентированы в основном на создание сложных проектов, специализированных систем для решения конкретных задач, когда традиционные решения не эффективны, а обычные вычисления непомерно трудоемки или же не адекватны решаемой задаче. В последние несколько лет наблюдается интерес к НС, которые используются в бизнесе, технике, физике и др. Нейронные сети используют для решения задач распознавания объектов (классификации объектов), прогнозирования, управления.

В качестве примеров можно привести работу [119], в которой рассматривается создание нейросетевой системы диагностики и поддержки принятия решения для критичных областей.

В работе [190] рассматривается задача диагностики оборудования атомной электростанции (АЭС), сводящаяся к распознаванию режимов работы оборудования по стохастическим сигналам.

В работе [220] рассматривается подход к оценке стоимости разработки программного обеспечения с применением нейронных сетей для аппроксимации функции. Данный подход состоит из трех шагов: подготовка исходных данных (рассчитываются оценки с помощью модели COSOMO 81); сокращение количества параметров модели, которые используются в качестве входных данных для нейронной сети; аппроксимация функции.

Несомненными преимуществами НС является то, что они обладают устойчивостью при работе с недостоверными данными, возможностью адаптации к новым условиям, а также способностью эффективно обрабатывать данные высокой размерности. Однако существенным недостатком нейросетевой парадигмы является необходимость в большом объеме ретроспективной информации для качественного обучения разработанной НС, а также сложность

анализа, вследствие чего обученная НС представляется пользователю «черным ящиком».

В последнее десятилетие достаточно сильно развиваются **многоагентные технологии** (многоагентный подход, агентно-ориентированный подход, агентный подход), позволяющие исследовать поведение сложных систем и принимать управленческие решения [192]. В рамках данного подхода сложная система состоит из взаимодействующих агентов, которые способны общаться друг с другом, быстро адаптироваться к изменениям внешней среды.

Проблематика интеллектуальных агентов и мультиагентных систем зародилась в 1960-х годах и сформировалась на основе результатов, которые были получены в рамках работ по распределенному искусственному интеллекту.

Понятие «агентно-ориентированное программирование» было заложено в 1990 г. Й. Шохемом (Y. Shoham) с использованием идеи К. Хьюитта (C. Hewitt), в основе которой лежат модели акторов. Актор – «автономный, интерактивный и одновременно исполняющий несколько функций объект, обладающий внутренним состоянием и информационным обменом» [236].

Особый вклад в развитие многоагентного подхода внесли такие известные ученые, как В.И. Городецкий, Д.А. Поспелов, П.О. Скобелев, В.Б. Тарасов, М. Вудридж (M. Wooldridge), Н. Дженнингс (N. Jennings), К. Хьюитт, Й. Шохем и др. На сегодняшний день теория многоагентных систем имеет обширную библиографию. Достаточно полное представление о ее становлении и современном уровне развития дают публикации (см., например, [53, 161, 183, 213, 244]).

Для реализации мультиагентных систем (MAC) на основе спецификаций стандартов *FIPA* (*Foundation for Intelligent Physical Agents*) используются инструментальные средства: *JADE* (*Telecom Italia Lab*), *JACK Intelligent Agents* (*AOS Group*) и др. Для разработки MAC используются универсальные интегрированные среды разработки (*IDE – Integrated Development Environment*): *Eclipse*, *NetBeans*, а также на основе спецификаций *MASIF* используются среды: *Aglets SDK* (*IBM*), *Odyssey* (*GenMagic*), *D'Agents* (*Dartmouth college*) [72].

Многоагентный подход бурно разрабатывается применительно к сферам компьютеризации социальных и экономических систем, информационно-телекоммуникационных услуг, электронной коммерции, автоматизации технических и производственно-технических систем и др. В связи с ростом масштаба проектов по разработке таких систем и возрастанием требований к их своевременному завершению при наличии *НЕ*-факторов окружающей среды, многоагентная парадигма получает все большее распространение в задачах распределения трудовых ресурсов.

Например, в работе [73] рассматривается задача распределения трудовых ресурсов между задачами процесса с учетом пси-характеристик работы работников и уровня их нагрузки. Для решения задачи предлагается определять целевые функции агентов для обеспечения взаимодействия агентов; последовательность, в которой агенты задач вступают в переговоры; тип взаимодействия.

В работе [62] рассматривается метод распределенной координации изменений графика проекта, являющийся основой для мультиагентной системы оперативного управления проектом, позволяющей анализировать ограничения финансовых и временных ресурсов в графике работ; предсказывать планирование действий.

Ключевым преимуществом многоагентных технологий является возможность естественного описания сложных систем в терминах поведения компонентов и их взаимодействий. В результате чего многоагентные системы становятся гибкими (работают, динамично реагируя на изменения и постоянно улучшая решения в реальном времени); интеллектуальными (агенты анализируют ситуацию и ищут способ решения задачи); с высокой производительностью (быстрое нахождение решения). К недостаткам можно отнести отсутствие подсистемы моделирования как механизма прогнозирования поведения агента, а также значительные затраты времени и сил для приобретения навыков программирования.

Применительно к оценке реализуемости проекта ИУС наиболее интересны следующие составляющие: нечеткие методы, генетические алгоритмы, рассуждения по прецедентам, методология когнитивного моделирования и методология нечеткого когнитивного моделирования (рисунок 1.6) [101].

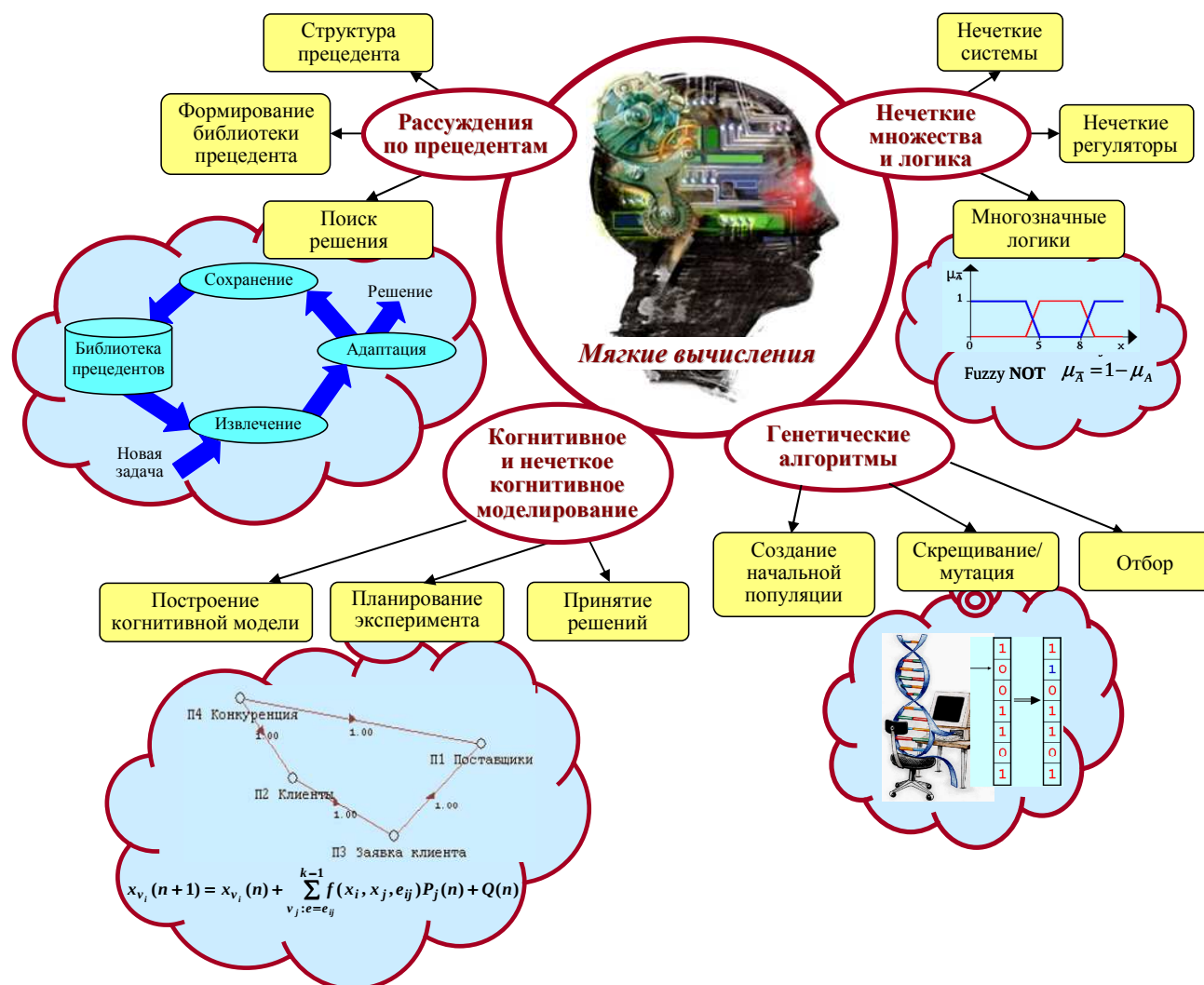


Рисунок 1.6 – Методы и технологии «мягких вычислений» для оценки реализуемости проекта по созданию информационно-управляющих систем<sup>8</sup>

**Генетические алгоритмы** (ГА) являются эвристическими алгоритмами поиска, которые основаны на математическом моделировании генетических процессов биологических организмов.

Дальнейшее развитие генетические алгоритмы получили в трудах Д. Голдберга (D. Goldberg), Э. Гудмана (E.D. Goodman), К. ДеДжонга (K. DeJong),

<sup>8</sup> Рисунок разработан автором

К.Де Йонга (K.D. Jong), Д. Фогелья (L.J. Fogel), Л. Чамберса (L. Chambers) и многих других.

Среди современных отечественных исследований в области генетических алгоритмов следует выделить работы: Д.И. Батищева, Л.А. Гладкова, В.М. Курейчика, В.В. Емельянова, И.П. Норенкова и др.

На рынке программного обеспечения существует достаточное количество программных продуктов, реализующих генетические алгоритмы. На рисунке 1.7 представлена классификация программных продуктов наиболее известных и популярных в России, применяемых в задаче оценки реализуемости проектов [93].



Рисунок 1.7 – Классификация программных продуктов, реализующих генетические алгоритмы в задаче оценки реализуемости проектов<sup>9</sup>

Здесь выделены следующие типы программных продуктов [9]:

♦ *Программные продукты* включают инструментальные средства для построения программ, содержащие средства визуализации, программы

<sup>9</sup> Рисунок разработан автором



моделирования и другие инструменты. Рассчитаны на опытных программистов, требуют знания о ГА и характеризуются высокой трудоемкостью освоения.

♦ *Прикладные продукты* ориентированы на решение проблем, например, в стратегическом планировании и не требуют от пользователей знаний в области создания сложных интеллектуальных систем.

♦ *Алгоритмические продукты* поддерживают один или несколько ГА. При этом пользователям необходимо иметь знания о ГА.

Поскольку большинство программных продуктов разработаны под определенные практические задачи; имеют ограниченный набор генетических операторов и тестовых функций; продаются по высокой цене; плохо приспособлены для модификаций; не позволяют сохранять результаты поиска, необходимо создавать инструментальные средства (программные системы), которые позволяли бы исследовать и доказывать эффективность предложенных методик на тестовых функциях в решении практических задач.

В последнее время генетические алгоритмы используются во многих областях науки, однако в период бурного расцвета информационных технологий идеи Д. Холланда и его последователей находят все более широкое применение в управлении для решения задач календарного планирования с ограниченными ресурсами, которые относятся к классу *NP*-трудных задач; комбинаторных задач, а также задач поиска оптимальных решений, формирования моделей и прогнозирования значений различных показателей [23, 33, 207, 208].

Например, в работе [23] рассматривается задача календарного планирования с ограниченными ресурсами, представленная следующим образом: найти  $T(S) \rightarrow \min$  при условиях:  $c_i \leq s_j, i \in P_j, \sum_{j \in A(t)} r_{jk} \leq R_k, k \in K, t \geq 0, s_j \geq 0, j \in J$ , где

$T(S)$  – время завершения проекта;  $s_j$  – момент начала выполнения  $j$ -й работы;  $P_j$  – множество непосредственных предшественников работы  $j$ ;  $r_{jk}$  – объем  $k$ -го ресурса для реализации  $j$ -й работы;  $A(t)$  – множество работ, выполняемых в момент времени  $t$ ;  $K$  – множество типов ресурсов;  $R_k$  – объем выделяемого ресурса;  $J$  – множество работ. Для решения данной задачи предлагается

модификация генетического алгоритма, заключающаяся в изменении размера популяции в зависимости от количества лидирующих особей в популяции.

В работе [33] рассматривается задача составления временного графика, когда набор из  $n$  операций должен быть выполнен на  $m$  рабочих местах в течение определенного ограниченного промежутка времени. Причем каждая операция требует определенного фиксированного времени на определенном рабочем месте.

В работе [208] рассматривается модель оценки стоимости программного проекта с применением модели *COCOMO II* и генетического алгоритма.

Основным преимуществом ГА является универсальность, простота их реализации, а также относительно высокая скорость работы в задачах с нечеткими исходными данными, для которых нет четких алгоритмов решения. Их использование позволяет с высокой точностью и за приемлемое время определять не одно, а множество оптимальных решений задачи оптимизации. Однако при всех видимых достоинствах основными его недостатками являются относительно высокая вычислительная стоимость, отсутствие гарантии того, что будет найдено оптимальное решение за приемлемое время, а также наличие многих критериев и ограничений, затрудняющих применение ГА в практических задачах. Это связано с тем, что многие подходы ориентированы только на одну проблему (либо на многокритериальность, либо на наличие ограничений). Тьюки (J.W. Tukey) – известный математик-прикладник заметил, что точная оптимизация не нужна для практических целей ни в одной области, требуется лишь получить достаточно хорошее решение [242].

Другим перспективным направлением в области вычислительного интеллекта является *метод рассуждений на основе прецедентов* (*Case-Based Reasoning*), предложенный в 1977 г. Р. Шенком (R. Shank) и Р. Абельсоном (R. Abelson), основанный на опыте прошлых ситуаций. Данный метод позволяет решать новую задачу, используя при этом решение уже известной задачи в условиях финансовых и временных ограничений. Основным понятием является структурированный прецедент, представленный в виде данных и знаний (записи в

базах данных, предикаты, фреймы). Р. Шенк подчеркивал, что *CBR* является способом решения новых проблем путем адаптации решений, которые использовались ранее в аналогичных ситуациях [65].

Большой вклад в изучение проблем представления знаний внесли В.Н. Вагин, Г.С. Осипов, Д.А. Поспелов, П. Джексон (Р. Jackson), А. Кинли (А. Kinley), Д. Колоднер (J. Kolodner), Дж. МакКарти (J. McCarty), П. Уинстон (Р. Winston) и многие др.

В настоящее время известен целый ряд программных продуктов, реализующих механизмы рассуждений на основе прецедентов для решения различных прикладных задач, выпускаемых рядом фирм. К наиболее известным продуктам можно отнести: *KATE tools (Acknosoft)*, *Pattern Recognition Workbench (Unica)*, *CBR Express*, *Case Point* и *ART\*Enterprise (Inference Corp.)*, *Apriori (Answer Systems)*, *DP Umbrella (VYCOR Corp.)*, *ReCall (ISoft)* и др. [68].

Метод рассуждений на основе прецедентов стал активно применяться для решения задач планирования, оценки, диагностики, проектирования и подбора персонала в таких областях, как юриспруденция, медицинская диагностика, мониторинг и диагностика технических систем, электронная коммерция и синтез программного обеспечения, авиация, атомная энергетика, поиск решения в проблемных ситуациях и др.

Наличие метода в системах для мониторинга и управления сложными объектами позволяет лицам, принимающим решения (руководителям проектов), осуществлять выбор более адекватного решения при управлении сложными объектами. Выбор, связанный со значительными затратами материальных, трудовых и финансовых ресурсов в условиях риска, обусловленного неопределенностью факторов внутренней и внешней среды проекта [20, 81, 139, 196, 197, 243].

Например, в работе [194] рассматривается задача планирования и отбора персонала проекта путем хранения знаний об опыте исполнителей и последующего выбора из прецедентной базы данных именно тех кандидатов, у которых присутствует опыт выполнения требуемых проектных работ.

В работе [22] рассматривается задача диагностики состояний сложного объекта и обнаружения управляющих воздействий для подсистемы компенсатор объема в контуре водо-водяного энергетического реактора АЭС.

В работах [112–115, 118] рассматривается модель снижения риска на этапе анализа реализуемости проекта по созданию ИУС с использованием метода прецедентов, позволяющего выбирать приемлемые альтернативы разработки ИУС в условиях, когда невозможно или не целесообразно построение математических моделей. В качестве методов извлечения прецедентов используются метод «ближайшего соседа» и метод на основе деревьев решений.

В работе [234] рассматривается задача оценки разработки программного обеспечения с применением метода рассуждений на основе прецедентов и обучения, основанного на объяснении (*Explanation-based learning (EBL)*) в условиях технических и организационных факторов, влияющих на ход разработки.

К основным преимуществам *CBR*-метода можно отнести улучшение работы за счет использования прежнего опыта подобных ситуаций: применяя его к новым проблемам, можно исключить повторное ошибочное решение. К недостаткам данного метода можно отнести невозможность получения решения задач, если нет прецедентов в библиотеке прецедентов (БП) системы; некомпактное хранение знаний, а также сложность и специфичность процессов поиска подобных случаев и адаптации решения.

**Концепция нечетких множеств** (*fuzzy sets theory*) впервые была изложена Л. Заде в 1965 г. В основе применения математического аппарата нечетких множеств лежит функция принадлежности. Данный аппарат позволяет приближенным и нечетким утверждениям дать строгое математическое описание. Л. Заде отметил, что человек мыслит нечеткими понятиями.

Значительный вклад в дальнейшее развитие аппарата теории нечетких множеств и его прикладного аспекта внесли российские и зарубежные ученые: А.Н. Аверкин, Р.А. Алиев, А.Е. Алтунин, И.З. Батыршин, А.Н. Борисов, С.А. Орловский, В.В. Подиновский, Д.А. Поспелов, В.Б. Тарасов, Л.А. Заде,

Р. Беллман (R. Bellman), Д. Дюбуа (D. Dubois), Б. Коско, Е.А. Мамдани (E. Mamdani), А. Кофман (A. Kaufman), Х. Прад (H. Prade), М. Сугено (M. Sugeno), Т. Такаги (T. Takagi), Р. Ягер (R. Yager) и ряд других деятелей науки.

Пожалуй, здесь можно согласиться с высказыванием А.Н. Аверкина, И.З. Батыршина и В.Б. Тарасова [5, Лотфи Заде и Россия], что «теория нечетких множеств не распространилась бы столь быстро и широко по всему миру, если бы не активные усилия Л. Заде по пропаганде ее идей как в статьях, так и в докладах на многочисленных конференциях».

Для решения задач с применением теории нечетких множеств на мировом рынке существует достаточное количество программных продуктов (ПО, программных пакетов, ПС). Из известных в России программных средств, основанных на нечетких моделях, можно указать такие, как:

- ♦ *FuziCalc* компании *FuziWare* (США) – позволяет хранить данные, а также выполнять простые расчеты и оценки на основе нечетких данных;
- ♦ *FuzzyTECH* компании *Inform GmbH* (Германия) – позволяет разрабатывать нечетко-логические модели в графическом режиме;
- ♦ *MatLab* (компонент *Fuzzy Logic Toolbox*) фирмы *MathWorks* (США) – позволяет создавать системы нечеткого логического вывода и проводить кластеризацию нечеткими алгоритмами;
- ♦ Бизнес-прогноз фирмы Тора-Инфо-Центр (дистрибьютер) (Россия) ориентирован на поддержку управленческих решений, при этом оценка возможных исходов осуществляется с помощью функций принадлежности и многие др.

Теория нечетких множеств используется во многих областях науки, однако в последнее время в период бурного расцвета информационных технологий идеи Л. Заде и его последователей находят все более широкое применение при разработке и моделировании сложных проектов, систем, поскольку необходимо оценивать ситуацию и принимать решение в условиях нечеткой исходной информации.

Например, в работе [191] рассматривается математическая модель календарного плана работ по проекту, представленного в виде нечеткого ориентированного графа.

В работе [131] рассматривается метод экспертной оценки остаточного ресурса систем внутриреакторного контроля АЭС с использованием нечеткой логики.

В работе [209] рассматриваются модели оценки стоимости и продолжительности программного проекта с использованием нечеткой логики в условиях, когда показатели проекта представлены в виде лингвистических описаний.

Основным достоинством указанной теории является большая гибкость в представлении исходной информации и интерпретировании конечного результата. Однако при всех видимых достоинствах основными ее недостатками являются отсутствие стандартной методики конструирования нечетких систем, а также невозможность математического анализа нечетких систем существующими методами.

**Методология когнитивного моделирования** (*Cognitive Modelling (CM)*) – инструмент, предназначенный для анализа, принятия решений и управлений в трудно формализуемых задачах, предложенный в 1975 г. Р. Аксельродом (R. Axelrod). Когнитивное моделирование основано на моделировании субъективных представлений экспертов (руководителей и исполнителей проектов) о ситуации и включает в себя: модель представления знаний эксперта в виде когнитивной карты, а также методы анализа ситуации [39, 83, 128].

Значительный вклад в дальнейшее развитие методологии когнитивного моделирования внесли российские и зарубежные ученые: Н.А. Абрамова, З.К. Авдеева, Г.В. Горелова, В.В. Кульба, В.И. Максимов, В.Б. Силов, В.Г. Хорошевский, Р. Аткин (R.H. Atkin), В. Жанк (W.R. Zhang), Дж. Карвальхо (J.P. Carvalho), Б. Коско (B. Kosko) и др.

В настоящее время известны системы моделирования когнитивных карт *Decision Explorer* и *FCMapper*, ориентированные на анализ структуры

когнитивных карт; система когнитивного моделирования, созданная под руководством Г.В. Гореловой; система «Космос», разработанная под руководством В.Б. Силова; система моделирования знаковых орграфов и знаковых взвешенных орграфов, разработанная под руководством В.В. Кульбы; система «ИГЛА» Брянского государственного технического университета, разработанная коллективом под руководством А.Г. Подвесовского; система «Канва», созданная коллективом под руководством О.П. Кузнецова и многие др.

Например, в работе [48] предложен подход, основанный на когнитивном моделировании и методе исследования структур и обоснования принимаемых решений по выбору структуры отказоустойчивых распределенных ИУС с заданными свойствами. Полученные результаты необходимы на этапе предпроектных исследований при разработке распределенных ИУС.

В работе [58] рассмотрена оценка успешности портфелей проектов повышения безопасности АЭС на основе когнитивного моделирования. Предложена базовая система факторов, на основе которой разработана когнитивная карта.

Основными преимуществами когнитивного моделирования являются: прогнозирование возможных событий; оценка взаимовлияния действующих факторов, определяющих возможные сценарии развития ситуаций, которые могут сильнее всего отразиться на положении моделируемого объекта.

В 1986 г. прошлого столетия Б. Коско были предложены *нечеткие когнитивные модели* (*fuzzy cognitive models (FCMs)*), которые являются теоретической основой описания поведения любых сложных систем в условиях неопределенности. Данные модели получили развитие в большом количестве российских и зарубежных работ (Л.А. Гинис, О.П. Кузнецова, А.А. Кулинича, Д.Г. Лагерева, А.Г. Подвесовского, Р.Р. Groumpos (П. Гроумпос), Е.Ι. Papageorgiou (Е. Папагеоргио), С.D. Stylios (С. Стайлос) и др.) и в зависимости от интерпретаций решаемых задач рассматриваются различные модификации нечетких когнитивных моделей.

Отметим, что наибольшего успеха в оценивании проекта можно достичь только путем системной комбинации вышеперечисленных методов и технологий поддержки принятия решений. Н.Н. Моисеев заметил, что для понимания любого сложного явления необходимы различные подходы, интерпретации.

Например, в работе [229] предлагается гибридный подход к оценке стоимости разрабатываемого программного обеспечения, основанный на применении нейронных сетей и нечеткой логики.

В работе [205] предлагается гибридный подход к оценке стоимости проекта по разработке программного обеспечения, основанный на применении генетического алгоритма и нечеткой логики.

В работе [195] предлагается гибридный подход к оценке времени и стоимости проекта по разработке программного обеспечения, основанный на применении метода рассуждений по аналогии и нечеткой логики в условиях нечетких исходных данных.

Таким образом, проведенный сравнительный анализ методов поддержки принятия решений для оценки реализуемости проектов по созданию ИУС позволяет установить, что наибольшего успеха при оценивании реализуемости проектов по созданию ИУС в условиях неопределенных исходных данных можно достичь путем системной комбинации методов поддержки принятия решений. Поэтому возникает необходимость в разработке методологических основ анализа реализуемости проектов по созданию ИУС, базирующихся на комплексе когнитивных моделей и методов поддержки принятия решений методологии когнитивного и нечеткого когнитивного моделирования, которые могли бы обеспечить приемлемую формализацию неопределенности, обусловленной наличием субъективных суждений эксперта (руководителей и исполнителей проектов), а также повысить обоснованность принимаемых решений на этапе предпроектного исследования.



## Выводы по главе 1

1) Проведенный анализ позволил заключить, что для соблюдения всех соответствующих требований к созданию ИУС ПрО, принятия обоснованных управленческих решений, необходимо на начальном этапе ЖЦ ИУС в условиях неопределенных исходных данных и недостатка ресурсов проводить предпроектные исследования, играющие важнейшую роль в реализации проекта, и, в частности, анализ реализуемости проектов по созданию ИУС, направленный на выявление факторов, оказывающих негативное влияние на процесс создания ИУС; качество принимаемых решений и возможных слабых мест в проекте; выработку обоснованных управленческих решений по улучшению ИУС; исключение провала проекта; на достижение выполнения всех требований к созданию ИУС, необходимых для этапа проектирования и изготовления ИУС.

2) Проведенный анализ проблем анализа реализуемости проектов на этапе предпроектного исследования показал, что для успешной реализации проектов по созданию ИУС необходимо на этапе анализа реализуемости проектов своевременно и максимально полно выявлять и формализовывать возможные *НЕ*-факторы, влияющие на создание ИУС, тем самым обеспечивая руководителей проектов своевременной корректной и релевантной информацией (поддержкой принятия решений). Для преодоления трудностей, вызванных *НЕ*-факторами для решения задач оценки реализуемости проектов по созданию ИУС целесообразно использовать методы поддержки принятия решений, обеспечивающие приемлемую формализацию неопределенностей. Проведенный анализ существующих моделей и ПС для оценки реализуемости проектов по созданию ИУС показал, что рассмотренные модели и ПС требуют большого количества точных сведений о предыдущих проектах; учитывают не все параметры проектов, которые влияют на оценку реализуемости; не применимы в условиях неопределенных исходных данных. Поэтому возникает необходимость в разработке программного обеспечения (ПО) для анализа реализуемости проектов по созданию ИУС, которое бы отображало на экране результаты оценки

реализуемости проектов и требовало для решения подобных задач от пользователя только системных знаний и понимания.

3) Проведенный сравнительный анализ методов поддержки принятия решений для оценки реализуемости проекта по созданию ИУС показал, что в условиях, когда невозможно провести многочисленные эксперименты, а исходные данные в большинстве случаев носят нечисловой характер, перспективно разработать методологические основы анализа реализуемости проектов по созданию ИУС, базирующихся на комплексе когнитивных моделей и методов поддержки принятия решений с использованием «мягких вычислений», методологии когнитивного и нечеткого когнитивного моделирования, позволяющие повысить обоснованность принимаемых решений на этапе предпроектного исследования, снизить затраты на ресурсы проведения оценки реализуемости проектов в условиях неопределенных исходных данных.

## **Глава 2. Методологические основы анализа реализуемости проектов по созданию информационно-управляющих систем**

Разрабатывается комплекс когнитивных моделей, методов поддержки принятия решений, методика его использования, а также формируется система принципов, составляющих основу разрабатываемых методологических основ анализа реализуемости проектов по созданию ИУС промышленных объектов. Разрабатывается структура базы знаний интеллектуальной системы поддержки принятия решений, использующей обобщенную схему методологии когнитивного моделирования и нечеткого когнитивного моделирования процесса анализа реализуемости проектов.

### **2.1. Разработка комплекса когнитивных моделей и методов поддержки принятия решений при анализе реализуемости проектов**

Для исключения провала проекта и выполнения всех требований, поступающих от заказчика, предлагается применить системный подход для управления процессом анализа реализуемости проектов по созданию ИУС.

На рисунке 2.1 представлена структурная схема системы управления процессом анализа реализуемости проектов по созданию ИУС ПрО с учетом наличия требований заказчика, которую предлагается разделить [103]:

- 1) на управляющую подсистему (субъект управления,  $S$ );
- 2) управляемую подсистему (объект управления,  $O$ );
- 3) модель объекта (четкая и/или нечеткая когнитивная модель  $Y$ ).

В качестве *управляющей подсистемы* ( $S$ ) может рассматриваться организация, в которой разрабатывается ИУС.

*Функции субъекта управления* заключаются в следующем:

- 1) обеспечивать ресурсное управление (финансовые, материальные, информационные ресурсы);
- 2) обеспечивать достаточную укомплектованность персоналом с необходимым уровнем подготовки;
- 3) разрабатывать обоснованные регламенты и строго их придерживаться.

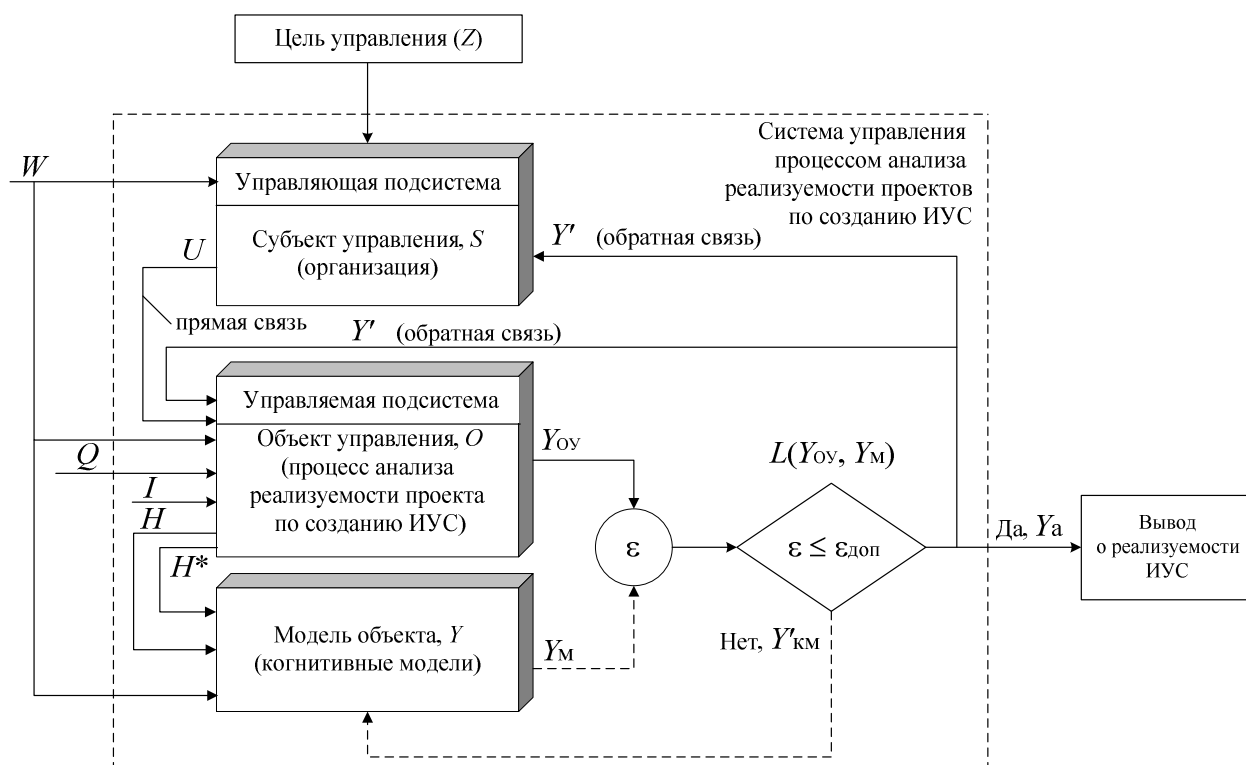


Рисунок 2.1 – Структурная схема системы управления процессом анализа реализуемости проектов по созданию ИУС ПрО<sup>10</sup>

Под управляемой подсистемой (O) рассматриваются объекты управления (исполнители проекта, этапы жизненного цикла разработки ИУС, а также процесс анализа реализуемости проектов по созданию ИУС), на которые направлены управленческие воздействия.

Основными функциями объекта управления являются:

- 1) соблюдение обязательных технических требований, предъявляемых к разрабатываемой ИУС, которые в силу действующего законодательства являются обязательными для использования при разработке ИУС;
- 2) соблюдение требований к содержанию, объему и последовательности отдельных стадий и этапов работы по разработке ИУС;
- 3) использование общепринятых способов, форм, языковых понятий, применяемых при оформлении результатов разработки.

Под моделью объекта понимается разработка и исследование четкой и/или нечеткой когнитивных моделей оценки реализуемости проекта по созданию ИУС

<sup>10</sup> Рисунок разработан автором

с использованием методологии когнитивного и нечеткого когнитивного моделирования процесса анализа реализуемости проектов.

На схеме:  $W$  – внешняя информация (заказчик, Ростехнадзор, эксплуатирующая организация, нормативная документация (МАГАТЭ, NUREG, МЭК, ГОСТ и др.));

$Q$  – ресурсы (трудовые (интеллектуальные), финансовые, материальные), необходимые для выполнения работ по проекту;

$I$  – внутренняя информация (численность исполнителей, квалификация исполнителей, объем работ), используемая для решения задач управления;

$H$  – внутренняя информация, поступающая в режиме реального времени, необходимая для построения четких и нечетких когнитивных моделей (ЧКМ и НКМ);

$H^*$  – исправленная ошибка;

$U$  – управляющее воздействие (принятие управленческих решений, команды управления) (прямая связь);

$Y_{OY}$  – выходная информация (фактические данные, параметры, показатели), характеризующая состояние объекта управления;

$Y_M$  – выходные параметры модели (желаемые, ожидаемые параметры);

$\varepsilon$  – ошибка (рассогласование);

$\varepsilon_{\text{доп}}$  – фиксированное заданное значение;

$L(Y_{OY}, Y_M)$  – проверка соответствия данных, полученных на основе модели, реальному объекту, для описания которого она строится;

$Y'$  – информация о состоянии объекта (обратная связь);

$Y'_{\text{км}}$  – корректировка модели (добавление новых факторов и связей между ними);

$Y_a$  – адекватная модель объекта управления, отвечающая требованиям заказчика.

Управляющая подсистема вырабатывает управляющее воздействие  $U$  на основе цели управления, контракта, а также информации, поступившей из внешней среды  $W$ .

Управляемая подсистема получает информацию ( $Q, I, U$ ), которая доводится до исполнителей проекта, например, в форме заданий, являющейся толчком для скоординированных действий по созданию ИУС.

На основе  $W, Q, I$  разрабатываются и исследуются четкие и/или нечеткие когнитивные модели с использованием методологии когнитивного и нечеткого когнитивного моделирования процесса анализа реализуемости проектов, позволяющие исследовать и анализировать возможные сценарии развития системы. Под *сценариями развития системы* понимаются сценарии развития ситуаций, связанные с реализуемостью проекта по созданию ИУС.

Если полученные результаты (расчетные значения)  $Y_m$  не отвечают фактическим результатам, которые характеризуют состояние  $Y_{ou}$  (условие  $\varepsilon \leq \varepsilon_{доп}$  не выполняется), то управляющая подсистема вносит корректировки ЧКМ и/или НКМ ( $Y_{км}$ ). Если условие  $\varepsilon \leq \varepsilon_{доп}$  выполняется, то ЧКМ и/или НКМ являются адекватной  $Y_a$ . В результате получения адекватной ЧКМ и/или НКМ можно предсказывать поведение объекта.

Для проверки адекватности модели предлагается «исторический метод», который заключается в том, что построенные ЧКМ и/или НКМ применяются к подобным ситуациям, если подобные ситуации происходили в прошлом и динамика их известна. В этом случае ЧКМ и/или НКМ оказывается работоспособной (полученные результаты совпадают с реальным ходом событий), она признается правильной.

Управление осуществляется с применением *обратной связи*  $Y'$ . Управляющая подсистема получает информацию от управляемой подсистемы  $Y'$ , а также от внешней среды  $W$ , обрабатывает и сопоставляет ее с желаемыми характеристиками объекта управления, а затем принимает новое решение, вырабатывает следующее управляющее воздействие  $U$  на ее основе. И так далее.

Управляемая подсистема также воспринимает информацию  $Y'$ , обрабатывает и сопоставляет ее с желаемыми характеристиками объекта управления и на ее основании исправляет ошибку  $H^*$ . И так далее.

Систему управления процессом анализа реализуемости проектов по созданию ИУС ( $S_{\text{упр}}$ ) можно представить в виде кортежа

$$S_{\text{упр}} = \langle S, O, Y, Z, W, Q, Y_a, D \rangle,$$

где  $Z$  – цель управления;  $D = \langle I, H, U, Y_{\text{ОУ}}, Y_m, Y', H^*, Y'_{\text{км}} \rangle$  – внутренняя среда системы управления  $S_{\text{упр}}$ ;  $Y = \langle W, H, H^*, Y_m \rangle$  – модель объекта, результатом  $Y_m$  которого является ЧКМ и/или НКМ.

Качество проведения анализа реализуемости проектов ( $J$ ) осуществляется на основе интегральных показателей, влияющих на реализуемость проектов:

$$J = \{K_1, K_2, K_3, K_4\},$$

где  $K_1$  – временной ресурс (например, время, затраченное на создание ИУС);

$K_2$  – экономический ресурс (например, финансовые ресурсы, затрачиваемые на создание ИУС);

$K_3$  – квалифицированные кадры;

$K_4$  – технические показатели.

Отметим, что для анализа реализуемости проектов по созданию ИУС на этапе предпроектного исследования используются не все факторы показателей  $K_1, K_2, K_3, K_4$  (их очень много), а лишь ключевые.

Далее рассмотрим *методологию анализа реализуемости проектов по созданию ИУС*. Самое распространенное понятие методологии рассматривает ее как учение о методах и способах познания, т.е. получения новых знаний.

Методология может рассматриваться:

1) как система-объект, представляющая собой множество способов и методов познания, взаимосвязанных и образующих единое целое;

2) как система-процесс (процессный подход), представляющая собой множество взаимосвязанных видов организационной деятельности, образующих единое целое и направленных на достижение как локальных, так и глобальной цели.

Рассмотрим анализ реализуемости проекта как процесс получения новых результатов, на основе которых осуществляется выработка обоснованных управленческих решений по улучшению ИУС.

При создании ИУС промышленных объектов большую роль играет анализ реализуемости проектов. Под *анализом реализуемости проекта по созданию ИУС* понимается процесс анализа, оценки и выбора наилучшего варианта достижения поставленной цели, который направлен, прежде всего, на минимизацию возможных ошибок с помощью применения специально разработанных методов поддержки принятия решений для достижения наилучшего результата.

Анализ реализуемости проектов достаточно часто именуют этапом принятия решений по реализуемости проекта либо принятия управленческих решений. В настоящее время разработано много различных подходов к выделению этапов принятия решений (ПР).

Например, А. М. Чуйкин в работе [189] предложил следующие этапы подготовки решений: построение взаимоотношений в организации, формирование команды, диагностика ситуации, разработка и обоснование системы целей; определение и анализ проблемы, формулировка критериев и ограничений, выдвижение и анализ альтернатив, оценка альтернатив и последствий, выбор альтернативы. Мескон (M. Maskon), Альберт (M. Albert), Хедоури (F. Hedouri) и др. сокращают количество этапов: диагностика проблемы, формулировка ограничений и критериев принятия решения, определение альтернатив, оценка альтернатив, выбор альтернативы, реализация и обратная связь [144].

Реализуемые процессы ПР в различных областях деятельности очень похожи, но необходимо разработать такую схему процесса ПР, которая устанавливала бы целесообразную последовательность действий. При этом схему не следует рассматривать как жесткие рекомендации по выработке, принятию и реализации управленческих решений.

Предлагаемые методологические основы анализа реализуемости проектов по созданию ИУС направлены на решение главной его задачи – на исключение отставания от графика работ и провала проекта, в основе которых лежит обобщенная схема этапов анализа реализуемости проектов по созданию ИУС (рисунок 2.2) [45, 116].



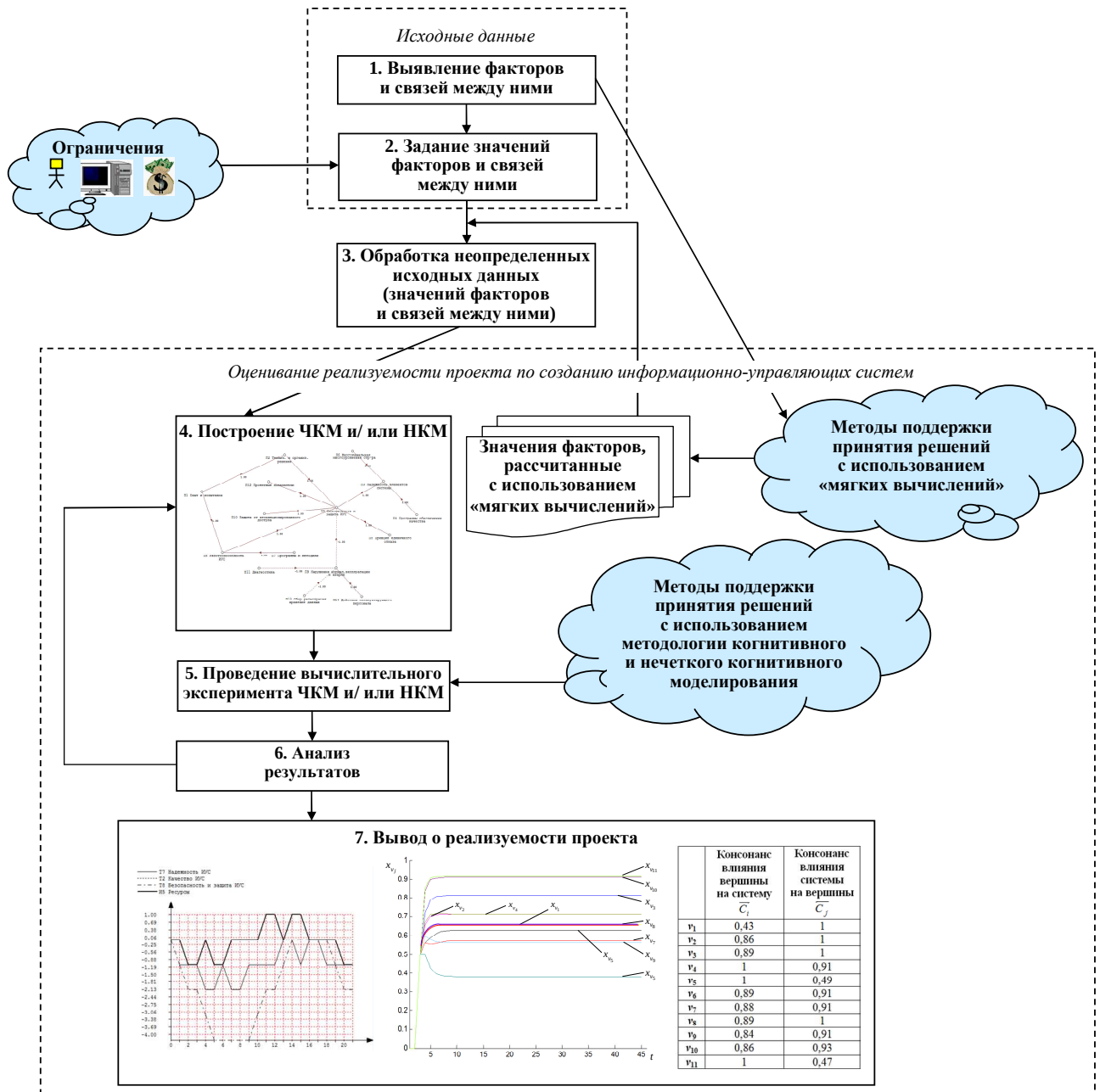


Рисунок 2.2 – Обобщенная схема этапов анализа реализуемости проектов по созданию информационно-управляющих систем<sup>11</sup>

### Этап 1. Выявление факторов и связей между ними.

Под *исходными данными* понимаются факторы, связи между ними, а также их значения. В дальнейшем под *выявлением факторов* будем понимать факторы (целевые, управляющие), необходимые для анализа реализуемости проектов по созданию ИУС.

<sup>11</sup> Рисунок разработан автором

Под *целевыми факторами* понимаются желаемые характеристики ситуации, которые могут быть получены в перспективе (например, возможность неудачного завершения проекта, обоснованность принятия управленческих решений), т.е. выходные факторы ЧКМ и/или НКМ; под *управляющими факторами* – характеристики, на которые руководитель может непосредственно оказывать влияние, которые доступны для непосредственного изменения (например, экономические аспекты создания ИУС, квалификация исполнителей (уровень образования)), т.е. входные факторы ЧКМ и/или НКМ, через которые подаются управляющие воздействия в модель.

*Этап 2.* Задание значений факторов и связей между ними.

Если значения факторов и связей между ними задаются в виде вербального описания, интервалов, нечетких треугольных и трапециевидных чисел, то исходные данные называются *неопределенными*.

Например, при ответе на вопрос, какое будет ожидаемое время создания ИУС, руководитель проекта может указать пессимистическую  $x_1$ , оптимистическую  $x_3$  и наиболее ожидаемая  $x_2$  оценки. Следовательно, полученную информацию можно объединить в виде нечеткого треугольного числа  $x = [x_1, x_2, x_3]$ . Руководитель проекта может указать пессимистическую  $x_1$ , оптимистическую  $x_4$  оценки и интервал  $[x_2, x_3]$  наиболее возможной оценки. Следовательно, полученную информацию можно объединить в виде нечеткого трапециевидного числа  $x = [x_1, x_2, x_3, x_4]$  (рисунок 2.3) [10].

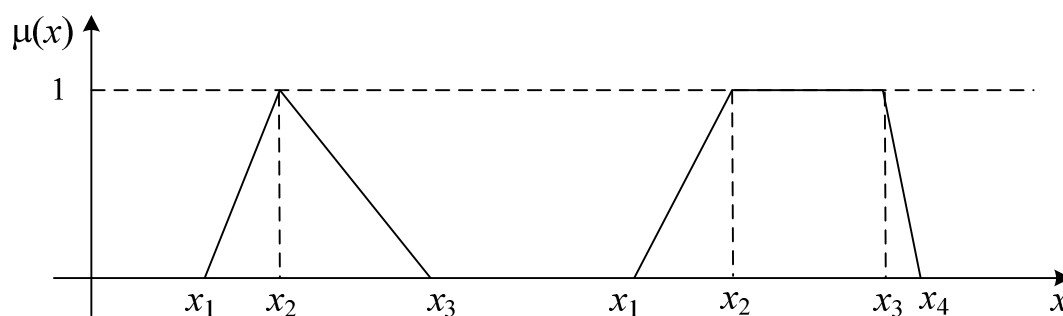


Рисунок 2.3 – Функция принадлежности нечеткого треугольного и трапециевидного числа<sup>12</sup>

<sup>12</sup> Рисунок из [10]

Обычно множество факторов, связей между ними, ограничения, накладываемые на факторы, а также их значения определяются на основе предыдущего опыта, по результатам опроса исполнителей и анализа нормативной документации или контракта. Необходимость привлечения экспертных знаний нередко обусловлена отсутствием или неполнотой объективной информации о проекте.

В качестве *ограничений*, накладываемых на факторы, рассматриваются ресурсы (материальные, трудовые, финансовые и т.д.).

*Этап 3.* Обработка неопределенных исходных данных (значений факторов и связей между ними).

Под *обработкой неопределенных 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, нечетких треугольных и трапециевидных чисел, позволяющая применить методологию нечеткого когнитивного моделирования. Алгоритм обработки неопределенных исходных данных описан в параграфе 4.1.

*Этап 4.* Построение четкой и/или нечеткой когнитивной модели (ЧКМ и/или НКМ) с применением методологии когнитивного и/или нечеткого когнитивного моделирования.

Построенная ЧКМ и/или НКМ отражает субъективные представления руководителя или исполнителей проекта (индивидуальные или коллективные) об исследуемой проблеме, связанной с реализуемостью проекта по созданию ИУС.

*Этап 5.* Проведение вычислительного эксперимента ЧКМ и/или НКМ.

*Этап 6.* Анализ результатов.

Если полученные результаты о реализуемости проекта не удовлетворяют ограничениям, прописанным в контракте, или требованиям заказчика, то руководитель проекта дает исполнителям проекта задание, которое заключается в корректировке ЧКМ и/или НКМ, либо построении новой ЧКМ и/или НКМ.

### *Этап 7. Вывод о реализуемости проекта.*

В качестве вывода о реализуемости проекта могут выступать: 1) четкая когнитивная модель и/или нечеткая когнитивная модель оценки реализуемости проекта по созданию ИУС; 2) сценарии развития ситуаций системы; 3) результаты топологического анализа структур НКМ; 4) результаты расчета системных показателей НКМ; 5) результаты обучения 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.

Из рисунка 2.2 видно, что для нахождения значений факторов могут использоваться методы поддержки принятия решений с использованием «мягких вычислений». Отметим, что пока работа не ведется с методологией когнитивного и нечеткого когнитивного моделирования, оперируем понятием «показатель». Как только начинается работа с методологией когнитивного и нечеткого когнитивного моделирования, то вводится понятие «фактор».

Для применения методов поддержки принятия решений с использованием «мягких вычислений» используются исходные данные, в качестве которых выступают показатели реализуемости проектов (рисунок 2.4), которые заданы в виде интервалов, нечетких треугольных и трапециевидных чисел [96, 97]. Результатом данных методов является рассчитанная интервальная оценка, характеризующая приемлемую альтернативу проекта, которая проходит этап обработки, с целью применения ее в методах поддержки принятия решений с использованием методологии когнитивного и нечеткого когнитивного моделирования.

Для оценки реализуемости проектов предлагается классификация критериев и показателей реализуемости проектов по созданию ИУС, которая представлена на рисунке 2.4 [86–88].

**Критерии реализуемости проектов.** Критерии реализуемости проектов необходимы при выборе наилучшего варианта реализации проекта по созданию ИУС и используются только те, которые соответствуют приоритетным задачам.

К **критериям выбора проектов** относятся: *научно-технические* (перспективность используемых научно-технических решений), *производственные* (данные об исполнителях, доступности материалов), *финансово-экономические* (например, срок окупаемости), *маркетинговые* (оценка рыночного потенциала).



Рисунок 2.4 – Классификация критериев и показателей реализуемости проектов по созданию ИУС<sup>13</sup>

**Показатели реализуемости проектов.** Критерии выбора проектов могут оцениваться прямыми и косвенными показателями. *Прямые показатели* характеризуют критерии реализуемости проектов (время и стоимость проекта по созданию ИУС, количество исполнителей и др.). *Косвенные показатели* применяются тогда, когда сложно или невозможно получить значения прямых показателей проектов (емкость рынка, период окупаемости, вероятность успеха проекта и т.д.).

Отметим, что в задачах многокритериального выбора альтернатив проекта достаточно часто вместо термина «показатель» используется термин «критерий».

<sup>13</sup> Рисунок разработан автором

Далее покажем, что обобщенную схему этапов анализа реализуемости проектов по созданию ИУС можно представить в виде системной модели, представляющей собой граф с тремя вершинами (триады) (рисунок 2.5). В основе всех этих триад лежит некоторая фундаментальная триада: «Начальное состояние – Технология перехода (знания, способ, алгоритм) – Конечное состояние» [60].

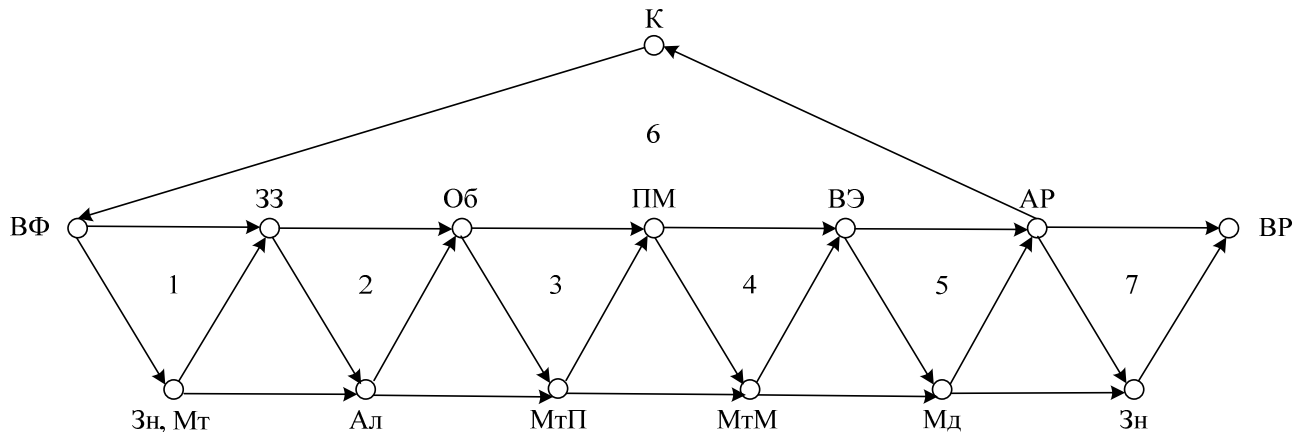


Рисунок 2.5 – Системная модель анализа реализуемости проектов по созданию информационно-управляющих систем<sup>14</sup>

*Этап 1.* В первую триаду включим выявление факторов (ВФ) и задание значений факторов и связей между ними (3З). При этом 3З исполнитель проекта задает значения факторов и связей между ними на основе своих знаний (Зн), которые зависят от его интеллектуальной познавательной деятельности, творческих способностей и опыта, а также на основе применения методов поддержки принятия решений с использованием «мягких вычислений» (Мт). Таким образом, можно сформировать триаду «ВФ – Зн, Мт – 3З».

*Этап 2.* На втором этапе исполнители, задав 3З, осуществляют обработку (Об) неопределенных исходных данных (значений факторов и связей между ними) с применением алгоритма (Ал). Следовательно, на данном этапе можно сформировать триаду «3З – Ал – Об».

*Этап 3.* На третьем этапе исполнители после обработки значений факторов и связей между ними (Об) осуществляют построение когнитивной модели (ПМ) с

<sup>14</sup> Алгоритм разработан автором

применением методов построения моделей (МтП). Результатом данного этапа служит триада «Об – МтП – ПМ».

*Этап 4.* На четвертом этапе исполнители после ПМ проводят вычислительный эксперимент (ВЭ) с применением методов поддержки принятия решений, основанных на использовании когнитивного и нечеткого когнитивного моделирования (МтМ). Итак, можно указать следующую триаду: «ПМ – МтМ – ВЭ».

*Этап 5.* На пятом этапе исполнители после проведения ВЭ проводят анализ результатов (АР) построенной когнитивной модели (Мд). Таким образом, можно сформировать триаду «ВЭ – Мд – АР».

*Этап 6.* На шестом этапе исполнители могут в полученную когнитивную модель ввести новые факторы и связи между ними ВФ, т.е. изменить структуру когнитивной модели, путем корректировки (К), если полученные результаты не соответствуют ограничениям, прописанным в контракте. В результате корректировки модели (К) происходит возврат к первоначальным ВФ с учетом их пересмотра, что приводит к повторению цикла. Итак, можно указать следующую триаду: «АР – К – ВФ».

*Этап 7.* На седьмом этапе исполнители после АР на основе Зн делают вывод о реализуемости проекта (ВР). Результатом данного этапа служит триада «АР – Зн – ВР».

Свободные концы триад можно соединить между собой, образуя новые триады, которые способствуют более глубокому осмыслению процесса анализа реализуемости проекта по созданию ИУС.

Предложенная системная модель анализа реализуемости проектов по созданию ИУС в результате структурной связанности триад позволяет системно организовать исследования исполнителей, а также осмыслить применяемые алгоритмы, методы и когнитивные модели.

Поскольку анализ реализуемости проектов по созданию ИУС на этапе предпроектного исследования сопровождается широким спектром неопределенностей, многофакторностью, то для него предлагается пользоваться

не единственным методом или моделью, а комплексом когнитивных моделей и методов поддержки принятия решений.

На рисунке 2.6 представлена структура комплекса когнитивных моделей и методов поддержки принятия решений при анализе реализуемости проектов по созданию ИУС, где  $k$  – количество четких когнитивных моделей,  $z = \overline{1, k}$ ;  $m$  – количество нечетких когнитивных моделей,  $b = \overline{1, m}$  [102].

Данный комплекс предполагает определенную очередность использования моделей и методов для расчета оценок реализуемости проекта. Под *комплексом когнитивных моделей и методов поддержки принятия решений при анализе реализуемости проектов по созданию ИУС* следует понимать совокупность когнитивных моделей и методов поддержки принятия решений с использованием «мягких вычислений», методологии когнитивного и нечеткого когнитивного моделирования.

К методам поддержки принятия решений с использованием «мягких вычислений», методологии когнитивного и нечеткого когнитивного моделирования при анализе реализуемости проекта по созданию ИУС предъявляются следующие требования:

- 1) необходимости описания алгоритма, позволяющего проводить оценку реализуемости проектов в условиях неопределенных исходных данных;
- 2) возможности проводить расчеты оценки реализуемости проектов своевременно и многократно, поскольку когнитивных моделей оценки реализуемости проектов может быть несколько;
- 3) необходимости учета в алгоритмах сложности и многофакторности процесса оценки реализуемости проектов по созданию ИУС;
- 4) необходимости согласования отдельных оценок реализуемости проектов в предлагаемом комплексе.



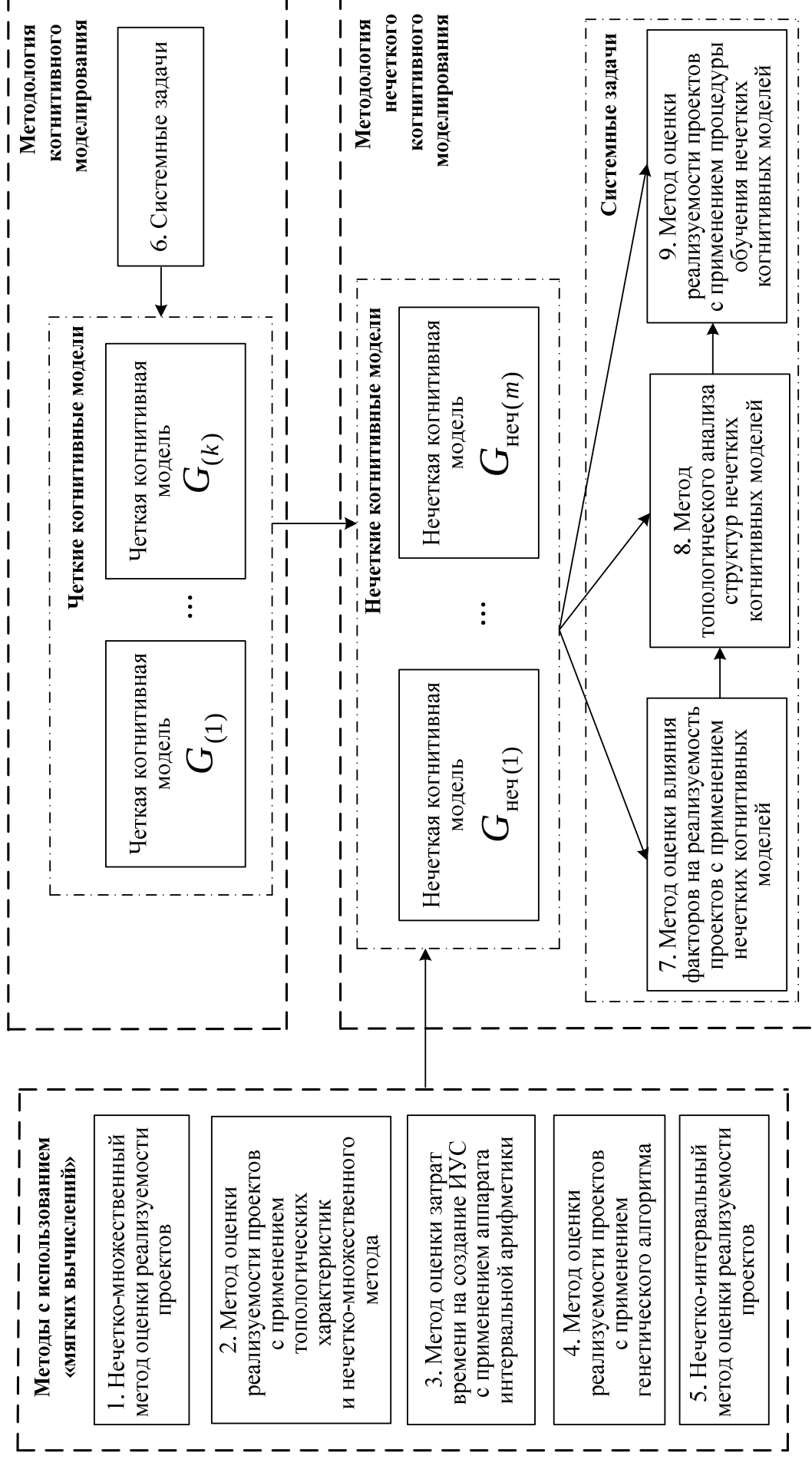


Рисунок 2.6 – Структура комплекса когнитивных моделей и методов поддержки принятия решений при анализе реализуемости проектов по созданию информационно-управляющих систем<sup>15</sup>

<sup>15</sup> Структура комплекса разработана автором

Отметим, что разработка методов поддержки принятия решений с использованием «мягких вычислений» подробно рассмотрена в главе 3; построение когнитивных моделей с использованием методологии когнитивного моделирования рассмотрено в работах [36, 39]; методов поддержки принятия решений с использованием методологии нечеткого когнитивного моделирования – в главе 4.

Далее на рисунке 2.7 представлена методика применения комплекса когнитивных моделей и методов поддержки принятия решений с использованием «мягких вычислений», методологии когнитивного и нечеткого когнитивного моделирования, позволяющая быстро провести анализ реализуемости проектов по созданию ИУС в условиях неопределенных исходных данных и принять обоснованное решение.

*Шаг 1.* Выявление факторов и связей между ними.

*Шаг 2.* Задание значений факторов и связей между ними.

*Шаг. 3.* Если для анализа реализуемости проекта необходимы дополнительные значения факторов, то переход к шагу 4; если не нужно, то переход к шагу 12.

*Шаг. 4.* Разработка альтернатив создания ПО и ИУС.

Альтернативы создания ПО, ИУС могут описываться в виде ориентированного графа, оцениваться кортежем из частных критериев. Причем показатели реализуемости проекта представлены в виде интервалов, нечетких треугольных и трапециевидных чисел (подробно описано в главе 3).

*Шаг. 5.* Если для оценки реализуемости проекта используется метод № 1, то переход к шагу 10, иначе переход к шагу 6.

*Шаг. 6.* Если для оценки реализуемости проекта используется метод № 2, то переход к шагу 10, иначе переход к шагу 7.

*Шаг. 7.* Если для оценки реализуемости проекта используется метод № 3, то переход к шагу 10, иначе переход к шагу 8.

*Шаг. 8.* Если для оценки реализуемости проекта используется метод № 4, то переход к шагу 10, иначе переход к шагу 9.

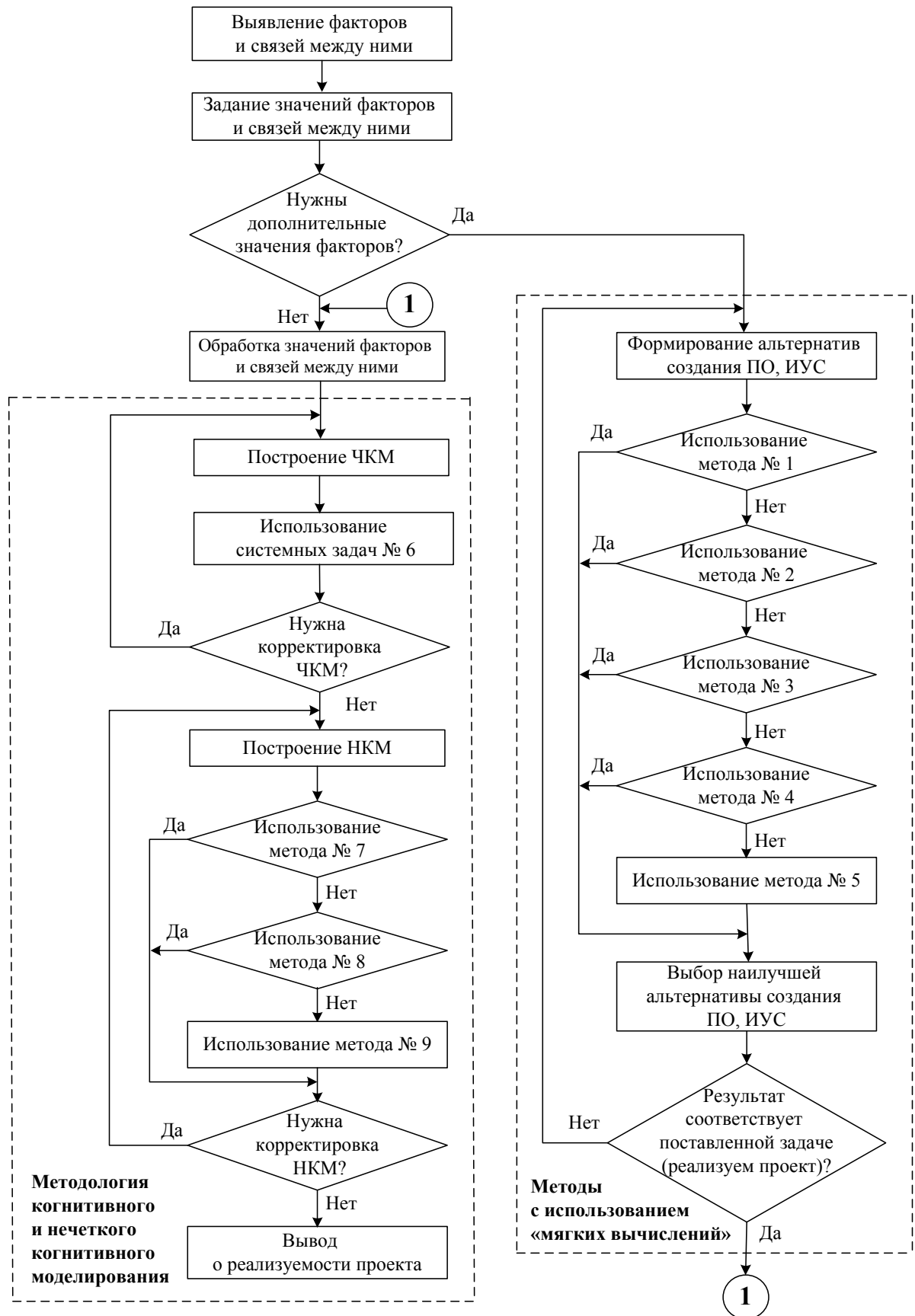


Рисунок 2.7 – Алгоритм методики применения комплекса когнитивных моделей и методов поддержки принятия решений при анализе реализуемости проектов<sup>16</sup>

<sup>16</sup> Алгоритм разработан автором

*Шаг. 9. Использование метода № 5.*

Отметим, что оценка альтернатив создания ПО, ИУС осуществляется с применением вышеперечисленных методов.

*Шаг. 10. Выбор наилучшей альтернативы создания ПО, ИУС.*

На основе полученных оценок, представленных в виде интервалов, нечетких треугольных и трапециевидных чисел осуществляется выбор наилучшей альтернативы. Причем у каждого метода оценки реализуемости проекта свой подход к выбору наилучшей альтернативы (наименьшее ожидаемое время создания проекта, наибольшее значение ранга, наименьшее время создания проекта, наибольшее значение  $sr(A)$ , наибольшая обобщенная полезность).

*Шаг. 11.* Если результат соответствует поставленной задаче, то переход к шагу 12, иначе переход к шагу 4 (к формированию новых альтернатив создания ПО и ИУС).

*Шаг. 12. Обработка значений факторов и связей между ними.*

Поскольку рассчитанная оценка с использованием методов оценки реализуемости проектов, описанных в главе 3, характеризующая наилучшую альтернативу проекта по созданию ПО, ИУС, представлена в виде интервалов и нечетких треугольных и трапециевидных чисел, необходимо применить этап обработки.

*Шаг. 13. Построение ЧКМ.*

*Шаг. 14. Использование системных задач № 6.*

Анализ структур ЧКМ осуществляется с использованием метода № 6, импульсного моделирования, сценарного анализа.

*Шаг. 15.* Если нужна корректировка ЧКМ, то переход к шагу 13, иначе переход к шагу 16.

*Шаг. 16. Построение НКМ.*

*Шаг. 17.* Если для оценки влияния факторов на реализуемость проектов используется метод № 7, то переход к шагу 20, иначе переход к шагу 18.

*Шаг. 18.* Если для анализа структур НКМ используется метод № 8, то переход к шагу 20, иначе переход к шагу 19.

*Шаг. 19. Использование метода № 9.*

Отметим, что анализ структур НКМ может осуществляться с использованием одного, двух, либо всех методов № 7–9 (в любой последовательности) импульсного моделирования, сценарного анализа.

*Шаг. 20.* Если нужна корректировка НКМ, то переход к шагу 16, иначе переход к шагу 21.

*Шаг. 21. Вывод о реализуемости проекта.*

Таким образом, предлагаемые методологические основы направлены на решение главной задачи анализа реализуемости проектов по созданию ИУС – на исключение отставания от графика работ и провала проекта, в основе которых лежит обобщенная схема этапов анализа реализуемости проектов по созданию ИУС. Разработана системная модель анализа реализуемости проектов по созданию ИУС с использованием триадного подхода, позволяющая системно организовать исследования исполнителей, а также осмыслить применяемые алгоритмы, методы и когнитивные модели. Для проведения анализа реализуемости проектов по созданию ИУС на этапе предпроектного исследования разработан комплекс когнитивных моделей и методов поддержки принятия решений, обеспечивающий наибольшую объективность, комплексность и целенаправленность полученным результатам; возможность выработки обоснованных управленческих решений руководителями проектов.

## **2.2. Принципы моделирования процесса анализа реализуемости проектов**

Методологические основы анализа реализуемости проектов по созданию ИУС базируются на принципах, которые по содержанию и назначению могут быть разделены на:

- 1) общесистемные принципы;
- 2) принципы проведения анализа реализуемости проектов по созданию ИУС.

3) принципы управления и моделирования процесса анализа реализуемости проектов по созданию ИУС.

*Рассмотрим их подробнее.*

1) При проведении анализа реализуемости проектов по созданию ИУС рекомендуется применять следующие **общесистемные принципы**. Данные принципы устанавливают особенности и направления практической реализации системного подхода как научного метода диалектико-материалистической методологии, имеющего, в силу высокой общности, общенаучное значение [156, 167]. Пренебрежение или неверное трактование общесистемных принципов может привести к неточной оценке реализуемости проектов по созданию ИУС.

**Принцип системности** указывает на то, что при проведении анализа реализуемости проектов должны учитываться не только взаимосвязи между этапами анализа реализуемости, но и связи с внешней средой.

**Принцип многообразия** указывает на то, что процесс анализа реализуемости проектов необходимо исследовать на основе различных подходов и методов (например, методов «мягких вычислений», методологии когнитивного и нечеткого когнитивного моделирования) и не ограничиваться оценками, полученными на основе только одного метода.

**Принцип многокритериальности.** Согласно данному принципу, оценка реализуемости проектов может быть оптимизирована по многим показателям (научно-технические, производственные, маркетинговые и др.).

**Принцип декомпозиции.** Согласно данному принципу, процесс анализа реализуемости проектов можно разделить на множество этапов и связей между ними. Например, корректировка модели может рассматриваться как совокупность взаимосвязанных этапов (изменение структуры модели и изменение значений факторов).

**Принцип интеграции (композиции)** заключается в возможности объединения различными правилами и способами множества этапов процесса анализа реализуемости проектов с помощью связей в единый процесс и в выявлении системных свойств и функций вновь образованного процесса.

Использование данного принципа при проведении анализа реализуемости проектов по созданию ИУС позволяет получить результаты, которые не могут быть получены с помощью отдельных этапов.

На принципах декомпозиции и композиции основаны анализ и синтез сложных систем.

**Принцип эквивалентности путей достижения цели** заключается в том, что существуют несколько эквивалентных путей для достижения конечного результата, которые отличаются друг от друга используемыми исходными данными, методами и алгоритмами. Например, оценка реализуемости проектов ИУС может быть получена с использованием нечетко-интервального и нечетко-множественного методов.

**Принцип системной готовности.** Согласно данному принципу, для проведения анализа реализуемости проектов по созданию ИУС необходимо наличие всех этапов анализа реализуемости и окружающей среды. Нарушение данного принципа может привести либо к нарушению сроков создания проекта, либо к его провалу.

**Принцип итеративности** заключается в том, что проведение анализа реализуемости проектов является процессом, предполагающим определенную последовательность операций, использования методов. Его успех зависит от того, как руководитель проекта выберет эти итерации, и как будем их комбинировать.

**2) Принципы проведения анализа реализуемости проектов.** Данные принципы в совокупности и взаимодействии позволяют проводить такой анализ реализуемости проектов по созданию ИУС, который может стать надежной основой для принятия обоснованных управленческих решений [164, 167].

**Принцип множественности моделей** [148] предложен В.В. Налимовым и заключается в том, что для моделирования конкретной ситуации, связанной с созданием ИУС, возможно построение нескольких различных когнитивных моделей, имеющих одинаковое право на существование.

**Принцип omnipotentности (всемогушие) факторов** [149] означает, что существуют факторы, которые раньше не оказывали никакого существенного

влияния на процесс реализуемости проектов, но могут оказать на них определяющее воздействие в будущем.

**Принцип контринтуитивного проектирования** [186, 187] заключается в том, что провести анализ реализуемости проектов, опираясь только на опыт и интуицию руководителей и исполнителей проектов, практически невозможно.

Согласно данному принципу при анализе реализуемости проектов должны быть исключены решения, принимаемые только на основе опыта и интуиции руководителей и исполнителей проектов. Для реализации данного принципа необходимо применять проверенные и обоснованные решения, полученные в результате аналитических расчетов или методологии когнитивного и нечеткого когнитивного моделирования.

**Принцип контринтуитивного поведения Дж. Форрестора** [186, 187] заключается в том, что дать прогноз реализуемости проектов по созданию ИУС на достаточно большом интервале времени, опираясь только на опыт исполнителей и интуицию, практически не возможно.

Согласно данному принципу, процесс анализа реализуемости проектов может реагировать на внешние факторы совсем по-другому, чем это интуитивно ожидалось. Причинами такого поведения является сложность данного процесса, а также ограниченность наших знаний. Соблюдение этого принципа важно при построении ЧКМ и НКМ.

**Принцип научности** заключается в объяснении и предсказании процесса анализа реализуемости проектов на основе научных объяснений и объективно полученных данных.

**Принцип комплексности** заключается в изучении процесса анализа реализуемости проекта во всей его полноте, т.е. изучаются и исследуются все этапы и подэтапы процесса, взаимосвязи.

**Принцип достоверности** заключается в получении адекватных данных за счет применения методов сбора, обработки и анализа данных, полученных от высококвалифицированных руководителей и исполнителей проектов.



**Принцип объективности** означает, что когнитивные модели должны строиться на основе предыдущего опыта и фактической информации, учитывая все факторы, влияющие на реализуемость проектов и недопустимо подгонять факты под заранее определенную схему.

**Принцип эффективности** заключается в достижении выдвинутых целей, соизмерение результатов с затратами на проведение анализа реализуемости проектов по созданию ИУС.

**Принцип точности** означает четкость постановки задач исследования при анализе реализуемости проекта, однозначность их трактовки, а также выбор методов поддержки принятия решений, которые обеспечивают достоверность полученных результатов.

**Принцип тщательности** означает детализацию каждого этапа анализа реализуемости проекта, а также высокое качество выполнения всех этапов за счет высокой квалификации и ответственности исполнителей проекта.

**Принцип историзма** заключается в том, что обязывает исполнителей проекта изучать «прошлое» процесса и выявлять тенденции и закономерности его развития в будущем, т.е. при проведении анализа реализуемости проектов по созданию ИУС накапливается информация различных видов (в виде когнитивных моделей, алгоритмов, неопределенных исходных данных, типовых управленческих решений, программ расчета и т.д.).

### ***3) Принципы управления и моделирования процесса анализа реализуемости проектов.***

**Принципы управления** определяют основные закономерности процесса анализа реализуемости проектов [147, 156].

**Принцип управляемости** заключается в том, что процесс анализа реализуемости проектов не должен содержать неуправляемые этапы и подэтапы. Ни один из этапов и подэтапов не должен выпасть из процесса управления. Согласно данному принципу, при формировании качества проведения анализа реализуемости проектов в этом процессе должны участвовать все управляющие факторы.

Данный принцип иногда может нарушаться, например, один из исполнителей отказывается выполнять свою работу, что может привести к отставанию от графика работ или к провалу всего проекта.

**Принцип контролируемости (наблюдаемости)** заключается в том, что процесс анализа реализуемости проектов не должен содержать в своей структуре неконтролируемые этапы или подэтапы. Данный принцип важен при создании систем поддержки принятия решений.

**Принцип оперативного принятия решения** заключается в том, что принятие управленческих решений должно быть быстрее, чем возникнут существенные изменения в управляемом процессе, т.е. в процессе анализа реализуемости проектов.

Данный принцип ориентирован на разработку методов поддержки принятия решений при анализе реализуемости проекта по созданию ИУС. Соблюдение данного принципа важно, поскольку его нарушение может привести к нарушению сроков осуществления проекта по созданию ИУС.

**Принцип адаптации** заключается в том, что процесс анализа реализуемости проектов быстро изменяется с изменением свойств внешней среды. Цель адаптации в процессе анализа реализуемости проектов по созданию ИУС достигается за счет применения различных методов поддержки принятия решений с использованием «мягких вычислений», когнитивного и нечеткого когнитивного моделирования.

**Принцип обратной связи** заключается в том, что полученные результаты сравниваются с планируемыми (ожидаемыми). По результатам сравнения проводится корректировка, например, когнитивных моделей.

**Принцип приоритетности** заключается в том, что на любом этапе управленческой деятельности руководителю проекта необходимо постоянно выбирать приоритеты, определять для себя и команды, что является главным, наиболее важным в данный момент и на перспективу.

**Принцип адаптивности** заключается в том, что любые управленческие решения должны быть адаптированы к внутренней и внешней среде проекта.

**Принцип ввода дополнительной информации** состоит в том, что при объединении когнитивных моделей ввод новой информации в виде дополнительных связей между факторами допускается только в том случае, когда дополнительная информация способствует повышению эффективности управления процессом анализа реализуемости проектов. При объединении когнитивных моделей не каждая дополнительная связь улучшает модель, поэтому необходимо выполнять предварительный анализ целесообразности ввода новой информации.

**Принципы моделирования** позволяют более полно исследовать процесс анализа реализуемости проектов по созданию ИУС, и, в частности оценки реализуемости проектов [67, 141].

**Принцип универсальности** заключается в том, что построенные когнитивные модели могут быть использованы для анализа реализуемости проектов по созданию ИУС различных промышленных объектов.

**Принцип ограниченности модели** заключается в том, что одна когнитивная модель не в состоянии отразить полностью процесс реализуемости проекта по созданию ИУС.

**Принцип информационной достаточности** заключается в том, что при полном отсутствии информации о процессе анализа реализуемости проекта построение когнитивных моделей реализуемости проектов по созданию ИУС невозможно. Существует некоторый уровень априорной информации о данном процессе, только при достижении которого может быть построена адекватная модель.

**Принцип осуществимости (реализуемости)** заключается в том, что процесс анализа реализуемости должен содержать только этапы, которые можно реализовать с имеющимися ресурсами для достижения поставленных целей исследования.

**Принцип множественности моделей** заключается в том, что создаваемые когнитивные модели реализуемости проектов по созданию ИУС должны отражать информацию о процессе, которая интересует руководителя проекта. Для полного

исследования процесса анализа реализуемости проектов необходимо достаточно большое количество четких и нечетких когнитивных моделей, отражающих данный процесс с разных сторон и с разной степенью детализации. Каждая последующая когнитивная модель должна дополнять и уточнять предыдущую.

**Принцип простоты и экономичности** заключается в том, чтобы построенные когнитивные модели были достаточно простыми, т.е. они не должны быть более сложными, чем это требуется для руководителей и исполнителей проектов. Информация, полученная на их основе, должна быть доступна руководителям и исполнителям проектов в удобном виде на всех этапах ЖЦ ИУС.

Таким образом, разработанные методологические основы анализа реализуемости проектов по созданию ИУС базируются на сформулированных и адаптированных принципах. Данные принципы позволяют сформулировать с единых теоретических позиций различные задачи, связанные с анализом реализуемости проектов по созданию ИУС с использованием методов «мягких вычислений», методологии когнитивного и нечеткого когнитивного моделирования и определить способы их решения.

### **2.3. Методология когнитивного и нечеткого когнитивного моделирования процесса анализа реализуемости проектов**

Учитывая важность, сложность и многоаспектность процесса анализа реализуемости проектов по созданию ИУС ПрО в условиях неопределенных исходных данных, целесообразно применить методологию когнитивного и нечеткого когнитивного моделирование процесса анализа реализуемости проектов.

Возможности методологии когнитивного моделирования представлены в работах [1, 36, 38, 39, 83, 130, 143], нечеткого когнитивного моделирования – в работах [18, 170, 179].

Для определения понятия *методологии когнитивного моделирования* рассмотрим существующие понятия.

Например, в работе [47] под *когнитивным моделированием* понимается инструмент исследователя для решения набора системных задач (идентификации объекта, сценарного анализа, анализа путей и циклов когнитивной карты, анализа связности и сложности, анализа устойчивости, прогнозирования, принятия решений, задач реализации, наблюдаемости, управляемости, оптимизации, композиции-декомпозиции, теории катастроф, адаптируемости, самоорганизации), что позволяет не только анализировать различные аспекты сложной системы, но и уточнять когнитивные модели.

В работе [4] под *когнитивным моделированием* понимается исследование функционирования и развития слабоструктурированных систем (СС) и ситуаций посредством построения модели СС (ситуации) на основе когнитивной карты.

В работе [24] под когнитивным моделированием понимается моделирование некоторой предметной области в виде когнитивной карты, объектами которой являются понятия данной предметной области (концепты) и связи между ними, выраженные в соотношениях влияния.

Таким образом, в настоящей работе под *методологией когнитивного моделирования* понимается инструмент для моделирования процесса анализа реализуемости проектов, включающий методы, методики, алгоритмы, предназначенных для решения взаимосвязанных системных задач (поиск циклов когнитивной модели, поиск собственных чисел, топологический анализ, задание управляющих воздействий, установление текущих значений показателей и начальных импульсов), что позволяет анализировать процесс анализа реализуемости проектов, а также уточнять четкие когнитивные модели (ЧКМ).

Под *четкой когнитивной моделью* понимается когнитивная карта (знаковый ориентированный граф) [39].

Под *методологией нечеткого когнитивного моделирования* понимается инструмент для моделирования процесса анализа реализуемости проектов, включающий методы, методики, алгоритмы, предназначенных для решения взаимосвязанных системных задач (топологический анализ, взаимовлияние факторов, обучение нечеткой когнитивной модели (НКМ), задание управляющих

воздействий, установление текущих значений показателей и начальных импульсов), что позволяет анализировать процесс анализа реализуемости проектов, а также уточнять НКМ.

Для определения понятия *нечеткая когнитивная модель* рассмотрим существующие понятия нечеткой когнитивной карты (НKK).

Например, в работе [159] под НKK понимается нечеткий ориентированный граф с обратной связью, узлы которого являются нечеткими множествами.

В работе [61] под НKK понимается ориентированный граф, где выделены множества концептов, существенных для понимания исследуемой проблемы, связанных между собой отношениями влияния, отражающими причинно-следственные связи и показывающими степень влияния одного концепта на другой.

В работе [177] под НKK понимается ориентированный граф, состоящий из нечетких узлов (концептов) и нечетких связей (отношений).

Таким образом, под *нечеткой когнитивной моделью* понимается нечеткая когнитивная карта (взвешенный ориентированный граф), в котором значения вершин могут быть представлены в виде вербальных описаний, интервалов, нечетких треугольных и трапециевидных чисел, а веса ребер – чисел из интервала  $[-1, 1]$ , либо вербальных описаний.

Обобщенная схема методологии когнитивного и нечеткого когнитивного моделирования процесса анализа реализуемости проектов состоит из семи этапов и представлена на рисунке 2.8 [218].

*Этап 1.* Выявление факторов (целевых, управляющих), связей между ними, а также задание их значений.

На данном этапе происходит анализ проблемы, определение цели и задач исследования, а также когнитивная структуризация знаний руководителя и исполнителей проекта [41, 50].

*Этап 2.* Задание значений факторов и связей между ними.

*Этап 3.* Обработка значений факторов и связей между ними (обработка неопределенных исходных данных).

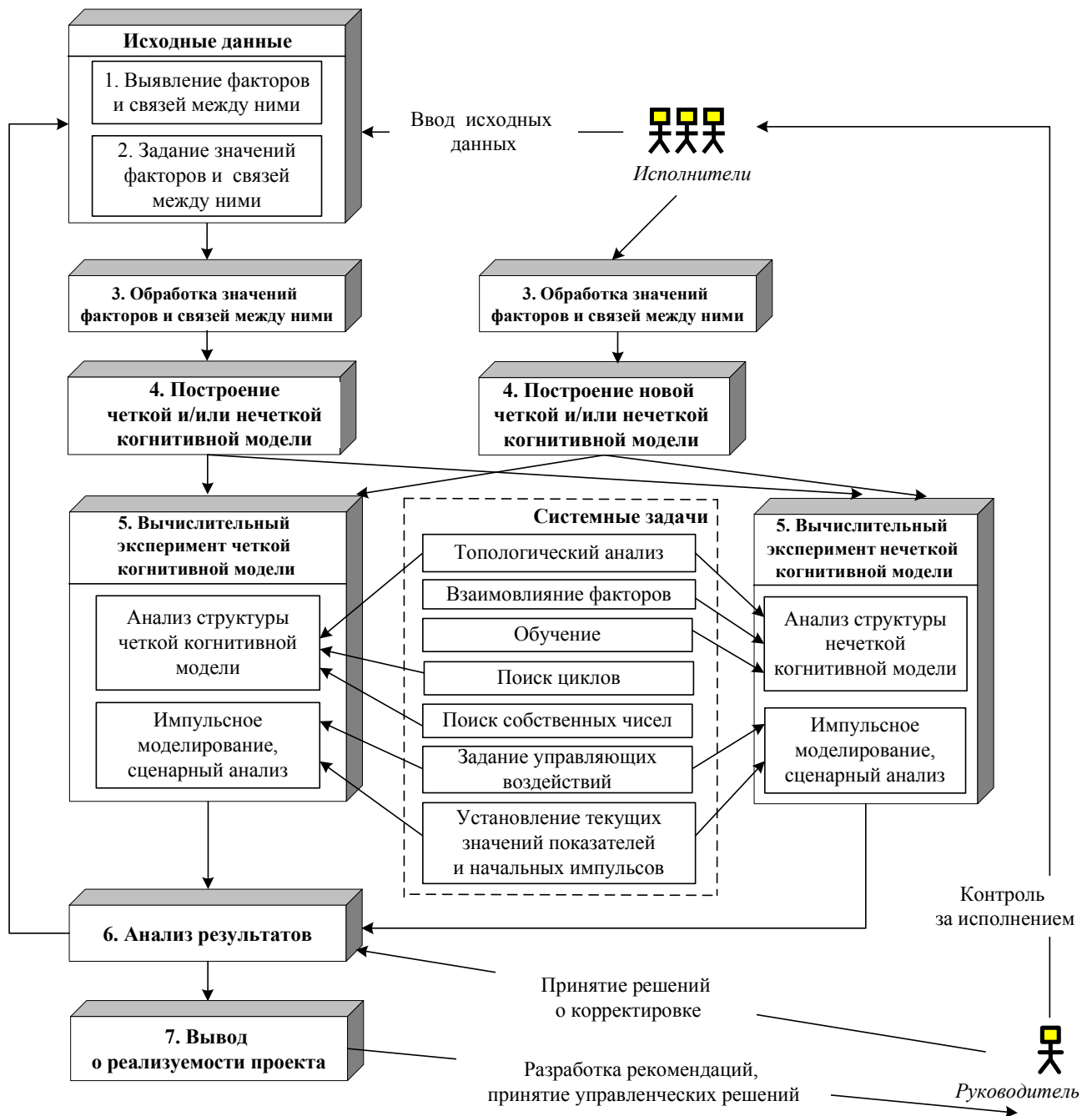


Рисунок 2.8 – Обобщенная схема методологии когнитивного моделирования и нечеткого когнитивного моделирования процесса анализа реализуемости проектов<sup>17</sup>

#### Этап 4. Построение четкой и/или нечеткой когнитивной модели.

Под *четкой когнитивной моделью* понимается когнитивная карта (знаковый ориентированный граф), которая получается путем структуризации знаний руководителя, исполнителей проекта на основе теоретических представлений,

<sup>17</sup> Обобщенная схема адаптирована автором по материалам [50]

исходных данных, применения различных экспертных методов [41, 43, 44, 168, 170, 203, 232]:

$$G = \langle V, E \rangle, \quad (2.1)$$

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

$E$  – бинарное отношение на  $V$  (дуги (связи) между вершинами  $v_i$  и  $v_j$ ).  
Элементы  $e_{ij}$ ,  $e_{ij} \in E$  ( $i, j = \overline{1, h}$ ) характеризуют направление и силу влияния между вершинами  $v_i$  и  $v_j$ ,  $e_{ij} = e(v_i, v_j)$ .

Когнитивная модель  $G$  может быть представлена матрицей отношений  $E_G$ , которая представляет собой квадратную матрицу  $E_G = (e_{ij})_{h \times h}$ , причем элемент  $e_{ij}$  матрицы  $E_G$ , стоящий на пересечении  $i$ -й строки и  $j$ -го столбца, может принимать значения «1», «-1» либо «0».

Для установления связей определена шкала для оценки характера и силы связей между вершинами, где вербальному описанию связи присваивается число (таблица 2.1).

Таблица 2.1 – Оценка связей между вершинами

| Вербальное описание                            | Численное значение |
|------------------------------------------------|--------------------|
| Увеличение/увеличение<br>Уменьшение/уменьшение | 1                  |
| Увеличение/уменьшение<br>Уменьшение/увеличение | -1                 |
| Отсутствует                                    | 0                  |

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

Возможно также построение более сложной когнитивной модели, например, векторного параметрического графа  $\Phi_n$ , состоящего из знакового ориентированного графа  $G$  и содержащего функциональные связи, рассмотренной в работах [49, 50, 111, 129].



Под *нечеткой когнитивной моделью* понимается нечеткая когнитивная карта, в которой вершины представляют факторы, а ребра – нечеткие причинно-следственные связи между факторами (2.2) [203, 216]

$$G_{\text{неч}} = \langle V, W \rangle, \quad (2.2)$$

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

$X = \{x_{v_i}\}$  – множество параметров вершин,  $i = \overline{1, h}$ . При этом каждой вершине ставится один параметр;

$W$  – нечеткие причинно-следственные связи между вершинами. Элементы  $w_{ij}$ ,  $w_{ij} \in W$  характеризуют направление и силу влияния между вершинами  $v_i$  и  $v_j$

$$w_{ij} = w(v_i, v_j),$$

где  $w$  – показатель интенсивности влияния. Элементы  $w_{ij}$  обладают следующими свойствами [179]:

- 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 четкая и/или нечеткая когнитивная модель, а набор четких  $G$  и/или нечетких когнитивных моделей  $G_{\text{неч}}$ .

Отметим, что в общем случае, пока работа не ведется с ЧКМ и/или НКМ как с математической моделью, оперируем понятием «факторы». Как только началась работа с ЧКМ и/или НКМ, оперируем понятием «вершина».

Существует два подхода к построению ЧКМ и/или НКМ [35, 52]:

- 1) «Сверху». На начальном этапе строится общая ЧКМ и/или НКМ, которая в дальнейшем достраивается с помощью отдельных блоков когнитивной модели (в структуру включаются как качественные факторы, так и количественные) (рисунок 2.9).

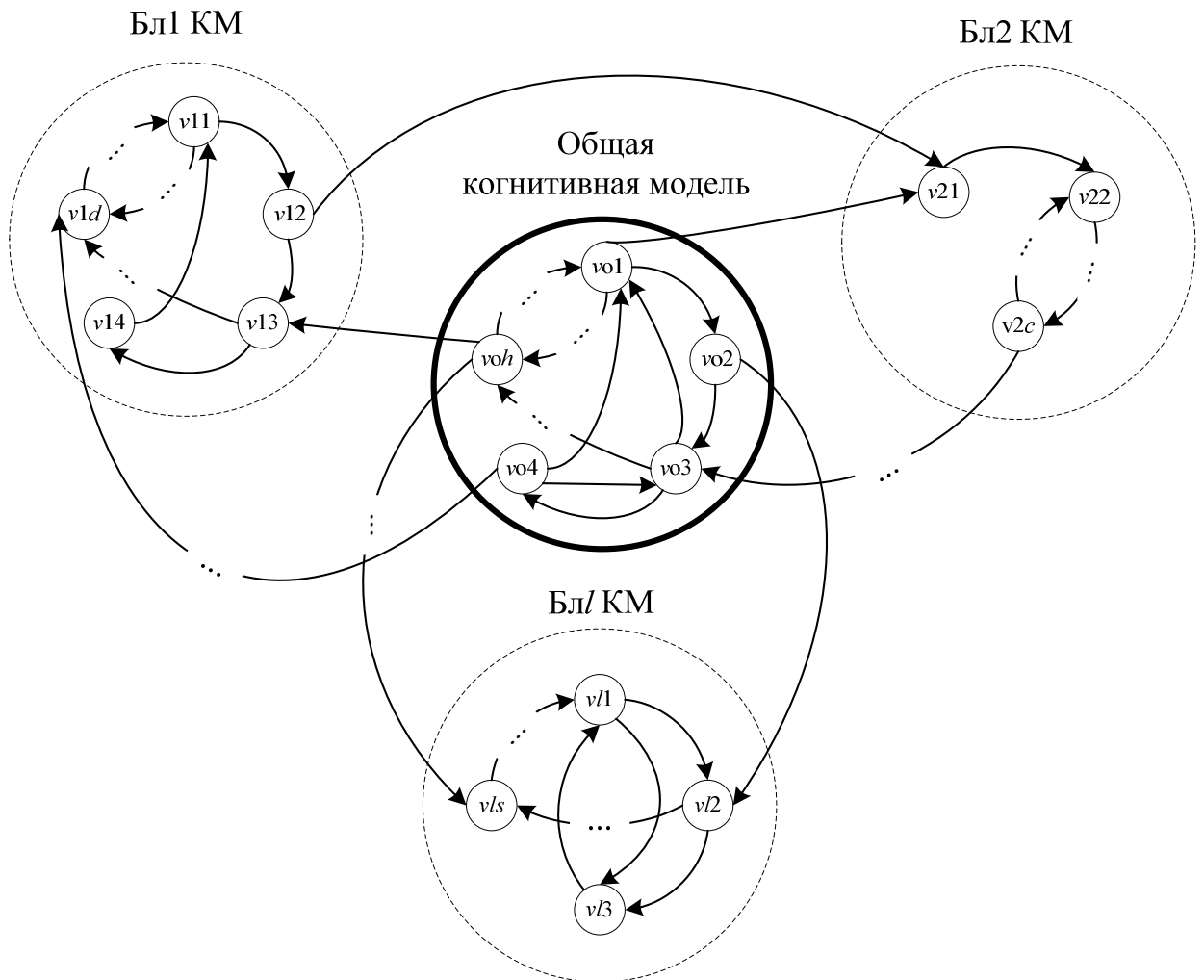


Рисунок 2.9 – Подход «сверху» к построению четкой и/или нечеткой когнитивной модели<sup>18</sup>

2) «Снизу». На начальном этапе сначала строятся отдельные блоки когнитивной модели, а затем происходит их объединение в общую четкую когнитивную модель (рисунок 2.10).

Здесь Бл1 КМ, Бл2 КМ, ..., Бл/ КМ – отдельные блоки ЧКМ и/или НКМ ( $r = \overline{1, l}$ ), которые достраиваются до общей ЧКМ и/или НКМ;  $vo1, vo2, \dots, vo/h$  – вершины общей ЧКМ и/или НКМ.

<sup>18</sup> Рисунок разработан автором

## Общая когнитивная модель

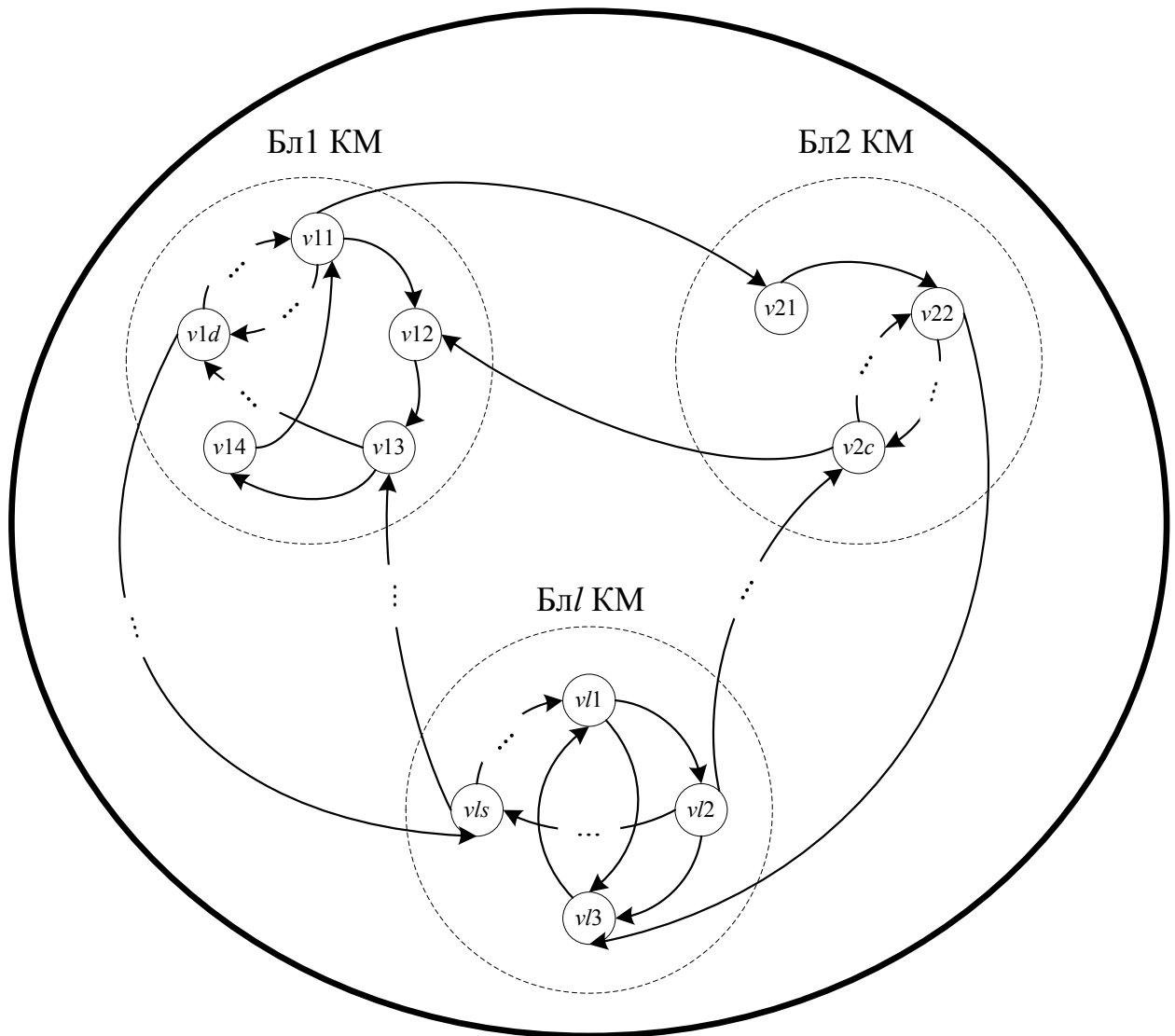


Рисунок 2.10 – Подход «снизу» к построению четкой и/или нечеткой когнитивной модели<sup>19</sup>

Отметим, что вершины ЧКМ и/или НКМ рекомендуется заносить в таблицу, представленную на рисунке 2.11.

| №   | Наименование вершины | Краткое имя вершины | Блок показателя | Структурная особенность | Измеримость    |
|-----|----------------------|---------------------|-----------------|-------------------------|----------------|
| 1   | $x_1$                | Вер 1               | Название 1      | Целевой                 | Количественный |
| 2   | $x_2$                | Вер 2               | Название 2      | Управляющий             | Качественный   |
| ... | ...                  | ...                 | ...             | ...                     | ...            |
| $h$ | $x_h$                | Вер $h$             | Название $h$    | Индикатор               | Количественный |

Рисунок 2.11 – Характеристики вершин когнитивной модели<sup>20</sup>

<sup>19</sup> Рисунок разработан автором

<sup>20</sup> Рисунок адаптирован автором по материалам [52]

*Этап 5.* Вычислительный эксперимент четкой и/или нечеткой когнитивной модели, включающий анализ структур моделей, импульсное моделирование и сценарный анализ.

Для ЧКМ проводится анализ циклов модели, поиск собственных чисел, анализ устойчивости процесса и анализ структурной устойчивости к возмущающим и управляющим воздействиям, а также топологический анализ структуры модели [35, 36, 48].

В случае проведения импульсного моделирования на четкой и/или нечеткой когнитивной модели, сценарного анализа могут быть построены различные сценарии прогноза развития ситуаций, связанные с реализуемостью проекта по созданию ИУС, с целью ослабления негативных тенденций и/или усиления позитивных тенденций.

Для проведения импульсного моделирования на ЧКМ и/или НКМ необходимо исследовать зависимости изменения параметров  $x_{v_i}$  от времени  $x_{v_i}(t)$ ,  $t = 1, 2, 3, \dots$  Процесс распространения возмущения по графу  $G$ ,  $G_{\text{неч}}$  ( $t(n-1)$  в  $t(n)$ ,  $t(n+1)$ , ...) определяется выражением (2.3) [35, 82, 130].

$$x_{v_i}(n+1) = x_{v_i}(n) + \sum_{v_j: e=e_{ij}}^{h-1} f(x_{v_i}, x_{v_j}, e_{ij}) P_j(n) + Q_i(n), \quad (2.3)$$

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  $v_j$  [39]. Сценарии, порождаемые возмущениями, дают ответ на вопрос: «А что будет в момент  $t(n+1)$ , если ...?».

Проведение вычислительного эксперимента путем импульсного моделирования требует предварительного его планирования. План вычислительного эксперимента для ЧКМ и/или НКМ предлагается оформлять в виде таблицы, представленной на рисунке 2.12.

Под *планированием* понимается выбор вершин, в которые должны вноситься возмущающие воздействия.

| Сценарий       | Возмущение             | Вершины |       |       |     |       |
|----------------|------------------------|---------|-------|-------|-----|-------|
|                |                        | $v_1$   | $v_2$ | $v_3$ | ... | $v_i$ |
| Сценарий № 1   | $q_1 = -1$             | -1      |       |       |     |       |
| Сценарий № 2   | $q_3 = 1$              |         |       | 1     |     |       |
| ...            | ...                    | ...     | ...   | ...   | ... | ...   |
| Сценарий № $p$ | $q_1 = 1$<br>$q_i = 1$ | 1       |       |       |     | 1     |

Рисунок 2.12 – План вычислительного эксперимента<sup>21</sup>

Для решения задачи выбора лучшего сценария нужно получить достаточное количество реализаций каждого сценария, а затем провести несколько серий импульсного моделирования. Далее необходимо применить экспертные оценки либо математические методы сравнения [154].

Например, в работах [176, 235] предлагается строить «звезды ориентиров» для каждого сценария, отражающие его устойчивость на основе полученных значений параметров вершин. Выявить наилучший сценарий развития за счет анализа полученной площади и формы построенных «звезд».

В работе [77] предлагается в качестве выбора сценария развития системы применить критерий максимизации математического ожидания полезности.

#### *Этап 6. Анализ результатов.*

Руководителю проекта после проведения исполнителями анализа результатов предлагается сделать выбор, а именно принять решение о корректировке / не корректировке начальной ЧКМ  $G$  и/или НКМ  $G_{\text{неч}}$  или о разработке новой ЧКМ  $G_{\text{(нов)}}$  и/или НКМ  $G_{\text{неч(нов)}}$ .

В ходе работы руководитель проекта может осуществлять контроль за исполнением заданий исполнителями, а также отдавать поручения о добавлении или удалении факторов; об установлении новых связей между факторами; об изменении значений факторов.

#### *Этап 7. Вывод о реализуемости проекта.*

Таким образом, разработана обобщенная схема методологии когнитивного и нечеткого когнитивного моделирования. Данная методология позволяет

<sup>21</sup> Рисунок адаптирован автором по материалам [39]

выявлять и анализировать факторы, а также их взаимодействия; исследовать возможные сценарии возникновения нештатных ситуаций по созданию ИУС, а также находить пути их разрешения в модельных ситуациях в условиях неопределенных исходных данных; структурировать знания; системно и всесторонне проводить анализ реализуемости проектов.

Полученная информация является основой для выработки обоснованных управленческих действий, направленных на прогнозирование и предотвращение возможных проблем, связанных с появлением каких-либо внешних воздействий, с тем, чтобы предпринять комплекс мер для экономически и технически успешного создания ИУС.

Разработанный комплекс когнитивных моделей и методов поддержки принятия решений позволяет получить полную и наглядную информацию об анализе реализуемости проектов по созданию ИУС, а также разработать базу знаний интеллектуальной системы поддержки принятия решений (СППР), использующей обобщенную схему методологии когнитивного и нечеткого когнитивного моделирования процесса анализа реализуемости проекта.

Далее рассмотрим разработку *базы знаний интеллектуальной системы поддержки принятия решений для анализа реализуемости проектов*, использующей обобщенную схему методологии когнитивного и нечеткого когнитивного моделирования процесса анализа реализуемости проектов.

Интеллектуальные системы поддержки принятия решений широкое распространение получают в управлении сложными объектами различной природы и относятся к разработкам в области искусственного интеллекта [169].

В общем случае под интеллектуальной системой (*intelligent system*) (ИС) понимается программная система, позволяющая решать поставленные задачи, требующие интеллектуальных ресурсов. Ядром интеллектуальной системы является база знаний (БЗ), при создании которой необходимо применять модели и методы извлечения и структурирования знаний [169].

Отметим, что необходимо учитывать специфику предметной области, поскольку не существует единого способа представления знаний. Знания в

предметной области могут быть изображены в виде взаимосвязи факторов (концептов) и связей между ними, т.е. модель может быть представлена, например, в виде ориентированного графа или взвешенного ориентированного графа [37, 39, 46, 51].

На рисунке 2.13 показана обобщенная структура БЗ [182].

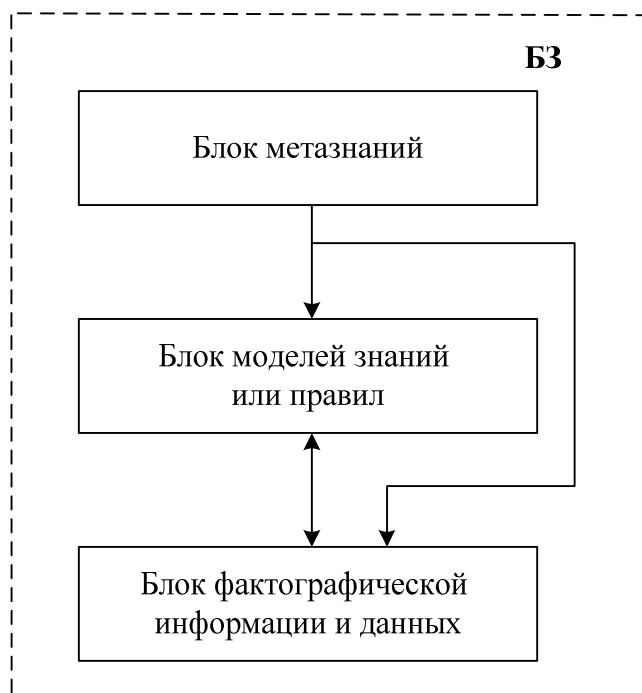


Рисунок 2.13 – Обобщенная структура базы знаний<sup>22</sup>

*Блок фактографической информации и данных* (база данных (БД)) хранит фактографическую информацию о данных, решаемых задачах на объекте, которые относятся к конкретной предметной области.

*Блок моделей знаний или правил* позволяет определять отношения между элементами данных, которые хранятся в БД с использованием моделей представления знаний о предметной области. Правила содержат сведения об объекте, при этом могут порождать новые факты с помощью тех сведений, которые имеются в БЗ в текущий момент времени.

*Блок метазнаний* необходим для обеспечения рационализации процессов оперирования знаниями в БЗ. Под *метазнаниями* понимаются знания о структурах и способах получения знаний.

<sup>22</sup> Рисунок из [182]

При создании БЗ главным является выбор способа представления знаний. Далее рассматриваются основные типы моделей представления знаний, которые часто применяются к процессу создания БЗ [31]:

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 (от англ. *frame* – рамка, каркас) – это особые единицы, состоящие из слотов. Фрейм состоит из конечного числа слотов (составляющих ячеек), каждый из которых имеет имя и значение.

База знаний является одним из важнейших компонентов интеллектуальной СППР, которая создается на основе знаний высококвалифицированных специалистов в той или иной предметной области. При рассмотрении основных особенностей и способов применения БЗ дадим несколько определений понятию.

Например, согласно [6], под *базой знаний* понимается совокупность программных средств, обеспечивающих поиск, хранение, преобразование и запись в памяти ЭВМ сложно структурированных информационных единиц (знаний).

Согласно [212], *база знаний* – это база данных, содержащая правила вывода и информацию о человеческом опыте и знаниях в некоторой предметной области.

Поскольку различия между БЗ и базой данных (БД) являются нечеткими (размытыми), то не всегда можно их четко разграничить.

Согласно [55], под *базой данных* понимается совокупность данных, хранимых в соответствии со схемой данных, манипулирование которыми выполняют в соответствии с правилами средств моделирования данных.



Согласно [110], под *базой данных* понимается совместно используемый набор логически связанных данных (и описание этих данных), предназначенный для удовлетворения информационных потребностей организации.

Однако несмотря на нечеткое различие между БЗ и БД, их все-таки можно разграничить по следующим признакам:

- 1) БД работают только с однородными данными, а БЗ содержат разнородные и разнотипные данные;
- 2) БД представляет собой жестко структурированную модель, а БЗ – открытую модель;
- 3) БД данные представлены в виде набора записей, а в БЗ знания представлены в виде логической модели, фреймов, семантической сети.

На рисунке 2.14 представлена структура БЗ интеллектуальной СППР, основанной на модульном принципе, использующей обобщенную схему методологии когнитивного и нечеткого когнитивного моделирования процесса анализа реализуемости проектов.

В работах [37, 42, 46, 51] рассматривалась возможность проектирования БЗ для распределенных ИУС. Преимущества модульного принципа построения БЗ подробно рассмотрены в [181].

*Модуль сбора исходных данных об объекте проектирования (ОП)* – собираются исходные данные об ОУ на протяжении всего анализа реализуемости проекта по созданию ИУС.

*Модуль обработки неопределенных исходных данных* – обрабатываются исходные данные для построения и исследования ЧКМ и/или НКМ.

*Модуль диагностики состояния ОП* – разрабатываются ЧКМ и/или НКМ для ОП.

*Модуль прогнозирования состояния ОП* – проводится вычислительный эксперимент, включающий анализ структуры ЧКМ и/или НКМ, а также импульсное моделирование, в результате которого получаются сценарии развития системы, прогнозные значения факторов по ЧКМ и/или НКМ.



Рисунок 2.14 – Структура базы знаний интеллектуальной системы поддержки принятия решений при анализе реализуемости проектов по созданию ИУС<sup>23</sup>

<sup>23</sup> Структура адаптирован автором по материалам [39, 49]

*Модуль формирования управляющих воздействий* – осуществляется корректировка моделей ОП.

*Модуль принятия решения* – выбирается ЧКМ и/или НКМ, сценарий развития системы.

Заметим, что в структуру БЗ интеллектуальной СППР «встроен» руководитель проекта, который в процессе анализа реализуемости проектов по созданию ИУС может формировать управляющие воздействия на ИУС, а также принимать управленческие решения на основе полученной информации. Знания в предлагаемой БЗ представлены в виде ЧКМ и/или НКМ, а также сценариев развития системы.

База знаний решает следующие задачи: во-первых, осуществляет поиск необходимой руководителю информации в виде когнитивных моделей, сценариев развития системы, заложенных в БЗ; во-вторых, осуществляет поддержку целостности и адекватности информации; в-третьих, осуществляет преобразование полученной информации в модель знаний – ЧКМ и/или НКМ.

Таким образом, разработана структура БЗ интеллектуальной СППР, основанной на модульном принципе, использующей обобщенную схему методологии когнитивного и нечеткого когнитивного моделирования процесса анализа реализуемости проектов. Предлагаемая БЗ позволяет: сократить время проведения анализа реализуемости проекта по созданию ИУС, тем самым повышая трудоемкость исполнителей; уменьшить в некоторой степени количество исполнителей, участвующих при анализе реализуемости проектов; формализовать опыт высококвалифицированных исполнителей, тем самым давая возможность исполнителям с малым опытом работ качественно проводить анализ реализуемости проектов.

## **Выводы по главе 2**

1) Разработаны методологические основы, которые направлены на решение главной задачи анализа реализуемости проектов по созданию ИУС – на исключение отставания от графика работ и провала проекта, в основе которых

лежит обобщенная схема этапов анализа реализуемости проектов по созданию ИУС. Разработана системная модель анализа реализуемости проектов по созданию ИУС с использованием триадного подхода, позволяющая системно организовать исследования исполнителей, а также осмыслить применяемые алгоритмы, методы и когнитивные модели. Для проведения анализа реализуемости проектов по созданию ИУС на этапе предпроектного исследования разработан комплекс когнитивных моделей и методов поддержки принятия решений для проведения анализа реализуемости проектов по созданию ИУС на этапе предпроектного исследования, обеспечивающий наибольшую объективность, комплексность и целенаправленность полученным результатам; возможность выработки обоснованных управленческих решений руководителями проектов.

2) Выполнен анализ общесистемных принципов, принципов управления и моделирования, на основе которых базируются методологические основы анализа реализуемости проектов по созданию ИУС. Данные принципы позволяют сформулировать с единых теоретических позиций различные задачи, связанные с анализом реализуемости проектов по созданию ИУС с использованием методов «мягких вычислений», методологии когнитивного и нечеткого когнитивного моделирования и определить способы их решения.

3) Разработана обобщенная схема методологии когнитивного и нечеткого когнитивного моделирования, которая позволяет выявлять и анализировать факторы, а также их взаимодействия; исследовать возможные сценарии возникновения нештатных ситуаций по созданию ИУС, а также находить пути их разрешения в модельных ситуациях в условиях неопределенных исходных данных, что позволяет вырабатывать обоснованные управленческие действия, направленные на прогнозирование и предотвращение возможных проблем, связанных с появлением каких-либо внешних воздействий. Разработана структура БЗ интеллектуальной СППР, основанной на модульном принципе, использующей обобщенную схему методологии когнитивного и нечеткого когнитивного моделирования процесса анализа реализуемости проекта, знания в которой

представлены в виде ЧКМ и/или НКМ, а также сценариев развития системы. Предлагаемая БЗ позволяет: сократить время проведения анализа реализуемости проекта; уменьшить количество исполнителей, участвующих при анализе реализуемости проектов; формализовать опыт высококвалифицированных исполнителей в условиях неопределенных исходных данных.

### **Глава 3. Методы поддержки принятия решений для оценки реализуемости проектов по созданию программного обеспечения и информационно-управляющих систем с использованием «мягких вычислений»**

Рассматриваются методы поддержки принятия решений для оценки реализуемости проектов по созданию программного обеспечения (ПО) и ИУС в условиях интервальной неопределенности и нечеткости исходных данных на основе «мягких вычислений». Данные методы позволяют на этапе предпроектного исследования принять взвешенное решение о дальнейшем этапе проектирования и изготовления или формировании новых возможных альтернатив по созданию ПО и ИУС.

#### **3.1. Разработка метода оценки затрат времени на создание программного обеспечения информационно-управляющих систем с использованием аппарата интервальной арифметики**

Для обеспечения безаварийной работы ИУС ПрО перед исполнителями (разработчиками) ИУС стоит актуальная задача по разработке за короткий промежуток времени ИУС на основе современных средств вычислительной техники [79, 112] и особенно это касается программных средств (ПС) ИУС [136, 138]. Отметим, что в настоящей работе совокупность ПС ИУС рассматривается как ПО ИУС.

В случае, когда имеется лишь нечеткая информация, т.е. известны лишь границы изменения значений анализируемого параметра разрабатываемого проекта по созданию ПО ИУС, целесообразно для оценки затрат времени на создание ПО ИУС использовать метод, разработанный автором с использованием аппарата интервальной арифметики. В основе предлагаемого метода для оценки реализуемости создания ПО ИУС лежит использование обобщенной схемы, представленной на рисунке 3.1 [100, 101, 117, 125].

Предположим, что альтернативы создания ПО ИУС описываются в виде ориентированного графа, в котором ПС изображаются как вершины, а запросы и

ответы между ПС, которые поступают от исполнителей, изображаются в виде ориентированных ребер.

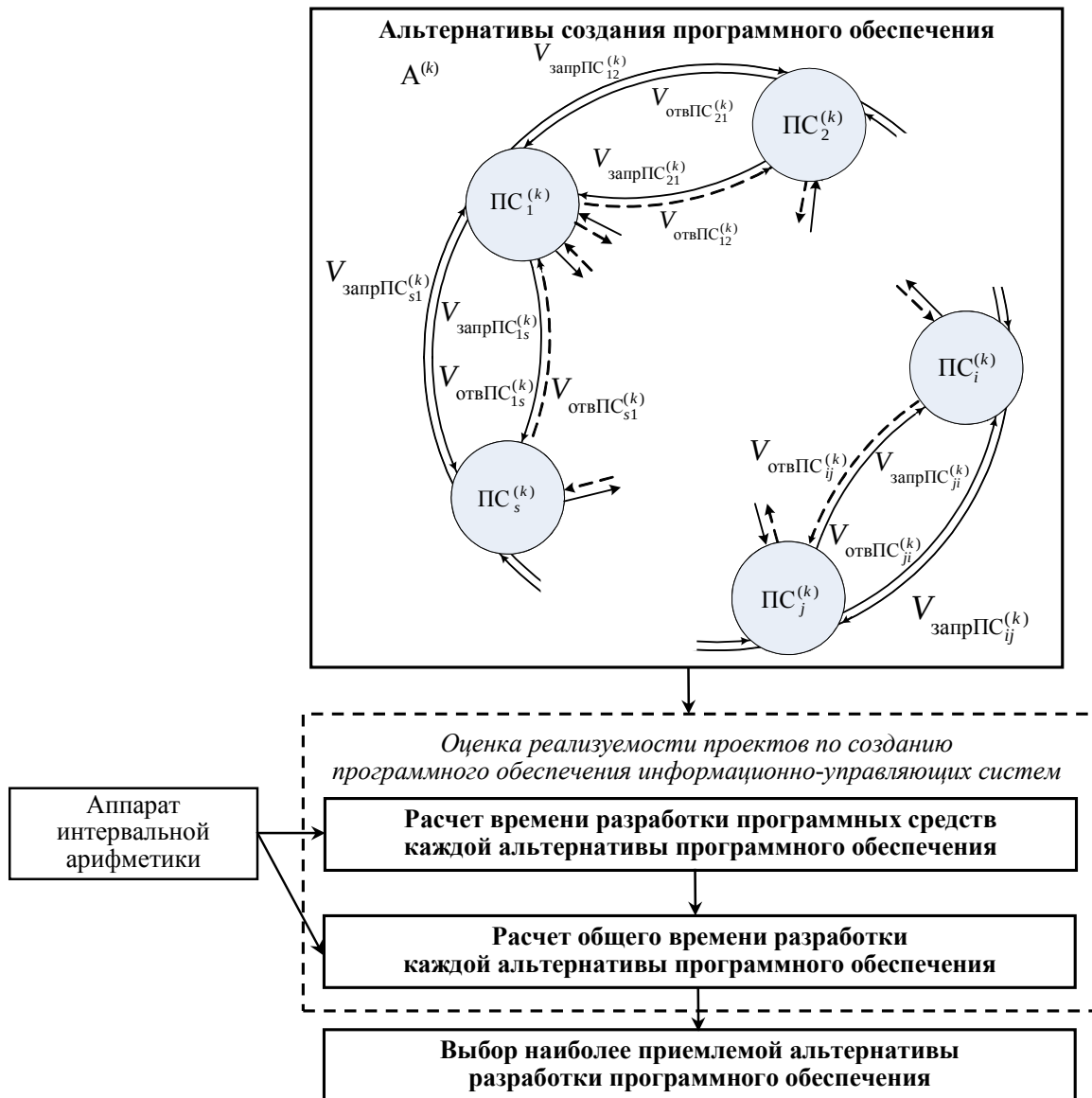


Рисунок 3.1 – Обобщенная схема оценки реализуемости проектов по созданию ПО ИУС с использованием аппарата интервальной арифметики<sup>24</sup>

Приведем главные характеристики для разработки ПС (представлены в виде треугольных нечетких чисел):

- *объем работы*, определяемый на основе нормативов, экспертных оценок или имеющегося опыта;
- *производительность исполнителей*, т.е. скорости формирования одного запроса и его обслуживания за определенное, фиксированное время (час, день);

<sup>24</sup> Рисунок разработан автором

$P_{\text{запрПС}_j}$  ,  $P_{\text{отвПС}_i}$  – производительности исполнителей, обслуживающих соответственно запросы и ответы, поступающие от одного ПС к другому.

На рисунке 3.1 показана альтернативная схема создания ПО ИУС в виде ориентированного графа, где сплошная линия показывает объем поступающих запросов от одного ПС к другому, пунктирная – объем ответов;  $\text{ПС}_i^{(k)}$  – программное средство,  $i = \overline{1, s}$  ( $s$  – число ПС в каждой  $k$ -й альтернативе,  $k = \overline{1, m}$ );  $V_{\text{запрПС}_{ij}^{(k)}}$ ,  $V_{\text{отвПС}_{ji}^{(k)}}$  – объемы соответственно запросов и ответов, поступающих от  $i$ -го к  $j$ -му и от  $j$ -го к  $i$ -му ПС  $k$ -й альтернативы,  $j = \overline{1, s}$ ,  $i \neq j$ .

Идея метода для оценки затрат времени на создание ПО ИУС заключается в сравнительном анализе возможных альтернатив разработки данного проекта и выборе приемлемой альтернативы. Оценка каждой  $k$ -й альтернативы осуществляется на основе специально сформированного *нечеткого показателя* в виде общего времени  $T^{(k)}$ , затраченного на создание ПО ИУС, которое представляется нечетким треугольным числом

$$T^{(k)} = [t_1^{(k)}, t_2^{(k)}, t_3^{(k)}], \quad k = \overline{1, m}, \quad (3.1)$$

где  $t_1^{(k)}$ ,  $t_2^{(k)}$ ,  $t_3^{(k)}$  – минимальное, наиболее ожидаемое и максимальное время, за которое можно создать ПО ИУС.

Пусть заданы:

– альтернативы  $A^{(k)}$ ,  $k = \overline{1, m}$ , создания ПО ИУС с указанием объемов запросов, поступающих от  $i$ -го ПС к  $j$ -му,

$$V_{\text{запрПС}_{ij}^{(k)}} = \left( V_{\text{запрПС}_{ij1}^{(k)}}, V_{\text{запрПС}_{ij2}^{(k)}}, V_{\text{запрПС}_{ij3}^{(k)}} \right),$$

и ответов от  $j$ -го ПС к  $i$ -му в виде нечеткого треугольного числа:

$$V_{\text{отвПС}_{ji}^{(k)}} = \left( V_{\text{отвПС}_{ji1}^{(k)}}, V_{\text{отвПС}_{ji2}^{(k)}}, V_{\text{отвПС}_{ji3}^{(k)}} \right),$$

где  $V_{\text{запрПС}_{ij1}^{(k)}}$ ,  $V_{\text{отвПС}_{ji1}^{(k)}}$ ;  $V_{\text{запрПС}_{ij2}^{(k)}}$ ,  $V_{\text{отвПС}_{ji2}^{(k)}}$ ;  $V_{\text{запрПС}_{ij3}^{(k)}}$ ,  $V_{\text{отвПС}_{ji3}^{(k)}}$  – минимальное, наиболее ожидаемое и максимальное число запросов и ответов;



– производительность исполнителей,

$$P_{\text{запрПС}_j} = (P_{\text{запрПС}_{j1}}, P_{\text{запрПС}_{j2}}, P_{\text{запрПС}_{j3}}), P_{\text{отвПС}_i} = (P_{\text{отвПС}_{i1}}, P_{\text{отвПС}_{i2}}, P_{\text{отвПС}_{i3}}),$$

где  $P_{\text{запрПС}_{j1}}, P_{\text{отвПС}_{j1}}; P_{\text{запрПС}_{j2}}, P_{\text{отвПС}_{j2}}; P_{\text{запрПС}_{j3}}, P_{\text{отвПС}_{j3}}$  – минимальное, наиболее ожидаемое и максимальное время, за которое исполнитель может сформировать и обслужить один запрос.

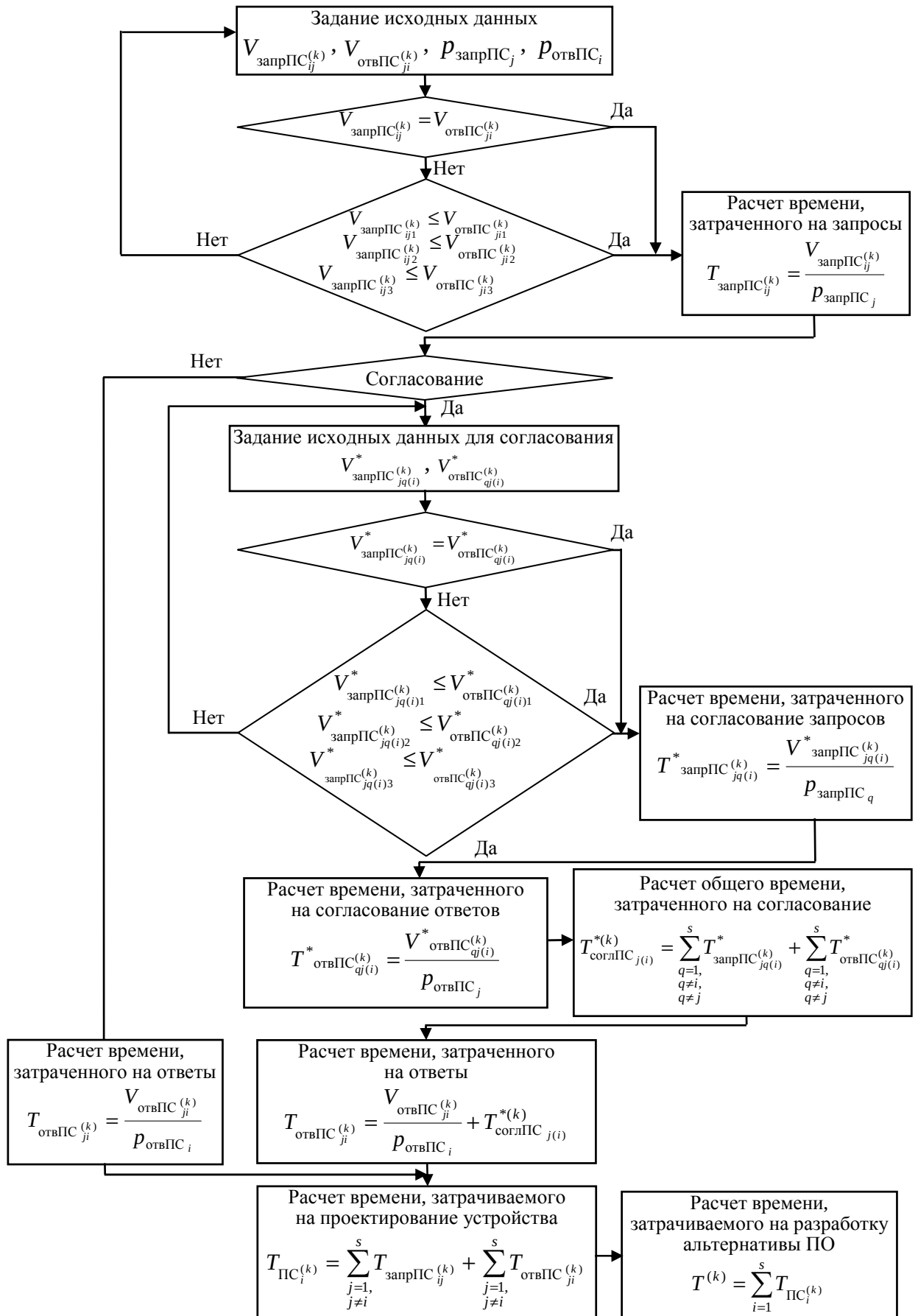
Для расчета показателя  $T^{(k)}$ , характеризующего общее время затрат на разработку каждой альтернативы создания ПО ИУС, предлагается три этапа [100]:

*Этап 1.* Рассчитывается время разработки ПС  $T_{\text{ПС}_i}^{(k)}$  каждой альтернативы создания ПО ИУС.

*Этап 2.* Рассчитывается общее время  $T^{(k)}$ , затраченное на разработку каждой альтернативы создания ПО ИУС.

*Этап 3.* На основании интуиции или опыта по интервалам затрат времени на создание ПО  $T^{(k)}$ , либо по средним значениям данных интервалов на основе анализа множества показателей  $T^{(k)}$  осуществляется выбор приемлемой альтернативы  $A^{(k)}$  разработки проекта по созданию ПО ИУС.

Под *приемлемой альтернативой* понимается альтернатива, которая позволяет решить проблему с наименьшими затратами ресурсов. В качестве критерия выбора приемлемой альтернативы рассмотрим время, затраченное на создание ПО ИУС. Введем и опишем предположения и допущения предложенного метода автором: альтернативы создания ПО ИУС уже построены; альтернатива реализует одно конкретное ПО; число ПС равно числу исполнителей, причем каждый исполнитель отвечает только за разработку одного ПС и исполнители не могут заменять друг друга; число ПС в каждой альтернативе должно быть одинаковым; возможны различные связи между ПС. Рассмотрим первые два этапа метода оценки затрат времени на создание ПО ИУС. Для расчета показателя  $T^{(k)}$  используем алгоритм, разработанный автором, состоящий из пятнадцати шагов (рисунок 3.2) [100].

Рисунок 3.2 – Алгоритм расчета времени на создание ПО ИУС<sup>25</sup><sup>25</sup> Алгоритм разработан автором

*Шаг 1.* Задаются объем запросов и ответов  $V_{\text{запрПС}_{ij}^{(k)}}$ ,  $V_{\text{отвПС}_{ji}^{(k)}}$ , а также производительность исполнителей  $p_{\text{запрПС}_j}$ ,  $p_{\text{отвПС}_i}$  для разработки каждого ПС каждой альтернативы.

*Шаг 2.* Если  $V_{\text{запрПС}_{ij}^{(k)}} = V_{\text{отвПС}_{ji}^{(k)}}$ , то переход к шагу 4; если  $V_{\text{запрПС}_{ij}^{(k)}} \neq V_{\text{отвПС}_{ji}^{(k)}}$ , то переход к шагу 3.

*Шаг 3.* Если  $V_{\text{запрПС}_{ij1}^{(k)}} \leq V_{\text{отвПС}_{ji1}^{(k)}}$ ,  $V_{\text{запрПС}_{ij2}^{(k)}} \leq V_{\text{отвПС}_{ji2}^{(k)}}$ ,  $V_{\text{запрПС}_{ij3}^{(k)}} \leq V_{\text{отвПС}_{ji3}^{(k)}}$ , то переход к шагу 4; если хотя бы одно из данных условий не соблюдается, то переход к шагу 1.

*Шаг 4.* Рассчитывается время  $T_{\text{запрПС}_{ij}^{(k)}}$ , затрачиваемое на запросы от  $i$ -го ПС к  $j$ -му

$$T_{\text{запрПС}_{ij}^{(k)}} = \frac{V_{\text{запрПС}_{ij}^{(k)}}}{p_{\text{запрПС}_j}}, \quad i = \overline{1, s}, \quad j = \overline{1, s}, \quad i \neq j. \quad (3.2)$$

Заметим, что для двух треугольных нечетких чисел  $a = [a_1, a_2, a_3]$ , имеющих одинаковые границы, справедливы соотношения:  $a - a \neq [0, 0]$ ,  $a/a \neq [1, 1]$  [30, 193, 219].

*Шаг 5.* Если  $i$ -е ПС разрабатываются с учетом времени согласования с другими ПС, то переход к шагу 6; если  $i$ -е ПС разрабатываются без учета времени на согласование с другими ПС, то переход к шагу 13.

*Шаг 6.* Задаются объемы запросов для согласования  $V_{\text{запрПС}_{jq(i)}^{(k)}}^*$  и согласованных ответов  $V_{\text{отвПС}_{qi(i)}^{(k)}}^*$  ( $q = \overline{1, s}$ ,  $q \neq i$ ,  $q \neq j$ ) для разработки  $i$ -го ПС, где под  $*$  понимается согласование между ПС.

*Шаг 7.* Если  $V_{\text{запрПС}_{jq(i)}^{(k)}}^* = V_{\text{отвПС}_{qi(i)}^{(k)}}^*$ , то переход к шагу 9; если  $V_{\text{запрПС}_{jq(i)}^{(k)}}^* \neq V_{\text{отвПС}_{qi(i)}^{(k)}}^*$ , то переход к шагу 8.

*Шаг 8.* Если  $V_{\text{запрПС}_{jq(i)1}}^* \leq V_{\text{отвПС}_{qj(i)1}}^*$ ,  $V_{\text{запрПС}_{jq(i)2}}^* \leq V_{\text{отвПС}_{qj(i)2}}^*$ ,

$V_{\text{запрПС}_{jq(i)3}}^* \leq V_{\text{отвПС}_{qj(i)3}}^*$ , то переход к шагу 9; если хотя бы одно из данных условий не соблюдается, то переход к шагу 6.

*Шаг 9.* Рассчитывается время  $T_{\text{запрПС}_{jq(i)}}^*$ , затрачиваемое на согласование запросов  $j$ -го ПС с  $q$ -м, для разработки  $i$ -го ПС

$$T_{\text{запрПС}_{jq(i)}}^* = \frac{V_{\text{запрПС}_{jq(i)}}^*}{P_{\text{запрПС}_q}}, \quad q = \overline{1, s}, \quad q \neq i, \quad q \neq j. \quad (3.3)$$

*Шаг 10.* Рассчитывается время  $T_{\text{отвПС}_{qj(i)}}^*$ , затрачиваемое на согласование ответов  $q$ -го ПС с  $j$ -м, для разработки  $i$ -го ПС

$$T_{\text{отвПС}_{qj(i)}}^* = \frac{V_{\text{отвПС}_{qj(i)}}^*}{P_{\text{отвПС}_j}}, \quad q = \overline{1, s}, \quad q \neq i, \quad q \neq j. \quad (3.4)$$

*Шаг 11.* Рассчитывается общее время, затрачиваемое на согласование  $j$ -го ПС с другими ПС, для разработки  $i$ -го ПС

$$T_{\text{соглПС}_{ji}}^{*(k)} = \sum_{\substack{q=1, \\ q \neq i, \\ q \neq j}}^s T_{\text{запрПС}_{jq(i)}}^* + \sum_{\substack{q=1, \\ q \neq i, \\ q \neq j}}^s T_{\text{отвПС}_{qj(i)}}^*, \quad q = \overline{1, s}. \quad (3.5)$$

*Шаг 12.* Рассчитывается время, затрачиваемое на ответы от  $j$ -го ПС к  $i$ -му  $T_{\text{отвПС}_{ji}}^{(k)}$  с учетом времени согласования,

$$T_{\text{отвПС}_{ji}}^{(k)} = \frac{V_{\text{отвПС}_{ji}}^{(k)}}{P_{\text{отвПС}_i}} + T_{\text{соглПС}_{ji}}^{*(k)}, \quad i = \overline{1, s}, \quad j = \overline{1, s}, \quad i \neq j. \quad (3.6)$$

*Шаг 13.* Рассчитывается время, затрачиваемое на ответы от  $j$ -го ПС к  $i$ -му  $T_{\text{отвПС}_{ji}}^{(k)}$  без учета времени согласования,

$$T_{\text{отвПС}_{ji}}^{(k)} = \frac{V_{\text{отвПС}_{ji}}^{(k)}}{P_{\text{отвПС}_i}}, \quad i = \overline{1, s}, \quad j = \overline{1, s}, \quad i \neq j. \quad (3.7)$$

*Шаг 14.* Рассчитывается время, затрачиваемое на разработку ПС <sub>$i$</sub> <sup>( $k$ )</sup>

$$T_{\text{ПС}_i^{(k)}} = \sum_{\substack{j=1, \\ j \neq i}}^s T_{\text{запрПС}_{ij}^{(k)}} + \sum_{\substack{j=1 \\ j \neq i}}^s T_{\text{отвПС}_{ji}^{(k)}} . \quad (3.8)$$

*Шаг 15.* Рассчитывается общее время, затрачиваемое на разработку альтернативы создания ПО ИУС

$$T^{(k)} = \sum_{i=1}^s T_{\text{ПС}_i^{(k)}} . \quad (3.9)$$

*Конец алгоритма.*

На основе полученных оценок, представленных в виде треугольных нечетких чисел (3.1), осуществляется выбор приемлемой альтернативы создания ПО ИУС по ожидаемым значениям этих чисел. Приемлемой альтернативой является та альтернатива, у которой наименьшее ожидаемое значение  $t_2^{(k)}$ .

Заметим, что для проверки эффективности и работоспособности предложенных алгоритмов в главах 3 и 4 сначала задается достаточный набор тестов (набор контрольных входных данных совместно с ожидаемыми результатами), а затем проверяется на нем выполнение алгоритма.

Далее *приведен расчетный пример*, иллюстрирующий изложенный подход. Пусть имеются три альтернативы ( $A^{(1)}$ ,  $A^{(2)}$ ,  $A^{(3)}$ ) создания ПО, каждая содержит четыре ПС (рисунок 3.3). Необходимо найти время проектирования ПС каждой альтернативы, общее время разработки каждой альтернативы, а также выбрать наилучшую альтернативу создания ПО.

Предположим, руководителю проекта известны объемы запросов:

$$\begin{aligned} V_{\text{запрПС}_{12}^{(1)}} &= V_{\text{запрПС}_{12}^{(2)}} = V_{\text{запрПС}_{12}^{(3)}} = [3, 6, 10], \quad V_{\text{запрПС}_{13}^{(1)}} = V_{\text{запрПС}_{13}^{(3)}} = [2, 6, 8], \\ V_{\text{запрПС}_{21}^{(1)}} &= V_{\text{запрПС}_{21}^{(2)}} = [2, 10, 13], \quad V_{\text{запрПС}_{23}^{(3)}} = [3, 7, 10], \\ V_{\text{запрПС}_{24(1)}^{(1)}} &= V_{\text{запрПС}_{24(1)}^{(2)}} = V_{\text{запрПС}_{24(1)}^{(3)}} = [2, 4, 5], \quad V_{\text{запрПС}_{34}^{(1)}} = V_{\text{запрПС}_{34}^{(2)}} = V_{\text{запрПС}_{34}^{(3)}} = [4, 7, 11], \\ V_{\text{запрПС}_{41}^{(1)}} &= [3, 9, 12]; \quad V_{\text{запрПС}_{43}^{(1)}} = V_{\text{запрПС}_{43}^{(2)}} = V_{\text{запрПС}_{43}^{(3)}} = [4, 5, 10], \end{aligned}$$

и ответов в виде нечетких треугольных чисел:

$$V_{\text{отвПС}_{12}^{(1)}} = V_{\text{отвПС}_{12}^{(2)}} = [4, 7, 12], V_{\text{отвПС}_{14}^{(1)}} = [3, 9, 12]$$

$$V_{\text{отвПС}_{21}^{(1)}} = V_{\text{отвПС}_{21}^{(2)}} = V_{\text{отвПС}_{21}^{(3)}} = [4, 7, 12], V_{\text{отвПС}_{31}^{(1)}} = V_{\text{отвПС}_{31}^{(3)}} = [3, 8, 13],$$

$$V_{\text{отвПС}_{32}^{(3)}} = [3, 7, 10], V_{\text{отвПС}_{43}^{(1)}} = V_{\text{отвПС}_{43}^{(2)}} = V_{\text{отвПС}_{43}^{(3)}} = [4, 7, 11],$$

$$V_{\text{отвПС}_{34}^{(2)}} = V_{\text{отвПС}_{34}^{(3)}} = [5, 7, 12],$$

а также производительности исполнителей:

$$P_{\text{запрПС}_1} = [1, 2, 3], P_{\text{отвПС}_1} = [2, 3, 4], P_{\text{запрПС}_2} = [1, 3, 4], P_{\text{отвПС}_2} = [2, 4, 5],$$

$$P_{\text{запрПС}_3} = [1, 3, 4], P_{\text{отвПС}_3} = [2, 3, 4], P_{\text{запрПС}_4} = [1, 2, 3], P_{\text{отвПС}_4} = [2, 3, 4].$$

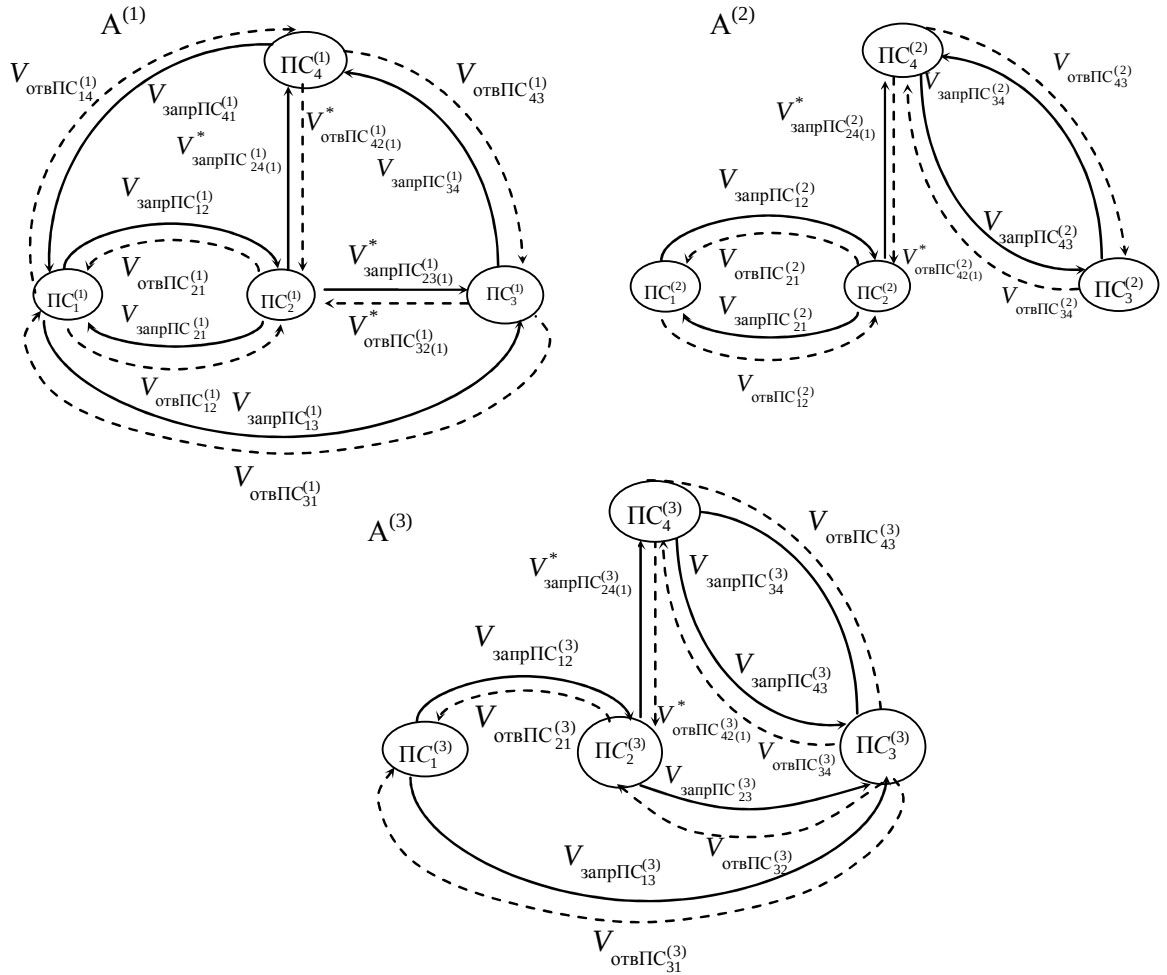


Рисунок 3.3 – Альтернативы создания программного обеспечения в виде орграфа<sup>26</sup>

Для программного средства  $\text{ПС}_1^{(1)}$  на основе имеющихся данных по формуле (3.2) рассчитывается время, затрачиваемое на запросы:

<sup>26</sup> Рисунок разработан автором

$$T_{\text{запрПС}_{12}^{(1)}}=[0,75, 2, 10], T_{\text{запрПС}_{13}^{(1)}}=[0,5, 2, 8].$$

Далее предположим, что известны следующие объемы запросов для согласования и ответов  $V_{\text{запрПС}_{23(1)}^{(1)}}^*=V_{\text{запрПС}_{23(1)}^{(3)}}^*=[1, 2, 4]$  ,  $V_{\text{отвПС}_{32(1)}^{(1)}}=[2, 4, 6]$  ,  $V_{\text{отвПС}_{42(1)}^{(1)}}^*=V_{\text{отвПС}_{42(1)}^{(2)}}^*=V_{\text{отвПС}_{42(1)}^{(3)}}^*=[2, 4, 5]$ .

Поскольку для проектирования программного средства  $\text{ПС}_1^{(1)}$  необходимо учитывать время, затраченное на согласование, то далее по формуле (3.3) рассчитывается время, затрачиваемое на согласование запросов с  $\text{ПС}_3^{(1)}$  ,  $\text{ПС}_4^{(1)}$  для проектирования  $\text{ПС}_1^{(1)}$

$$T_{\text{запрПС}_{23(1)}^{(1)}}^*=[0,25, 0,67, 4], T_{\text{запрПС}_{24(1)}^{(1)}}^*=[0,67, 2, 5].$$

Затем по формуле (3.4) рассчитывается время, затрачиваемое на согласование ответов с  $\text{ПС}_3^{(1)}$  ,  $\text{ПС}_4^{(1)}$  программными средствами, для проектирования  $\text{ПС}_1^{(1)}$

$$T_{\text{отвПС}_{32(1)}^{(1)}}^*=[0,4, 1, 3], T_{\text{запрПС}_{42(1)}^{(1)}}^*=[0,4, 1, 2,5].$$

Далее по формуле (3.5) рассчитывается общее время, затрачиваемое на согласование с  $\text{ПС}_3^{(1)}$  ,  $\text{ПС}_4^{(1)}$  программными средствами для проектирования  $\text{ПС}_1^{(1)}$

$$T_{\text{соглПС}_{2(1)}^{(1)}}^*=[1,72, 4,67, 14,5].$$

Затем по формуле (3.6) рассчитывается время, затрачиваемое на ответы с учетом согласования с  $\text{ПС}_3^{(1)}$  ,  $\text{ПС}_4^{(1)}$  программными средствами

$$T_{\text{отвПС}_{21}^{(1)}}=[2,72, 27, 20,5],$$

а по формуле (3.7) рассчитывается время, затрачиваемое на ответы без учета согласования  $T_{\text{отвПС}_{31}^{(1)}}=[0,75, 2,67, 6,5]$ .

Далее по формуле (3.8) рассчитывается время, затрачиваемое на проектирование программного средства  $\text{ПС}_1^{(1)}$  :  $T_{\text{ПС}_1^{(1)}}=[4,72, 13,67, 45]$  , т.е. возможное время проектирования  $\text{ПС}_1^{(1)}$  составит в среднем примерно 14 часов.

Аналогичные расчеты производятся для остальных ПС альтернатив  $A^{(1)}$ ,  $A^{(2)}$ ,  $A^{(3)}$ , на основании которых по формуле (3.9) рассчитывается общее время, затрачиваемое на разработку альтернатив ПО:

$$T^{(1)} = [10, 27, 33, 75, 98, 5], T^{(2)} = [8, 87, 23, 91, 75], T^{(3)} = [10, 25, 91, 85, 5].$$

Возможное время разработки альтернативы  $A^{(1)}$  составит в среднем 34 часа;  $A^{(2)}$  – 24 часа;  $A^{(3)}$  – 26 часов.

Так как интервалы времени разработки альтернатив пересекаются, то в данном примере рекомендуется осуществлять выбор альтернатив создания ПО по средним значениям этих интервалов. Наилучшей альтернативой ПО является альтернатива  $A^{(2)}$ , затем следует альтернатива  $A^{(3)}$ .

Таким образом, предложен метод оценки затрат времени на создание ПО ИУС в условиях интервальной неопределенности исходных данных, основанный на сравнительном анализе возможных альтернатив разработки данного проекта и выборе приемлемой альтернативы. Оценка каждой альтернативы осуществляется на основе специально сформированного *нечеткого показателя* в виде общего времени, затраченного на создание ПО ИУС. Данный метод позволяет снизить возможные проектные риски при создании ПО ИУС, а также сократить ошибки при принятии управленческих решений руководителями при анализе реализуемости проектов на этапе предпроектного исследования.

### **3.2. Разработка метода оценки реализуемости проектов по созданию программного обеспечения информационно-управляющих систем с использованием топологических характеристик и нечетко-множественного метода**

В основе метода, предложенного автором, лежит использование обобщенной схемы оценки реализуемости проектов по созданию ПО ИУС, представленной на рисунке 3.4 [90].

Из рисунка 3.4 видно, что оценка реализуемости осуществляется с помощью: *топологических характеристик; нечетко-множественного метода*, основанного на использовании аппарата нечетких множеств, описанного в параграфе 3.3.



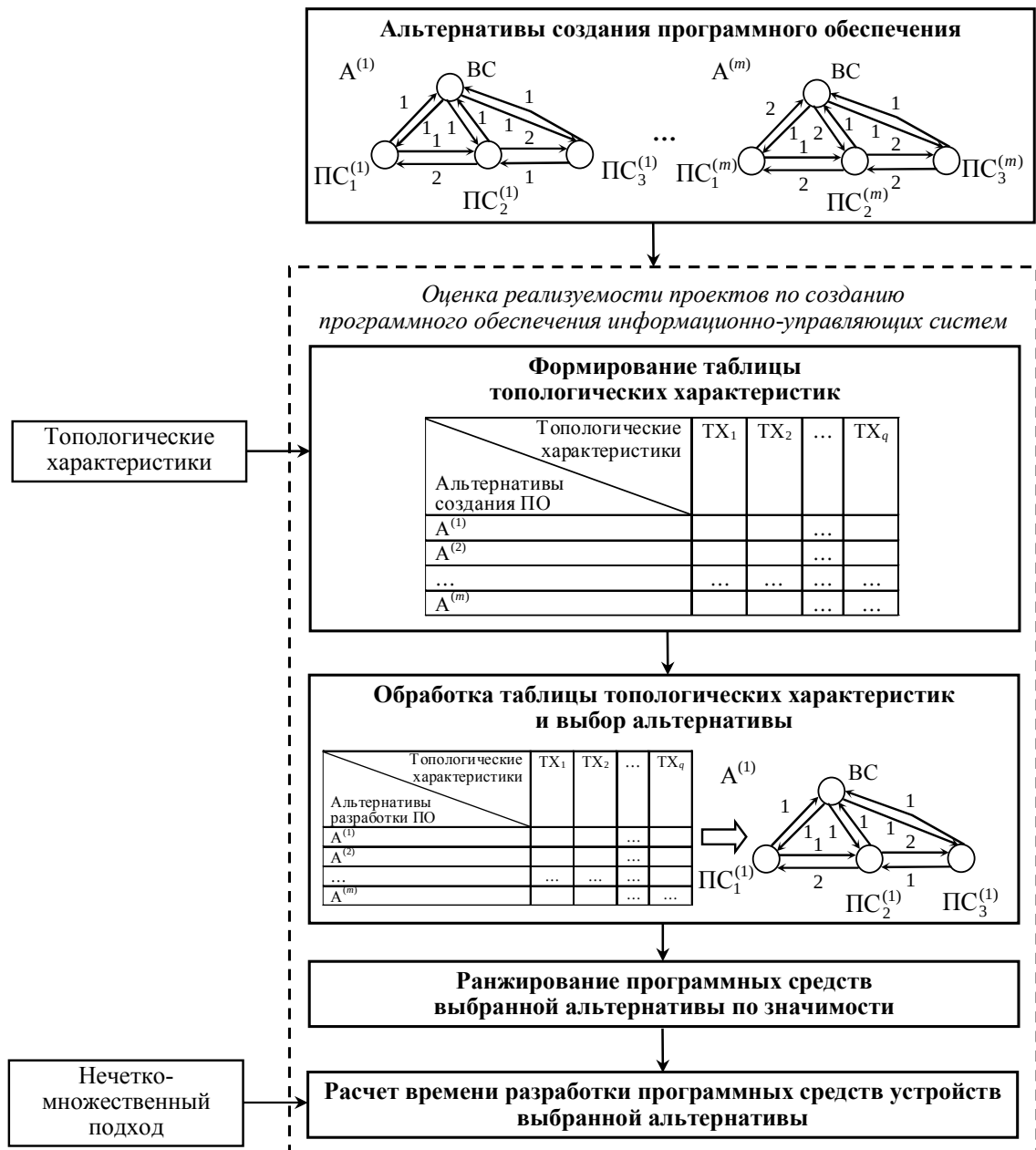


Рисунок 3.4 – Обобщенная схема оценки реализуемости проектов по созданию ПО ИУС с использованием методов структурного анализа и нечетко-множественного метода<sup>27</sup>

Предположим, что альтернативы создания ПО описываются в виде ориентированного графа, в котором его устройства представлены вершинами, а линии связи между устройствами – ориентированными ребрами. Поскольку устройства между собой могут быть соединены несколькими связями, то для простоты работы с орграфами представим альтернативы в виде взвешенных

<sup>27</sup> Рисунок разработан автором

орграфов, где в качестве веса ребра выступает число разнотипных запросов, которые поступают от одного устройства к другому (см. рисунок 3.4).

Основной характеристикой работы исполнителей является объем работы, который измеряется количеством запросов, необходимых для разработки ПС, представлен в виде треугольных нечетких чисел.

Из-за неоднозначного выделения разнотипных запросов, поступающих от одного ПС к другому, можно разработать различные  $k$ -е альтернативы  $A^{(k)}$  создания ПО,  $k = \overline{1, m}$ , состоящие из программных средств  $ПС_j^{(k)}$  (где  $m$  – число альтернатив реализации ПО;  $j$  – число ПС в каждой  $k$ -й альтернативе  $j = \overline{1, s}$ ).

Построенные альтернативы рассмотрим в терминах топологических характеристик  $ТХ_p$ ,  $p = \overline{1, q}$ . Топологическими являются характеристики структурной избыточности  $\alpha$ , степени централизации  $\gamma$ , структурной компактности  $Q_{отн}$  и диаметра структуры  $d$  [146, 153]:

1) Структурная избыточность  $\alpha$

$$\alpha = \frac{R}{n-1} - 1,$$

где  $R$  – множество ребер орграфа (связи);

$n$  – количество вершин орграфа (элементы структуры).

$$R = \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^n a_{ij} = \sum_{i=1}^n a_i,$$

где  $a_{ij}$  – элементы матрицы смежности.

Матрица смежности для взвешенного орграфа имеет вид  $A = (a_{ij})$ , где  $a_{ij}$  – элементы матрицы смежности, определяемые следующим образом:

$$a_{ij} = \begin{cases} w(v_i, v_j), & \text{если существует ребро } (v_i, v_j); \\ 0, & \text{в противном случае,} \end{cases}$$

где  $w(v_i, v_j)$  – вес ребра, соединяющего вершины  $i, j = 1, 2, \dots, n$ . Веса несуществующих ребер полагаются равными 0 или  $\infty$  в зависимости от задачи.

2) *Степень централизации  $\gamma$* . Для топологической характеристики неравномерности загрузки элементов структуры, описываемой орграфом, предложен индекс центральности

$$\gamma = \frac{1}{(n-1)(V(k)-1)} \sum_{\substack{i=1 \\ i \neq k}}^n (V(k) - V(i)),$$

где  $V(i) = v_i^+ + v_i^-$  – степень вершины,  $v_i^+$  – полустепень захода (число дуг, входящих в  $i$ -ю вершину),  $v_i^-$  – полустепень исхода (число дуг, выходящих из  $i$ -й вершины);  $V(k) = \max_i V(i)$ .

3) *Структурная компактность  $Q_{\text{отн}}$* . Структурная компактность структуры  $Q$  отражает общую структурную близость элементов между собой и определяется следующим образом:

$$Q = \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^n d_{ij}, i \neq j,$$

где  $d_{ij}$  – минимальное число связей, соединяющих вершины  $i$  и  $j$ .

Для того чтобы определить величину общей структурной компактности, строится матрица расстояний  $D = (d_{ij})$  (по диагонали нули). Отметим, что для орграфов матрица расстояний несимметрична.

Для определения количественной оценки структурной компактности используется относительный показатель  $Q_{\text{отн}}$

$$Q_{\text{отн}} = \frac{Q}{Q_{\min}} - 1,$$

где  $Q_{\min} = n(n-1)$  – минимальное значение компактности для структуры.

4) *Диаметр структуры  $d$* . Структурную компактность можно характеризовать и диаметром структуры

$$d = \max d_{ij}.$$

После расчета топологических характеристик в первую очередь удаляются альтернативы, у которых совпадают все строки таблицы, а затем выполняется сравнение альтернатив либо по всем характеристикам, либо по какой-то одной.

Отметим, что структурная избыточность характеризует неузвимость структуры альтернатив за счет присутствия в структуре резервных элементов. Степень централизации характеризует важность ПС в структурах альтернатив, т.е. ПС, обладающее большим числом связей с другими ПС, занимает центральное положение в структурах альтернатив. Причем если в структуре альтернативы существует центральное ПС, т.е.  $\gamma \approx 1$ , то целесообразно предпринять меры по перераспределению нагрузки исполнителя, разрабатывающего данное ПС в целях недопущения провала проекта. Программное средство с бóльшей избыточностью потенциально более надежно, но менее экономично. С увеличением  $Q_{\text{отн}}$  и  $d$  увеличивается время, затраченное на обмен запросов между исполнителями, поскольку каждый исполнитель тратит время на обработку запросов и передачу их дальше, что вызывает снижение оперативности структуры альтернативы. Максимальную оперативность имеет граф, для которого  $Q_{\text{отн}} = 0$ , а  $d = 1$ .

После выбора приемлемой альтернативы происходит ранжирование ее ПС с использованием различных методов ранжирования [69, 75]:

1) *Первый подход*. Сначала составляется матрица смежности для взвешенного орграфа, а затем значения рангов подсчитываются по следующей схеме: матрица смежности возводится в некоторую степень – вторую, четвертую ( $A^2, A^4$ ), а затем суммы элементов строк полученной матрицы делятся на сумму всех элементов этой матрицы. Причем  $\sum_{i=1}^n R_i = 1$ .

2) *Второй подход*. Для каждого элемента матрицы смежности определяется ранг

$$r_i = \frac{\sum_{j=1}^n a_{ij}}{\sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^n a_{ij}} .$$

Чем выше ранг элемента, тем сильнее он связан с другими элементами.

3) *Третий подход (метод предпочтений)*. Пусть имеется  $m$  исполнителей:  $I_1, I_2, \dots, I_m$  и  $n$  программных средств:  $Z_1, Z_2, \dots, Z_n$ . Каждый исполнитель

проводит оценку ПС. Наиболее важному ПС присваивается 1, менее важному – 2 и т.д. В этих условиях веса ПС определяются следующим образом. Сначала строится исходная матрица предпочтений, где  $1 \leq k_{ji} \leq n$ , ( $j = \overline{1, m}$ ,  $i = \overline{1, n}$ ) (таблица 3.1).

Таблица 3.1 – Исходная матрица предпочтений

| $I_j/Z_i$ | 1        | 2        | ... | $n$      |
|-----------|----------|----------|-----|----------|
| 1         | $k_{11}$ | $k_{12}$ | ... | $k_{1n}$ |
| 2         | $k_{21}$ | $k_{22}$ | ... | $k_{2n}$ |
| ...       | ...      | ...      | ... | ...      |
| $m$       | $k_{m1}$ | $k_{m2}$ | ... | $k_{mn}$ |

Затем строится модифицированная матрица предпочтений. С оценками  $K_{ji} = n - k_{ji}$  ( $1 < j < m$ ;  $1 < i < n$ ).

Далее находятся суммарные оценки предпочтений по каждому ПС

$$K_{ji} = \sum_{j=1}^m K_{ji}.$$

Вычисляются исходные веса ПС  $w_i = \frac{K_i}{\sum_{i=1}^n K_i}$ , где  $\sum_{i=1}^n w_i = 1$ .

Отметим, что ранги для вершины ВС можно исключить из общего списка рангов, поскольку они характеризуют внешнюю среду, а не ПС.

Расчет времени, затраченного на разработку каждого ПС  $T_{\text{ПС}_j^{(k)}}$  выбранной альтернативы создания ПО, осуществляется на основе нечетко-множественного метода, разработанного автором. Предположения и допущения предложенного метода описаны в параграфе 3.1.

Идея предлагаемого метода для оценки реализуемости проекта по созданию ПО ИУС заключается в сравнительном анализе возможных альтернатив разработки данного проекта, выборе приемлемой альтернативы и расчете времени разработки ПС выбранной альтернативы  $T_{\text{ПС}_j^{(k)}}$ . Оценивание каждой  $k$ -й альтернативы осуществляется на основе топологических характеристик.

Пусть заданы:

– альтернативы  $A^{(k)}$ ,  $k = \overline{1, m}$ , создания ПО ИУС с указанием числа разнотипных запросов и объема работ для  $j$ -го ПС

$$V_j^{(k)} = (V_{j,1}^{(k)}, V_{j,2}^{(k)}, V_{j,3}^{(k)}, V_{j,4}^{(k)}), \quad j = \overline{1, s},$$

где  $V_{j,1}^{(k)}$  – пессимистическая оценка выполнения объема работ,  $[V_{j,2}^{(k)}, V_{j,3}^{(k)}]$  – интервал ожидаемого объема работ,  $V_{j,4}^{(k)}$  – оптимистическая оценка выполнения объема работ. Отметим, что объем работ может быть задан и в виде нечеткого треугольного числа,

– производительность исполнителей  $T_{j,n}^{(k)} = \psi_{j,n}(V_j^{(k)})$  (где  $T_{j,n}^{(k)}$  – время выполнения и объем работ  $n$ -м исполнителем  $k$ -й альтернативы  $j$ -го ПС), в виде четкого отображения, которое является четким, монотонным, возрастающим, т.е. каждому конкретному объему соответствует конкретное время работ.

Для выбора приемлемой альтернативы и расчета времени разработки ПС выбранной альтернативы  $T_{\text{ПС}_j}^{(k)}$  предлагается четыре этапа [90]:

*Этап 1.* Формируется таблица альтернатив создания ПО в терминах топологических характеристик  $TX_p$ ,  $p = \overline{1, q}$ , где каждая альтернатива представляется строкой таблицы (см. рисунок 3.4).

*Этап 2.* Сокращаются множества альтернатив создания ПО, представленных в виде вышеупомянутой таблицы и выбирается приемлемая альтернатива.

*Этап 3.* Осуществляется ранжирование и выбор приемлемой альтернативы создания ПО. В качестве приемлемого варианта отдается предпочтение альтернативе, для которой ранг имеет наибольшее значение.

*Этап 4.* Рассчитывается время, затраченное на разработку каждого ПС  $T_{\text{ПС}_j}^{(k)}$  приемлемой альтернативы, посредством нечетко-множественного метода, описанного в параграфе 3.3.

Ниже рассмотрим расчетный пример, который поясняет комплексный подход, описанный выше. Пусть имеются три альтернативы ( $A_1$ ,  $A_2$ ,  $A_3$ ) создания ПО, каждая из которых содержит по три программных средства. На рисунке 3.5 показаны альтернативы создания ПО в виде взвешенных орграфов. Решим задачу выбора приемлемой альтернативы для дальнейшего создания ПО.

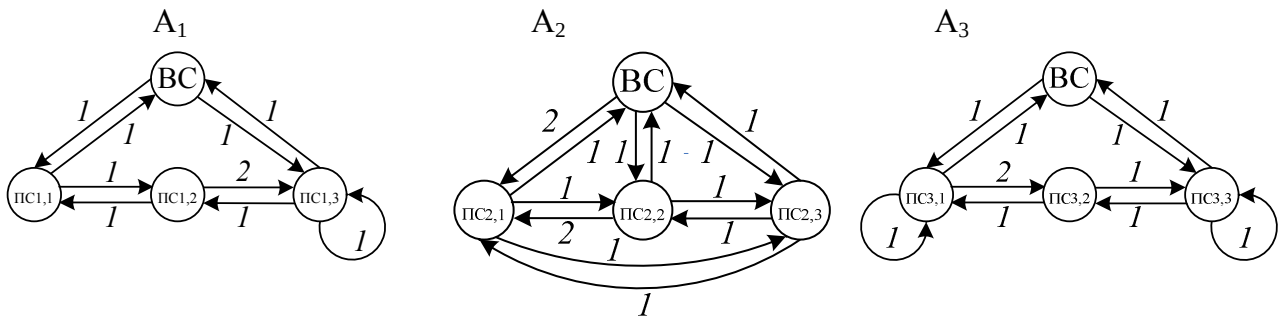


Рисунок 3.5 – Альтернативы создания программного обеспечения в виде взвешенных орграфов<sup>28</sup>

Петли на орграфе следует трактовать как задержку при разработке того или иного ПС.

Приведем результаты расчета топологических характеристик для альтернатив реализации ПО (см. рисунок 3.5) в таблице 3.2, где выделены наилучшие значения каждой из характеристик. По данным показателям очевидно, что наилучшей является вторая альтернатива  $A_2$  создания ПО.

Таблица 3.2 – Результат расчета топологических характеристик для альтернатив реализации ПО

| Альтернативы | Топологические характеристики |                       |                          |                   |
|--------------|-------------------------------|-----------------------|--------------------------|-------------------|
|              | Структурная избыточность      | Степень централизации | Структурная компактность | Диаметр структуры |
|              | $\alpha$                      | $\gamma$              | $Q_{\text{отн}}$         | $d$               |
| $A_1$        | 2,33                          | 0,44                  | 0,33                     | 2                 |
| $A_2$        | <b>3,66</b>                   | 0,19                  | <b>0,00</b>              | <b>1</b>          |
| $A_3$        | 3,33                          | <b>0,11</b>           | 0,17                     | 2                 |

<sup>28</sup> Рисунок разработан автором

Далее осуществим ранжирование ПС, входящих в альтернативу  $A_2$  по значимости [75]. В таблице 3.3 представлены результаты расчета ранга при различных подходах (П – подход), где выделены максимальные значения ранга.

Таблица 3.3 – Результаты расчета ранга при различных подходах

| Программные средства | Подход         |                |                |                |                |
|----------------------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|
|                      | П <sub>1</sub> | П <sub>2</sub> | П <sub>3</sub> | П <sub>4</sub> | П <sub>5</sub> |
| ПС <sub>2,1</sub>    | 0,23           | 0,31           | 0,33           | 0,21           | 0,29           |
| ПС <sub>2,2</sub>    | <b>0,27</b>    | <b>0,38</b>    | <b>0,42</b>    | <b>0,29</b>    | <b>0,42</b>    |
| ПС <sub>2,3</sub>    | 0,23           | 0,31           | 0,25           | 0,21           | 0,29           |

Отметим, что подходы П<sub>1</sub> и П<sub>5</sub> рассматривались с учетом нулевой вершины. Ранги для нулевой вершины можно исключить из общего списка рангов, так как они характеризуют внешнюю среду, а не само устройство. Очевидно, что ПС второй альтернативы ПС<sub>2,2</sub> создания ПО является наиболее значимым, поскольку имеет наибольшие значения ранга по всем подходам.

Рассчитаем время, затраченное на разработку каждого программного средства  $T_{ПС_{i,j}}$ , за которое может быть выполнен заданный объем работ с использованием нечетко-множественного подхода.

Предположим, что известны следующие объемы работ исполнителей для каждого ПС в виде нечетких трапецевидных чисел:

$$V_{2,1} = [3, 5, 6, 7], V_{2,2} = [2, 3, 4, 5], V_{2,3} = [3, 4, 5, 6],$$

и производительности трех исполнителей, которые строятся на основе опроса мнения руководителя и исполнителей. На основе имеющихся данных определим время проектирования ПС:

$$T_{2,1} = [1, 5, 4, 5, 9], T_{2,2} = [1, 2, 3, 4], T_{2,3} = [2, 3, 4, 5, 5].$$

Таким образом, время разработки ПС в днях: ПС<sub>2,1</sub> – 4...5; ПС<sub>2,2</sub> – 2...3; ПС<sub>2,3</sub> – 3...4,5.

Зная время проектирования каждого ПС, найдем общее время разработки альтернативы:



$$T_{\text{общ}} = T_{2,1} + T_{2,2} + T_{2,3} = [4,5, 9, 12,5, 18].$$

Таким образом, время разработки наилучшей альтернативы  $A_2$  составит от 9 до 12,5 дней.

Таким образом, предложен метод оценки реализуемости проектов по созданию ПО ИУС с использованием топологических характеристик и нечетко-множественного метода, основанный на сравнительном анализе возможных альтернатив разработки данного проекта, выборе приемлемой альтернативы и расчете времени разработки ПС выбранной альтернативы в условиях интервальной неопределенности исходных данных. Оценка каждой альтернативы осуществляется на основе топологических характеристик. Предложенный метод позволяет сэкономить бюджетные средства, а также сократить управленческие ошибки, принимаемые руководителями при анализе реализуемости проектов на этапе предпроектного исследования в условиях неопределенных исходных данных.

### **3.3. Разработка нечетко-множественного метода оценки реализуемости проектов по созданию информационно-управляющих систем в условиях нечеткости исходных данных**

В ситуации, когда исходные данные о проектах по созданию ИУС являются нечеткими, т.е. обладают «размытостью», предлагается использовать нечетко-множественный метод, основанный на использовании аппарата нечетких множеств [19, 71, 245]. Здесь в качестве гипотезы информированности, позволяющей «устранить» исходную нечеткую неопределенность, принимаются функции принадлежности, которые, по утверждению Н.Н. Моисеева [145, с. 3], «дают субъективное представление эксперта (исследователя) об особенностях исследуемой операции, о характерах ограничений и целей исследования. Это всего лишь новая форма утверждения гипотез, но она открывает и новые возможности».

Идея нечетко-множественного метода оценки реализуемости проектов по созданию ИУС заключается в построении и анализе возможных альтернатив разработки проекта в виде сетевых графиков выполнения проектных работ – ориентированных графов  $(U, E)$ , дуги которых соответствуют проектным работам, вершины – моментам их начала и окончания, а веса – их объемам [93–95, 97]. Оценка каждой  $k$ -й альтернативы разработки проекта осуществляется на основе специально сформированного *нечеткого показателя реализуемости* в виде критического пути, длительность которого представляется нечетким трапециевидным числом

$$\Delta^{(k)} = [T_1^{(k)}, T_2^{(k)}, T_3^{(k)}, T_4^{(k)}], \quad k = \overline{1, m},$$

где  $T_1^{(k)}$ ,  $T_4^{(k)}$  – пессимистическая и оптимистическая оценки времени выполнения  $k$ -й альтернативы,  $[T_2^{(k)}, T_3^{(k)}]$  – интервал ожидаемого времени выполнения  $k$ -й альтернативы, а  $m$  – число альтернатив разработки проекта.

Пусть задана производительность исполнителей проекта в виде четкого отображения:

$$T_n = \psi_{j,n}(V_{lj}^{(k)}), \quad k = \overline{1, m}, \quad j = \overline{1, z_k},$$

где  $T_n$  – время выполнения работ  $n$ -м исполнителем,  $V_{lj}^{(k)}$  – объем для каждой работы  $(l; j)$ ,  $l, j \in U$ , а  $z_k$  – количество видов работ в  $k$ -й альтернативе разработки проекта. Пусть также заданы альтернативы сетевых графиков выполнения проектных работ с указанием объема для каждой работы в виде трапециевидного нечеткого числа:

$$V_{lj}^{(k)} = [V_{lj,1}^{(k)}, V_{lj,2}^{(k)}, V_{lj,3}^{(k)}, V_{lj,4}^{(k)}],$$

где  $V_{lj,1}^{(k)}$ ,  $V_{lj,4}^{(k)}$  – пессимистическая и оптимистическая оценки выполнения объема работ,  $[V_{lj,2}^{(k)}, V_{lj,3}^{(k)}]$  – интервал ожидаемого (возможного) объема работ. Отметим, что время выполнения  $k$ -й альтернативы и объем работ могут быть представлены в виде нечеткого треугольного числа.

Для расчета показателя  $\Delta^{(k)}$ , характеризующего реализуемость  $k$ -й проектной альтернативы, предлагается четыре этапа:

*Этап 1.* На основе подхода, описанного в работе [19], строятся функции принадлежности  $\mu_{\tilde{B}}(V_{lj}^{(k)})$  нечеткого множества  $\tilde{B}$  – ожидаемого объема выполнения работ из интервала  $[V_{lj,2}^{(k)}, V_{lj,3}^{(k)}]$  для различных  $m$  альтернативных вариантов сетевых графиков выполнения работ.

*Этап 2.* Строятся функции принадлежности  $\mu_{\tilde{A}}(T_{lj}^{(k)})$  нечеткого множества  $\tilde{A}$  – ожидаемого времени выполнения работ для различных  $m$  вариантов сетевых графиков выполнения работ с указанными нечеткими числами  $V_{lj}^{(k)}$  и производительностями разработчиков; здесь ожидаемое время выполнения работ в виде трапециевидного нечеткого числа

$$T_{lj}^{(k)} = [T_{lj,1}^{(k)}, T_{lj,2}^{(k)}, T_{lj,3}^{(k)}, T_{lj,4}^{(k)}],$$

где  $T_{lj,1}^{(k)}, T_{lj,4}^{(k)}$  – пессимистическая и оптимистическая оценки времени выполнения работ,  $[T_{lj,2}^{(k)}, T_{lj,3}^{(k)}]$  – интервал ожидаемого времени выполнения работ, рассчитываются по функциям принадлежности нечеткого множества, соответствующего оценке «возможного объема проектных работ из интервала  $[V_{lj,2}^{(k)}, V_{lj,3}^{(k)}]$ » и производительностям исполнителей проекта.

*Этап 3.* На основе метода, описанного в работах [7, 184], рассчитывается длительность критического пути (критического времени выполнения проекта)  $\Delta^{(k)}$  для каждой  $k$ -й альтернативы разработки проекта.

*Этап 4.* На основании интуиции или опыта по интервалам времени  $[T_1^{(k)}, T_2^{(k)}, T_3^{(k)}, T_4^{(k)}]$ , либо по средним значениям этих интервалов на основе анализа множества характеристик  $\Delta^{(k)}$ ,  $k = \overline{1, m}$ , осуществляется выбор приемлемой альтернативы разработки проекта.

Положим, что роль времени выполнения работ  $T_{ij}^{(k)}$  играет множество  $X$ , а объемов работ  $V_{ij}^{(k)}$  – множество  $Y$ , значения которых будем обозначать  $x$  и  $y$ . Производительность исполнителей  $T_n = \psi_{j,n}(V_{ij}^{(k)})$  – четкое отображение  $y = \varphi(x)$  возрастающее.

Первые два этапа алгоритма расчета показателя  $\Delta^{(k)}$  сводятся к нахождению по имеющейся функции принадлежности  $\mu_{\tilde{B}}(y)$  нечеткого множества  $\tilde{B}$  и известного четкого отображения  $\varphi(x)$  функции принадлежности  $\mu_{\tilde{A}}(x)$ . Поскольку необходимо найти ожидаемое время, за которое может быть выполнен заданный объем работ, то данная задача является обратной к исходной задаче и для ее решения можно использовать подход, описанный в [59]. В основу предлагаемого подхода положен образ нечеткого множества при четком и нечетком отображении, позволяющий рассчитывать в виде трапециевидного нечеткого числа ожидаемые времена выполнения работ, за которые может быть выполнен заданный объем работ.

Данный метод реализует следующий *четырёхшаговый алгоритм* (графическая иллюстрация метода представлена на рисунке 3.6).

*Шаг 1.* Строится функция принадлежности  $\mu_{\tilde{B}}(y)$  (кривая 1) нечеткого множества  $\tilde{B}$ .

*Шаг 2.* На основе функции принадлежности  $\mu_{\tilde{B}}(y)$  (кривая 1) формируются интервалы достоверности  $[y_{pн}, y_{pк}]$  посредством задания  $\alpha$ -уровней, причем при достаточно малом шаге  $\alpha_p \in [0, 1]$ ,  $p = 1, 2 \dots$  изменения значения  $\alpha$  можно получить достаточно большое количество интервалов достоверности.

*Шаг 3.* Формируются интервалы достоверности  $[x_{pн}, x_{pк}]$  посредством обращения четкого отображения  $y = \varphi(x)$  (кривая 2).

*Шаг 4.* Осуществляется построение функции принадлежности  $\mu_{\tilde{A}}(x)$  (кривая 3) по интервалам достоверности  $[x_{pн}, x_{pк}]$  и по значениям трапециевидного нечеткого числа  $x = (x_1, x_2, x_3, x_4)$ .

На рисунке 3.4  $y = (y_1, y_2, y_3, y_4)$  и  $x = (x_1, x_2, x_3, x_4)$  – трапециевидные нечеткие числа, где  $x_1, y_1$  – нижние границы интервала,  $[x_2, x_3]$  и  $[y_2, y_3]$  – интервалы наиболее ожидаемых значений анализируемых параметров,  $x_4, y_4$  – верхние границы интервала;  $[x_{pH}, x_{pK}]$ ,  $[y_{pH}, y_{pK}]$  – интервалы достоверности нечеткого множества  $\tilde{A}$  и  $\tilde{B}$  на  $\alpha_p$  уровне, причем  $x_{pH}, y_{pH}$  – начало, а  $x_{pK}, y_{pK}$  – конец данных интервалов.

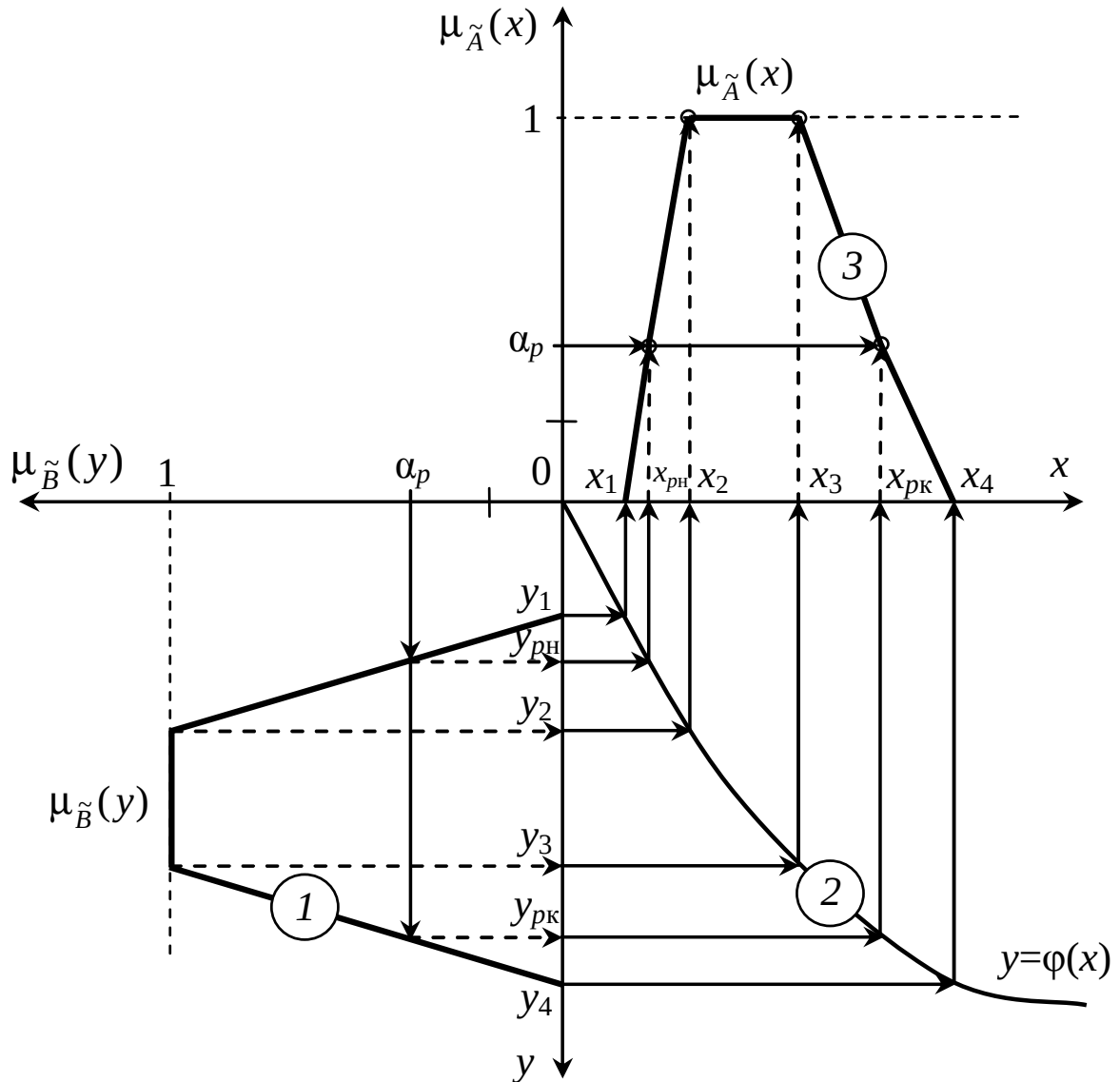


Рисунок 3.6 – Графическая иллюстрация построения функции принадлежности  $\mu_{\tilde{A}}(x)$  при четком отображении<sup>29</sup>

Прокомментируем смысл функции принадлежности  $\mu_{\tilde{A}}(x)$ , представленной на рисунке 3.6. Элементы  $x$  со значениями в интервале  $[x_2, x_3]$  принадлежат

<sup>29</sup> Рисунок адаптирован автором по материалам [59]

нечеткому множеству  $\tilde{A}$ , так как для них значение функции принадлежности  $\mu_{\tilde{A}}(x) = 1$ . Элементы  $x$  со значениями в интервалах  $[x_1, x_2]$  и  $[x_3, x_4]$  принадлежат нечеткому множеству  $\tilde{A}$  «в той или иной степени», причем эта степень тем выше, чем ближе значение  $x$  к центральному интервалу  $[x_2, x_3]$ .

В основу данного алгоритма положена известная процедура кусочно-линейной аппроксимации функции принадлежности нечетких множеств семейством четких интервалов – так называемых  $\alpha$ -уровней, соответствующих значениям  $\alpha$  функции принадлежности. Очевидно, что чем больше число  $\alpha$ -уровней, тем точнее результат данной аппроксимации. Применение  $\alpha$ -уровней на втором шаге алгоритма обусловлено тем, что оно упрощает процедуру извлечения знаний от исполнителей для построения функции принадлежности  $\mu_{\tilde{\Phi}(\tilde{A})}(x)$ .

Длина критического пути рассчитывается следующим образом. Если время выполнения каждой работы  $(l; j)$   $k$ -й альтернативы задано с помощью трапецевидного нечеткого числа  $T_{lj}^{(k)} = [T_{lj,1}^{(k)}, T_{lj,2}^{(k)}, T_{lj,3}^{(k)}, T_{lj,4}^{(k)}]$ , то ранние сроки выполнения работ по проекту  $T_{l,1}^{(k)} = T_{l,2}^{(k)} = T_{l,3}^{(k)} = T_{l,4}^{(k)} = [0, 0, 0, 0]$ ,  $l \in Q$ , где  $Q$  – множество работ, не требующих выполнения ни одной из проекта. Однако ранние и поздние сроки выполнения отдельных работ  $T_{lj}^{(k)}$  рассчитываются следующим образом:

$$T_{l,1}^{(k)} = \max_{j \in Q_l} (T_{j,1}^{(k)} + T_{jl,1}^{(k)}),$$

$$T_{l,2}^{(k)} = T_{j,2}^{(k)} + T_{jl,2}^{(k)},$$

$$T_{l,3}^{(k)} = T_{j,3}^{(k)} + T_{jl,3}^{(k)},$$

$$T_{l,4}^{(k)} = \max_{j \in Q_l} (T_{j,4}^{(k)} + T_{jl,4}^{(k)}),$$

где  $Q_l$  – множество работ, непосредственно предшествующих работе  $l$ .

Длина нечеткого критического пути  $k$ -й альтернативы принадлежит отрезку

$$\Delta^{(k)} = [T_1^{(k)}, T_2^{(k)}, T_3^{(k)}, T_4^{(k)}],$$

где  $T_1^{(k)} = \max_{l \in U} T_{l,1}^{(k)}$ ,  $T_4^{(k)} = \max_{l \in U} T_{l,4}^{(k)}$  – пессимистическая и оптимистическая оценки времени выполнения  $k$ -й альтернативы;  $[T_2^{(k)}, T_3^{(k)}]$  – интервал ожидаемого времени выполнения  $k$ -й альтернативы.

Далее рассмотрим случай, когда функциональная зависимость  $T_j^{(k)} = \varphi(V_j^{(k)})$ , определяющая производительность исполнителей, задана неточно, она «размыта», т.е. отображение  $\varphi: x \rightarrow y$  является нечетким отображением  $\tilde{\varphi}$  множества  $Y$  во множество  $X$  с функцией принадлежности  $\mu_{\tilde{\varphi}}(y, x)$ .

Полагаем, что задана производительность исполнителей проекта, которая известна неточно, поскольку строится на основе опроса мнения исполнителей, т.е. для каждого конкретного объема работ ставится не конкретное время работ, а нечеткое множество «возможное время выполнения работ» [92, 94, 95, 98, 101].

Для нахождения ожидаемого времени выполнения работ по проекту используется следующий *четырёхшаговый алгоритм* (графическая иллюстрация метода представлена на рисунке 3.7).

*Шаг 1.* Строится функция принадлежности  $\mu_{\tilde{B}}(y)$  (кривая 1) нечеткого множества  $\tilde{B}$ .

*Шаг 2.* На основе функции принадлежности  $\mu_{\tilde{B}}(y)$  (кривая 1) формируются интервалы достоверности  $[y_{pн}, y_{pк}]$  посредством задания  $\alpha$ -уровней, причем при достаточно малом шаге  $\alpha_p \in [0, 1]$ ,  $p = 1, 2, \dots$  изменения значения  $\alpha$  можно получить достаточное количество интервалов достоверности.

*Шаг 3.* Формируются интервалы достоверности  $[x_{pн}, x_{pк}]$  посредством обращения нечеткого отображения (кривая 2).

*Шаг 4.* Осуществляется построение функции принадлежности  $\mu_{\tilde{\varphi}(\tilde{A})}(x)$  (кривая 3) по интервалам достоверности  $[x_{pн}, x_{pк}]$  и по значениям трапециевидного нечеткого числа  $x = (x_1, x_2, x_3, x_4)$ .

*Конец алгоритма.*

Заметим, что на рисунке 3.7  $\mu_{\tilde{\Phi}(\tilde{A})}(x)$  (кривая 3), полученная посредством функции принадлежности  $\mu_{\tilde{B}}(y)$  нечеткого множества  $\tilde{B}$  и функции принадлежности  $\mu_{\tilde{\Phi}}(y, x)$  нечеткого множества  $\tilde{\Phi}$ , представляет собой нечеткое число  $\tilde{A}$  в виде набора  $\alpha$ -сечений  $[A]^0 = [x_1, x_4]$ ,  $[A]^p = [x_{pH}, x_{pK}]$ ,  $[A]^1 = [x_2, x_3]$  при заданном наборе  $\alpha$ -уровней.

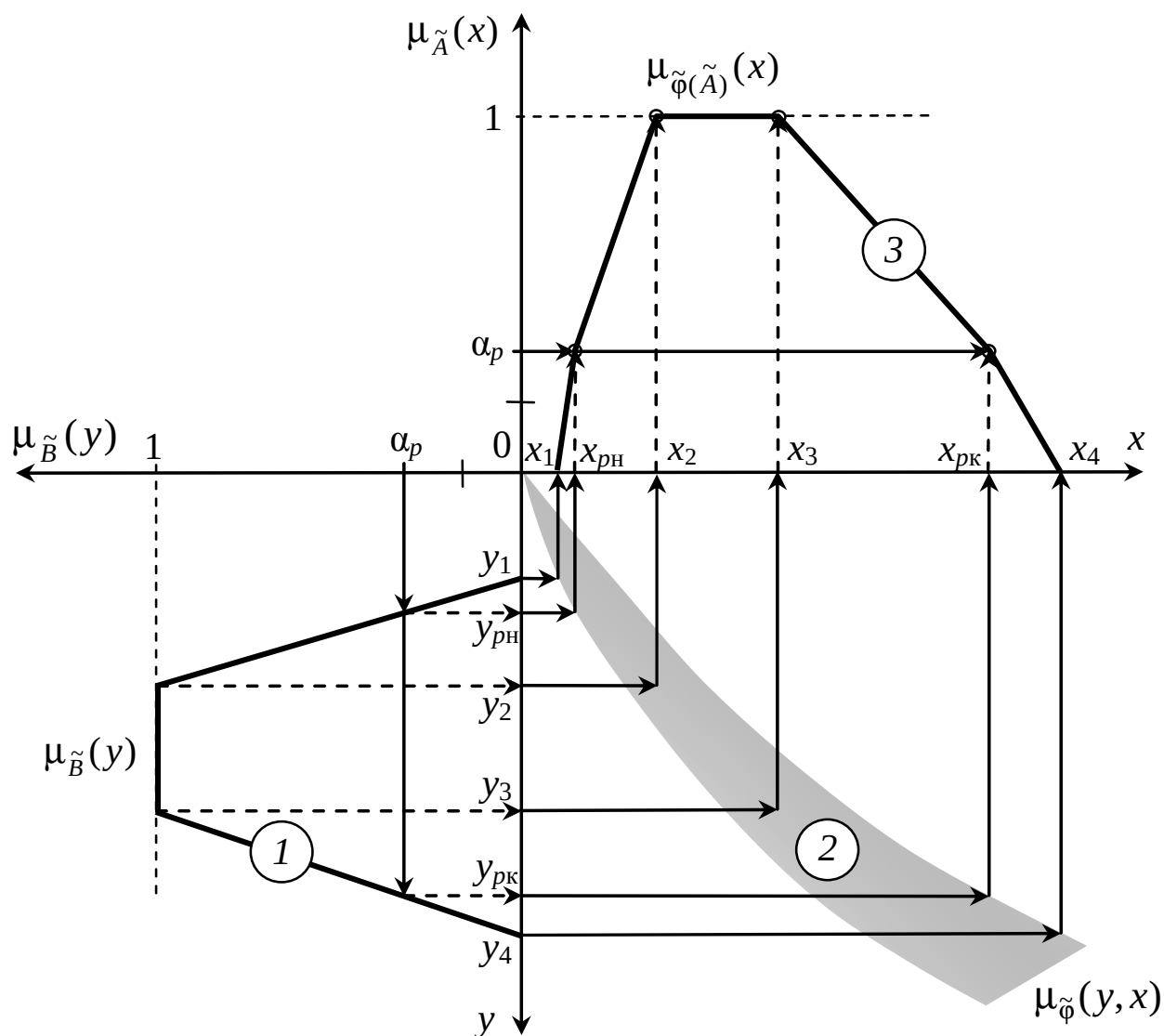


Рисунок 3.7 – Графическая иллюстрация построения функции принадлежности  $\mu_{\tilde{\Phi}(\tilde{A})}(x)$  при нечетком отображении<sup>30</sup>

Таким образом, предложен метод оценки реализуемости проектов по созданию ИУС в условиях нечеткой неопределенности, в основу которого положен образ нечеткого множества при четком и нечетком отображении,

<sup>30</sup> Рисунок адаптирован автором по материалам [59]



позволяющий рассчитывать в виде трапециевидного нечеткого числа ожидаемые времена выполнения работ, за которые может быть выполнен заданный объем работ. Данный метод позволяет на этапе предпроектного исследования принять решение либо о запуске проекта в производство, либо о формировании его новых альтернативных вариантов.

### **3.4. Разработка нечетко-интервального метода оценки реализуемости проектов по созданию информационно-управляющих систем в условиях интервальной неопределенности исходных данных**

В настоящее время достаточно распространена не однокритериальная, а многокритериальная оценка реализуемости проекта по созданию ИУС на основе векторного критерия, характеризующего технические, финансовые, экономические и коммерческие показатели разрабатываемого проекта [98].

Анализ моделей многокритериального оценивания альтернатив в условиях неопределенности показал, что значения параметров моделей часто представлены интервалами, поскольку имеется разброс мнений при получении значений параметров у исполнителей проектов.

Когда имеется интервальная и нечеткая информация, целесообразно применять нечетко-интервальный метод, адаптированный и предложенный автором в работе [89, 92, 96], идея которого заключается в следующем.

Пусть имеется множество альтернатив разработки проекта  $X = \{x^{(1)}, x^{(2)}, \dots, x^{(m)}\}$ ,  $x^{(k)} \in X$ ,  $k = \overline{1, m}$ , которые оцениваются кортежем из  $n$  частных критериев  $C = \langle c_j(x^{(k)}) \rangle$ ,  $j = \overline{1, n}$ . Ставится задача формирования скалярной интервальной оценки обобщенной полезности, характеризующей реализуемость каждой  $k$ -й альтернативы разработки проекта из общего числа  $m$  альтернатив с помощью аппарата интервальной арифметики

$$P(x^{(k)}) = \sum_{j=1}^n w_j^{\text{нор}} p_j^{\text{нор}}(x^{(k)}), \quad k = \overline{1, m}, \quad j = \overline{1, n}, \quad (3.10)$$

с возможностью последующего выбора приемлемой альтернативы

$$x^0 = \arg \max_{x^{(k)} \in X} P(x^{(k)}), \quad k = \overline{1, m}, \quad (3.11)$$

где  $w_j^{\text{нор}}$  – нормированный интервальный коэффициент относительной важности  $j$ -го частного критерия альтернатив  $x^{(k)} \in X$ ;  $p_j^{\text{нор}}(x^{(k)})$  – нормированные интервальные частные критерии альтернатив  $x^{(k)} \in X$ .

Обобщенная схема реализации данного метода, состоящего из пяти этапов, представлена на рисунке 3.8.

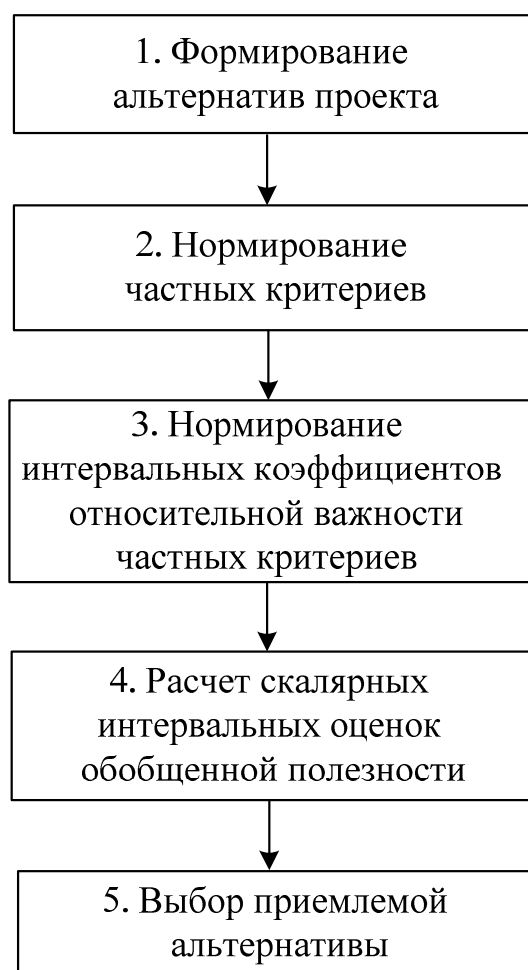


Рисунок 3.8 – Обобщенная схема реализации нечетко-интервального метода<sup>31</sup>

*Этап 1.* Формирование альтернатив проекта  $X = \{x^{(1)}, x^{(2)}, \dots, x^{(m)}\}$ , которые оцениваются частными критериями  $C = \langle c_j(x^{(k)}) \rangle$ ,  $k = \overline{1, m}$ ,  $j = \overline{1, n}$ .

Отметим, что частные критерии могут быть заданы в виде интервалов, а также в виде нечетких треугольных и трапецевидных чисел.

<sup>31</sup> Рисунок разработан автором

*Этап 2.* Нормирование частных критериев  $p_j^{\text{нор}}(x^{(k)})$  для каждой  $k$ -й альтернативы разработки проекта по формуле (3.12) либо по (3.13), либо по (3.14) [109]

1) для интервалов  $c_j(x^{(k)}) = [c_{j1}(x^{(k)}), c_{j2}(x^{(k)})]$

$$p_j^{\text{нор}}(x^{(k)}) = \left[ \frac{c_{j1}(x^{(k)})}{c_j^{\max}}, \frac{c_{j2}(x^{(k)})}{c_j^{\max}} \right], \quad c_j^{\max} = \max_{1 \leq k \leq m} \{c_{j2}^{(k)}\}, \quad (3.12)$$

где  $c_{j1}(x^{(k)})$ ,  $c_{j2}(x^{(k)})$  – минимальное и максимальное значения интервала;

2) для нечетких треугольных чисел  $c_j(x^{(k)}) = [c_{j1}(x^{(k)}), c_{j2}(x^{(k)}), c_{j3}(x^{(k)})]$

$$p_j^{\text{нор}}(x^{(k)}) = \left[ \frac{c_{j1}(x^{(k)})}{c_j^{\max}}, \frac{c_{j2}(x^{(k)})}{c_j^{\max}}, \frac{c_{j3}(x^{(k)})}{c_j^{\max}} \right], \quad c_j^{\max} = \max_{1 \leq k \leq m} \{c_{j3}^{(k)}\}, \quad (3.13)$$

где  $c_{j1}(x^{(k)})$ ,  $c_{j2}(x^{(k)})$ ,  $c_{j3}(x^{(k)})$  – минимальное, наиболее ожидаемое и максимальное значения интервала;

3) для трапециевидных чисел  $c_j(x^{(k)}) = [c_{j1}(x^{(k)}), c_{j2}(x^{(k)}), c_{j3}(x^{(k)}), c_{j4}(x^{(k)})]$

$$p_j^{\text{нор}}(x^{(k)}) = \left[ \frac{c_{j1}(x^{(k)})}{c_j^{\max}}, \frac{c_{j2}(x^{(k)})}{c_j^{\max}}, \frac{c_{j3}(x^{(k)})}{c_j^{\max}}, \frac{c_{j4}(x^{(k)})}{c_j^{\max}} \right], \quad c_j^{\max} = \max_{1 \leq k \leq m} \{c_{j4\max}^{(k)}\}, \quad (3.14)$$

где  $c_{j1}(x^{(k)})$ ,  $c_{j4}(x^{(k)})$  – пессимистическая и оптимистическая оценки границ интервалов,  $[c_{j2}(x^{(k)}), c_{j3}(x^{(k)})]$  – интервал наиболее ожидаемых значений.

Отметим, что нормализация частных критериев необходима, поскольку их численные значения отличаются единицами измерения и порядком величин, что затрудняет дальнейшие операции с этими критериями. Частные критерии могут быть представлены в виде интервальных или нечетких  $L$ - $R$ -типа (например, треугольных, трапециевидных) чисел.

*Этап 3.* Нормирование интервальных коэффициентов  $j = \overline{1, n}$  относительной важности частных критериев

$$w_j^{\text{нор}} = \frac{w_j}{\sum_{j=1}^n w_j}, \quad j = \overline{1, n}, \quad (3.15)$$

где  $w_j$  – интервальный коэффициент относительной важности  $j$ -го частного критерия, который может быть сформирован на основе опроса мнения исполнителей проекта и представлены в виде интервалов, нечетких треугольных и трапециевидных чисел.

Если нормированный интервальный коэффициент относительной важности  $j$ -го частного критерия в виде интервала  $w_j^{\text{нор}} = [\alpha_{j1}, \alpha_{j2}]$ , где  $\alpha_{j1}, \alpha_{j2}$  – минимальное и максимальное значения интервала, то при этом полагается, что  $\sum_{j=1}^n \alpha_{j1} < 1, \sum_{j=1}^n \alpha_{j2} > 1$ , так как в противном случае задача (3.11) не имеет решения из-за невозможности выполнения ограничения  $\sum_{j=1}^n \alpha_j = 1$  [15].

Если нормированный интервальный коэффициент относительной важности  $j$ -го частного критерия в виде нечеткого треугольного числа  $w_j^{\text{нор}} = [\alpha_{j1}, \alpha_{j2}, \alpha_{j3}]$ , где  $\alpha_{j1}, \alpha_{j2}, \alpha_{j3}$  – минимальное, наиболее ожидаемое и максимальное значения интервала, то при этом полагается, что  $\sum_{j=1}^n \alpha_{j1} < 1, \sum_{j=1}^n \alpha_{j3} > 1$ . Иначе задача (3.11) не имеет решения.

Если нормированный интервальный коэффициент относительной важности  $j$ -го частного критерия в виде нечеткого треугольного числа  $w_j^{\text{нор}} = [\alpha_{j1}, \alpha_{j2}, \alpha_{j3}, \alpha_{j4}]$ , где  $\alpha_{j1}, \alpha_{j4}$  – пессимистическая и оптимистическая оценки границ интервалов,  $[\alpha_{j2}, \alpha_{j3}]$  – интервал наиболее ожидаемых значений, то при этом полагается, что  $\sum_{j=1}^n \alpha_{j1} < 1, \sum_{j=1}^n \alpha_{j4} > 1$ . Иначе задача (3.11) не имеет решения.

*Этап 4.* Расчет на основе соотношения (3.10) скалярных интервальных оценок обобщенной полезности  $P(x^{(k)})$  для каждой  $k$ -й альтернативы разработки проекта.

*Этап 5.* Выбор приемлемой альтернативы разработки проекта на основе интервальной оценки, которая имеет наибольшее значение.

Следует отметить, что задача (3.11) корректна в том в случае, если интервалы частных критериев не пересекаются, т.е. можно сравнивать интервалы между собой, и устанавливаются отношения «больше» либо «меньше» [132]. В случае, если не выполняется условие (3.11), то задача (3.10) не имеет единственного решения и необходима ее трансформация на основе привлечения дополнительной, внешней по отношению к исходной задаче, информации. Носителем такой информации при решении задач многокритериальной оптимизации является руководитель проекта, поскольку он принимает решение. В настоящее время широко используются методы, позволяющие трансформировать исходную задачу многокритериальной оптимизации в задачу однокритериальной скалярной оптимизации. К ним относятся принцип главного критерия; схема последовательной оптимизации; анализ иерархий и др.

Другим подходом к выбору приемлемой альтернативы проекта может служить упорядочивание интервальных оценок обобщенной полезности  $P(x^{(k)})$ , представленных в виде трапецевидных нечетких чисел, в соответствии с их рангами. Для сравнения нечетких трапецевидных чисел предлагаются методы Чью-Парка, Чанга, Кауфмана-Гупты [10]:

1) *Метод Чью-Парка.* Сначала фиксируется параметр  $w$ , а затем каждому трапецевидному числу  $X = [x_1, x_2, x_3, x_4]$  ставится в соответствие (четкое) число

$$cr(X) = \frac{x_1 + x_2 + x_3 + x_4}{4} + w \frac{x_2 + x_3}{2}.$$

Отметим, что единых правил по выбору параметра  $w$  нет, поэтому по умолчанию принимают  $w = 1$ . Упорядочение осуществляется по возрастанию значений  $cr(X)$ .

2) *Метод Чанга*. Трапециевидные числа  $X = [x_1, x_2, x_3, x_4]$  упорядочиваются по возрастанию значений

$$\text{ch}(X) = \frac{x_3^2 + x_3x_4 + x_4^2 - x_1^2 - x_1x_2 - x_2^2}{4}.$$

3) *Метод Кауфмана-Гупты*. Сначала для трапециевидного числа  $X = [x_1, x_2, x_3, x_4]$  вычисляются три величины

$$kg_1(X) = \frac{x_1 + 2x_2 + 2x_3 + x_4}{6}, \quad kg_2(X) = \frac{x_3 + x_4}{2}, \quad kg_3(X) = x_4 - x_1.$$

Затем упорядочивают по следующему правилу:  $X_1 \geq X_2$ , если  $kg_1(X_1) > kg_1(X_2)$  или  $kg_1(X_1) = kg_1(X_2)$  и  $kg_2(X_1) > kg_2(X_2)$  или  $kg_1(X_1) = kg_1(X_2)$ ,  $kg_2(X_1) = kg_2(X_2)$  и  $kg_3(X_1) > kg_3(X_2)$ .

Заметим, что рассмотренные выше методы выбора приемлемой альтернативы проекта могут давать разные результаты.

В случае нечетких треугольных чисел  $X = [x_1, x_2, x_3]$  выбор приемлемой альтернативы проекта осуществлять по ожидаемому значению  $x_2$ . Приемлемой альтернативой является та альтернатива, у которой наибольшее ожидаемое значение.

Далее рассмотрим *пример оценки и выбора приемлемой проектной альтернативы в условиях интервальной неопределенности*.

Допустим, что число альтернатив разработки проекта конечно и частные критерии заданы в виде нечетких трапециевидных чисел, причем их границы пересекаются.

Имеется четыре альтернативы  $(x^{(1)}, x^{(2)}, x^{(3)})$  разработки проекта, которые описываются четырьмя частными критериями:  $c_1$  – время выполнения проекта, мес.;  $c_2$  – стоимость проекта, тыс. руб.;  $c_3$  – срок окупаемости, мес. Необходимо оценить альтернативы разработки проекта с возможностью последующего выбора приемлемой альтернативы для ее дальнейшего осуществления.

Расчетные значения частных критериев для каждой альтернативы представлены в таблице 3.4. На основе таблицы 3.4 осуществляется нормализация частных критериев  $p_j^{\text{нор}}(x^{(k)})$ , результаты которых представлены в таблице 3.5.

Таблица 3.4 – Расчетные значения частных критериев реализуемости альтернатив

| Альтернативы проекта | Частные критерии реализуемости альтернатив |                 |                 |
|----------------------|--------------------------------------------|-----------------|-----------------|
|                      | $c_1$                                      | $c_2$           | $c_3$           |
| $x^{(1)}$            | [9,5, 10, 10,5]                            | [650, 730, 760] | [1,5, 2,3, 2,7] |
| $x^{(2)}$            | [8,5, 9,5, 10]                             | [700, 770, 800] | [2,5, 2,9, 3,5] |
| $x^{(3)}$            | [10, 11, 12]                               | [650, 800, 850] | [2, 2,5, 3]     |

Таблица 3.5 – Расчетные нормированные значения частных критериев реализуемости альтернатив

| Альтернативы проекта | Нормированные значения частных критериев реализуемости альтернатив |                    |                    |
|----------------------|--------------------------------------------------------------------|--------------------|--------------------|
|                      | $c_1$                                                              | $c_2$              | $c_3$              |
| $x^{(1)}$            | [0,79, 0,83, 0,88]                                                 | [0,76, 0,86, 0,89] | [0,43, 0,66, 0,77] |
| $x^{(2)}$            | [0,71, 0,79, 0,83]                                                 | [0,82, 0,91, 0,94] | [0,71, 0,83, 1]    |
| $x^{(3)}$            | [0,83, 0,92, 1]                                                    | [0,76, 0,94, 1]    | [0,57, 0,71, 0,86] |

Затем на основе опроса мнения исполнителей проекта осуществляется нормализация интервальных коэффициентов относительной важности частных критериев. Известны следующие коэффициенты относительной важности в виде нечетких трапециевидных чисел:

$$w_1 = [3, 3,5, 4], \quad w_2 = [3, 3,8, 4,5], \quad w_3 = [1, 2, 2,3].$$

Далее на основе соотношения (3.15) рассчитываются нормированные интервальные коэффициенты относительной важности частных критериев:

$$w_1^H = [0,28, 0,37, 0,57], \quad w_2^H = [0,28, 0,4, 0,64], \quad w_3^H = [0,09, 0,22, 0,33].$$

Затем рассчитываются скалярные интервальные оценки обобщенной полезности  $P(x^{(k)})$  для каждой альтернативы проекта:

$$P(x^{(1)}) = [0,55, 0,77, 1,45], \quad P(x^{(2)}) = [0,63, 0,98, 1,77], \quad P(x^{(3)}) = [0,19, 0,57, 0,94].$$

Поскольку интервалы частных критериев пересекаются, то выбор наилучшей альтернативы на основе выражение (3.11) осуществлять нельзя. В данном примере выбор наилучшей альтернативы осуществлять по ожидаемому значению:

$$Cp (P(x^{(1)})) = 0,77; \quad Cp (P(x^{(2)})) = 0,98;$$

$$Cp (P(x^{(3)})) = 0,57.$$

Наилучшей альтернативой разработки проекта является альтернатива  $x^{(2)}$ , за которой следует альтернатива  $x^{(1)}$ .

Таким образом, предложен метод оценки реализуемости проектов по созданию ИУС с использованием аппарата интервальной арифметики, основанный на сравнительном анализе возможных альтернатив разработки данного проекта в условиях интервальной неопределенности исходных данных. Оценка каждой альтернативы разработки проекта заключается в формировании скалярной интервальной оценки обобщенной полезности. Предложенный метод позволяет выбрать наиболее приемлемую альтернативу создания ИУС в случае, когда значения частных критериев альтернатив проекта пересекаются.

### **3.5. Разработка метода оценки реализуемости проектов по созданию информационно-управляющих систем с использованием генетического алгоритма**

Идея метода оценки реализуемости проектов по созданию ИУС с использованием генетического алгоритма, адаптированного автором, заключается в анализе возможных альтернатив разработки проекта [93]. Оценка каждой  $k$ -й альтернативы разработки проекта осуществляется на основе найденной ожидаемой стоимости альтернативы  $s(x^{(k)})$ ,  $k = 1, \dots, m$ , и формировании интервальной многокритериальной оценки  $P(x^{(k)})$ .

Опишем вводимые допущения: во-первых, разработано и анализируется четыре альтернативы разработки проекта  $(x^{(1)}, x^{(2)}, x^{(3)}, x^{(4)})$ ; во-вторых, рассмотрено четыре частных критерия реализуемости альтернатив, которые могут быть представлены в виде нечетких трапецевидных чисел, причем их границы могут пересекаться; в-третьих, частный критерий стоимости альтернатив



обозначен через  $s(x^{(k)})$ ,  $s(x^{(k)}) = (s_1^{(k)}, s_2^{(k)}, s_3^{(k)}, s_4^{(k)})$  ( $s_1^{(k)}$ ,  $s_4^{(k)}$  – пессимистическая и оптимистическая оценки стоимости;  $[s_2^{(k)}, s_3^{(k)}]$  – интервал ожидаемой стоимости).

Имеется ограниченное множество альтернатив разработки проекта  $X = \{x^{(1)}, x^{(2)}, \dots, x^{(m)}\}$ , где каждая альтернатива  $x^{(k)} \in X$ ,  $k = \overline{1, m}$  оценивается кортежем из  $n$  ненормированных интервальных частных критериев  $C = \langle c_j(x^{(k)}) \rangle$ ,  $j = \overline{1, n}$ . Ставится задача нахождения вектора ожидаемой стоимости для каждой  $k$ -й альтернативы разработки проекта:

$$s(x^{(k)}) = (s_1^{(k)}, s_2^{(k)}, s_3^{(k)}, s_4^{(k)}), \quad k = \overline{1, m},$$

применительно к оценке обобщенной полезности, характеризующей реализуемость каждой  $k$ -й альтернативы разработки проекта:

$$P(x^{(k)}) = \sum_{j=1}^n w_j^{\text{нор}} p_j^{\text{нор}}(x^{(k)}), \quad k = \overline{1, m}, \quad j = \overline{1, n}, \quad (3.16)$$

с возможностью последующего выбора приемлемой альтернативы.

Здесь  $w_j^{\text{нор}}$  – нормированный интервальный коэффициент относительной важности  $j$ -го частного критерия альтернатив  $x^{(k)} \in X$ ;  $p_j^{\text{нор}}(x^{(k)})$  – нормированные интервальные частные критерии альтернатив  $x^{(k)} \in X$  ( $0 < p_j^{\text{нор}}(x^{(k)}) < 1$ ).

Таким образом, задача оценки реализуемости альтернатив разработки проектов описывается следующей целевой функцией

$$P(x^{(k)}) = \sum_{j=1}^n w_j^{\text{нор}} p_j^{\text{нор}}(x^{(k)}) \rightarrow \max, \quad x^{(k)} \in X, \quad (3.17)$$

и ограничениями

$$w_j^{\text{нор}} = [\alpha_{j1}, \alpha_{j2}, \alpha_{j3}, \alpha_{j4}], \quad (3.18)$$

$$s_{\min} \leq s(x^{(k)}) \leq s_{\max}, \quad (3.19)$$

где  $\sum_{j=1}^n \alpha_{j1} < 1$ ,  $\sum_{j=1}^n \alpha_{j4} > 1$ ;  $s_1$  и  $s_2$  – значения минимальной и максимальной стоимости альтернатив.

Решаемая задача имеет комбинаторный характер и может быть сформулирована как поиск наилучшего решения. Для нахождения ожидаемой стоимости альтернативы  $s(x^{(k)})$  предлагается генетический алгоритм, состоящий из шестнадцати шагов (рисунок 3.9).

*Шаг 1.* Ввод исходных данных:  $c_j(x^{(k)})$  – ненормированные интервальные частные критерии альтернатив;  $s_{\min}$  и  $s_{\max}$  – значения минимальной и максимальной стоимости альтернатив;  $kol$  – количество итераций;  $d$  – позиция кроссинговера;  $q$  – позиция мутации;  $w_j$  – интервальный коэффициент относительной важности  $j$ -го частного критерия альтернатив.

*Шаг 2.* Определение необходимых условий оптимизации: целевая функция (3.17) и ограничения (3.18)–(3.19).

*Шаг 3.* Формирование начальной популяции – особей-родителей (четыре варианта векторов стоимости для каждой  $k$ -й альтернативы разработки проекта) с использованием генератора случайных чисел:

$$s_1^P(x^{(1)}) = (s_1^{P(1)}, s_2^{P(1)}, s_3^{P(1)}, s_4^{P(1)}), s_2^P(x^{(2)}) = (s_1^{P(2)}, s_2^{P(2)}, s_3^{P(2)}, s_4^{P(2)}),$$

$$s_3^P(x^{(3)}) = (s_1^{P(3)}, s_2^{P(3)}, s_3^{P(3)}, s_4^{P(3)}), s_4^P(x^{(4)}) = (s_1^{P(4)}, s_2^{P(4)}, s_3^{P(4)}, s_4^{P(4)}).$$

*Шаг 4.* Если условие (3.19) для особей-родителей соблюдается, то переход к шагу 5; если условие (3.19) не соблюдается, то переход к шагу 3.

*Шаг 5.* Добавление вектора  $s_k^P(x^{(k)})$  в популяцию.

*Шаг 6.* Осуществление операции одноточечного кроссинговера над полученными вариантами векторов стоимости  $k$ -й альтернативы  $s^P(x^{(k)})$  (точка кроссинговера  $d < 4$ ). В результате операции кроссинговера получается 12 особей-потомков:

$$s_1^{\Pi}(x^{(1)}) = (s_1^{P(1)}, s_d^{P(1)}, s_{d+1}^{P(2)}, s_4^{P(2)}), s_2^{\Pi}(x^{(2)}) = (s_1^{P(2)}, s_d^{P(2)}, s_{d+1}^{P(1)}, s_4^{P(1)}),$$

$$s_3^{\Pi}(x^{(1)}) = (s_1^{P(1)}, s_d^{P(1)}, s_{d+1}^{P(3)}, s_4^{P(3)}), s_4^{\Pi}(x^{(3)}) = (s_1^{P(3)}, s_d^{P(3)}, s_{d+1}^{P(1)}, s_4^{P(1)}),$$

$$s_5^{\Pi}(x^{(1)}) = (s_1^{P(1)}, s_d^{P(1)}, s_{d+1}^{P(4)}, s_4^{P(4)}), s_6^{\Pi}(x^{(4)}) = (s_1^{P(4)}, s_d^{P(4)}, s_{d+1}^{P(1)}, s_4^{P(1)}),$$

$$s_7^{\Pi}(x^{(2)}) = (s_1^{P(2)}, s_d^{P(2)}, s_{d+1}^{P(3)}, s_4^{P(3)}), s_8^{\Pi}(x^{(3)}) = (s_1^{P(3)}, s_d^{P(3)}, s_{d+1}^{P(2)}, s_4^{P(2)}),$$

$$s_9^{\Pi}(x^{(2)}) = (s_1^{P(2)}, s_d^{P(2)}, s_{d+1}^{P(4)}, s_4^{P(4)}), \quad s_{10}^{\Pi}(x^{(4)}) = (s_1^{P(4)}, s_d^{P(4)}, s_{d+1}^{P(2)}, s_4^{P(2)}),$$

$$s_{11}^{\Pi}(x^{(3)}) = (s_1^{P(3)}, s_d^{P(3)}, s_{d+1}^{P(4)}, s_4^{P(4)}), \quad s_{12}^{\Pi}(x^{(4)}) = (s_1^{P(4)}, s_d^{P(4)}, s_{d+1}^{P(3)}, s_4^{P(3)}).$$

*Оператор кроссинговера (кроссовера, скрещивания)* позволяет на основе скрещивания хромосом родителей создавать хромосомы потомков. *Одноточечное скрещивание* заключается в разрезании хромосом родителей в выбранной случайным образом общей точке разреза (разрыва) и обмен правыми частями («хвостами» хромосом).

*Шаг 7.* Если условие (3.19) для полученных особей-потомков соблюдается, то переход к шагу 8; если условие (3.19) не соблюдается, то переход к шагу 6.

*Шаг 8.* Добавление вектора  $s_h^{\Pi}(x^{(k)})$ ,  $h = 1, \dots, 12$  в популяцию.

*Шаг 9.* Осуществление операции одноточечной мутации полученных 12 особей-потомков (точка мутации  $q < 4$ ). Из пришедшей особи-потомка путем мутации получается новая особь-потомок с мутированными генами  $\bar{s}_1^M(x^{(1)}) = (s_1^M, s_q^M, \bar{s}_{q+1}^M, s_4^M)$ . Аналогичным образом данная операция производится и над остальными особями-потомками.

*Оператор мутации* позволяет случайно вносить изменения в особи, которые впоследствии приобретают новые свойства. *Одноточечная мутация* заключается в случайном выборе гена, который обменивается своим значением с рядом расположенным геном.

*Шаг 10.* Осуществление нормирования частных критериев  $p_j^{\text{нор}}(x^{(k)})$ , в том числе и ожидаемая стоимость альтернатив для каждой  $k$ -й альтернативы разработки проекта по формуле (3.14), интервальных коэффициентов  $w_j^{\text{нор}}$  относительной важности частных критериев по формуле (3.15).

*Шаг 11.* Расчет значений целевой функции (3.16) для всех особей популяции, а именно – для всех вариантов векторов ожидаемой стоимости альтернатив проекта.

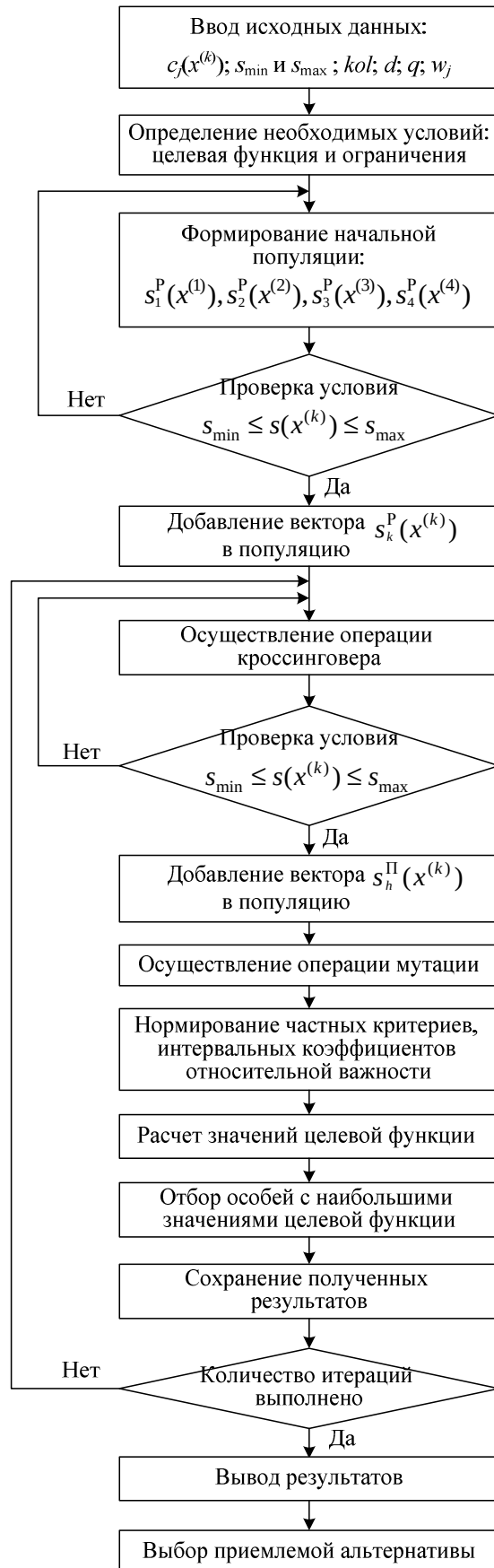


Рисунок 3.9 – Генетический алгоритм нахождения ожидаемой стоимости альтернативы<sup>32</sup>

<sup>32</sup> Алгоритм разработан автором

*Шаг 12.* Отбор четырех особей (четыре векторов) из 12 возможных с наибольшими значениями целевой функции, которые будут родителями для следующей итерации (поколения), или же в случае выполнения всех итерации – результатом вычислений.

Поскольку в предложенной задаче рассматриваются четыре альтернативы разработки проекта, то отбирается всего четыре вектора ожидаемой стоимости альтернатив проекта. Отбор особей производится ранговым методом, т.е. особи популяции ранжируются по значениям их функции приспособленности (ранжирование проводится по возрастанию величин). Так как оценки обобщенной полезности  $P(x^{(k)})$  представлены в виде трапециевидных нечетких чисел, то для выбора приемлемой альтернативы проекта применяется метод Чью-Парка, описанный подробно в параграфе 3.4.

*Шаг 13.* Сохранение полученных результатов.

*Шаг 14.* Если условие выполнения количества итераций соблюдается, то переход к шагу 14; если условие не соблюдается, то переход к шагу 6.

*Шаг 15.* Вывод результатов (векторы ожидаемой стоимости альтернатив  $s(x^{(k)})$  и многокритериальной оценки  $Cr(P(x^{(k)}))$  для каждой  $k$ -й альтернативы разработки проекта).

*Шаг 16.* Выбор приемлемой альтернативы. Приемлемой альтернативой считается та, у которой обобщенная полезность является наибольшей.

*Конец алгоритма.*

Далее рассмотрим пример. Целью вычислительных экспериментов является нахождение оптимального решения задачи оценки реализуемости альтернативы разработки проекта для возможности дальнейшей его реализации. Далее рассмотрим работу генетического алгоритма, описанного выше на конкретном примере.

Имеются четыре альтернативы  $(x^{(1)}, x^{(2)}, x^{(3)}, x^{(4)})$  разработки проекта, которые описываются четырьмя частными критериями:  $c_1$  – время выполнения проекта, мес.;  $c_2$  – количество исполнителей, чел.;  $c_3$  – вероятность успеха проекта в условиях возникновения ситуаций, при которых цели, поставленные в проекте,

могут быть не достигнуты полностью или частично, а также примерная стоимость проекта  $s(x_i) = [600, 760]$  тыс. руб. ( $i = 1, \dots, 4$ ). Необходимо провести оценку альтернатив с последующим выбором альтернативы разработки проекта.

Расчетные значения частных критериев для каждой альтернативы представлены в таблице 3.6.

Таблица 3.6 – Расчетные значения частных критериев реализуемости альтернатив

| Альтернативы<br>проекта | Частные критерии<br>реализуемости альтернатив |                  |                          |
|-------------------------|-----------------------------------------------|------------------|--------------------------|
|                         | $c_1$                                         | $c_2$            | $c_3$                    |
| $x^{(1)}$               | [9,5, 10, 10,7, 11]                           | [10, 12, 13, 15] | [0,8, 0,82, 0,83, 0,84]  |
| $x^{(2)}$               | [8,7, 9, 9,5, 10]                             | [8, 9, 10, 12]   | [0,83, 0,85, 0,86, 0,87] |
| $x^{(3)}$               | [9,2, 9,6, 10, 10,3]                          | [9, 10, 11, 12]  | [0,8, 0,83, 0,84, 0,85]  |
| $x^{(4)}$               | [9,5, 9,8, 10,3, 10,7]                        | [10, 11, 12, 13] | [0,84, 0,86, 0,87, 0,9]  |

На основе опроса мнения исполнителей были получены коэффициенты относительной важности частных критериев в виде трапецевидных чисел:

$$w_1 = [3, 3,2, 3,5, 4], \quad w_2 = [3, 3,5, 3,7, 4],$$

$$w_3 = [2, 2,4, 2,6, 3], \quad w_{4(s)} = [2,5, 2,8, 3, 3,2],$$

где  $w_{4(s)}$  – весовой коэффициент относительной важности критерия стоимости альтернативы.

Начальные значения параметров генетического алгоритма следующие: точка кроссовера (скрещивания) – 1; точка мутации – 1; количество итераций – 10.

В результате тестовой работы разработанного ПО (приложение А), особенностью которого является работа с интервальными значениями, были получены следующие решения, представленные в таблице 3.7.

Таблица 3.7 – Результаты оптимизации

| Альтернативы проекта | Вектор стоимости проекта | Оценка обобщенной полезности |
|----------------------|--------------------------|------------------------------|
| $x^{(1)}$            | [600, 656, 661, 721]     | 0,94                         |
| $x^{(2)}$            | [600, 692, 710, 736]     | 0,72                         |
| $x^{(3)}$            | [600, 674, 693, 709]     | 0,55                         |
| $x^{(4)}$            | [600, 685, 743, 750]     | 0,69                         |

Из таблице 3.7 видно, что альтернатива  $x_1$  со значениями стоимости [600, 656, 7661, 721] и соответствующей ей обобщенной полезностью  $F(x^{(1)}) = 0,94$  является наилучшей альтернативой разработки проекта.

Вектор распределения [600, 656, 7661, 721] означает, что реализация альтернативы  $x^{(1)}$  разработки проекта составит от 656 до 717 тыс. руб.

Таким образом, предложен метод оценки реализуемости проектов по созданию ИУС с использованием генетического алгоритма, основанный на нахождении вектора ожидаемой стоимости для каждой альтернативы разработки проекта применительно к оценке обобщенной полезности, характеризующей реализуемость каждой альтернативы разработки проекта, и позволяет выбрать наиболее приемлемую альтернативу создания ИУС в случае, когда значения частных критериев альтернатив проекта пересекаются.

### Выводы по главе 3

1) Разработан метод оценки затрат времени на создание ПО ИУС в условиях интервальной неопределенности исходных данных с использованием аппарата интервальной арифметики, основанный на сравнительном анализе возможных альтернатив разработки данного проекта и выборе приемлемой альтернативы. Оценка каждой альтернативы осуществляется на основе специально сформированного *нечеткого показателя* в виде общего времени, затраченного на создание ПО ИУС.

2) Разработан метод оценки реализуемости проектов по созданию ПО ИУС в условиях интервальной неопределенности исходных данных с использованием топологических характеристик и нечетко-множественного метода, основанный на

сравнительном анализе возможных альтернатив разработки данного проекта, выборе приемлемой альтернативы и расчете времени разработки ПС выбранной альтернативы. Оценка каждой альтернативы осуществляется на основе топологических характеристик.

3) Разработан метод оценки реализуемости проектов по созданию ИУС в условиях нечеткой неопределенности, в основу которого положен образ нечеткого множества при четком и нечетком отображении, позволяющий рассчитывать в виде трапецевидного нечеткого числа ожидаемое время выполнения работ, за которые может быть выполнен заданный объем работ.

4) Разработан метод оценки реализуемости проектов по созданию ИУС в условиях интервальной неопределенности исходных данных с использованием аппарата интервальной арифметики, основанный на сравнительном анализе возможных альтернатив разработки данного проекта. Оценка каждой альтернативы разработки проекта заключается в формировании скалярной интервальной оценки обобщенной полезности. Предложенный метод позволяет выбрать наиболее приемлемую альтернативу создания ИУС в случае, когда значения частных критериев альтернатив проекта пересекаются.

5) Разработан метод оценки реализуемости проектов по созданию ИУС с использованием генетического алгоритма, основанный на нахождении вектора ожидаемой стоимости для каждой альтернативы разработки проекта применительно к оценке обобщенной полезности, характеризующей реализуемость каждой альтернативы разработки проекта. Предложенный метод позволяет выбрать наиболее приемлемую альтернативу создания ИУС в случае, когда значения частных критериев альтернатив проекта пересекаются.

Отметим, что все предложенные методы оценки реализуемости проектов по созданию ПО и ИУС в условиях интервальной неопределенности и нечеткости исходных данных, позволяют на этапе предпроектного исследования:

– сэкономить бюджетные средства, снизить возможные проектные риски при создании ПО ИУС, а также сократить ошибки при принятии управленческих решений руководителями проектов;



– принять решение либо о запуске проекта в производство, либо о формировании его новых альтернативных вариантов, тем самым принять взвешенное решение о дальнейшем этапе проектирования и изготовления ПО и ИУС.

## **Глава 4. Методы поддержки принятия решений для оценки реализуемости проектов по созданию информационно-управляющих систем с использованием методологии нечеткого когнитивного моделирования**

Рассматриваются методы поддержки принятия решений для оценки реализуемости проектов по созданию ИУС с использованием методологии нечеткого когнитивного моделирования, преимуществом которого является возможность формализации численно неизмеримых факторов, а также использование интервалов и нечетких исходных данных.

### **4.1. Разработка алгоритма обработки неопределенных исходных данных**

В настоящее время, несмотря на значительное число работ многих отечественных и зарубежных авторов, посвященных моделированию на НКМ, проблема обработки исходных данных (значений факторов и связей между ними) до сих пор остается открытой. Это связано с тем, что в работах не рассматривается этап обработки исходных данных, а сразу предполагается, что значения факторов представлены безразмерными величинами, принимающими значения в интервале  $[0, 1]$  и значения связей между ними, находящиеся в интервале  $[-1, 1]$  [74, 188, 223, 225, 227]. Очевидно, что в реальной ситуации при создании ИУС данные условия не выполняются.

Для решения данной проблемы предлагается алгоритм обработки неопределенных исходных данных, состоящий из десяти шагов (рисунок 4.1) [91].

#### ***Алгоритм обработки неопределенных исходных данных.***

Поскольку обработка исходных данных является подготовительным этапом для построения НКМ, то далее оперируем понятием «вершина».

*Шаг 1.* Ввод исходных данных (значений параметров вершин и связей между ними).

Значения параметров вершин  $x_{v_i}$ ,  $i = \overline{1, h}$  ( $h$  – количество факторов) могут быть представлены в виде:

1) чисел, которые отличаются единицами измерения и порядком величин;

2) интервалов  $x_{v_i} = [x_{v_i1}, x_{v_i2}]$ , где  $x_{v_i1}, x_{v_i2}$  – минимальное и максимальное значения вершин;

3) нечетких треугольных чисел  $x_{v_i} = [x_{v_i1}, x_{v_i2}, x_{v_i3}]$ , где  $x_{v_i1}, x_{v_i2}, x_{v_i3}$  – минимальное, наиболее ожидаемое и максимальное значения вершин;

4) нечетких трапециевидных чисел  $x_{v_i} = [x_{v_i1}, x_{v_i2}, x_{v_i3}, x_{v_i4}]$ , где  $x_{v_i1}, x_{v_i4}$  – пессимистическая и оптимистическая оценки границ интервалов,  $[x_{v_i2}, x_{v_i3}]$  – интервал наиболее возможной оценки;

5) вербальных описаний.

Значения связей между вершинами  $w_{ij}, i, j = \overline{1, h}$  могут быть представлены в виде:

1) интервалов  $w_{ij} = [w_{ij1}, w_{ij2}]$ , где  $w_{ij1}, w_{ij2}$  – минимальное и максимальное значения связей;

2) нечетких треугольных чисел  $w_{ij} = [w_{ij1}, w_{ij2}, w_{ij3}]$ , где  $w_{ij1}, w_{ij2}, w_{ij3}$  – минимальное, наиболее ожидаемое и максимальное значения связей;

3) нечетких трапециевидных чисел  $w_{ij} = [w_{ij1}, w_{ij2}, w_{ij3}, w_{ij4}]$ , где  $w_{ij1}, w_{ij4}$  – пессимистическая и оптимистическая оценки границ интервалов,  $[w_{ij2}, w_{ij3}]$  – интервал наиболее возможной оценки;

4) вербальных описаний.

Начальные значения параметров вершин одновременно представляются в любом из перечисленных видов, а начальные значения связей между ними – одновременно только в одном из приведенных видов.

*Шаг 2.* Рассматривается условие:

- если значения параметров вершин представлены интервалами, нечеткими числами, т.е. в виде:

1) интервалов  $x_{v_i} = [x_{v_i1}, x_{v_i2}]$ ;

2) нечетких треугольных чисел  $x_{v_i} = [x_{v_i1}, x_{v_i2}, x_{v_i3}]$ ;

3) нечетких трапецевидных чисел  $x_{v_i} = [x_{v_i,1}, x_{v_i,2}, x_{v_i,3}, x_{v_i,4}]$ ;

соблюдается, то переходим к шагу 3;

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

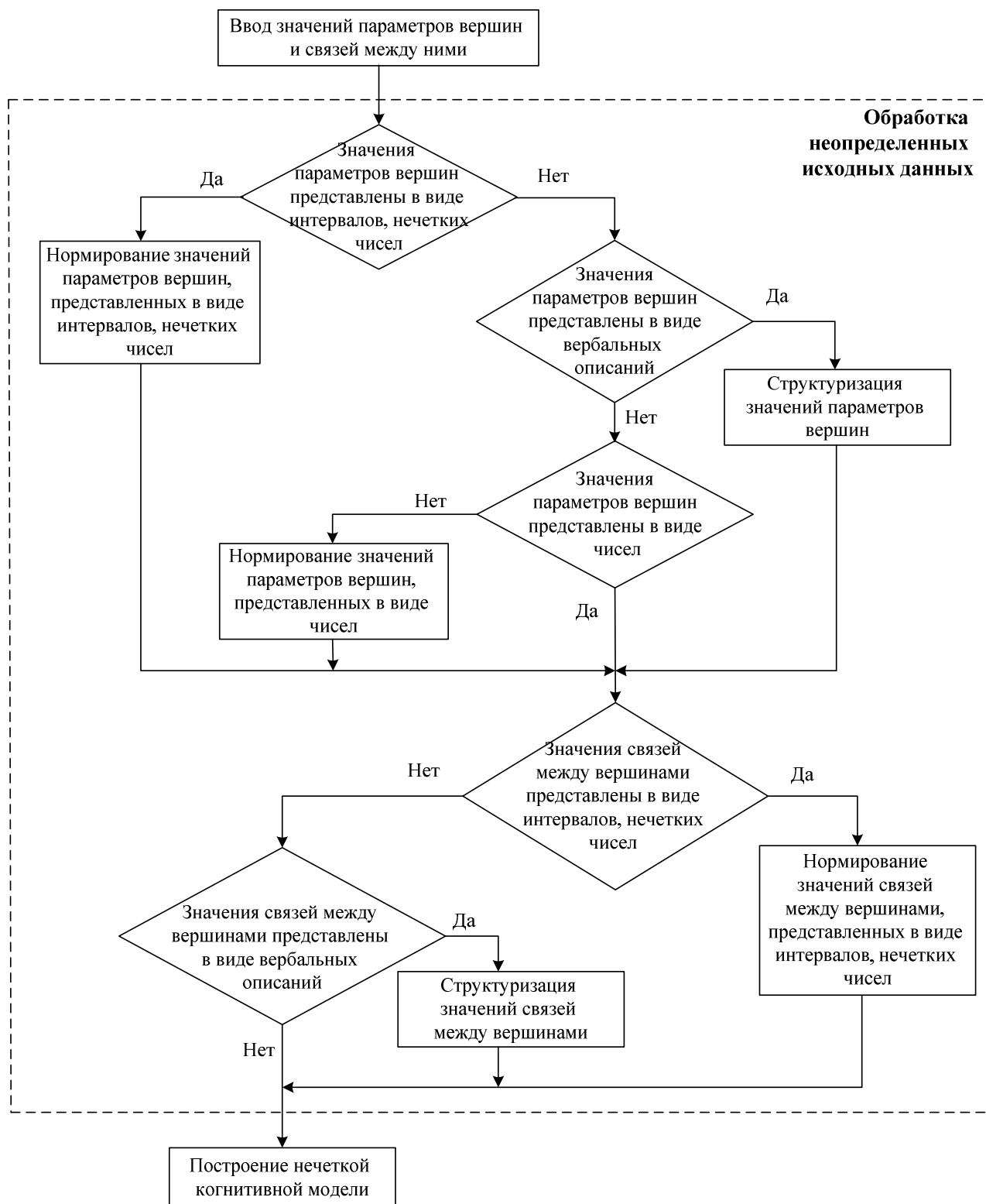


Рисунок 4.1 – Алгоритм обработки неопределенных исходных данных<sup>33</sup>

*Шаг 3.* Нормирование значений параметров вершин, представленных в виде интервалов, нечетких чисел.

Для нормирования значений параметров вершин предлагаются следующие способы преобразования:

1) для интервалов  $x_{v_i} = [x_{v_i 1}, x_{v_i 2}]$

$$x_{v_i}^{\text{нор}} = \left[ \frac{x_{v_i 1}}{x_i^{\text{max}}}, \frac{x_{v_i 2}}{x_i^{\text{max}}} \right], x_i^{*\text{max}} = \max_{1 \leq i \leq h^*} \{x_{v_i 2}\}; \quad (4.1)$$

2) для нечетких треугольных чисел  $x_{v_i} = [x_{v_i 1}, x_{v_i 2}, x_{v_i 3}]$

$$x_{v_i}^{\text{нор}} = \left[ \frac{x_{v_i 1}}{x_i^{\text{max}}}, \frac{x_{v_i 2}}{x_i^{\text{max}}}, \frac{x_{v_i 3}}{x_i^{\text{max}}} \right], x_i^{**\text{max}} = \max_{1 \leq i \leq h^{**}} \{x_{v_i 3}\}; \quad (4.2)$$

3) для нечетких трапецевидных чисел  $x_{v_i} = [x_{v_i 1}, x_{v_i 2}, x_{v_i 3}, x_{v_i 4}]$

$$x_{v_i}^{\text{нор}} = \left[ \frac{x_{v_i 1}}{x_i^{\text{max}}}, \frac{x_{v_i 2}}{x_i^{\text{max}}}, \frac{x_{v_i 3}}{x_i^{\text{max}}}, \frac{x_{v_i 4}}{x_i^{\text{max}}} \right], x_i^{***\text{max}} = \max_{1 \leq i \leq h^{***}} \{x_{v_i 4}\}; \quad (4.3)$$

где  $x_{v_i}^{\text{нор}}$  – нормированные значения параметров вершин,  $x_{v_i}^{\text{нор}} \in [0, 1]$ ;  $x_{v_i 2}$ ,  $x_{v_i 3}$ ,  $x_{v_i 4}$  – максимальные значения параметров вершин;  $x_i^{*\text{max}}$ ,  $x_i^{**\text{max}}$ ,  $x_i^{***\text{max}}$  – максимальные значения среди максимальных значений параметров вершин, представленных в виде интервалов, нечетких треугольных и трапецевидных чисел;  $h^*$ ,  $h^{**}$ ,  $h^{***}$  – количество вершин, значения параметров которых представлены в виде интервалов, нечетких треугольных и трапецевидных чисел.

В результате нормирования значения параметров вершин представляют собой интервалы с нормированными значениями параметров вершин,  $x_{v_i}^{\text{нор}} \in [0, 1]$ . Для того чтобы получить одно нормированное нечеткое значение из интервала, рекомендуется следующее:

1) для нормированных интервалов  $[x_{v_i 1}^{\text{нор}}, x_{v_i 2}^{\text{нор}}]$  выбирать среднее арифметическое

$$x_{v_i}^{*\text{нор}} = \frac{x_{v_i 1}^{\text{нор}} + x_{v_i 2}^{\text{нор}}}{2}, x_{v_i}^{\text{нор}} \in [0, 1]; \quad (4.4)$$

2) для нормированных нечетких треугольных чисел  $[x_{v_i 1}^{\text{нор}}, x_{v_i 2}^{\text{нор}}, x_{v_i 3}^{\text{нор}}]$  выбирать ожидаемое нормирование значение

$$x_{v_i}^{*\text{нор}} = x_{v_i 2}^{\text{нор}}, x_{v_i}^{\text{нор}} \in [0, 1]; \quad (4.5)$$

3) для нормированных нечетких трапециевидных чисел  $[x_{v_i 1}^{\text{нор}}, x_{v_i 2}^{\text{нор}}, x_{v_i 3}^{\text{нор}}, x_{v_i 4}^{\text{нор}}]$  выбирать среднее арифметическое

$$x_{v_i}^{*\text{нор}} = \frac{x_{v_i 1}^{\text{нор}} + x_{v_i 2}^{\text{нор}} + x_{v_i 3}^{\text{нор}} + x_{v_i 4}^{\text{нор}}}{4}, x_{v_i}^{\text{нор}} \in [0, 1]. \quad (4.6)$$

*Шаг 4.* Рассматривается условие:

- если условие, что значения параметров вершин представлены в виде вербальных описаний, соблюдается, то переходим к шагу 5;
- если условие не соблюдается, то переходим к шагу 6.

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

Для параметров вершин, значения которых представлены в виде вербальных описаний, предлагается осуществлять структуризацию, где каждому вербальному описанию параметра вершины ставится в соответствие одно число из интервала  $[0, 1]$ . Для оценки значения параметров вершин введено вербальное описание «Уровень фактора» (таблица 4.1).

Таблица 4.1 – Оценка значения параметра вершины при вербальной переменной «Уровень фактора»

| Вербальное описание | Численное значение |
|---------------------|--------------------|
| Низкий              | $[0,1; 0,3]$       |
| Ниже среднего       | $[0,31; 0,5]$      |
| Средний             | $[0,51; 0,7]$      |
| Выше среднего       | $[0,71; 0,9]$      |
| Высокий             | $[0,91; 1]$        |

Отметим, что нормирование и структуризация значений параметров вершин необходима для того, чтобы численные значения параметров вершин не

отличались единицами измерения, порядком величин и принадлежали интервалу  $[0, 1]$ .

*Шаг 6.* Рассматривается условие:

- если условие, что значения параметров вершин представлены в виде чисел (не отличаются единицами измерения и порядком величин), соблюдается, то переходим к шагу 8;

- если условие не соблюдается, т.е. значения параметров вершин отличаются единицами измерения и порядком величин, то переходим к шагу 7.

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

Для нормирования предлагается следующий способ преобразования:

$$x_{v_i}^{\text{нор}} = \frac{x_{v_i\text{тек}} - x_{v_i\text{min}}}{x_{v_i\text{max}} - x_{v_i\text{min}}}, \quad x_{v_i}^{\text{нор}} \in [0, 1], \quad (4.7)$$

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

Формула (4.7) для нормирования значений параметров вершин, которые представлены в виде интервалов, нечетких треугольных и трапециевидных чисел, не подходит. Так как интервальные значения параметров вершин  $x_{v_i}$  не должны пересекаться, поскольку только в этом случае устанавливаются отношения «больше» (максимум) или «меньше» (минимум). Так, например, согласно рекомендациям ряда авторов, для того чтобы интервалы  $a = [a_1, a_2]$  и  $b = [b_1, b_2]$  были сравнимы в отношении  $a \geq b$ , необходимо и достаточно выполнение условия  $a_1 \geq b_1, a_2 > b_2$  [132].

*Шаг 8.* Рассматривается условие

- если условие, что значения связей между вершинами представлены в виде интервалов, нечетких чисел, соблюдается, то переходим к шагу 9;

- если условие не соблюдается, т.е. значения связей между вершинами представлены в виде вербальных описаний, то переходим к шагу 10.

*Шаг 9.* Нормирование значений связей между вершинами, представленных в виде интервалов, нечетких чисел.

Оценка характера и силы связей между вершинами, представленными в виде интервалов, нечетких треугольных и трапециевидных чисел по пятибалльной шкале, приведены в таблицах 4.2–4.4, по десятибалльной шкале – в таблицах 4.5–4.7.

Таблица 4.2 – Оценка характера и силы связей между вершинами, представленными в виде интервалов

| <b>Численное значение</b> | <b>Вербальное описание</b>                       |
|---------------------------|--------------------------------------------------|
| 0                         | Отсутствует                                      |
| [0,1, 1]<br>[-0,1, -1]    | Очень слабо усиливает<br>Очень слабо ослабляет   |
| [1,1, 2]<br>[-1,1, -2]    | Слабо усиливает<br>Слабо ослабляет               |
| [2,1, 3]<br>[-2,1, -3]    | Умеренно усиливает<br>Умеренно ослабляет         |
| [3,1, 4]<br>[-3,1, -4]    | Сильно усиливает<br>Сильно ослабляет             |
| [4,1, 5]<br>[-4,1, -5]    | Очень сильно усиливает<br>Очень сильно ослабляет |

Таблица 4.3 – Оценка характера и силы связей между вершинами, представленными в виде нечетких треугольных чисел

| <b>Численное значение</b>         | <b>Вербальное описание</b>                       |
|-----------------------------------|--------------------------------------------------|
| 0                                 | Отсутствует                                      |
| [0,1, 0,5, 1]<br>[-0,1, -0,5, -1] | Очень слабо усиливает<br>Очень слабо ослабляет   |
| [1,1, 1,5, 2]<br>[-1,1, -1,5, -2] | Слабо усиливает<br>Слабо ослабляет               |
| [2,1, 2,5, 3]<br>[-2,1, -2,5, -3] | Умеренно усиливает<br>Умеренно ослабляет         |
| [3,1, 3,5, 4]<br>[-3,1, -3,5, -4] | Сильно усиливает<br>Сильно ослабляет             |
| [4,1, 4,5, 5]<br>[-4,1, -4,5, -5] | Очень сильно усиливает<br>Очень сильно ослабляет |



Таблица 4.4 – Оценка характера и силы связей между вершинами, представленными в виде нечетких трапециевидных чисел

| <b>Численное значение</b>                    | <b>Вербальное описание</b>                       |
|----------------------------------------------|--------------------------------------------------|
| 0                                            | Отсутствует                                      |
| [0,1, 0,3, 0,6, 1]<br>[-0,1, -0,3, -0,6, -1] | Очень слабо усиливает<br>Очень слабо ослабляет   |
| [1,1, 1,3, 1,6, 2]<br>[-1,1, -1,3, -1,6, -2] | Слабо усиливает<br>Слабо ослабляет               |
| [2,1, 2,3, 2,6, 3]<br>[-2,1, -2,3, -2,6, -3] | Умеренно усиливает<br>Умеренно ослабляет         |
| [3,1, 3,3, 3,6, 4]<br>[-3,1, -3,3, -3,6, -4] | Сильно усиливает<br>Сильно ослабляет             |
| [4,1, 4,3, 4,6, 5]<br>[-4,1, -4,3, -4,6, -5] | Очень сильно усиливает<br>Очень сильно ослабляет |

Таблица 4.5 – Оценка характера и силы связей между вершинами, представленными в виде интервалов

| <b>Численное значение</b> | <b>Вербальное описание</b>                       |
|---------------------------|--------------------------------------------------|
| 0                         | Отсутствует                                      |
| [0,1, 3]<br>[-0,1, -3]    | Очень слабо усиливает<br>Очень слабо ослабляет   |
| [3,1, 5]<br>[-3,1, -5]    | Слабо усиливает<br>Слабо ослабляет               |
| [5,1, 7]<br>[-5,1, -7]    | Умеренно усиливает<br>Умеренно ослабляет         |
| [7,1, 9]<br>[-7,1, -9]    | Сильно усиливает<br>Сильно ослабляет             |
| [9,1, 10]<br>[-9,1, -10]  | Очень сильно усиливает<br>Очень сильно ослабляет |

Таблица 4.6 – Оценка характера и силы связей между вершинами, представленными в виде нечетких треугольных чисел

| Численное значение                  | Вербальное описание                              |
|-------------------------------------|--------------------------------------------------|
| 0                                   | Отсутствует                                      |
| [0,1, 2, 3]<br>[-0,1, -2, -3]       | Очень слабо усиливает<br>Очень слабо ослабляет   |
| [3,1, 4, 5]<br>[-3,1, -4, -5]       | Слабо усиливает<br>Слабо ослабляет               |
| [5,1, 6, 7]<br>[-5,1, -6, -7]       | Умеренно усиливает<br>Умеренно ослабляет         |
| [7,1, 8, 9]<br>[-7,1, -8, -9]       | Сильно усиливает<br>Сильно ослабляет             |
| [9,1, 9,5, 10]<br>[-9,1, -9,5, -10] | Очень сильно усиливает<br>Очень сильно ослабляет |

Таблица 4.7 – Оценка характера и силы связей между вершинами, представленными в виде нечетких трапециевидных чисел

| Численное значение                             | Вербальное описание                              |
|------------------------------------------------|--------------------------------------------------|
| 0                                              | Отсутствует                                      |
| [0,1, 1, 2, 3]<br>[-0,1, -1, -2, -3]           | Очень слабо усиливает<br>Очень слабо ослабляет   |
| [3,1, 3,7, 4,4, 5]<br>[-3,1, -3,7, -4,4, -5]   | Слабо усиливает<br>Слабо ослабляет               |
| [5,1, 5,7, 6,4, 7]<br>[-5,1, -5,7, -6,4, -7]   | Умеренно усиливает<br>Умеренно ослабляет         |
| [7,1, 7,7, 8,4, 9]<br>[-7,1, -7,7, -8,4, -9]   | Сильно усиливает<br>Сильно ослабляет             |
| [9,1, 9,3, 9,6, 10]<br>[-9,1, -9,3, -9,6, -10] | Очень сильно усиливает<br>Очень сильно ослабляет |

Для нормирования значений связей предлагаются следующие способы преобразования:

1) для интервалов  $w_{ij} = [w_{ij1}, w_{ij2}]$

$$w_{ij}^{\text{нор}} = \left[ \frac{w_{ij1}}{w^{\text{max}}}, \frac{w_{ij2}}{w^{\text{max}}} \right], \quad w^{\text{max}} = \max_{\substack{1 \leq i \leq h, \\ 1 \leq j \leq h}} \{w_{ij2}\}; \quad (4.8)$$

2) для нечетких треугольных чисел  $w_{ij} = [w_{ij1}, w_{ij2}, w_{ij3}]$

$$w_{ij}^{\text{нор}} = \left[ \frac{w_{ij1}}{w^{\text{max}}}, \frac{w_{ij2}}{w^{\text{max}}}, \frac{w_{ij3}}{w^{\text{max}}} \right], w^{**\text{max}} = \max_{\substack{1 \leq i \leq h, \\ 1 \leq j \leq h}} \{w_{ij3}\}; \quad (4.9)$$

3) для нечетких трапецевидных чисел  $w_{ij} = [w_{ij1}, w_{ij2}, w_{ij3}, w_{ij4}]$

$$w_{ij}^{\text{нор}} = \left[ \frac{w_{ij1}}{w^{\text{max}}}, \frac{w_{ij2}}{w^{\text{max}}}, \frac{w_{ij3}}{w^{\text{max}}}, \frac{w_{ij4}}{w^{\text{max}}} \right], w^{***\text{max}} = \max_{\substack{1 \leq i \leq h, \\ 1 \leq j \leq h}} \{w_{ij4}\}; \quad (4.10)$$

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

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 интервалов  $w_{ij}^{\text{нор}} = [w_{ij1}^{\text{нор}}, w_{ij2}^{\text{нор}}]$  выбирать среднее арифметическое

$$w_{ij}^{*\text{нор}} = \frac{w_{ij1}^{\text{нор}} + w_{ij2}^{\text{нор}}}{2}; \quad (4.11)$$

2) для нормированных нечетких треугольных чисел  $w_{ij}^{\text{нор}} = [w_{ij1}^{\text{нор}}, w_{ij2}^{\text{нор}}, w_{ij3}^{\text{нор}}]$  выбирать ожидаемое нормированное значение

$$w_{ij}^{*\text{нор}} = w_{ij2}^{\text{нор}}; \quad (4.12)$$

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

$$w_{ij}^{*\text{нор}} = \frac{w_{ij1}^{\text{нор}} + w_{ij2}^{\text{нор}} + w_{ij3}^{\text{нор}} + w_{ij4}^{\text{нор}}}{4}. \quad (4.13)$$

*Шаг 10.* Рассматривается условие

- если условие, что значения связей между вершинами представлены в виде вербальных описаний, соблюдается, то переходим к шагу 11;

• если условие не соблюдается, т.е. значения связей между вершинами представлены в виде 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 связей и силы связей между вершинами (таблица 4.8). Структуризация заключается в следующем: каждому значению связи, представленному в виде вербального описания, ставится в соответствие одно число из интервала  $[-1, 1]$ .

Таблица 4.8 – Оценка характера и силы связей между вершинами, представленными в виде вербальных описаний

| Вербальное описание                              | Численное значение               |
|--------------------------------------------------|----------------------------------|
| Отсутствует                                      | 0                                |
| Очень слабо усиливает<br>Очень слабо ослабляет   | $[0,1, 0,3]$<br>$[-0,1, -0,3]$   |
| Слабо усиливает<br>Слабо ослабляет               | $[0,31, 0,5]$<br>$[-0,31, -0,5]$ |
| Умеренно усиливает<br>Умеренно ослабляет         | $[0,51, 0,7]$<br>$[-0,51, -0,7]$ |
| Сильно усиливает<br>Сильно ослабляет             | $[0,71, 0,9]$<br>$[-0,71, -0,9]$ |
| Очень сильно усиливает<br>Очень сильно ослабляет | $[0,91, 1]$<br>$[-0,91, -1]$     |

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

*Шаг 12.* Построение нечеткой когнитивной модели.

*Конец алгоритма.*

Отметим, что словесные суждения руководителя проекта (экспертов) были получены на основе опроса и формализованы с помощью специально разработанных автором шкал (таблицы 4.1, 4.2–4.7, 4.8) для рассматриваемой предметной области. Выбор способа нормирования исходных данных диктуется предметной областью, поскольку исходная информация получается в результате

опроса экспертов, что обусловлено отсутствием каких-либо других способов получения информации.

Таким образом, предложенный алгоритм обработки неопределенных исходных данных, основанный на нормировании и структуризации значений параметров вершин и связей между ними, позволяет применить нечеткое когнитивное моделирование в случае, когда значения параметров вершин и связей представлены в виде чисел (отличающихся единицами измерения и порядком величин), вербальных описаний, интервалов, нечетких треугольных и трапециевидных чисел.

#### **4.2. Разработка метода оценки влияния факторов на реализуемость проектов по созданию информационно-управляющих систем с использованием нечетких когнитивных моделей**

В работах [18, 120], посвященных статическому анализу НКМ рассматривается подход, основанный на использовании значений связей между вершинами НКМ в интервале  $[-1, 1]$ . Однако данный подход не применим для расчета системных показателей НКМ в условиях неопределенных исходных данных, представленных в виде интервалов, нечетких треугольных и трапециевидных чисел и вербальных описаний.

В связи с этим предлагается метод оценки влияния факторов на реализуемость проектов по созданию ИУС с использованием НКМ, заключающийся в применении обработки неопределенных исходных данных, построении и анализе НКМ. Обобщенная схема реализации данного метода, состоящего из шести этапов, представлена на рисунке 4.2 [215].

*Этап 1.* Выявление факторов  $C_i$ ,  $i = \overline{1, h}$  и связей между ними  $w_{ij}$ ,  $i, j = \overline{1, h}$ .

*Этап 2.* Значения связей между факторами  $w_{ij}$  могут быть представлены в виде:

- 1) чисел из интервала  $[-1, 1]$ ;
- 2) интервалов  $w_{ij} = [w_{ij1}, w_{ij2}]$ ;

- 3) нечетких треугольных чисел  $w_{ij} = [w_{ij1}, w_{ij2}, w_{ij3}]$ ;
- 4) нечетких трапециевидных чисел  $w_{ij} = [w_{ij1}, w_{ij2}, w_{ij3}, w_{ij4}]$ ;
- 5) вербальных описаний.

Заметим, что для анализа структуры НКМ значения факторов не используются.

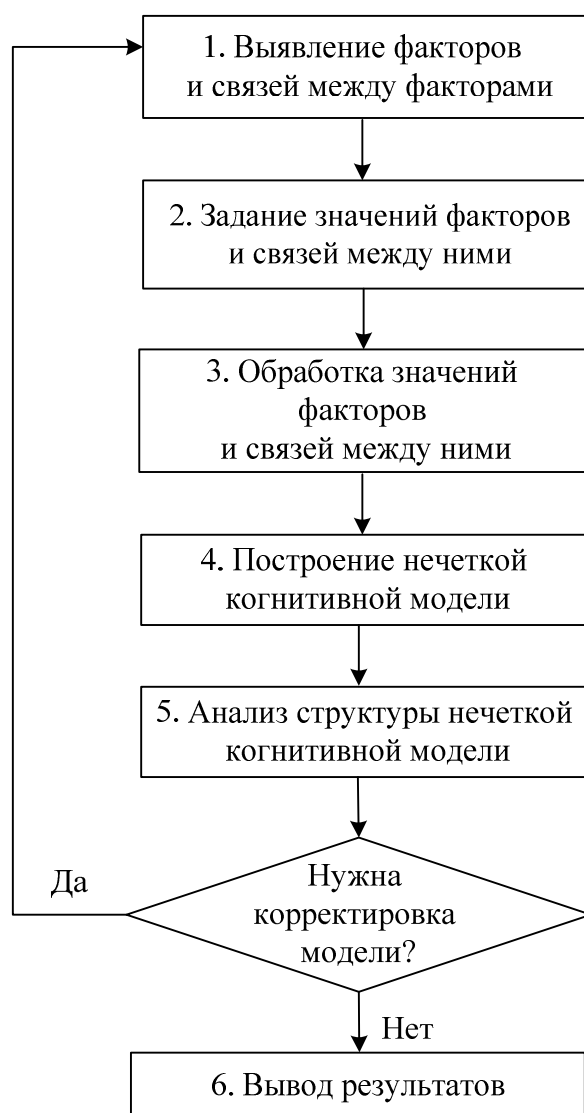


Рисунок 4.2 – Обобщенная схема метода оценки влияния факторов на реализуемость проектов по созданию информационно-управляющих систем<sup>34</sup>

*Этап 3.* Обработка неопределенных исходных данных (значений факторов и связей между ними).

Обработка неопределенных исходных данных осуществляется по алгоритму, представленному на рисунке 4.1. Поскольку обработка данных

<sup>34</sup> Рисунок адаптирован автором по материалам [18, 120]

является подготовительным этапом для построения НКМ, то далее оперируем понятием «вершина». Отметим, что значения связей, находящиеся в интервале  $[-1, 1]$ , обработке не подлежат.

*Этап 4.* Построение нечеткой когнитивной модели.

Построенная НКМ далее представляется в виде матрицы отношений. Матрица отношений  $W_{\text{Гнеч}}$  (4.14) представляет собой квадратную матрицу  $W_{\text{Гнеч}} = (w_{ij})_{h \times h}$ , где  $w_{ij}$  – элемент матрицы, характеризующий влияние вершины  $v_i$  на вершину  $v_j$ .

$$W_{\text{Гнеч}} = \begin{matrix} & \begin{matrix} 1 & 2 & \dots & h \end{matrix} \\ \begin{matrix} 1 \\ 2 \\ \dots \\ h \end{matrix} & \begin{pmatrix} 0 & w_{12} & \dots & w_{1h} \\ w_{21} & 0 & \dots & w_{2h} \\ \dots & \dots & \dots & \dots \\ w_{h1} & w_{h2} & \dots & 0 \end{pmatrix} \end{matrix}. \quad (4.14)$$

*Этап 5.* Анализ структуры нечеткой когнитивной модели.

После формирования матрицы  $W_{\text{Гнеч}}$  проводится анализ структуры НКМ, т.е. рассчитываются системные показатели НКМ [17, 18, 120], позволяющие исследовать силы взаимовлияний между вершинами, либо вершиной и НКМ.

Для определения взаимовлияния вершин друг на друга необходимо перейти от матрицы отношений  $W_{\text{Гнеч}}$  с нечеткими связями к матрице, состоящей из положительных связей  $R_{\text{Гнеч}} = (r_{ij})_{2h \times 2h}$ , элементы которой определяются из матрицы  $W_{\text{Гнеч}} = (w_{ij})_{h \times h}$  путем замены [18, 179]:

$$\begin{cases} \text{если } w_{ij} > 0, \text{ то } r_{2i-1, 2j-1} = w_{ij}, r_{2i, 2j} = w_{ij}, \\ \text{если } w_{ij} < 0, \text{ то } r_{2i-1, 2j} = -w_{ij}, r_{2i, 2j-1} = -w_{ij}. \end{cases} \quad (4.15)$$

Остальные значения принимают нулевые значения.

Затем осуществляется транзитивное замыкание матрицы  $\overline{R^{(m)}}$  :  $\overline{R^{(m)}} = R \vee R^2 \vee \dots \vee R^{(m)}$  следующим образом:

$$\begin{aligned} \overline{R^{(m)}} &= (r_{ij}^{(m)}), \quad i, j = \overline{1; h}, \quad m = \overline{1; h}, \quad h - \text{количество вершин,} \\ r_{ij}^{(m)} &= \max(r_{ij}^{(m-1)}; r_{im}^{(m-1)} \cdot r_{mj}^{(m-1)}), \end{aligned} \quad (4.16)$$

если  $m < h$ , то построение матрицы  $R^{(m)}$  продолжается;  
 если  $m = h$ , то построение матрицы  $R^{(m)}$  заканчивается.

Матрица транзитивного замыкания позволяет снизить чувствительность результатов к входным воздействиям, а также учесть все имеющиеся в НКМ опосредованные (неявные) взаимовлияния вершин друг на друга. Поскольку размерность данной матрицы может быть велика, то данный результат предлагается оформить в виде матрицы взаимовлияния (4.17), состоящей из положительно-отрицательных пар  $Z = ((z_{ij}, \bar{z}_{ij}))_{h \times h}$  ( $z_{ij}$  характеризует силу положительного влияния  $i$ -го фактора на  $j$ -й,  $\bar{z}_{ij}$  – силу отрицательного влияния),

$$Z = \begin{matrix} & \begin{matrix} 1 & 2 & \dots & h \end{matrix} \\ \begin{matrix} 1 \\ 2 \\ \dots \\ h \end{matrix} & \begin{pmatrix} (z_{11}, \bar{z}_{11}) & (z_{12}, \bar{z}_{12}) & \dots & (z_{1h}, \bar{z}_{1h}) \\ (z_{21}, \bar{z}_{21}) & (z_{22}, \bar{z}_{22}) & \dots & (z_{2h}, \bar{z}_{2h}) \\ \dots & \dots & \dots & \dots \\ (z_{h1}, \bar{z}_{h1}) & (z_{h2}, \bar{z}_{h2}) & \dots & (z_{hh}, \bar{z}_{hh}) \end{pmatrix} \end{matrix}, \quad (4.17)$$

образованных по правилу:

$$\begin{cases} z_{ij} = \max(r_{2i-1,2j-1}, r_{2i,2j}), \\ \bar{z}_{ij} = -\max(r_{2i-1,2j}, r_{2i,2j-1}). \end{cases} \quad (4.18)$$

На основе матрицы  $Z$  рассчитываются системные показатели НКМ [18, 127], позволяющие выделять управляемые вершины, оказывающие наибольшее влияние на целевые вершины и оценивать степень этого влияния:

- Влияние  $i$ -й вершины на  $j$ -ю

$$p_{ij} = \text{sign}(z_{ij} + \bar{z}_{ij}) \max(|z_{ij}|, |\bar{z}_{ij}|), \quad z_{ij} \neq -\bar{z}_{ij}. \quad (4.19)$$

- Влияние  $i$ -й вершины на НКМ

$$\bar{P}_i = \frac{1}{n} \sum_{j=1}^n p_{ij}. \quad (4.20)$$

- Влияние НКМ на  $j$ -ю вершину

$$\overleftarrow{P}_j = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n p_{ij}. \quad (4.21)$$



- Консонанс влияния  $i$ -й вершины на  $j$ -ю

$$c_{ij} = \frac{|z_{ij} + \bar{z}_{ij}|}{|z_{ij}| + |\bar{z}_{ij}|}. \quad (4.22)$$

Отметим, что *консонанс* – функция, учитывающая положительное и отрицательное влияния вершины на вершину, т.е. *консонанс* выражает меру доверия к знаку (положительному и отрицательному влиянию) и силе воздействия. Консонанс определяет, насколько согласованно присутствие факторов в НКМ. Причем, чем выше консонанс, тем убедительнее мнение о знаке влияния.

- Консонанс влияния  $i$ -й вершины на НКМ

$$\vec{C}_i = \frac{1}{n} \sum_{j=1}^n c_{ij}. \quad (4.23)$$

- Консонанс влияния НКМ на  $j$ -ю вершину

$$\bar{C}_j = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n c_{ij}. \quad (4.24)$$

• Диссонанс влияния  $i$ -й вершины на НКМ. Диссонанс выражает меру недоверия к результату и может появиться по различным причинам, например, из-за логического несоответствия или из-за несоответствия прошлого опыта настоящей ситуации.

$$\vec{D}_i = \frac{1}{n} \sum_{j=1}^n d_{ij}. \quad (4.25)$$

- Диссонанс влияния НКМ на  $j$ -ю вершину

$$\bar{D}_j = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n d_{ij}. \quad (4.26)$$

Отметим, что консонанс и диссонанс являются противоположными, поэтому  $\vec{C}_i + \vec{D}_i = 1$ ,  $\bar{C}_j + \bar{D}_j = 1$ . На данном этапе принимается решение о корректировке / не корректировке НКМ. Если руководитель проекта посчитает подкорректировать НКМ, то необходимо вернуться на этап 1, в противном случае переход к этапу 6.

*Этап 6.* Вывод результатов. Результаты могут быть представлены, например, в виде таблицы.

Далее рассмотрим численный пример, поясняющий изложенный подход.

Предположим, исполнители проекта построили НКМ, на основе которой можно сделать простой (первичный) анализ по созданию ИУС, силы связей между вершинами представлены в виде чисел из интервала  $[-1, 1]$  и отражены на построенной НКМ (рисунок 4.3) [41]. Поскольку значения связей между вершинами представлены из интервала  $w_{ij} \in [-1, 1]$ , то осуществлять их нормирование и структуризацию нет необходимости.

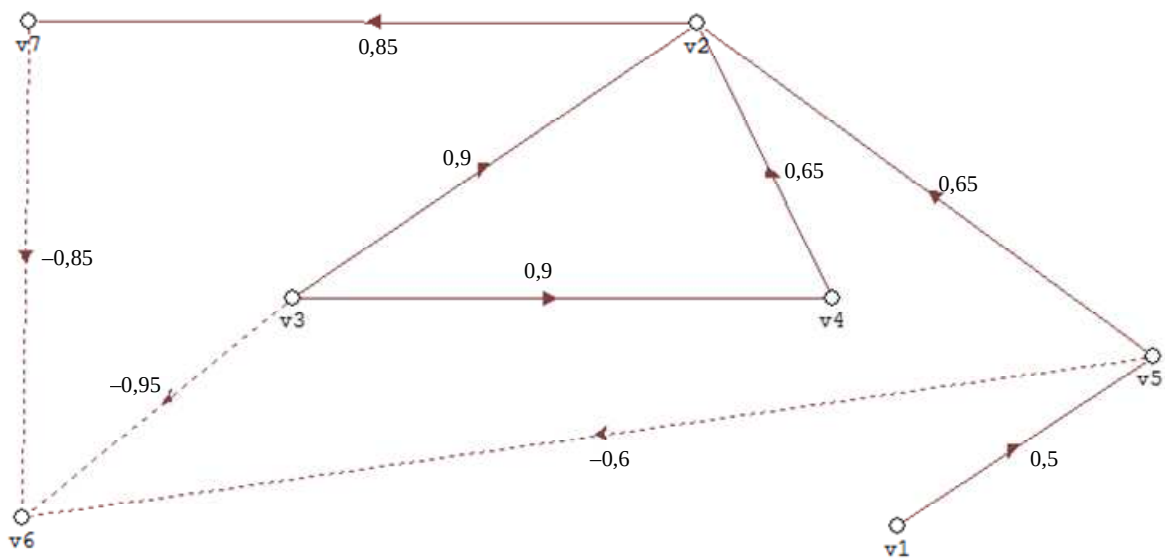


Рисунок 4.3 – Нечеткая когнитивная модель  
«Первичный анализ по созданию ИУС»<sup>35</sup>

Здесь  $v_1$  – потребности, постановка задач,  $v_2$  – количество оценок реализуемость проекта ИУС (сбор, анализ, оценка и структурирование информации о проекте в форме, позволяющей принимать решение о способах реализуемости ИУС),  $v_3$  – квалификация исполнителей (уровень образования),  $v_4$  – производительность исполнителей (скорость выполнения работ),  $v_5$  – ресурсы (финансовые, временные, материальные), выделяемые на предпроектное исследование,  $v_6$  – неудачное завершение проекта (отставание от графика работ, провал проекта),  $v_7$  – обоснованность принятия управленческих решений.

<sup>35</sup> Рисунок разработан автором

Далее опишем дуги:  $v_1v_5$  – увеличение постановок задач приводит к увеличению выделяемых ресурсов на предпроектное исследование;  $v_2v_7$  – увеличение количества оценок реализуемости проекта ИУС приводит к повышению обоснованности принятия решений;  $v_3v_2$  – высокая квалификация исполнителей приводит к увеличению количества оценок реализуемости проекта ИУС;  $v_3v_4$  – высокая квалификация исполнителей приводит к увеличению производительности исполнителей;  $v_3v_6$  – увеличение квалификации исполнителей приводит к уменьшению возможности неудачного завершения проекта;  $v_4v_2$  – увеличение производительности исполнителей приводит к увеличению количества оценок реализуемости проекта ИУС;  $v_5v_2$  – увеличение выделяемых ресурсов (финансовых) на предпроектное исследование приводит к увеличению качества оценок реализуемости проекта ИУС;  $v_5v_6$  – увеличение выделяемых ресурсов на предпроектное исследование приводит к уменьшению неудачного завершения проекта;  $v_7v_6$  – повышение обоснованности принятия решений приводит к уменьшению возможности неудачного завершения проекта.

Далее рассчитываются основные системные показатели. Результаты расчета системных показателей влияния вершин на систему и системы на вершины представлены в таблице 4.9.

Таблица 4.9 – Результаты расчета системных показателей влияния вершин на систему и системы на вершины

| Вершины | Консонанс влияния вершин на систему | Консонанс влияния системы на вершины | Диссонанс влияния вершин на систему | Диссонанс влияния системы на вершины | Влияние вершин на систему | Влияние системы на вершины |
|---------|-------------------------------------|--------------------------------------|-------------------------------------|--------------------------------------|---------------------------|----------------------------|
| $v_1$   | 1                                   | 1                                    | 0                                   | 0                                    | 0,11                      | 0                          |
| $v_2$   | 1                                   | 1                                    | 0                                   | 0                                    | 0,02                      | 0,36                       |
| $v_3$   | 1                                   | 1                                    | 0                                   | 0                                    | 0,23                      | 0                          |
| $v_4$   | 1                                   | 1                                    | 0                                   | 0                                    | 0,10                      | 0,13                       |
| $v_5$   | 1                                   | 1                                    | 0                                   | 0                                    | 0,09                      | 0,07                       |
| $v_6$   | 1                                   | 1                                    | 0                                   | 0                                    | 0                         | -0,56                      |
| $v_7$   | 1                                   | 1                                    | 0                                   | 0                                    | -0,12                     | 0,43                       |

Из таблицы 4.9 видно, что консонанс влияний высокий, поскольку равен 1 и позволяет сделать вывод о достоверности итоговых влияний вершин друг на друга.

Вершина  $v_7$  слабо влияет на НКМ  $(-0,12)$ , однако НКМ сильно влияет на  $v_7$   $(0,42)$ . Консонансы вершины и НКМ равны (1 и 1), поэтому вершина сама обеспечивает усиление НКМ.

Также заметим, что наибольшее положительное влияние на НКМ оказывают вершины  $v_1$   $(0,11)$ ,  $v_3$   $(0,23)$ , при этом они не испытывают обратного влияния. Чуть меньшее положительное влияние на НКМ оказывают вершины  $v_2$   $(0,01)$ ,  $v_4$   $(0,10)$ ,  $v_5$   $(0,09)$ . Влияя на вышеперечисленные вершины, можно «повернуть» всю НКМ в положительную сторону.

Наибольшему влиянию со стороны НКМ подвержены вершины  $v_7$   $(0,43)$ ,  $v_2$   $(0,36)$ . Высока вероятность того, что влияние НКМ на эти вершины способно погасить любое отрицательное воздействие извне. То есть, если руководитель проекта намерено захочет оказать на них какое-либо долговременное воздействие, то ему следует делать ставку на опосредованное влияние, воздействуя на вершины  $v_7$ ,  $v_2$ .

Отрицательное влияние на НКМ оказывает вершина  $v_7$   $(-0,12)$ . С другой стороны, НКМ отрицательно влияет на вершину  $v_6$   $(-0,56)$ . Это говорит о том, что руководителю проекта необходимо обратить особое внимание на данные вершины.

Таким образом, предложенный метод оценки влияния факторов на реализуемость проектов по созданию ИУС с использованием НКМ позволяет обрабатывать значения связей между факторами, представленных в виде чисел, вербальных описаний, интервалов, нечетких треугольных и трапециевидных чисел, тем самым выявить, какие из факторов оказывают наибольшее влияние на всю НКМ и наоборот, а также какие подвержены наибольшему влиянию со стороны НКМ, а также оценить степень влияния.

### 4.3. Разработка метода оценки реализуемости проектов по созданию информационно-управляющих систем с использованием процедуры обучения нечетких когнитивных моделей

В работах [18, 120], посвященных процедуре обучения НКМ, рассматриваются подходы, основанные на использовании значений факторов, представленных безразмерными величинами, принимающими значения в интервале  $[0, 1]$  и значений связей между ними, находящиеся в интервале  $[-1, 1]$ . Однако данные подходы не применимы для исходных данных, представленных в виде интервалов, нечетких треугольных и трапециевидных чисел и вербальных описаний.

В связи с этим предлагается метод оценки реализуемости проектов по созданию ИУС с использованием процедуры обучения НКМ, заключающийся в применении обработки неопределенных исходных данных и гарантированном нахождении значений факторов в интервалах  $x_{C_i \min} \leq x_{C_i} \leq x_{C_i \max}$  ( $x_{C_i}$  – идеальное значение фактора,  $i = \overline{1, h}$ ), отражающих реализуемость проектов при ограниченных (имеющихся в наличии) ресурсах.

Обобщенная схема реализации данного метода, состоящего из восьми этапов, представлена на рисунке 4.4 [99].

*Этап 1.* Выявление факторов  $C_i$ ,  $i = \overline{1, h}$  и связей между ними  $w_{ij}$ ,  $i, j = \overline{1, h}$ .

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

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

- 1) чисел, отличающихся единицами измерения и порядком величин;
- 2) интервалов  $x_{C_i}(0) = [x_{C_{i1}}(0), x_{C_{i2}}(0)]$ ;
- 3) нечетких треугольных чисел  $x_{C_i}(0) = [x_{C_{i1}}(0), x_{C_{i2}}(0), x_{C_{i3}}(0)]$ ;
- 4) нечетких трапециевидных чисел  $x_{C_i}(0) = [x_{C_{i1}}(0), x_{C_{i2}}(0), x_{C_{i3}}(0), x_{C_{i4}}(0)]$ ;

5) вербальных описаний.

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

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

2) интервалов  $w_{ij}(0) = [w_{ij1}(0), w_{ij2}(0)]$ ;

3) нечетких треугольных чисел  $w_{ij}(0) = [w_{ij1}(0), w_{ij2}(0), w_{ij3}(0)]$ ;

4) трапециевидных чисел  $w_{ij}(0) = [w_{ij1}(0), w_{ij2}(0), w_{ij3}(0), w_{ij4}(0)]$ ;

5) вербальных описаний.

*Этап 3.* Обработка неопределенных исходных данных (начальных значений факторов и связей между ними, а также ограничений).

Обработка неопределенных начальных значений факторов и связей между ними, а также ограничений осуществляется по алгоритму, представленному на рисунке 4.1. Ограничения необходимо обработать по (4.1), поскольку они представлены в виде чисел, которые отличаются единицами измерения и порядком величин. Значения связей, находящиеся в интервале  $[-1, 1]$ , обработке не подлежат.

Обработка неопределенных исходных данных является подготовительным этапом для построения НКМ, поэтому далее оперируем понятием «вершина».

*Этап 4.* Построение нечеткой когнитивной модели.

Построенная НКМ далее представляется в виде начальной матрицы отношений  $W_{ij}(0)$ .

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

Значения параметров вершин определяются по (4.27) [241]

$$x_{v_i}(t) = f \left( \sum_{\substack{j=1, \\ j \neq i}}^h w_{ji} x_{v_j}(t-1) + x_{v_i}(t-1) \right), \quad i, j = \overline{1, h}, \quad (4.27)$$

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 (функция активации), отображающая значения параметров вершин в интервал  $[0, 1]$ .

В качестве пороговой функции в НКМ рассматривается сигмоидальная (логистическая) функция  $f(x) = \frac{1}{1 + e^{-\lambda x}}$ , где  $\lambda > 0$ , поскольку легко и просто находить ее производную, что в свою очередь приводит к уменьшению затрат процессорного времени во время обучения НКМ [119].

Если в НКМ присутствуют вершины, природа которых отрицательна, то их значимость лежит в интервале  $[-1, 1]$ , и используется функция гиперболический тангенс  $f(x) = \tanh(x)$  [236].

*Этап 6.* Вычисление функции ошибки

$$J = \sum_{i=1}^h (x_{v_i}(t+1) - x_{v_i}(t))^2. \quad (4.28)$$

Если значение функции ошибки  $J$  находится выше порогового значения  $\varepsilon$ , то необходимо вернуться на этап 5. В противном случае итерация заканчивается, и переходим к следующему условию. Пороговое значение  $\varepsilon$  назначается из субъективных соображений (в большинстве случаев  $\varepsilon$  берется 0,001 [206] либо 0,002 [74]).

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.

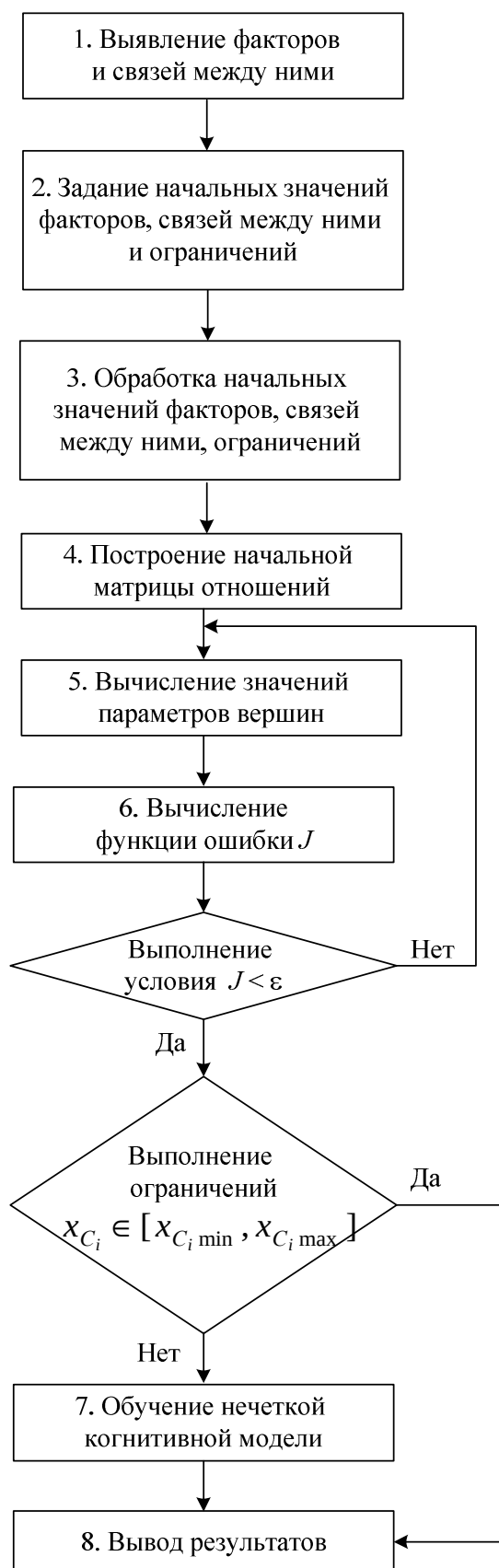


Рисунок 4.4 – Обобщенная схема метода оценки реализуемости проектов по созданию информационно-управляющих систем с использованием процедуры обучения нечетких когнитивных моделей<sup>36</sup>

<sup>36</sup> Рисунок адаптирован автором по материалам [74]



### *Этап 7. Обучение нечеткой когнитивной модели.*

Начальные значения связей между факторами зачастую назначаются на основе предыдущего опыта руководителя и исполнителей проекта, и это может вызвать неточную оценку реализуемости проектов по созданию ИУС на этапе предпроектного исследования. То есть, установившиеся значения факторов, интересующие руководителя проекта, не удовлетворяют ограничениям, т.е. не попадают в заданный интервал  $x_{C_i \min} \leq x_{C_i} \leq x_{C_i \max}$ . 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 и связи между ними.

*Этап 8. Вывод результатов в виде графика переходных процессов в НКМ и/или таблицы, содержащей итерации и результаты вычисления.*

Далее на рисунке 4.5 представлен алгоритм, реализующий процедуру обучения НКМ и состоящий из девяти шагов. Отличительной особенностью предложенного алгоритма является наличие шага обработки начальных значений параметров вершин, связей между ними и ограничений.

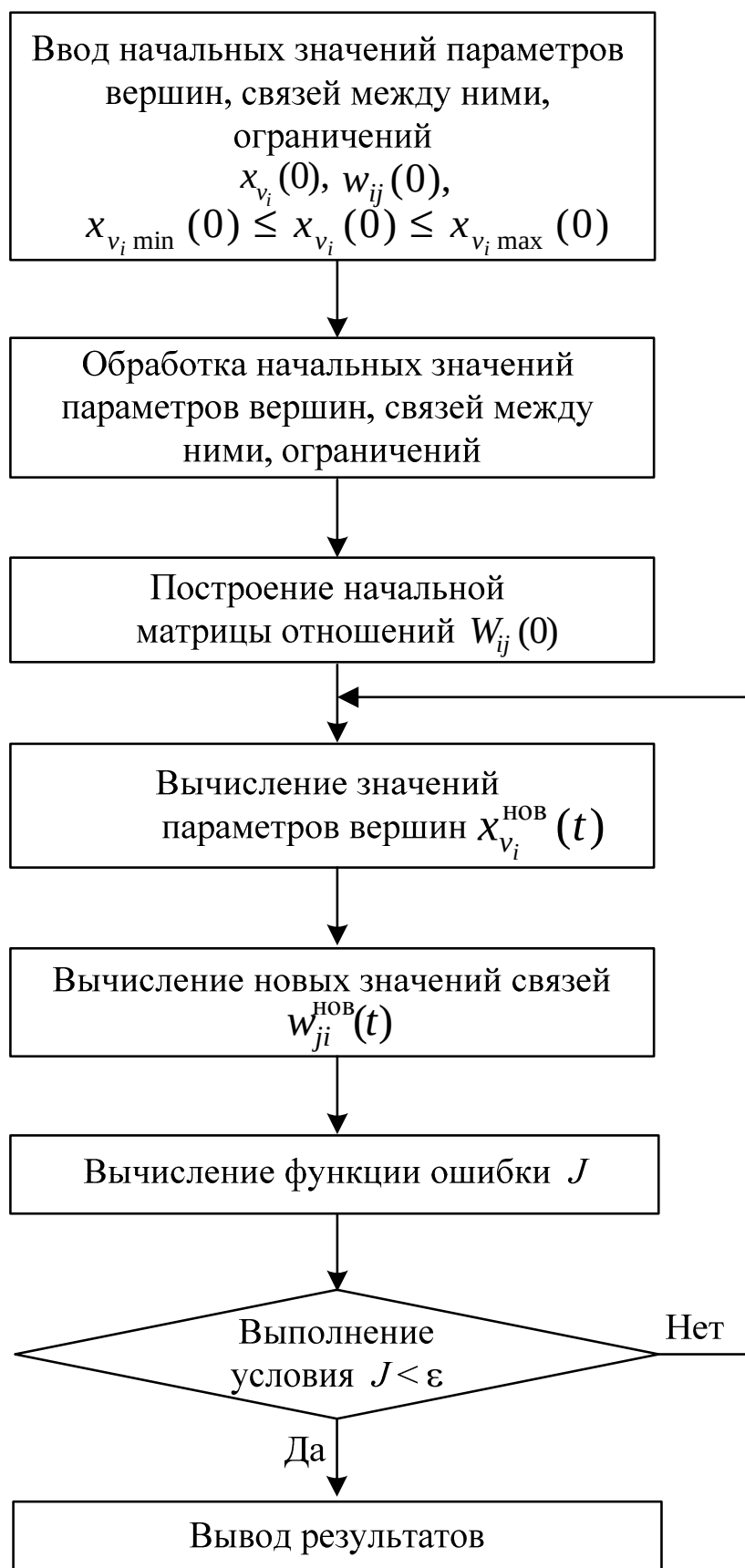
*Шаг 1.* Ввод начальных значений параметров вершин  $x_{v_i}(0)$ , связей между ними  $w_{ij}(0)$ , ограничений  $x_{v_i \min}(0) \leq x_{v_i}(0) \leq x_{v_i \max}(0)$  (где  $x_{v_i}$  – идеальное значение параметра вершины).

*Шаг 2.* Обработка неопределенных исходных данных (значений параметров вершин, связей между ними, ограничений).

Обработка неопределенных исходных данных осуществляется по алгоритму, представленному на рисунке 4.1. Значения связей, находящиеся в интервале  $[-1, 1]$ , обработке не подлежат.

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

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

Рисунок 4.5 – Алгоритм обучения нечеткой когнитивной модели<sup>37</sup><sup>37</sup> Алгоритм адаптирован автором по материалам [74, 224–228, 240]

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

Значения параметров вершин  $v_i$  определяются по (4.29) [204, 241, 246]

$$x_{v_i}^{\text{HOB}}(t) = f \left( \sum_{\substack{j=1, \\ j \neq i}}^h w_{ji}^{\text{HOB}}(t) x_{v_j}(t-1) + x_{v_i}(t-1) \right), \quad i, j = \overline{1, h}, \quad (4.29)$$

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

*Шаг 5.* Вычисление новых значений связей  $w_{ji}^{\text{HOB}}(t)$ .

Вычисляются новые значения связей с использованием алгоритмов обучения Хебба (*algorithms Hebbian*) [204, 211, 220].

В качестве вычисления новых значений связей может использоваться нелинейный алгоритм обучения Хебба (*Nonlinear Hebbian Learning (NHL)*) [214, 217, 224, 228]

$$w_{ji}^{\text{HOB}}(t) = w_{ji}(t-1) + \eta x_{v_j}(t) (x_{v_i}(t) - x_{v_j}(t) w_{ji}(t-1)), \quad i, j = \overline{1, h}, \quad (4.30)$$

где  $\eta$  – параметр, определяющий скорость процесса обучения ( $0 < \eta < 1$ );  $w_{ji}(t-1)$  – значения связей между вершинами  $v_i$  и  $v_j$  в момент времени  $t-1$ ;  $t$  – номер шага обучения (номер итерации);  $w_{ji}^{\text{HOB}}(t)$  – новые значения связей между вершинами  $v_i$  и  $v_j$  в момент времени  $t$ .

Параметр  $\eta$  определяет скорость процесса обучения. Скорость обучения выбирается исходя из того, что при малых значениях параметра  $\eta$  возникает большое число повторений цикла обучения, а при больших значениях параметра – потеря устойчивости процесса обучения, т.е. НКМ обучится неверно (в большинстве случаев берется  $\eta \in [0, 0,1]$ ) [214].

*Шаг 6.* Вычисление функции ошибки.

Вычисление осуществляется по формуле (4.28).

*Шаг 7.* Рассматривается условие:

- если условие  $J < \varepsilon$  соблюдается, то процедура обучения завершается (итерация заканчивается), т.е. переходим к шагу 9;

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

*Шаг 9. Вывод результатов.*

*Конец алгоритма.*

Далее анализируются установившиеся значения из вектора параметров вершин. Если они удовлетворяют всем ограничениям, то разработанная НКМ обеспечивает реализуемость проекта по созданию ИУС при имеющихся в наличии ресурсов.

Если хотя бы одно значение из вектора параметров вершин не удовлетворяет ограничениям, то необходимо изменить структуру НКМ (ввести или удалить вершины, связи между ними).

Таким образом, предложенный метод оценки реализуемости проектов по созданию ИУС с использованием процедуры обучения НКМ позволяет обрабатывать значения факторов и связей между ними, представленные в виде чисел, вербальных описаний, интервалов, нечетких треугольных и трапециевидных чисел, а также осуществлять поиск наилучших значений факторов, отражающих реализуемость проектов при наличии ресурсов, в соответствии с контрактом по созданию ИУС в условиях неопределенных исходных данных.

#### **4.4. Разработка метода топологического анализа структур нечетких когнитивных моделей**

Проблема построения НКМ оценки реализуемости проектов по созданию ИУС является слабоструктурированной проблемой, 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, 3]. В связи с этим необходимо руководителю проекта проводить анализ структур НКМ для решения задач о возможности управления системой. Анализ связности выявляет существенные,

значимые связи НКМ, нарушение или возникновение которых приводит к недостижению поставленных целей перед НКМ.

Одним из наиболее эффективных методов к анализу структур НКМ является применение аппарата алгебраической топологии, а именно топологического (симплициального) анализа [39, 82, 198], оперирующего понятиями симплекса, симплициального комплекса,  $q$ -связности.

Поскольку классический топологический анализ структур когнитивных моделей не предполагает работу с нечеткими исходными данными, то для анализа структур НКМ предлагается метод топологического анализа с применением этапа обработки неопределенных исходных данных (значений связей) с целью дальнейшего применения классического топологического анализа структур.

Метод топологического анализа структур НКМ заключается в обработке неопределенных исходных данных, а также в составлении рекомендаций обоснования выбора целевых и управляющих вершин НКМ. Обобщенная схема реализации данного метода, состоящего из шести этапов, представлена на рисунке 4.6 [108, 211].

*Этап 1.* Выявление факторов  $C_i$ ,  $i = \overline{1, h}$  и связей между ними  $w_{ij}$ ,  $i, j = \overline{1, h}$ .

*Этап 2.* Задание значений связей между факторами  $w_{ij}$ ,  $i, j = \overline{1, h}$ .

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

- 1) чисел из интервала  $[-1, 1]$ ;
- 2) интервалов  $w_{ij} = [w_{ij1}, w_{ij2}]$ ;
- 3) нечетких треугольных чисел  $w_{ij} = [w_{ij1}, w_{ij2}, w_{ij3}]$ ;
- 4) нечетких трапециевидных чисел  $w_{ij} = [w_{ij1}, w_{ij2}, w_{ij3}, w_{ij4}]$ ;
- 5) вербальных описаний.

*Этап 3.* Обработка неопределенных исходных данных (значений связей между факторами).

Значения связей, находящиеся в интервале  $[-1, 1]$ , обработке не подлежат. Поскольку обработка неопределенных исходных данных является подготовительным этапом для построения НКМ, то далее оперируем понятием «вершина».



Рисунок 4.6 – Обобщенная схема метода топологического анализа структур НКМ<sup>38</sup>

*Этап 4.* Построение нечеткой когнитивной модели.

Построенная НКМ далее представляется в виде матрицы отношений.

*Этап 5.* Проведение топологического анализа структур нечеткой когнитивной модели.

*Этап 6.* Составление рекомендаций обоснования выбора целевых и управляющих факторов в условиях неопределенных исходных данных.

Перед тем как рассмотреть алгоритм топологического анализа структур НКМ, рассмотрим основные понятия и определения, связанные с

<sup>38</sup> Рисунок адаптирован автором по материалам [39, 82, 198]

симплициальными комплексами. В общем случае ЧКМ можно представить в виде графа  $G$  и  $\forall \lambda_{ij} = a_{ij}$ ,  $A_G = \Lambda_G = [\lambda_{ij}]$ , т.е. множества пар вершин, связанных некоторым отношением  $\lambda_{ij}$  ( $i, j = 1, 2, \dots, h$ ), порождающим множество многомерных связей между вершинами. Под симплексом  $\sigma_p^{(v_i)}$  ( $i$  – номер вершины, а  $q$  – геометрическая размерность симплекса) понимается множество элементов, относимых к конкретному элементу  $v_i$  (вершине когнитивной карты) отношения  $\lambda_{ij}$  (матрицы отношений когнитивной карты) размерности  $p$ , а их совокупность образует симплициальный комплекс  $K_y(X; \lambda)$  по строкам (вершины кодируются как  $X$ ) или  $K_x(Y; \lambda^*)$  по столбцам (вершины кодируются как  $Y$ ) матрицы  $\Lambda$ . Отметим, что число  $q$  определяется числом дуг, которые соединяют вершины  $y_j$  в симплексе через переменную  $x_i$  и оно в  $i$ -строке матрицы  $\Lambda$  на единицу меньше числа единиц «1». Если в строке матрицы  $\Lambda$  отсутствуют «1», то размерность симплекса обозначается как  $q = 0 - 1 = -1$ . Симплициальный комплекс – обобщение понятия планарного графа, отражающего 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 связанность 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 [3, 39, 48, 50, 198].

Далее рассматривается алгоритм топологического анализа структур НКМ (рисунок 4.7), состоящий из четырнадцати шагов, отличительной особенностью которого является наличие шага «переход от нормированных значений связей к числам «-1», «0», «1»».

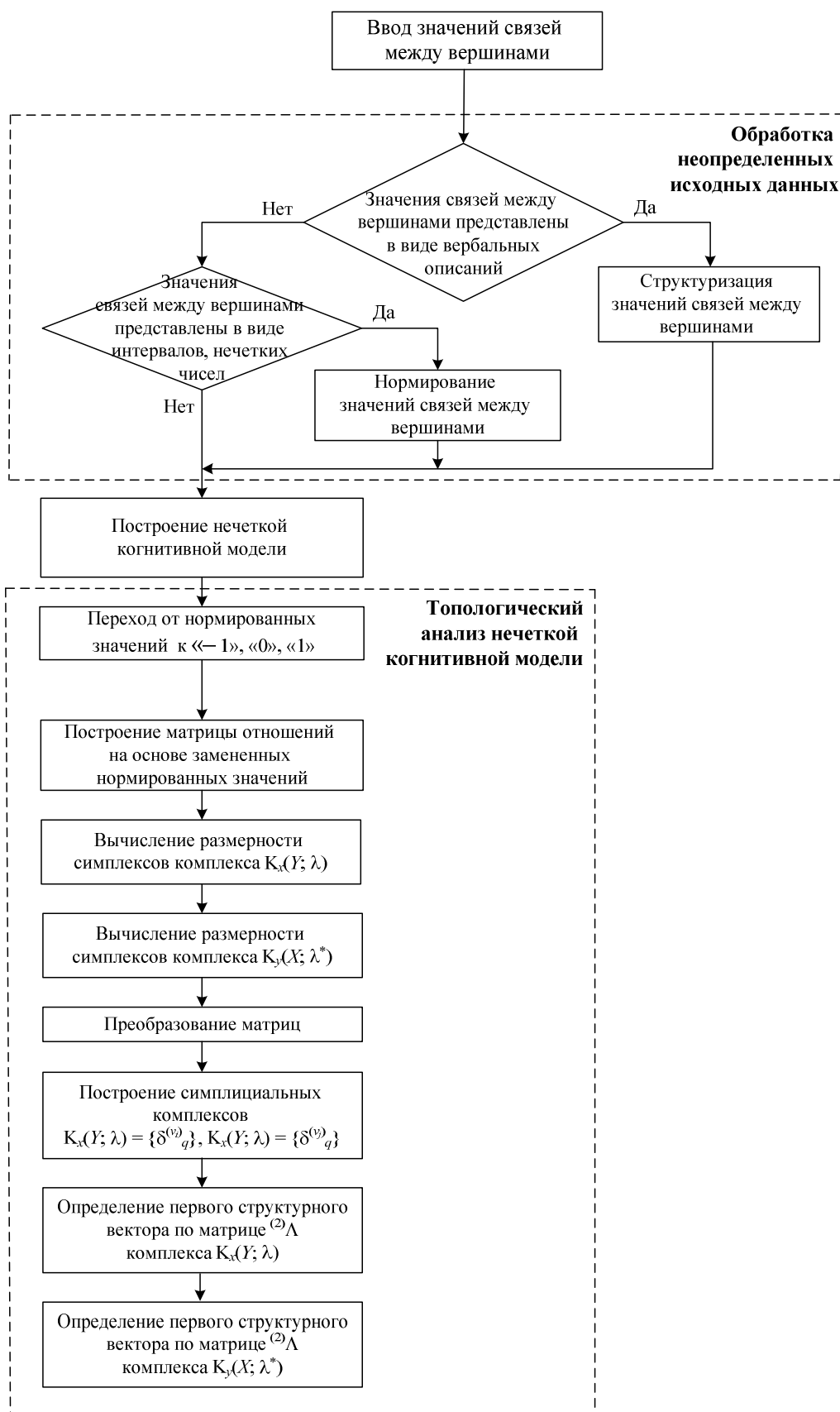


Рисунок 4.7 – Алгоритм топологического анализа структур нечетких когнитивных моделей<sup>39</sup>

<sup>39</sup> Алгоритм адаптирован автором по материалам [39]



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

*Шаг. 2.* Рассматривается условие:

- если условие, что значения связей между вершинами представлены в виде вербальных описаний соблюдается, то переходим к шагу 3;
- если условие не соблюдается, то переходим к шагу 4.

*Шаг. 3.* Структуризация значений связей между вершинами.

*Шаг. 4.* Рассматривается условие:

- если условие, что значения связей между вершинами представлены в виде интервалов, нечетких чисел, соблюдается, то переходим к шагу 5;
- если условие не соблюдается, т.е. значения связей между вершинами представлены числами из интервала  $w_{ij} \in [-1, 1]$ , то переходим к шагу 6.

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

*Шаг. 6.* Построение нечеткой когнитивной модели.

Построенная НКМ далее представляется в виде матрицы отношений.

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

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

- 1) если нормированное значение лежит в интервале  $[-1, 0)$ , то присваивается минус «единица»;
- 2) если нормированное значение лежит в интервале  $[0, 0,5)$  – «ноль»;
- 3) если нормированное значение лежит в интервале  $[0,5, 1]$  – «единица».

Например, в работе [180] в качестве перехода от нечетких чисел к числам («1» и «0») предлагается использовать  $\alpha$ -уровень нечеткого соответствия, от которого зависит конечный результат.

*Шаг. 8.* Построение матрицы отношений, состоящей из «-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  $K_x(Y; \lambda)$

$$q = q^{(i)} = \sum_{j=1}^m \lambda_{ij} - 1. \quad (4.31)$$

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

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

$$q = q^{(j)} = \sum_{i=1}^m \lambda_{ij} - 1. \quad (4.32)$$

*Шаг. 11.* Осуществляется преобразование матриц.

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

$$q_1^{(i)} > q_2^{(i)} > q_3^{(i)} > \dots > 0 > -1. \quad (4.33)$$

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

$$q_1^{(j)} > q_2^{(j)} > q_3^{(j)} > \dots > 0 > -1. \quad (4.34)$$

*Шаг. 12.* Осуществляется построение симплициальных комплексов.

Построение комплекса  $K_x(Y; \lambda) = \{\delta_q^{(v_i)}\}$  представляет собой последовательность симплексов  $\delta_q^{(v_i)}$ , которая упорядочена по правилу (4.33) 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 (4.34) 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  $q^{(i)}$  количество симплексов в каждом классе эквивалентности  $Q_q$  устанавливается по правилу: 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  $q^{(j)}$  количество симплексов в каждом классе эквивалентности  $Q_q$  устанавливается по правилу: 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.

*Конец алгоритма.*

Таким образом, предложенный метод топологического анализа структур НКМ на этапе предпроектного исследования позволяет обрабатывать значения связей между факторами, представленных в виде чисел, вербальных описаний, интервалов, нечетких треугольных и трапециевидных чисел, а также предоставляет рекомендации обоснования выбора целевых и управляющих вершин НКМ в условиях неопределенных исходных данных, а также информацию для управленческих действий, направленных на совершенствование системы. Результаты по изучению структур взаимосвязей блоков вершин симплицального комплекса, выявлению существенных связей позволяют создавать эффективные структуры НКМ. Предложен алгоритм топологического анализа структур НКМ, особенностью которого является наличие шага «Переход от нормированных значений к числам «-1», «0», «1»».

## Выводы по главе 4

1) Анализ работ, посвященных моделированию на НКМ, показал, что в случае неопределенных исходных данных (значений факторов и связей между

ними) необходимо применять алгоритм обработки неопределенных исходных данных с целью использования нечеткого когнитивного моделирования. Разработанный алгоритм основан на нормировании и структуризации значений параметров вершин и связей между ними, представленных в виде чисел (отличающихся единицами измерения и порядком величин), вербальных описаний, интервалов, нечетких треугольных и трапецевидных чисел.

2) Анализ работ, посвященных статическому анализу НКМ, показал, что в случае нечетких значений связей между факторами необходимо применять метод оценки влияния факторов на реализуемость проектов по созданию ИУС с использованием НКМ. Данный метод позволяет выявить, какие из факторов оказывают наибольшее влияние на всю систему и наоборот, а также какие подвержены наибольшему влиянию со стороны системы, а также оценить степень влияния для повышения обоснованности принимаемых управленческих решений.

3) Анализ работ, посвященных процедуре обучения НКМ, показал, что в случае неопределенных исходных данных (значений факторов и связей между ними) необходимо применять метод оценки реализуемости проектов по созданию ИУС с использованием процедуры обучения НКМ. Данный метод позволяет осуществлять поиск наилучших значений факторов, отражающих реализуемость проектов при наличии ресурсов, в соответствии с контрактом по созданию ИУС. Разработана обобщенная схема метода, а также алгоритм обучения НКМ, включающий шаг обработки значений параметров вершин и связей между ними.

4) Анализ работ, посвященных анализу структур ЧКМ, показал, что в случае неопределенных исходных данных (значений связей между факторами), необходимо применять метод топологического анализа структур НКМ. Разработан алгоритм топологического анализа структур НКМ, особенностью которого является наличие шага «Переход от нормированных значений к числам «-1», «0», «1»». Данный метод предоставляет рекомендации обоснования выбора целевых и управляющих вершин НКМ в условиях неопределенных исходных данных, а также информацию для управленческих действий, направленных на совершенствование системы.

Отметим, что предложенные методы оценки реализуемости проектов по созданию ИУС с использованием методологии нечеткого когнитивного моделирования отличаются от известных подходов к анализу и обучению НКМ наличием этапа обработки неопределенных исходных данных, представленных в виде чисел (отличающихся единицами измерения и порядком величин), вербальных описаний, интервалов, нечетких треугольных и трапециевидных чисел.

## **Глава 5. Примеры решения задач оценки реализуемости проектов по созданию информационно-управляющих систем промышленных объектов**

Рассматриваются примеры использования разработанных выше моделей, методов и алгоритмов для решения практических задач, связанных с оценкой реализуемости проекта по созданию информационно-управляющих систем на примере атомной промышленности и машиностроительной промышленности.

### **5.1. Оценка реализуемости проекта по разработке программно-технических средств управляющей системы машины перегрузки топлива Нововоронежской АЭС-2**

Программно-технические средства управляющей системы машины перегрузки топлива (ПТС УС МП) энергоблока № 1 Нововоронежской АЭС-2 предназначены для управления транспортно-технологическим комплексом по перегрузке ядерного топлива в атомном реакторе на АЭС.

В России большое распространение получили реактор типа ВВЭР-1000. На рисунке 5.1 представлена МП атомного реактора ВВЭР-1000, с помощью которой осуществляется загрузка (перегрузка) ядерного топлива [2].



Рисунок 5.1 – Машина перегрузочная атомного реактора ВВЭР-1000

Однако дальнейшее использование устаревшей перегрузочной машины атомного реактора ВВЭР-1000 в составе вновь проектируемых энергоблоков – нецелесообразно. Поэтому в настоящее время возникает необходимость создания современных систем перегрузки ядерного топлива.

На рисунке 5.2 представлена МП для энергоблока № 1 Нововоронежской АЭС-2 [2].

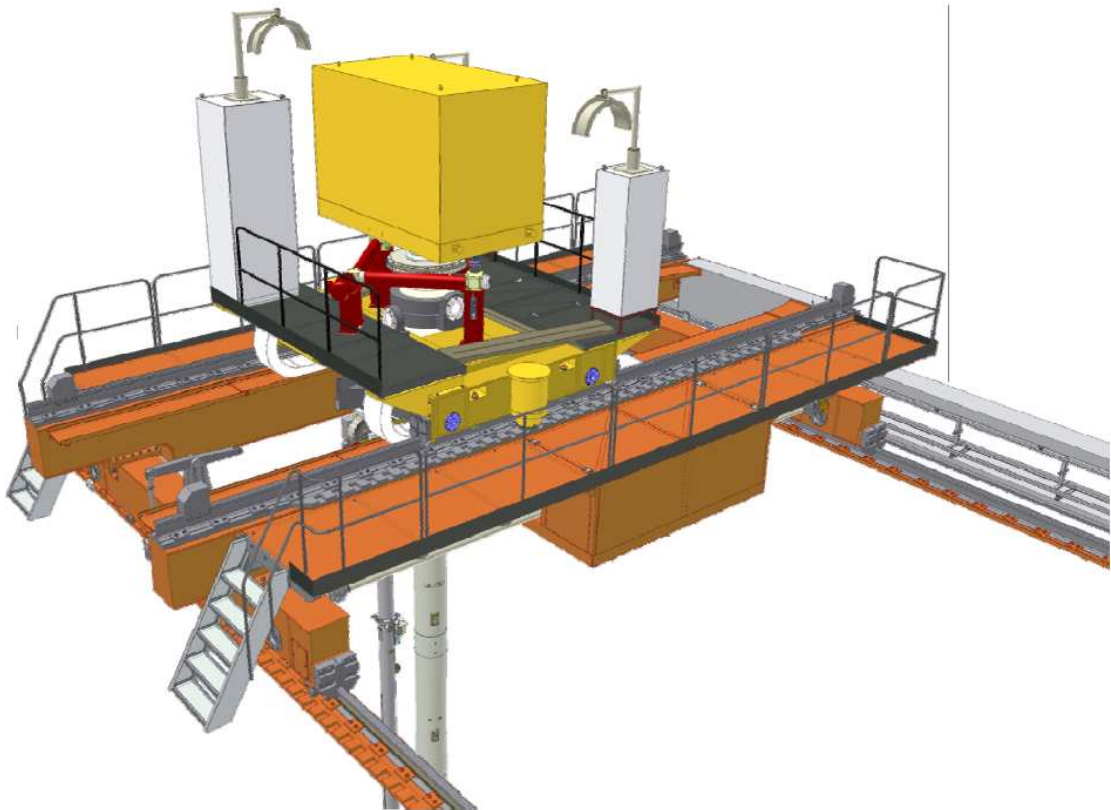


Рисунок 5.2 – Машина перегрузки для энергоблока № 1 Нововоронежской АЭС-2

В качестве системы управления МП реактора ВВЭР-1200 используется управляющая система (рисунок 5.3), которая имеет многоуровневую, многопроцессорную структуру, обеспечивающую выполнение повышенных требований к отказоустойчивости и безопасности. Данная система построена на базе современных средств промышленной автоматики и средств вычислительной техники с использованием новейших информационных технологий, что позволяет повысить отказоустойчивость, сократить время непродуктивного простоя при перегрузке ядерного топлива в период планово-предупредительного ремонта на АЭС [160].



Рисунок 5.3 – Двухканальный дистанционный пульт управления УС МП для Нововоронежской АЭС-2

Для оценки реализуемости проекта по разработке ПТС УС МП использовался следующий комплекс моделей и методов (рисунок 5.4).

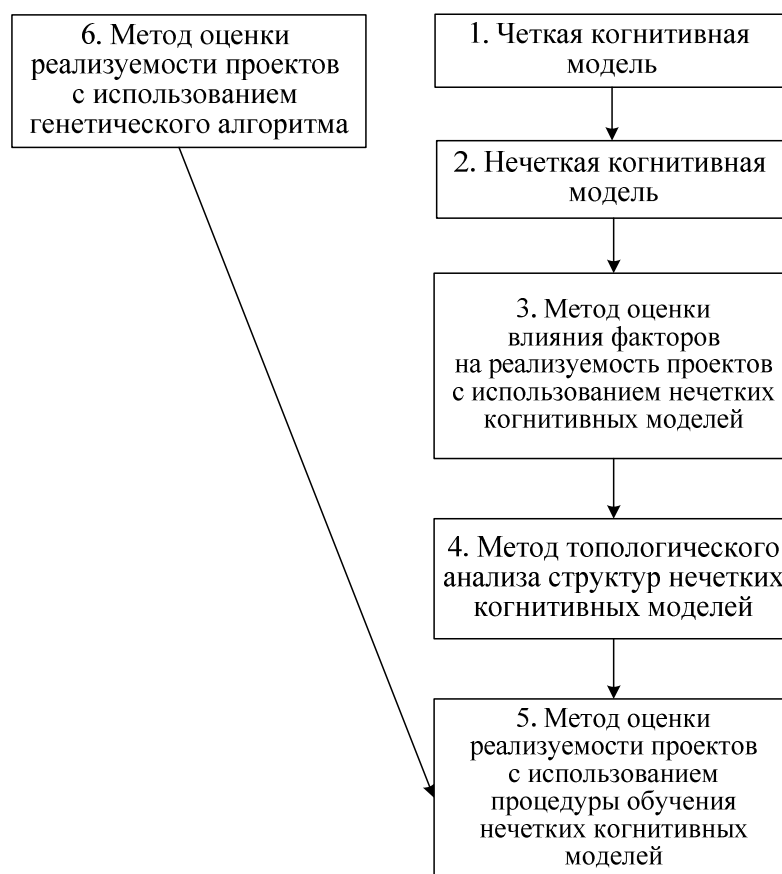


Рисунок 5.4 – Комплекс когнитивных моделей и методов для оценки реализуемости проекта по разработке ПТС УС МП



Для построения четкой когнитивной модели (ЧКМ) необходимо проанализировать внешнее и внутреннее окружение проекта по разработке ПТС УС МП [40, 41, 52]. Для этого руководитель проекта на основе опыта выделяет блоки факторов, необходимых для оценки реализуемости проекта на этапе предпроектного исследования: *Блок 1* – Входная информация, *Блок 2* – Выходная информация, *Блок 3* – Внешняя среда. Состав блоков и их взаимодействие приведены на рисунке 5.5.

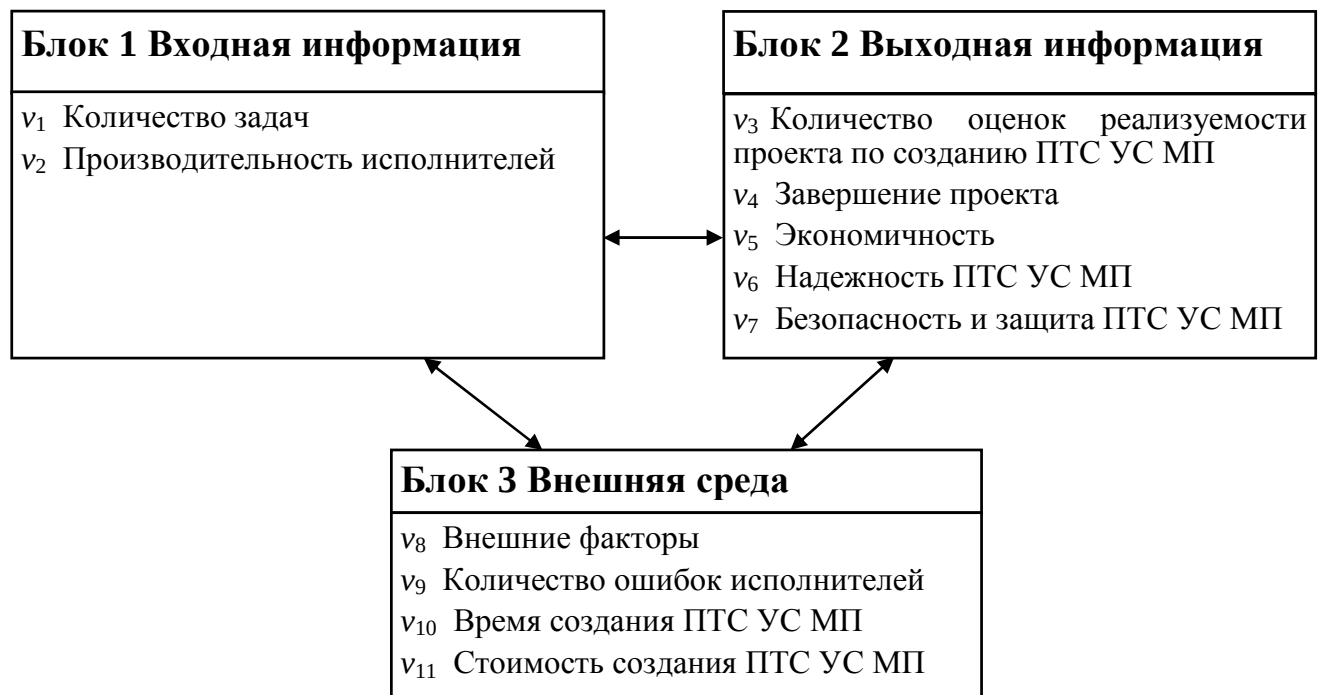


Рисунок 5.5 – Состав и взаимодействие блоков факторов, необходимых для оценки реализуемости проекта по разработке ПТС УС МП

Состав *Блок 1 «Входная информация»*:  $v_1$  – количество задач;  $v_2$  – производительность исполнителей (скорость выполнения работ).

Состав *Блок 2 «Выходная информация»*:  $v_3$  – количество оценок реализуемости проекта по разработке ПТС УС МП (оценки реализуемости могут быть получены с применением различных подходов и методов);  $v_4$  – завершение проекта по разработке ПТС УС МП (неудачное завершение проекта, т.е. отставание от графика работ либо провал проекта);  $v_5$  – экономичность (выполнение работ с наименьшими затратами);  $v_6$  – надежность ПТС УС МП (система находится в работоспособном состоянии в течение определенного

отрезка времени),  $v_7$  – безопасность и защита ПТС УС МП (свойство системы исправно функционировать без проявления различных негативных последствий для людей и внешней среды). Отметим, что технические показатели скрыты в вершинах  $v_6$  и  $v_7$ .

Состав Блок 3 «Внешняя среда»:  $v_8$  – внешние факторы (сейсмика, климатика, землетрясение, наводнение);  $v_9$  – количество ошибок исполнителей;  $v_{10}$  – время разработки ПТС УС МП (время, затраченное на разработку);  $v_{11}$  – стоимость разработки ПТС УС МП (финансовые ресурсы, затрачиваемые на разработку).

Построение ЧКМ и проведение модельного эксперимента было проведено с помощью программы *CogMap* [168].

На основе блоков, представленных на рисунке 5.5, была построена общая ЧКМ  $G$  оценки реализуемости проекта по разработке ПТС УС МП (рисунок 5.6), для которой был применен принцип «снизу».

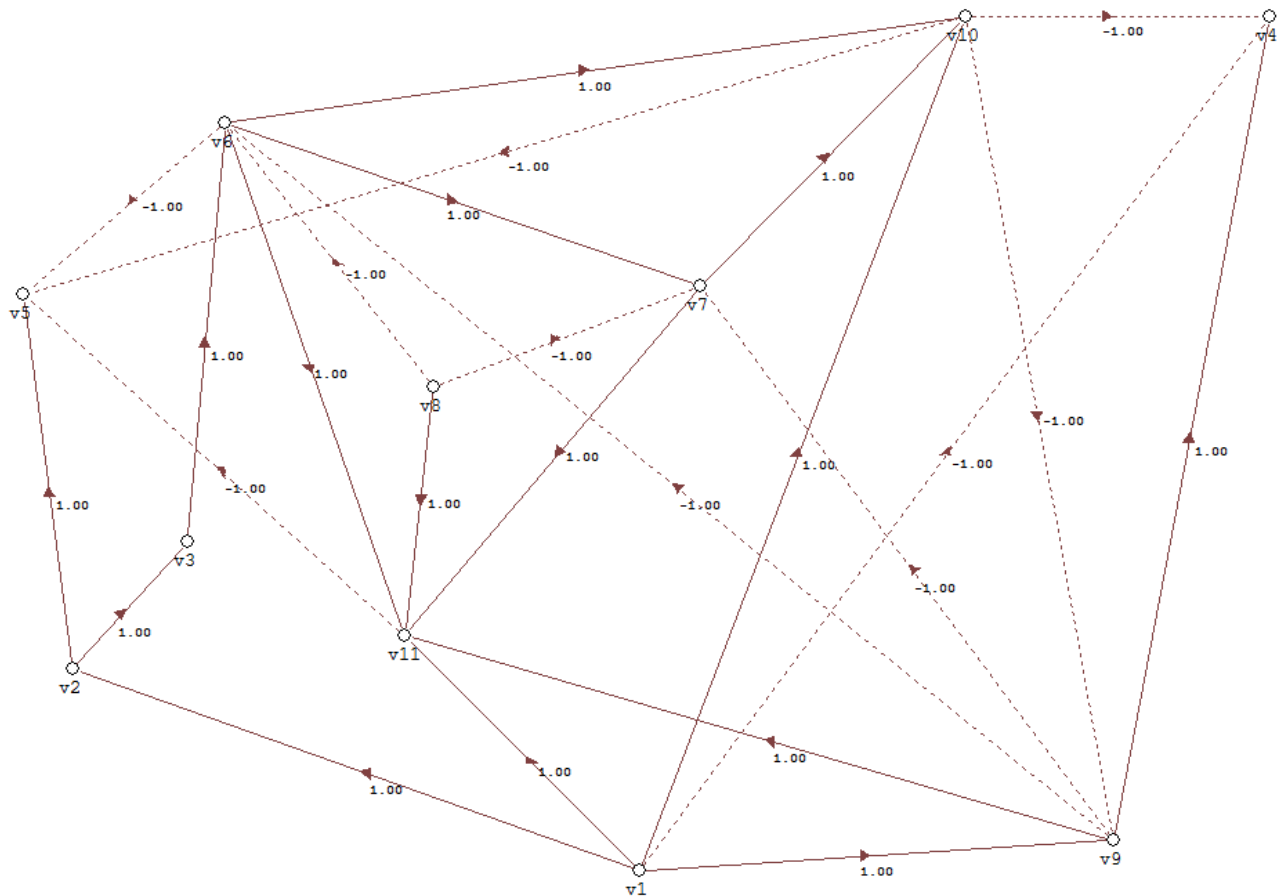


Рисунок 5.6 – Четкая когнитивная модель  $G$  оценки реализуемости проекта по разработке ПТС УС МП

Далее описаны связи ЧКМ G:

$v_1v_2$  – увеличение количества задач приводит к увеличению производительности исполнителей;  $v_1v_9$  – увеличение количества задач приводит к увеличению количества ошибок исполнителей;  $v_1v_{10}$  – увеличение количества задач приводит к увеличению времени разработки ПТС УС МП;  $v_1v_{11}$  – увеличение количества задач приводит к увеличению стоимости разработки ПТС УС МП;  $v_2v_3$  – увеличение производительности исполнителей приводит к увеличению количества оценок реализуемости проекта по разработке ПТС УС МП;  $v_2v_5$  – увеличение производительности исполнителей приводит к увеличению экономичности;  $v_3v_6$  – увеличение количества оценок реализуемости проекта по разработке ПТС УС МП приводит к увеличению надежности ПТС УС МП;  $v_6v_5$  – увеличение надежности ПТС УС МП приводит к уменьшению экономичности;  $v_6v_7$  – увеличение надежности ПТС УС МП приводит к увеличению безопасности и защиты ПТС УС МП;  $v_6v_{10}$  – увеличение надежности ПТС УС МП приводит к увеличению времени на разработку ПТС УС МП;  $v_6v_{11}$  – увеличение надежности ПТС УС МП приводит к увеличению стоимости разработки ПТС УС МП;  $v_7v_{10}$  – увеличение безопасности и защиты ПТС УС МП приводит к увеличению времени разработки ПТС УС МП;  $v_7v_{11}$  – увеличение безопасности и защиты ПТС УС МП приводит к увеличению стоимости разработки ПТС УС МП;  $v_8v_6$  – увеличение внешних факторов приводит к уменьшению надежности ПТС УС МП;  $v_8v_7$  – увеличение внешних факторов приводит к уменьшению безопасности и защиты ПТС УС МП;  $v_8v_{11}$  – увеличение внешних факторов приводит к увеличению стоимости разработки ПТС УС МП;  $v_9v_4$  – увеличение количества ошибок исполнителей приводит к увеличению неудачного завершения проекта;  $v_9v_6$  – увеличение количества ошибок исполнителей приводит к уменьшению надежности ПТС УС МП;  $v_9v_7$  – увеличение количества ошибок исполнителей приводит к уменьшению безопасности и защиты ПТС УС МП;  $v_9v_{11}$  – увеличение количества ошибок исполнителей приводит к увеличению стоимости разработки ПТС УС МП;  $v_{10}v_4$  – увеличение времени разработки ПТС УС МП приводит к уменьшению неудачного завершения проекта;  $v_{10}v_5$  – увеличение времени

разработки ПТС УС МП приводит к уменьшению экономичности;  $v_{10}v_9$  – уменьшение времени на разработку ПТС УС МП приводит к увеличению количества ошибок исполнителей;  $v_{11}v_5$  – увеличение стоимости разработки ПТС УС МП приводит к уменьшению экономичности.

После построения ЧКМ  $G$  был проведен ее анализ согласно когнитивному моделированию [35]. Анализ структурной устойчивости показал, что в модели  $G$  присутствует всего три цикла из вершин: 9-7-10-9 (цикл 1), 9-6-10-9 (цикл 2), 9-6-7-10-9 (цикл 3). Причем все три цикла с положительной обратной связью (отрицательных циклов нет).

Таким образом, ЧКМ является «неустойчивой» к возмущениям и структурно неустойчивой. Это означает, например, однажды возросшее количество ошибок исполнителей, если ничего не предпринимать, будут неограниченно расти дальше за счет цикла положительной обратной связи, даже если изначальная причина роста уже исчезла.

Также ЧКМ не устойчива ни по возмущению, ни по начальному значению, согласно соответствующему критерию устойчивости в теории управления, поскольку имеются корни характеристического уравнения матрицы отношений ЧКМ  $G$  больше 1:  $|M| = 1,4 > 1$  (собственных чисел матрицы отношений – 11). То есть любое возмущение может привести к тому, что система выйдет из равновесного состояния.

На основе таблицы, представленной на рисунке 2.6, была создана таблица 5.1, где представлен фрагмент плана вычислительного эксперимента для ЧКМ  $G$ , состоящий из наиболее характерных сценариев развития ЧКМ, получаемых путем последовательного внесения возмущений в вершины. На основе таблицы 5.1 было проведено планирование эксперимента и оценка каждого сценария развития ЧКМ.

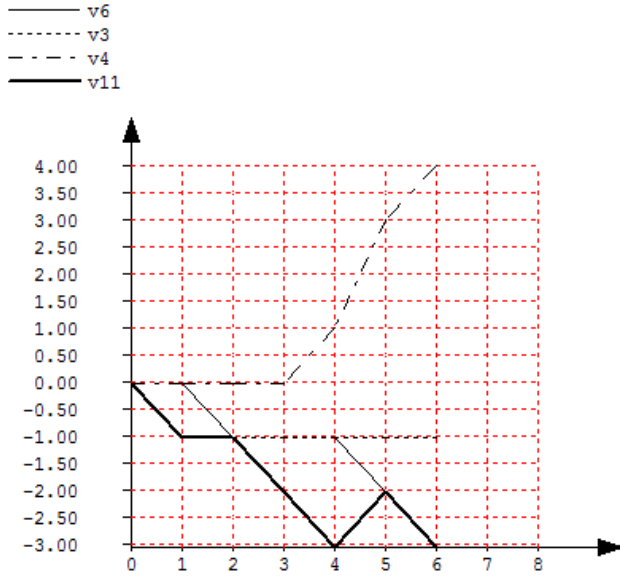
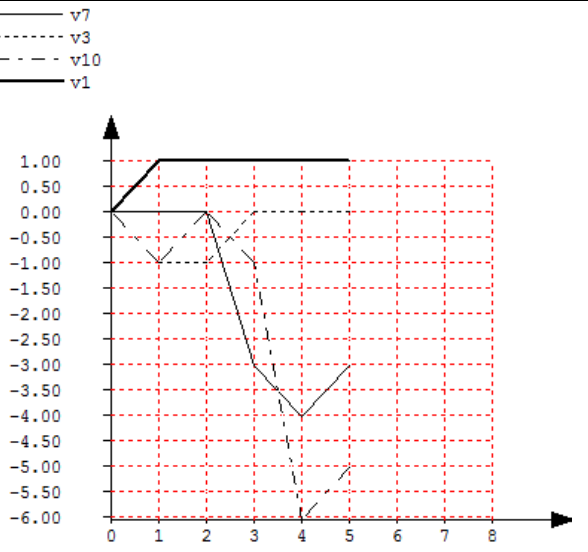
Таблица 5.1 – Фрагмент плана вычислительного эксперимента для модели ЧКМ G

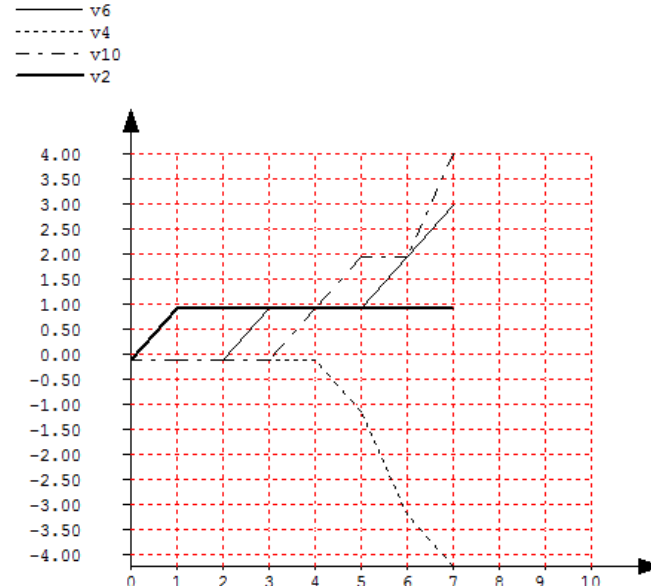
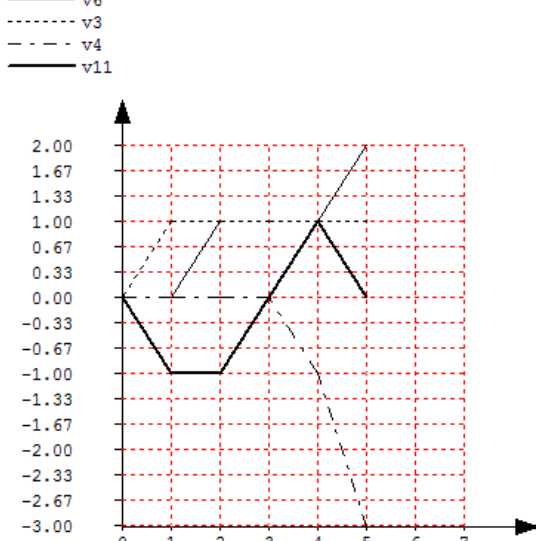
| Сценарий     | Возмущение                               | Вершины |       |       |       |       |       |       |       |       |          |          |
|--------------|------------------------------------------|---------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|----------|----------|
|              |                                          | $v_1$   | $v_2$ | $v_3$ | $v_4$ | $v_5$ | $v_6$ | $v_7$ | $v_8$ | $v_9$ | $v_{10}$ | $v_{11}$ |
| Сценарий № 1 | $q_9 = 1$                                |         |       |       |       |       |       |       |       | 1     |          |          |
| Сценарий № 2 | $q_3 = -1$<br>$q_{11} = -1$              |         |       | -1    |       |       |       |       |       |       |          | -1       |
| Сценарий № 3 | $q_1 = 1$<br>$q_3 = -1$<br>$q_{10} = -1$ | 1       |       | -1    |       |       |       |       |       |       | -1       |          |
| Сценарий № 4 | $q_2 = 1$                                |         | 1     |       |       |       |       |       |       |       |          |          |
| Сценарий № 5 | $q_3 = 1$<br>$q_{11} = -1$               |         |       | 1     |       |       |       |       |       |       |          | -1       |
| Сценарий № 6 | $q_3 = 1$<br>$q_9 = -1$<br>$q_{10} = -1$ |         |       | 1     |       |       |       |       |       | -1    | -1       |          |

В таблице 5.2 приведены результаты импульсного моделирования сценариев развития ЧКМ и дан их анализ, причем сценарии 1, 2, 3 соответствуют «отрицательным» (пессимистическим) сценариям; сценарии 4, 5, 6 – «положительным» (оптимистическим) сценариям.

Таблица 5.2 – Результаты импульсного моделирования развития ситуаций на четкой когнитивной модели G

| Сценарий                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                        | Результат |
|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------|
| 1                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                               | 2         |
| <p><i>Сценарий № 1.</i></p> <p>Импульс поступает в одну вершину.</p> <p>Зададимся вопросом: «Что будет, если количество ошибок исполнителей начнет возрастать <math>q_9 = 1</math>?»</p> <p>Поскольку в остальные 10 вершин возмущения не вносятся, то вектор возмущений <math>Q</math> будет содержать только <math>q_9 = 1</math>, остальные возмущения равны 0, т.е. <math>Q = \{q_0 = 0; \dots 0; q_9 = 1; 0; \dots q_{11} = 0\}</math></p> |           |
| <p><b>Рекомендации (вывод):</b> при увеличении ошибок исполнителей наблюдается тенденция ухудшения ситуаций во всех остальных вершинах когнитивной модели. При этом резко увеличивается неудачное завершение проекта по разработке ПТС УС МП.</p>                                                                                                                                                                                               |           |

| 1                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                     | 2                                                                                                                                                                                                                |
|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| <p><i>Сценарий № 2.</i></p> <p>Импульс поступает в две вершины.</p> <p>Зададимся вопросом: «Что будет, если уменьшить количество оценок реализуемости проекта по разработке ПТС УС МП <math>q_3 = -1</math> и уменьшить стоимость разработки ПТС УС МП <math>q_{11} = -1</math>?»</p>                                                                                                                                 |  <p>Легенда:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>— v6</li> <li>----- v3</li> <li>- - - - v4</li> <li>— v11</li> </ul>   |
| <p><b>Рекомендации:</b> уменьшение количества оценок реализуемости проекта по разработке ПТС УС МП и стоимости разработки ПТС УС МП приводит к тенденции уменьшения надежности ПТС УС МП. Это приводит к резкому увеличению неудачного завершения проекта. Заметим, что при небольшом увеличении финансовых ресурсов не наблюдается увеличение надежности ПТС УС МП.</p>                                              |                                                                                                                                                                                                                  |
| <p><i>Сценарий № 3.</i></p> <p>Импульс поступает в три вершины.</p> <p>Зададимся вопросом: «Что будет, если увеличить количество задач <math>q_1 = 1</math>, уменьшить количество оценок реализуемости проекта по разработке ПТС УС МП <math>q_3 = -1</math> и уменьшить время разработки ПТС УС МП <math>q_{10} = -1</math>?»</p>                                                                                    |  <p>Легенда:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>— v7</li> <li>----- v3</li> <li>- - - - v10</li> <li>— v1</li> </ul> |
| <p><b>Рекомендации:</b> увеличение количества задач, уменьшение количества оценок реализуемости проекта по разработке ПТС УС МП и времени разработки ПТС УС МП приводит к тенденции уменьшения безопасности и защиты ПТС УС МП. Это может привести к резкому увеличению неудачного завершения проекта. Заметим, что небольшое увеличение времени на разработку ПТС УС МП не приводит к положительным результатам.</p> |                                                                                                                                                                                                                  |

| 1                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                      | 2                                                                                                                                                                                                                |
|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| <p><i>Сценарий № 4.</i></p> <p>Импульс поступает в <b>одну</b> вершину.</p> <p>Зададимся вопросом: «Что будет, если увеличить производительность исполнителей <math>q_2 = 1</math>?»</p>                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                               |  <p>Легенда:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>— v6</li> <li>--- v4</li> <li>- - - v10</li> <li>- · - v2</li> </ul>   |
| <p><b>Рекомендации:</b> увеличение производительности исполнителей приводит к тенденции увеличения надежности ПТС УС МП. Это в свою очередь приводит к тенденции увеличения времени разработки ПТС УС МП и уменьшения неудачного завершения проекта.</p>                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                               |                                                                                                                                                                                                                  |
| <p><i>Сценарий № 5.</i></p> <p>Импульс поступает в <b>две</b> вершины.</p> <p>Зададимся вопросом: «Что будет, если увеличить количество оценок реализуемости проекта по разработке ПТС УС МП <math>q_3 = 1</math> и уменьшить стоимость разработки ПТС УС МП <math>q_{11} = -1</math>?»</p>                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                            |  <p>Легенда:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>— v6</li> <li>--- v3</li> <li>- - - v4</li> <li>- · - v11</li> </ul> |
| <p><b>Рекомендации:</b> при увеличении количества оценок реализуемости проекта по разработке ПТС УС МП, несмотря на уменьшение стоимости разработки ПТС УС МП, наблюдается тенденция увеличения надежности. Это в свою очередь приводит к тенденции уменьшения неудачного завершения проекта. Причем уменьшение стоимости разработки ПТС УС МП не приводит к тенденции уменьшения надежности, поскольку тенденция увеличения или уменьшения надежности ПТС УС МП зависит от количества оценок реализуемости проекта по разработке ПТС УС МП. В связи с этим можно утверждать, что чем больше проведено оценок реализуемости проекта с применением различных методов, тем надежнее будет ПТС УС МП.</p> |                                                                                                                                                                                                                  |

| 1                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                            | 2                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                  |
|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| <p><i>Сценарий № 6.</i></p> <p>Импульс поступает в три вершины.</p> <p>Зададимся вопросом: «Что будет, если увеличить количество оценок реализуемости проекта по разработке ПТС УС МП <math>q_3 = 1</math>, уменьшить ошибки исполнителей <math>q_9 = -1</math> и уменьшить время разработки ПТС УС МП <math>q_{10} = -1</math>?»</p>                                        | <p>График импульсных процессов с четырьмя вершинами. Ось абсцисс (n) имеет значения от 0 до 5. Ось ординат имеет значения от -3.00 до 2.00. Четыре вершины отмечены: v7 (сплошная линия), v3 (пунктирная линия), v10 (штрихпунктирная линия) и v9 (жирная линия). Вершины находятся в точках (0, 0), (1, -1), (2, 0) и (3, 2).</p> |
| <p><b>Рекомендации:</b> при увеличении количества оценок реализуемости проекта по разработке ПТС УС МП, уменьшении ошибок исполнителей и уменьшении времени разработки ПТС УС МП наблюдается увеличение безопасности и защиты ПТС УС МП. При этом отметим, что уменьшение времени разработки ПТС УС МП никак не отражается на тенденции безопасности и защиты ПТС УС МП.</p> |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                    |

На графиках по оси абсцисс отмечены такты моделирования  $n$  (могут быть поставлены конкретные временные интервалы), по оси ординат – изменение значений параметров вершин (можно понимать цифры, характеризующие скорость нарастания сигналов в вершинах когнитивной модели; либо изменение вершины в процентах, что позволяет не задумываться о единицах измерения и порядке величин вершин).

Отметим, что для лучшего восприятия изображения графики импульсных процессов содержат по четыре вершины. При этом отметим, что на графиках представлено такое количество тактов моделирования, которое отражает тенденции изменений. Дальнейший вычислительный эксперимент показал, что на последующих тактах тенденции нарастания или убывания не меняются.

Таким образом, результаты импульсного моделирования на ЧКМ G показали определяющую роль количества оценок реализуемости проекта по разработке ПТС УС МП для безопасности и защиты ПТС УС МП. При этом



результаты не противоречат практическим наблюдениям, а свидетельствуют об адекватности разработанной ЧКМ. Причем моделирование сценариев развития системы, основанное на формуле (2.3), дает существенно больший спектр анализируемых ситуаций, чем экспертный структурный анализ когнитивной модели. Полученные результаты дают основание рекомендовать соответствующий набор рекомендаций (управляющих воздействий) руководителю проекта для выбора наилучшего сценария развития системы.

В случае если значения факторов и связей между ними представлены в виде чисел, вербальных описаний, интервалов, нечетких треугольных и трапециевидных чисел, то для оценки реализуемости проекта по разработке ПТС УС МП целесообразно применить нечеткое когнитивное моделирование.

Предположим, что руководитель и исполнители проекта на основе предыдущего опыта и с применением таблицы 4.3 оценили значения связей между вершинами когнитивной модели  $G$  следующим образом (таблица 5.3).

Таблица 5.3 – Матрица смежности с начальными значениями связей между вершинами ЧКМ  $G$

|          | $v_1$ | $v_2$         | $v_3$         | $v_4$            | $v_5$            | $v_6$            | $v_7$            | $v_8$ | $v_9$            | $v_{10}$      | $v_{11}$      |
|----------|-------|---------------|---------------|------------------|------------------|------------------|------------------|-------|------------------|---------------|---------------|
| $v_1$    | 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             |

В результате нормирования по формуле (4.9) и (4.12) получена матрица отношений, где значения связей между вершинами представлены из интервала

$w_{ij} \in [-1, 1]$  и показаны на НКМ оценки реализуемости проекта по разработке ПТС УС МП (рисунок 5.7).

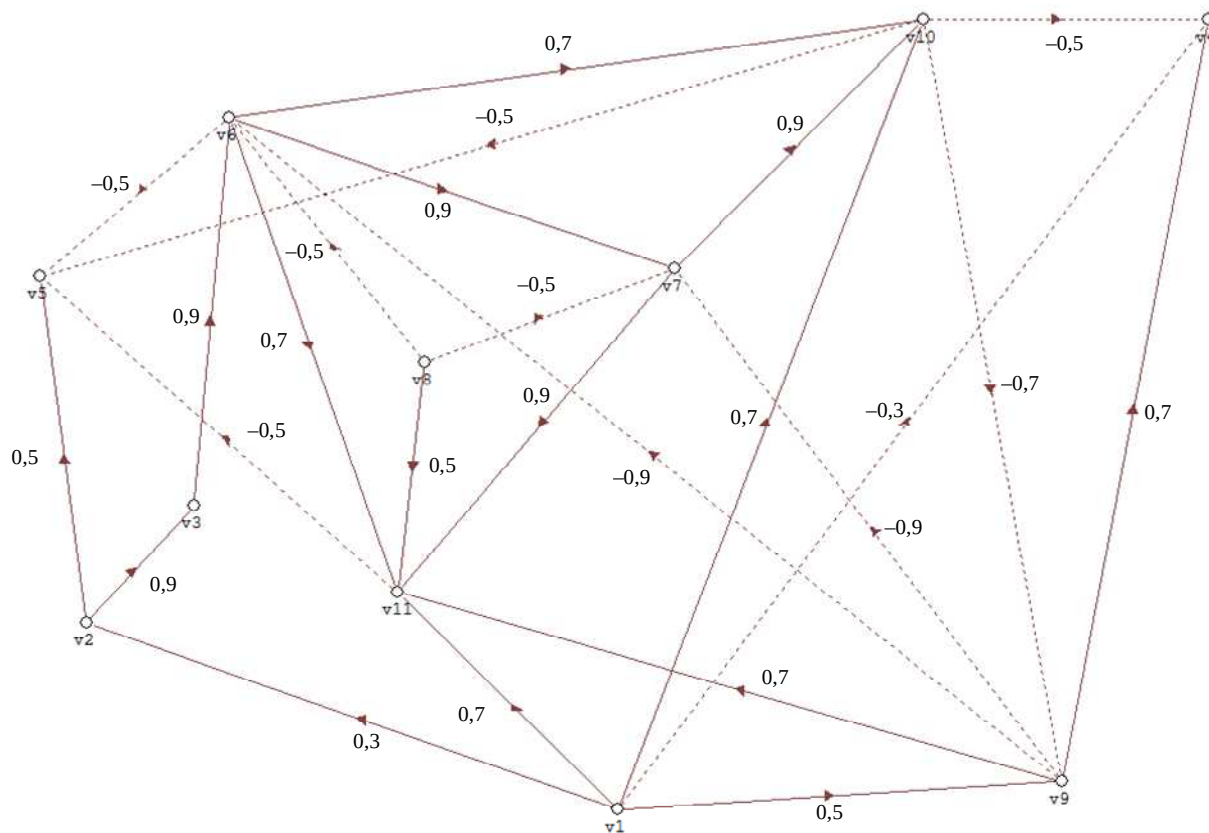


Рисунок 5.7 – Нечеткая когнитивная модель  $G_{\text{неч1}}$  оценки реализуемости проекта по разработке ПТС УС МП

Интерпретировать связи, представленные на рисунке 5.3, можно следующим образом: преобразования процентных изменений причин в процентные изменения следствий. Например, связь  $v_1 \rightarrow v_2$  с весом 0,3 означает, что если значение параметра вершины  $v_1$  возрастет (уменьшится) на 10 %, то значение параметра вершины  $v_2$  возрастет (уменьшится) (знак «+») на 3 % ( $10 \% * 0,3 = 3 \%$ ). Например, 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  $v_9$  возрастет (знак «-») на 7 % ( $10 \% * 0,7 = 7 \%$ ).

В таблице 5.4 представлен фрагмент плана вычислительного эксперимента для НКМ  $G_{\text{неч1}}$ , состоящий из наиболее характерных сценариев развития НКМ.

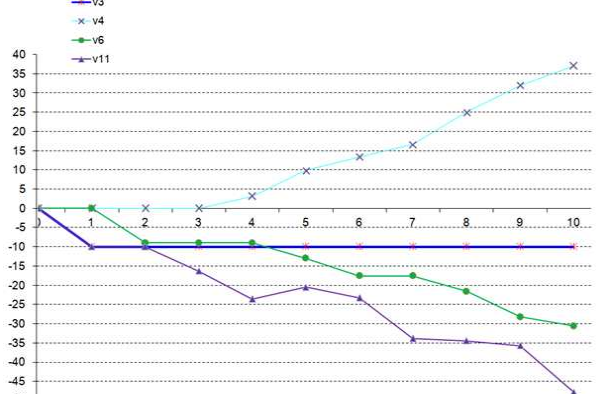
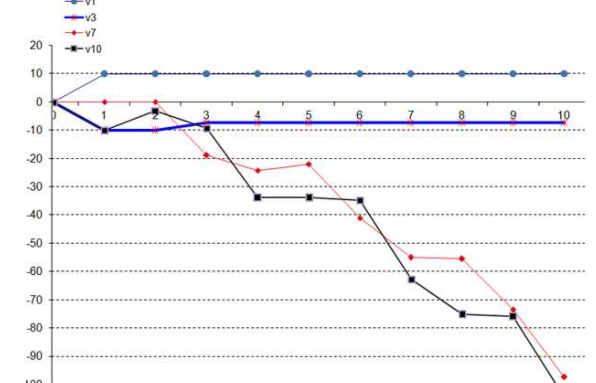
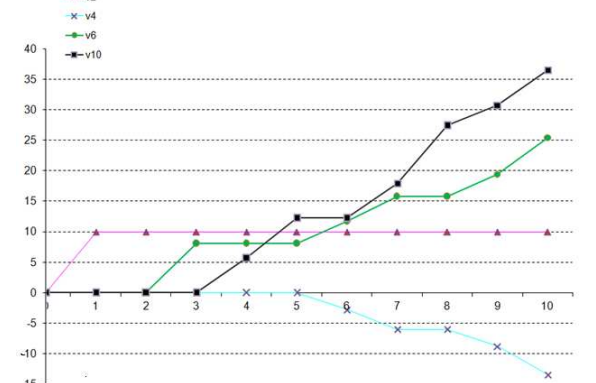
Таблица 5.4 – Фрагмент плана вычислительного эксперимента для модели НКМ  $G_{\text{неч1}}$

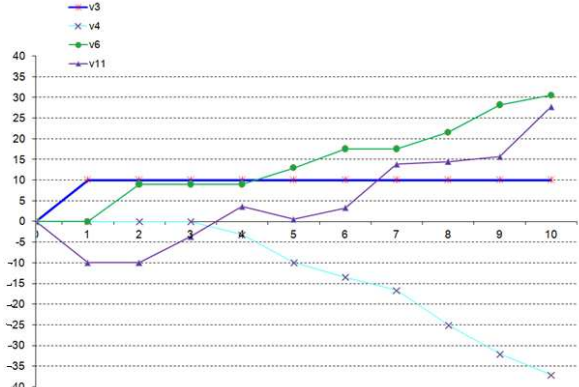
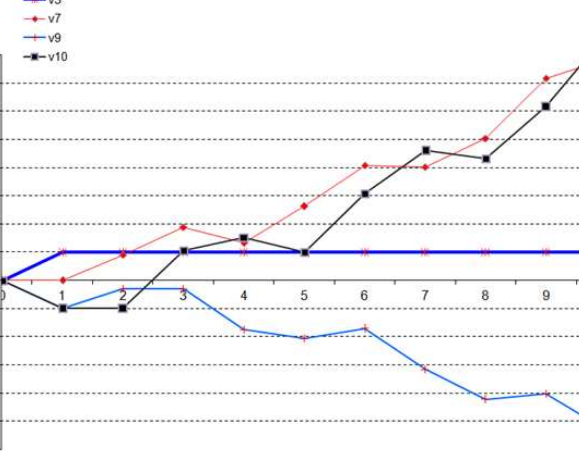
| Сценарий     | Возмущение                                  | Вершины |       |       |       |       |       |       |       |       |          |          |
|--------------|---------------------------------------------|---------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|----------|----------|
|              |                                             | $v_1$   | $v_2$ | $v_3$ | $v_4$ | $v_5$ | $v_6$ | $v_7$ | $v_8$ | $v_9$ | $v_{10}$ | $v_{11}$ |
| Сценарий № 1 | $q_9 = 10$                                  |         |       |       |       |       |       |       |       | 10    |          |          |
| Сценарий № 2 | $q_3 = -10$<br>$q_{11} = -10$               |         |       | -10   |       |       |       |       |       |       |          | -10      |
| Сценарий № 3 | $q_1 = 10$<br>$q_3 = -10$<br>$q_{10} = -10$ | 10      |       | -10   |       |       |       |       |       |       | -10      |          |
| Сценарий № 4 | $q_2 = 10$                                  |         | 10    |       |       |       |       |       |       |       |          |          |
| Сценарий № 5 | $q_3 = 10$<br>$q_{11} = -10$                |         |       | 10    |       |       |       |       |       |       |          | -10      |
| Сценарий № 6 | $q_3 = 10$<br>$q_9 = -10$<br>$q_{10} = -10$ |         |       | 10    |       |       |       |       | -10   | -10   |          |          |

В таблице 5.5 приведены результаты импульсного моделирования сценариев развития НКМ и дан их анализ. Сценарии 1, 2, 3 соответствуют «отрицательным» сценариям; сценарии 4, 5, 6 – «положительным». Проведение имитационного моделирования было произведено с помощью программы, реализованной в пакете *MS Excel, Matlab* (приложение А, «Программная система когнитивного моделирования в условиях нечеткой информации»).

Таблица 5.5 – Результаты имитационного моделирования развития ситуаций на НКМ  $G_{\text{неч1}}$

| Сценарий                                                                                                                                                                                                                                                                          | Результат                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                     |
|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| 1                                                                                                                                                                                                                                                                                 | 2                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                             |
| <p><b>Сценарий № 1.</b><br/>Импульс поступает в одну вершину.<br/>Зададимся вопросом: «Что будет, если увеличить количество ошибок исполнителей на <math>q_9 = 10\%</math>?»</p>                                                                                                  | <p>График показывает динамику четырех вершин: <math>v_4</math> (голубая линия с крестиками), <math>v_6</math> (зеленая линия с кружками), <math>v_9</math> (розовая линия с крестиками) и <math>v_{10}</math> (черная линия с квадратами). Ось абсцисс (время) имеет значения от 0 до 10. Ось ординат (значения) имеет значения от -100 до 60. Вершины <math>v_4</math>, <math>v_6</math> и <math>v_9</math> имеют положительные значения, которые в основном растут или остаются стабильными. Вершина <math>v_{10}</math> имеет отрицательные значения, которые резко снижаются со временем, достигая -100 к моменту 10.</p> |
| <p><b>Рекомендации:</b> расчет показал, что при увеличении количества ошибок исполнителей на 10 %, надежность ПТС УС МП уменьшится на (–9 %), и наступит дефицит времени на разработку ПТС УС МП на (–14,4 %). Это приводит к увеличению неудачного завершения проекта на 7%.</p> |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                               |

| 1                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                          | 2                                                                                    |
|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------|
| <p><b>Сценарий № 2.</b><br/>Импульс поступает в две вершины.<br/>Зададимся вопросом: «Что будет, если уменьшить количество оценок реализуемости проекта по разработке ПТС УС МП на <math>q_3 = -10\%</math> и уменьшить стоимость разработки ПТС УС МП на <math>q_{11} = -10\%</math>?»</p>                                                                                                                                                                                                |    |
| <p><b>Рекомендации:</b> если уменьшить количество оценок реализуемости проекта по разработке ПТС УС МП на <math>(-10\%)</math> и уменьшить стоимость разработки ПТС УС МП на <math>(-10\%)</math>, то надежность ПТС УС МП уменьшится на <math>(-9\%)</math>. Однако дальнейшее уменьшение стоимости разработки ПТС УС МП, начиная с 5 шага, приведет к резкому уменьшению надежности на <math>(-13\%)</math> и резкому увеличению неудачного завершения проекта на <math>10\%</math>.</p> |                                                                                      |
| <p><b>Сценарий № 3.</b><br/>Импульс поступает в три вершины.<br/>Зададимся вопросом: «Что будет, если увеличить количество задач на <math>q_1 = 10\%</math>, уменьшить количество оценок реализуемости проекта по разработке ПТС УС МП на <math>q_3 = -10\%</math> и уменьшить время разработки ПТС УС МП на <math>q_{10} = -10\%</math>?»</p>                                                                                                                                             |   |
| <p><b>Рекомендации:</b> увеличение количества задач на <math>10\%</math>, уменьшение количества оценок реализуемости проекта по разработке ПТС УС МП на <math>(-10\%)</math> и уменьшение времени разработки ПТС УС МП на <math>(-10\%)</math> приводит к резкому уменьшению безопасности и защиты ПТС УС МП на <math>(-19\%)</math>.</p>                                                                                                                                                  |                                                                                      |
| <p><b>Сценарий № 4.</b><br/>Импульс поступает в одну вершину.<br/>Зададимся вопросом: «Что будет, если увеличится производительность исполнителей <math>q_2 = 10\%</math>?»</p>                                                                                                                                                                                                                                                                                                            |  |
| <p><b>Вывод:</b> увеличение производительности исполнителей на <math>10\%</math> приводит к увеличению надежности ПТС УС МП на <math>8,1\%</math>. Однако с 6 шага наблюдается резкое увеличение надежности ПТС УС МП на <math>11,6\%</math>, что приводит к увеличению времени разработки ПТС УС МП на <math>12,2\%</math>. Это является результатом уменьшения неудачного завершения проекта на <math>(-2,7\%)</math>.</p>                                                               |                                                                                      |

| 1                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                   | 2                                                                                   |
|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------|
| <p><b>Сценарий № 5.</b><br/>Импульс поступает в две вершины.<br/>Зададимся вопросом: «Что будет, если увеличить количество оценок реализуемости проекта по разработке ПТС УС МП на <math>q_3 = 10\%</math> и уменьшить стоимость разработки ПТС УС МП на <math>q_{11} = -10\%</math>?»</p>                                                                                                                                                                                                          |   |
| <p><b>Рекомендации:</b> увеличение количества оценок реализуемости проекта по разработке ПТС УС МП на 10 % и уменьшение стоимости разработки ПТС УС МП на (–10 %) приводит к увеличению надежности ПТС УС МП на 9 %. Однако с 5 шага наблюдается резкое увеличение надежности на 17,5 %, что приводит к резкому увеличению стоимости разработки ПТС УС МП сначала на 3 %, затем на 14 %. Это является результатом резкого уменьшения неудачного проекта сначала на (–10 %), затем на (–13,8 %).</p> |                                                                                     |
| <p><b>Сценарий № 6.</b><br/>Импульс поступает в три вершины.<br/>Зададимся вопросом: «Что будет, если увеличить количество оценок реализуемости проекта по разработке ПТС УС МП на <math>q_3 = 10\%</math>, уменьшить ошибки исполнителей на <math>q_9 = -10\%</math> и уменьшить время разработки ПТС УС МП на <math>q_{10} = -10\%</math>?»</p>                                                                                                                                                   |  |
| <p><b>Рекомендации:</b> увеличение количества оценок реализуемости проекта по разработке ПТС УС МП на 10 %, уменьшение ошибок исполнителей на (–10 %) и уменьшение времени разработки ПТС УС МП на (–10 %) приводит к резкому увеличению безопасности и защиты ПТС УС МП на 10 %. Однако увеличение безопасности и защиты, начиная с 5 шага, влечет резкое увеличение времени разработки ПТС УС МП на 30 %.</p>                                                                                     |                                                                                     |

Полученные сценарии развития ситуаций, связанные с разработкой ПТС УС МП, позволили спрогнозировать возможности возникновения проблем, связанных с появлением каких-либо возмущений (увеличение ошибок исполнителей, уменьшение стоимости создания ИУС и др.), а также смоделировать вероятность их развития, чтобы предпринять технические, административные и другие меры для выработки обоснованных управленческих решений.

Для получения информации о неявных взаимных влияниях между факторами был проведен анализ структуры НКМ  $G_{\text{неч1}}$  с использованием программы, реализованной на языке *Java* (приложение А, «Анализ структуры нечеткой когнитивной модели в условиях нечетких исходных данных»), основанной на методе оценки влияния факторов на реализуемость проектов по созданию ИУС с применением НКМ, представленного в параграфе 4.2.

После ввода значений связей между вершинами (рисунок 5.8), были получены основные результаты расчета системных показателей НКМ  $G_{\text{неч1}}$  в пакете *MS Excel* (рисунок 5.9).

НHL algorithm

Файл

Входные данные

☒ Численные значения ☐ Лингвистическое описание

Тип переменных: Треугольное

Шкала: 5-бальная

Путь к отчету: C:\Users\Админ\Desktop\report1.x

Рассчитать

Матрица связей

|     | x1 | x2         | x3         | x4         | x5         | x6         | x7         | x8 | x9         | x10        | x11            |
|-----|----|------------|------------|------------|------------|------------|------------|----|------------|------------|----------------|
| x1  |    | [1.1;1.... |            | [-1.1;-... |            |            |            |    | [2.1;2.... | [3.1;3.... | [3.1;3.5;4.... |
| x2  |    |            | [4.1;4.... |            | [2.1;2.... |            |            |    |            |            |                |
| x3  |    |            |            |            |            | [4.1;4.... |            |    |            |            |                |
| x4  |    |            |            |            |            |            |            |    |            |            |                |
| x5  |    |            |            |            |            |            |            |    |            |            |                |
| x6  |    |            |            |            | [-2.1;-... |            | [4.1;4.... |    |            | [3.1;3.... | [3.1;3.5;4.... |
| x7  |    |            |            |            |            |            |            |    |            | [4.1;4.... | [4.1;4.5;5.... |
| x8  |    |            |            |            |            | [-2.1;-... | [-2.1;-... |    |            |            | [2.1;2.5;3.... |
| x9  |    |            |            | [3.1;3.... |            | [-4.1;-... | [-4.1;-... |    |            |            | [3.1;3.5;4.... |
| x10 |    |            |            | [-2.1;-... | [-2.1;-... |            |            |    | [-3.1;-... |            |                |
| x11 |    |            |            |            |            |            |            |    |            |            |                |

Dropdown menu for x11, x5:

- [0.1;0.5;1.0] Очень слабо усиливает
- [1.1;1.5;2.0] Слабо усиливает
- [2.1;2.5;3.0] Умеренно усиливает
- [3.1;3.5;4.0] Сильно усиливает
- [4.1;4.5;5.0] Очень сильно усиливает
- [-0.1;-0.5;-1.0] Очень слабо ослабляет
- [-1.1;-1.5;-2.0] Слабо ослабляет
- [-2.1;-2.5;-3.0] Умеренно ослабляет
- [-3.1;-3.5;-4.0] Сильно ослабляет
- [-4.1;-4.5;-5.0] Очень сильно ослабляет

Рисунок 5.8 – Экранная форма ввода значений связей между вершинами



| f1.xls [Режим совместимости] - Microsoft Excel                      |                                      |                                      |                                      |                                |                                |           |           |     |            |           |                      |  |  |
|---------------------------------------------------------------------|--------------------------------------|--------------------------------------|--------------------------------------|--------------------------------|--------------------------------|-----------|-----------|-----|------------|-----------|----------------------|--|--|
| Главная Вставка Разметка страницы Формулы Данные Рецензирование Вид |                                      |                                      |                                      |                                |                                |           |           |     |            |           |                      |  |  |
| Буфер обмена                                                        |                                      |                                      |                                      |                                |                                |           |           |     |            |           |                      |  |  |
| Arial 10 Шрифт                                                      |                                      |                                      |                                      |                                |                                |           |           |     |            |           |                      |  |  |
| Общий Число                                                         |                                      |                                      |                                      |                                |                                |           |           |     |            |           |                      |  |  |
| Условное форматирование Форматировать как таблицу Стили             |                                      |                                      |                                      |                                |                                |           |           |     |            |           |                      |  |  |
| Вставить Удалить Формат Ячейки                                      |                                      |                                      |                                      |                                |                                |           |           |     |            |           |                      |  |  |
| Сортировка Найти и выделить Редактирование                          |                                      |                                      |                                      |                                |                                |           |           |     |            |           |                      |  |  |
| P77                                                                 |                                      |                                      |                                      |                                |                                |           |           |     |            |           |                      |  |  |
| Влияние вершин                                                      |                                      |                                      |                                      |                                |                                |           |           |     |            |           |                      |  |  |
| x1                                                                  | 0.0                                  | 0.3                                  | 0.35                                 | 0.0                            | -0.35                          | -0.45     | -0.45     | 0.0 | 0.5        | 0.7       | 0.7                  |  |  |
| x2                                                                  | 0.0                                  | 0.0                                  | 0.9                                  | -0.328050000000000             | 0.5                            | 0.81      | 0.7290000 | 0.0 | -0.4592700 | 0.6561000 | 0.656100000000000001 |  |  |
| x3                                                                  | 0.0                                  | 0.0                                  | -0.357209999999999                   | -0.364500000000000             | -0.45                          | 0.9       | 0.81      | 0.0 | -0.5103000 | 0.7290000 | 0.729000000000000001 |  |  |
| x4                                                                  | 0.0                                  | 0.0                                  | 0.0                                  | 0.0                            | 0.0                            | 0.0       | 0.0       | 0.0 | 0.0        | 0.0       | 0.0                  |  |  |
| x5                                                                  | 0.0                                  | 0.0                                  | 0.0                                  | 0.0                            | 0.0                            | 0.0       | 0.0       | 0.0 | 0.0        | 0.0       | 0.0                  |  |  |
| x6                                                                  | 0.0                                  | 0.0                                  | -0.3969                              | -0.405                         | -0.5                           | 0.5103000 | 0.9       | 0.0 | -0.567     | 0.81      | 0.81                 |  |  |
| x7                                                                  | 0.0                                  | 0.0                                  | -0.440999999999999                   | -0.45                          | -0.45                          | 0.5670000 | 0.5670000 | 0.0 | -0.63      | 0.9       | 0.9                  |  |  |
| x8                                                                  | 0.0                                  | 0.0                                  | 0.220499999999999                    | 0.225                          | 0.0                            | -0.5      | -0.5      | 0.0 | 0.315      | -0.45     | 0.5                  |  |  |
| x9                                                                  | 0.0                                  | 0.0                                  | 0.7                                  | 0.7                            | 0.45                           | -0.9      | -0.9      | 0.0 | 0.567      | -0.81     | -0.81                |  |  |
| x10                                                                 | 0.0                                  | 0.0                                  | -0.489999999999999                   | -0.5                           | -0.5                           | 0.63      | 0.63      | 0.0 | -0.7       | 0.567     | 0.567                |  |  |
| x11                                                                 | 0.0                                  | 0.0                                  | 0.0                                  | 0.0                            | -0.5                           | 0.0       | 0.0       | 0.0 | 0.0        | 0.0       | 0.0                  |  |  |
| Консонанс влияния вершин                                            |                                      |                                      |                                      |                                |                                |           |           |     |            |           |                      |  |  |
| x1                                                                  | 1.0                                  | 1.0                                  | 0.0101010101010                      | 0.0                            | 0.2173913043470                | 0.0101010 | 0.0101010 | 1.0 | 0.0101010  | 0.2669683 | 0.26696832579185514  |  |  |
| x2                                                                  | 1.0                                  | 1.0                                  | 0.47361130554                        | 0.473611305545                 | 0.1049723756900                | 0.4736113 | 0.4736113 | 1.0 | 0.4736113  | 0.4736113 | 0.34228187919463093  |  |  |
| x3                                                                  | 1.0                                  | 1.0                                  | 0.47361130554                        | 0.473611305545                 | 0.4317417137940                | 0.4736113 | 0.4736113 | 1.0 | 0.4736113  | 0.4736113 | 0.34228187919463093  |  |  |
| x4                                                                  | 1.0                                  | 1.0                                  | 1.0                                  | 1.0                            | 1.0                            | 1.0       | 1.0       | 1.0 | 1.0        | 1.0       | 1.0                  |  |  |
| x5                                                                  | 1.0                                  | 1.0                                  | 1.0                                  | 1.0                            | 1.0                            | 1.0       | 1.0       | 1.0 | 1.0        | 1.0       | 1.0                  |  |  |
| x6                                                                  | 1.0                                  | 1.0                                  | 0.47361130554                        | 0.473611305545                 | 0.4317417137940                | 0.1764705 | 0.4736113 | 1.0 | 0.4736113  | 0.4736113 | 0.34228187919463093  |  |  |
| x7                                                                  | 1.0                                  | 1.0                                  | 0.47361130554                        | 0.473611305545                 | 0.3422818791940                | 0.1764705 | 0.2269938 | 1.0 | 0.4736113  | 0.4736113 | 0.34228187919463093  |  |  |
| x8                                                                  | 1.0                                  | 1.0                                  | 0.47361130554                        | 0.473611305545                 | 0.0                            | 0.4317417 | 0.4736113 | 1.0 | 0.4736113  | 0.4736113 | 0.05263157894736841  |  |  |
| x9                                                                  | 1.0                                  | 1.0                                  | 0.47361130554                        | 0.465738365701                 | 0.1250000000000                | 0.1764705 | 0.2269938 | 1.0 | 0.2269938  | 0.2269938 | 0.07284768211920536  |  |  |
| x10                                                                 | 1.0                                  | 1.0                                  | 0.47361130554                        | 0.473611305545                 | 0.3422818791940                | 0.1764705 | 0.2269938 | 1.0 | 0.4736113  | 0.2269938 | 0.07284768211920531  |  |  |
| x11                                                                 | 1.0                                  | 1.0                                  | 1.0                                  | 1.0                            | 1.0                            | 1.0       | 1.0       | 1.0 | 1.0        | 1.0       | 1.0                  |  |  |
| Консонанс влияния вершин на систему                                 | Консонанс влияния системы на вершину | Диссонанс влияния вершины на систему | Диссонанс влияния системы на вершину | Воздействие вершины на систему | Воздействие системы на вершину |           |           |     |            |           |                      |  |  |
| 0.344702909                                                         | 1                                    | 0.655297091                          | 0                                    | 0.118181818                    | 0                              |           |           |     |            |           |                      |  |  |
| 0.57172019                                                          | 1                                    | 0.42827981                           | 0                                    | 0.314898182                    | 0.027272727                    |           |           |     |            |           |                      |  |  |
| 0.601426493                                                         | 0.575034559                          | 0.398573507                          | 0.424965441                          | 0.13509                        | 0.044126364                    |           |           |     |            |           |                      |  |  |
| 1                                                                   | 0.573400564                          | 0                                    | 0.426599436                          | 0                              | -0.10205                       |           |           |     |            |           |                      |  |  |
| 1                                                                   | 0.454128261                          | 0                                    | 0.545871739                          | 0                              | -0.163636364                   |           |           |     |            |           |                      |  |  |
| 0.574413701                                                         | 0.463177063                          | 0.425586299                          | 0.536822937                          | 0.105581818                    | 0.142481818                    |           |           |     |            |           |                      |  |  |
| 0.543861221                                                         | 0.507775257                          | 0.456138779                          | 0.492224743                          | 0.087545455                    | 0.162363636                    |           |           |     |            |           |                      |  |  |
| 0.532039075                                                         | 1                                    | 0.467960925                          | 0                                    | -0.017227273                   | 0                              |           |           |     |            |           |                      |  |  |
| 0.454059049                                                         | 0.552614792                          | 0.545940951                          | 0.447385208                          | -0.091181818                   | -0.134960909                   |           |           |     |            |           |                      |  |  |
| 0.496947436                                                         | 0.553546599                          | 0.503052564                          | 0.446453401                          | 0.018545455                    | 0.282009091                    |           |           |     |            |           |                      |  |  |
| 1                                                                   | 0.439492981                          | 0                                    | 0.560507019                          | -0.045454545                   | 0.368372727                    |           |           |     |            |           |                      |  |  |

Рисунок 5.9 – Экранная форма вывода основных результатов НКМ  $G_{\text{неч1}}$ 

Из рисунка 5.9 видно, что на целевую вершину « $v_7$  – Безопасность и защита системы» влияют  $v_1, v_2, v_3, v_6, v_8, v_9, v_{10}$ .

Наибольшее положительное влияние на целевую вершину « $v_7$  – Безопасность и защита ПТС УС МП» оказывают вершины  $v_6$  (0,9),  $v_3$  (0,81) и  $v_2$  (0,73). Отрицательное влияние оказывают вершины  $v_9$  (0,9),  $v_8$  (–0,5) и  $v_1$  (–0,45), которые находятся на высоком уровне, это указывает на то, что данные вершины могут негативно влиять на значения целевой вершины  $v_7$ .

На целевую вершину « $v_{10}$  – Время разработки ПТС УС МП» влияют  $v_1, v_2, v_3, v_6, v_7, v_8, v_9$ .

Наибольшее положительное влияние на целевую вершину  $v_{10}$  оказывают вершины  $v_7$  (0,9) и  $v_6$  (0,81). Отрицательное влияние оказывают вершины  $v_9$

(–0,81) и  $v_8$  (–0,45), которые могут негативно влиять на значения целевой вершины  $v_{10}$ .

На целевую вершину « $v_{11}$  – Стоимость разработки ПТС УС МП» влияют  $v_1$ ,  $v_2$ ,  $v_3$ ,  $v_6$ ,  $v_7$ ,  $v_8$ ,  $v_9$ ,  $v_{10}$ .

Наибольшее положительное влияние на целевую вершину  $v_{11}$  оказывают вершины  $v_7$  (0,9) и  $v_6$  (0,81). Отрицательное влияние оказывает вершина  $v_9$  (–0,81), которая может негативно влиять на значения целевой вершины  $v_{11}$ .

Консонанс большинства влияний высокий, поскольку равен 1 и позволяет сделать вывод о достоверности итоговых влияний вершин друг на друга.

Однако из рисунка 5.9 можно увидеть, что уровень доверия к полученному значению итогового влияния вершины « $v_1$  – Количество задач» на  $v_6$ ,  $v_7$ ,  $v_9$  низкий, на что и указывает малое значение консонанса (0,01). Руководителю проекта необходимо согласовать присутствие вершины « $v_1$  – Количество задач» в моделируемой НКМ.

Далее подробно рассмотрим целевые вершины: « $v_7$  – Безопасность и защита ПТС УС МП», « $v_{10}$  – Время разработки ПТС УС МП» и « $v_{11}$  – Стоимость разработки ПТС УС МП».

Вершина  $v_7$  относительно слабо влияет на НКМ (0,09), и НКМ, в свою очередь, слабо влияет  $v_7$  (0,16), т.е. в равной степени усиливают друг друга. Причем консонансы вершины и НКМ примерно равны (0,54 и 0,51), поэтому вершина сама обеспечивает усиление НКМ.

Вершина  $v_{10}$  слабо влияет на НКМ (0,02), а НКМ, в свою очередь оказывает среднее влияние на  $v_{10}$  (0,28). Консонансы вершины и НКМ примерно равны (0,5 и 0,55), поэтому вершина сама обеспечивает усиление НКМ.

Вершина  $v_{11}$  незначительно ослабляет НКМ (–0,05), а НКМ, в свою очередь, существенно усиливает вершину  $v_{11}$  (0,37). Консонансы вершины и НКМ примерно равны (1 и 0,44).

Анализируя рисунок 5.9 можно увидеть, что почти все вершины являются «хорошими вершинами», поскольку имеют высокое значение консонанса.



Однако консонанс влияния вершины  $v_1$  на НКМ низкий (0,43), а диссонанс влияния вершины  $v_1$  на НКМ достаточно высокий (0,56), например, из-за несоответствия прошлого опыта настоящей ситуации. Это говорит о том, что руководителю проекта необходимо рассмотреть все возможные связи данной вершины с другими вершинами.

Вершина  $v_2$  обеспечивается ростом под небольшим действием НКМ (0,03), но и сама вершина усиливает НКМ (0,31), так как консонанс НКМ (1) выше, чем консонанс вершины (0,57).

Вершина  $v_9$  является противоречивой, но сбалансированной, так как вершина ослабляет НКМ (–0,09), но в равной степени и она ее (–0,13), т.е. вершина  $v_9$  с отрицательным влиянием, которое оказывается двусторонним, но отрицательных циклов нет. Если бы в НКМ  $G_{\text{неч1}}$  были отрицательные циклы, то при положительном внешнем воздействии на вершины, которые составляют цикл, их негативное влияние на НКМ с течением времени возрастало. Если же на вершины, которые составляют цикл воздействовать отрицательно, то это бы привело к положительному эффекту для системы в целом.

Также заметим, что наибольшее положительное влияние на НКМ оказывают вершины  $v_2$  (0,31),  $v_3$  (0,14), при этом они не испытывают обратного сильного влияния. Положительное влияние на НКМ оказывают вершины  $v_1$  (0,12),  $v_6$  (0,11),  $v_7$  (0,09), и  $v_{10}$  (0,02) чуть меньше. Влияя на вышеперечисленные вершины, можно «повернуть» всю НКМ в положительную сторону.

Наибольшему влиянию со стороны НКМ подвержены вершины  $v_{11}$  (0,37),  $v_{10}$  (0,28),  $v_7$  (0,16),  $v_6$  (0,14),  $v_3$  (0,04),  $v_2$  (0,03). Высока вероятность того, что влияние НКМ на эти вершины способно погасить любое отрицательное воздействие извне. То есть, если руководитель проекта намерено захочет оказать на них какое-либо долговременное воздействие, то ему следует делать ставку на влияние опосредованное, воздействуя на вершины  $v_{11}$ ,  $v_{10}$ .

Отрицательное влияние на НКМ оказывают вершины  $v_8$  (–0,02),  $v_9$  (–0,09) и  $v_{11}$  (–0,05). С другой стороны, НКМ отрицательно влияет на вершины  $v_4$  (–0,1),  $v_5$  (–0,16),  $v_9$  (–0,13).

Таким образом, если противодействовать росту сопротивления изменениям (увеличению внешних факторов, количества ошибок исполнителей), обращать внимание на временные и финансовые ресурсы, то руководитель проекта способен провести и получить достоверные оценки реализуемости проекта, а также ускорить процесс разработки ПТС УС МП.

Далее для выявления значимых связей НКМ был проведен топологический анализ структуры НКМ  $G_{\text{неч1}}$ , описанный в параграфе 4.4. После перехода от нормированных значений к числам «-1», «0» и «1», матрица отношений примет вид

$$R = \begin{matrix} & v_1 & v_2 & v_3 & v_4 & v_5 & v_6 & v_7 & v_8 & v_9 & v_{10} & v_{11} \\ \begin{matrix} v_1 \\ v_2 \\ v_3 \\ v_4 \\ v_5 \\ v_6 \\ v_7 \\ v_8 \\ v_9 \\ v_{10} \\ v_{11} \end{matrix} & \begin{pmatrix} 0 & 0 & 0 & -1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 1 & 1 \\ 0 & 0 & 1 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & -1 & 0 & 1 & 0 & 0 & 1 & 1 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 1 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & -1 & -1 & 0 & 0 & 0 & 1 \\ 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & -1 & -1 & 0 & 0 & 0 & 1 \\ 0 & 0 & 0 & -1 & -1 & 0 & 0 & 0 & -1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & -1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \end{pmatrix} \end{matrix}.$$

Далее было проведено вычисление размерности симплексов комплекса  $K_x(Y; \lambda)$  по формуле (4.31):

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

Вычисление размерности симплексов комплекса  $K_y(X; \lambda^*)$  по формуле (4.32):

$$\begin{aligned} Y_3: \sigma^{(3)}_0; q = 1 - 1 = 0; \quad Y_4: \sigma^{(4)}_1; q = 2 - 1 = 1; \quad Y_5: \sigma^{(5)}_3; q = 4 - 1 = 3; \\ Y_6: \sigma^{(6)}_2; q = 3 - 1 = 2; \quad Y_7: \sigma^{(7)}_2; q = 3 - 1 = 2; \quad Y_9: \sigma^{(9)}_1; q = 2 - 1 = 1; \end{aligned}$$

$Y_{10}$ :  $\sigma^{(10)}_2$ ;  $q = 3 - 1 = 2$ ;  $Y_{11}$ :  $\sigma^{(11)}_4$ ;  $q = 5 - 1 = 4$ .

Затем проведено преобразование матриц путем замены: вершины в строках заменили буквой  $x$ , вершины в столбцах –  $y$ . Преобразование исходной матрицы  $R$  в  $^{(1)}\Lambda$  осуществили по формуле (4.33),  $^{(1)}\Lambda$  в  $^{(2)}\Lambda$  – по формуле (4.34):

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

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

$$\begin{array}{c}
\begin{array}{cccccccccccc}
y_{11} & y_5 & y_4 & y_6 & y_7 & y_9 & y_{10} & y_3 & y_1 & y_2 & y_8 & q^{(i)}
\end{array} \\
{}^{(1)}\Lambda \rightarrow {}^{(2)}\Lambda = \begin{array}{c}
\begin{array}{cccccccccccc}
x_1 & \left( \begin{array}{cccccccccccc}
1 & 0 & 1 & 0 & 0 & 1 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0
\end{array} \right) & 3 \\
x_6 & \left( \begin{array}{cccccccccccc}
1 & 1 & 0 & 0 & 1 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0
\end{array} \right) & 3 \\
x_9 & \left( \begin{array}{cccccccccccc}
1 & 0 & 1 & 1 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0
\end{array} \right) & 3 \\
x_8 & \left( \begin{array}{cccccccccccc}
1 & 0 & 0 & 1 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0
\end{array} \right) & 2 \\
x_{10} & \left( \begin{array}{cccccccccccc}
0 & 1 & 1 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0
\end{array} \right) & 2 \\
x_2 & \left( \begin{array}{cccccccccccc}
0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0
\end{array} \right) & 1 \\
x_7 & \left( \begin{array}{cccccccccccc}
1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0
\end{array} \right) & 1 \\
x_3 & \left( \begin{array}{cccccccccccc}
0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0
\end{array} \right) & 0 \\
x_{11} & \left( \begin{array}{cccccccccccc}
0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0
\end{array} \right) & 0 \\
x_4 & \left( \begin{array}{cccccccccccc}
0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0
\end{array} \right) & -1 \\
x_5 & \left( \begin{array}{cccccccccccc}
0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0
\end{array} \right) & -1
\end{array}
\end{array}
\end{array}$$

$$q^{(j)} \quad 4 \quad 3 \quad 2 \quad 2 \quad 2 \quad 1 \quad 1 \quad 0 \quad -1 \quad -1 \quad -1$$

Затем были построены симплициальные комплексы. 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. 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.

Далее был определен 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 Х НКМ» видно, что на уровне  $q = 2$  и  $q = 1$  появляются связные компоненты  $(\{x_6, x_7\}, \{x_9, x_8\})$ . Это означает, что, если внести управляющее воздействие в  $v_6$  ( $x_6$  – характеризует надежность системы),  $v_7$  ( $x_7$  – безопасность и защита системы), то они отреагируют на это воздействие. В

качестве целевых факторов могут быть выбраны вершины  $v_1, v_6, v_9$ . При этом вершины  $v_4$  и  $v_5$  рекомендуется исключить из НКМ, поскольку они могут являться «преткновением» для эффективного взаимодействия вершин между собой.

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

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

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

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

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

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

Структурный вектор комплекса  $K_y(X, \lambda^*)$  равен:  $Q_x = \{12451\}$ . Итак, 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, поскольку они могут являться «преткновением» для эффективного взаимодействия вершин между собой.

Далее была решена задача оценки реализуемости проекта по разработке ПТС УС МП за счет гарантированного нахождения значений факторов в пределах ограничений по времени и стоимости, установленных в контракте. В этом случае руководителю проекта необходимо ответить на вопрос «Выполнит ли он проект по разработке ПТС УС МП с учетом имеющихся у него всевозможных ресурсов и в срок (т.е. не провалит ли проект, не превысит ли бюджет, не выпадет ли из сроков и пр.) в соответствии с контрактом и нормативной документацией?».

В таблице 5.6 представлены факторы, определяющиеся на основе действующей нормативной документации [157, 158, 163].

Таблица 5.6 – Факторы, определяющиеся по нормативной документации

| № | Наименование фактора                      | Значение фактора                                                             |
|---|-------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------|
| 1 | Производительность исполнителей (ведущий) | 32 норм/часа                                                                 |
| 2 | Надежность ПТС УС МП                      | Наработка на отказ не менее 8000 часов                                       |
| 3 | Безопасность и защита ПТС УС МП           | Вероятность повреждения ядерного топлива не более $10^{-7}$ на реактор/в год |

При этом руководитель и исполнители проектов обладают высоким интеллектуальным уровнем, разбираются в предметной области. Исполнители проекта знают все виды работ, а также имеют общее представление о выполняемом проекте и ожидаемых результатах.

Далее на основе предыдущего опыта были выделены факторы и назначены их значения. Все факторы, необходимые для оценки реализуемости проекта по разработке ПТС УС МП, были объединены в таблице 5.7.

Таблица 5.7 – Исходные данные для оценки реализуемости проекта по разработке ПТС УС МП

| №  | Наименование фактора                                            | Значение фактора и интервал измерения значения |
|----|-----------------------------------------------------------------|------------------------------------------------|
| 1  | Количество задач                                                | [10, 13]                                       |
| 2  | Производительность исполнителей (ведущий)                       | 32                                             |
| 3  | Количество оценок реализуемости проекта по разработке ПТС УС МП | 4                                              |
| 4  | Завершение проекта                                              | 0,95                                           |
| 5  | Экономичность                                                   | 45                                             |
| 6  | Надежность ПТС УС МП                                            | [8000, 8300, 8500]                             |
| 7  | Безопасность и защита ПТС УС МП                                 | $7,8 \cdot 10^{-8}$                            |
| 8  | Внешние факторы                                                 | 0,2                                            |
| 9  | Количество ошибок исполнителей                                  | 0,6                                            |
| 10 | Время разработки ПТС УС МП                                      | [895, 900, 905, 909]                           |
| 11 | Стоимость разработки ПТС УС МП                                  | [1925, 1970, 1976, 1999]                       |

Заметим, что факторы «Завершение проекта», «Внешние факторы» и «Количество ошибок исполнителей» были представлены в виде вербального описания и оценены по таблице 4.1. Значения этих факторов обработке не подлежат, поскольку значения уже находятся в интервале [0, 1].

Были также заданы следующие ограничения:  $5,5 \cdot 10^{-8} \leq v_7 \leq 1 \cdot 10^{-7}$  (реактор/в год),  $879 \leq v_{10} \leq 909$  (дн.),  $1800 \leq v_{11} \leq 2000$  (тыс. руб.).

Отметим, что стоимость разработки ПТС УС МП была рассчитана с применением метода оценки реализуемости проектов по созданию ИУС с использованием генетического алгоритма, рассмотренного в параграфе 3.5 с

помощью программы (приложение А, «Оценка реалистичности инновационного программного проекта с использованием генетического алгоритма»).

Для решения данной задачи в программу были введены на основе своего предыдущего опыта начальные значения частных критериев для каждой альтернативы и ограничения (рисунок 5.10).

|    | k1                  | k2              | k3                     | w                   |
|----|---------------------|-----------------|------------------------|---------------------|
| X1 | 887; 892; 900; 909; | 58; 60; 63; 68; | 0,7; 0,75; 0,78; 0,8;  | 2,5; 2,6; 2,7; 2,8; |
| X2 | 895; 900; 905; 909; | 60; 65; 67; 70; | 0,77; 0,79; 0,8; 0,85; | 2,3; 2,4; 2,5; 2,6; |
| X3 | 885; 892; 895; 900; | 55; 60; 65; 70; | 0,8; 0,85; 0,89; 0,9;  | 1,5; 2; 2,1; 2,2;   |
| X4 | 890; 897; 903; 909; | 57; 59; 62; 65; | 0,7; 0,73; 0,75; 0,8;  | 2,1; 2,2; 2,3; 2,4; |

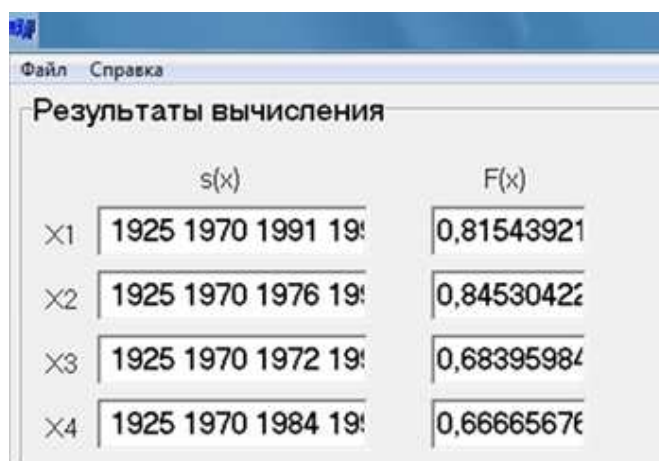
|      |      |                     |               |                     |
|------|------|---------------------|---------------|---------------------|
| s(x) |      | Точка кроссинговера | Точка мутации | Количество итерации |
| от   | 1800 | 1                   | 1             | 10                  |
| до   | 2000 |                     |               |                     |

Рисунок 5.10 – Экранная форма ввода исходных данных

Здесь представлено: четыре альтернативы ( $X_1$ ,  $X_2$ ,  $X_3$ ,  $X_4$ ) разработки проекта по разработке ПТС УС МП, описываемые совокупностью трех частных критериев реализуемости:  $k_1$  – время выполнения проекта, дни;  $k_2$  – количество человек, участвующих в проекте, чел;  $k_3$  – вероятность успеха проекта в условиях возникновения ситуаций,  $w$  – относительная важность частных критериев, а также примерная стоимость проекта  $s(X_i) = [1800, 2000]$  тыс. руб. ( $i = 1, \dots, 4$ ).

После ввода начальных значений частных критериев для каждой альтернативы и ограничений были получены следующие решения (рисунок 5.11).

Из рисунка 5.11 видно, что альтернатива  $X_2$  со значениями стоимости  $[1925, 1970, 1976, 1999]$  и соответствующей ей обобщенной полезностью  $F(X_2) = 0,85$  является наилучшей альтернативой разработки проекта по разработке ПТС УС МП. Вектор распределения  $[1925, 1970, 1976, 1999]$  означает, что наиболее возможная реализация альтернативы  $X_2$  разработки проекта составит от 1970 до 1976 тыс. руб.



|    | $s(x)$              | $F(x)$     |
|----|---------------------|------------|
| x1 | 1925 1970 1991 1995 | 0,81543921 |
| x2 | 1925 1970 1976 1995 | 0,84530422 |
| x3 | 1925 1970 1972 1995 | 0,68395984 |
| x4 | 1925 1970 1984 1995 | 0,66665676 |

Рисунок 5.11 – Экранная форма вывода результатов

Отметим, что сравнение альтернатив разработки проекта можно выполнять без применения критериев, т.е. выполнить сравнение на качественном уровне. Однако более точного результата можно достигнуть, если при сопоставлении использовать оценки по нескольким критериям, т.е. применять многокритериальные методы. Поскольку данный способ дает ответ на вопрос «какая альтернатива лучше и почему?», то он является более предпочтительным, хотя и трудоемким. Некритериальные методы (например, метод парных сравнений) применяются в случае ограниченного времени на принятие решения либо в случае, когда затруднительно использовать критериальные оценки.

Далее значения факторов, представленные в таблице 5.7, значения связей между факторами, а также ограничения ввели в программу (приложение А, «Оценка реализуемости проекта по созданию информационно-управляющих систем с применением процедуры обучения нечеткой когнитивной модели в условиях нечетких исходных данных»), основанную на методе оценки реализуемости проектов по созданию ИУС с использованием процедуры обучения НКМ, описанной в параграфе 4.3 (рисунок 5.12).



The screenshot shows the 'NHL algorithm' software interface. It is divided into several sections:

- Входные данные (Input Data):** A table for entering values for vertices x1 through x11. Each vertex has a type (e.g., Interval, Single value, Linguistic description) and specific numerical or linguistic values.
- Ограничения (Constraints):** A table for defining constraints between vertices, with columns for Xmin and Xmax, and a list of linguistic rules (e.g., 'Очень слабо усиливает', 'Слабо усиливает', etc.).
- Параметры (Parameters):** Radio buttons for 'Численные значения' (Numerical values) and 'Лингвистическое описание' (Linguistic description). Below are settings for 'Тип переменных' (Triangular), 'Шкала' (5-point), 'Скорость обучения' (0.06), and 'Пороговое значение' (0.001).
- Матрица связей (Connection Matrix):** A table showing the relationships between vertices, with a dropdown menu for selecting the type of relationship (e.g., 'Очень слабо усиливает', 'Слабо усиливает', etc.).
- Buttons:** 'Рассчитать' (Calculate) and 'Путь к отчету' (Report path).

Рисунок 5.12 – Экранная форма ввода начальных значений для оценки реализуемости проекта по разработке ПТС УС МП

После ввода начальных значений факторов, связей между ними, ограничений, были получены основные результаты (рисунок 5.13).

В качестве пороговой функции использовали сигмоидальную функцию,  $\lambda = 1$ . Как видно из рисунка 5.13, после четырех итераций возникло установившееся состояние, которое определяется вектором переменных:  $X^{\text{вых}} = (0,6596; 0,7137; 0,8102; 0,5867; 0,3812; 0,6197; 0,5631; 0,6578; 0,5675; 0,9083; 0,9557)$ .

Поскольку выходное значение параметра вершины  $v_{10}$  (0,9083) не попало в заданный интервал, то далее использовали процедуру обучения НКМ  $G_{\text{неч1}}$ . Затем проводили вычисления для тех же начальных значений параметров вершин  $X(0) = (0,01; 0,71; 0,09; 0,95; 1; 0,98; 0; 0,2; 0,6; 0,45; 0,98)$  по формуле (4.27), с применением на каждой итерации обновления значений связей (4.29).

Как видно из рисунка 5.13, уже после семи итераций возникло установившееся состояние НКМ, определяемое вектором переменных:

$X^{вых} = (0,9394; 0,9542; 0,9726; 0,9238; 0,6452; 0,9123; 0,8979; 0,9394; 0,9162; 0,9888; 0,9947)$  значения, которого  $v_7$  (0,8979),  $v_{10}$  (0,9888),  $v_{11}$  (0,9947) удовлетворяют ограничениям. При этом матрица отношений НКМ  $G_{неч1}$ .

report0.6.xls [Режим совместности]

Главная Вставка Разметка страницы Формулы Данные Рецензирование Вид

Вставить Буфер обмена Шрифт Выравнивание Число

Общий

Р40

|    | A                                         | B        | C        | D        | E        | F         | G         | H         | I        | J         | K        | L        | M        | N      |
|----|-------------------------------------------|----------|----------|----------|----------|-----------|-----------|-----------|----------|-----------|----------|----------|----------|--------|
| 1  | Начальные значения вершин после обработки |          |          |          |          |           |           |           |          |           |          |          |          |        |
| 2  |                                           | x1       | x2       | x3       | x4       | x5        | x6        | x7        | x8       | x9        | x10      | x11      |          |        |
| 3  | 0.                                        | 0,884615 | 0,711111 | 0,088889 | 0,95     | 1         | 0,976471  | 0         | 0,2      | 0,6       | 0,451351 | 0,984242 |          |        |
| 4  |                                           |          |          |          |          |           |           |           |          |           |          |          |          |        |
| 5  | Начальная матрица                         |          |          |          |          |           |           |           |          |           |          |          |          |        |
| 6  |                                           | x1       | x2       | x3       | x4       | x5        | x6        | x7        | x8       | x9        | x10      | x11      |          |        |
| 7  | x1                                        | 0.0      | 0.3      | 0.0      | -0.3     | 0.0       | 0.0       | 0.0       | 0.0      | 0.5       | 0.7      | 0.7      |          |        |
| 8  | x2                                        | 0.0      | 0.0      | 0.9      | 0.0      | 0.5       | 0.0       | 0.0       | 0.0      | 0.0       | 0.0      | 0.0      |          |        |
| 9  | x3                                        | 0.0      | 0.0      | 0.0      | 0.0      | 0.0       | 0.9       | 0.0       | 0.0      | 0.0       | 0.0      | 0.0      |          |        |
| 10 | x4                                        | 0.0      | 0.0      | 0.0      | 0.0      | 0.0       | 0.0       | 0.0       | 0.0      | 0.0       | 0.0      | 0.0      |          |        |
| 11 | x5                                        | 0.0      | 0.0      | 0.0      | 0.0      | 0.0       | 0.0       | 0.0       | 0.0      | 0.0       | 0.0      | 0.0      |          |        |
| 12 | x6                                        | 0.0      | 0.0      | 0.0      | 0.0      | -0.5      | 0.0       | 0.9       | 0.0      | 0.0       | 0.7      | 0.7      |          |        |
| 13 | x7                                        | 0.0      | 0.0      | 0.0      | 0.0      | 0.0       | 0.0       | 0.0       | 0.0      | 0.0       | 0.9      | 0.9      |          |        |
| 14 | x8                                        | 0.0      | 0.0      | 0.0      | 0.0      | 0.0       | -0.5      | -0.5      | 0.0      | 0.0       | 0.0      | 0.5      |          |        |
| 15 | x9                                        | 0.0      | 0.0      | 0.0      | 0.7      | 0.0       | -0.9      | -0.9      | 0.0      | 0.0       | 0.0      | 0.7      |          |        |
| 16 | x10                                       | 0.0      | 0.0      | 0.0      | -0.5     | -0.5      | 0.0       | 0.0       | 0.0      | -0.7      | 0.0      | 0.0      |          |        |
| 17 | x11                                       | 0.0      | 0.0      | 0.0      | 0.0      | -0.5      | 0.0       | 0.0       | 0.0      | 0.0       | 0.0      | 0.0      |          |        |
| 18 |                                           |          |          |          |          |           |           |           |          |           |          |          |          |        |
| 19 | Ограничения после обработки               |          |          |          |          |           |           |           |          |           |          |          |          |        |
| 20 |                                           | min      | max      |          |          |           |           |           |          |           |          |          |          |        |
| 21 | x2                                        | -        | -        |          |          |           |           |           |          |           |          |          |          |        |
| 22 | x7                                        | 0.55     | 1.0      |          |          |           |           |           |          |           |          |          |          |        |
| 23 | x10                                       | 0.968996 | 1.0      |          |          |           |           |           |          |           |          |          |          |        |
| 24 | x11                                       | 0.9      | 1.0      |          |          |           |           |           |          |           |          |          |          |        |
| 25 |                                           |          |          |          |          |           |           |           |          |           |          |          |          |        |
| 26 | =====Первый проход=====                   |          |          |          |          |           |           |           |          |           |          |          |          |        |
| 27 |                                           | x1       | x2       | x3       | x4       | x5        | x6        | x7        | x8       | x9        | x10      | x11      |          |        |
| 28 | 1.                                        | 0,707778 | 0,726412 | 0,674561 | 0,706603 | 0,537311  | 0,802638  | 0,559424  | 0,549834 | 0,674006  | 0,852471 | 0,943053 |          |        |
| 29 | 2.                                        | 0,68991  | 0,718846 | 0,790565 | 0,631775 | 0,425909  | 0,581328  | 0,554847  | 0,634097 | 0,606152  | 0,908637 | 0,957326 |          |        |
| 30 | 3.                                        | 0,661483 | 0,715005 | 0,808071 | 0,599118 | 0,392382  | 0,805933  | 0,553657  | 0,653418 | 0,576021  | 0,907364 | 0,955804 |          |        |
| 31 | 4.                                        | 0,659593 | 0,713706 | 0,810241 | 0,586667 | 0,381151  | 0,619651  | 0,563128  | 0,65778  | 0,567488  | 0,908283 | 0,955689 |          |        |
| 32 | 5.                                        | 0,659593 | 0,713706 | 0,810241 | 0,586667 | 0,381151  | 0,619651  | 0,563128  | 0,65778  | 0,567488  | 0,908283 | 0,955689 |          |        |
| 33 | 6.                                        | 0,659593 | 0,713706 | 0,810241 | 0,586667 | 0,381151  | 0,619651  | 0,563128  | 0,65778  | 0,567488  | 0,908283 | 0,955689 |          |        |
| 34 | =====Обучение=====                        |          |          |          |          |           |           |           |          |           |          |          |          |        |
| 35 |                                           | x1       | x2       | x3       | x4       | x5        | x6        | x7        | x8       | x9        | x10      | x11      |          |        |
| 36 | 1.                                        | 0,700884 | 0,752132 | 0,839197 | 0,625053 | 0,406473  | 0,668852  | 0,611682  | 0,700413 | 0,607393  | 0,923026 | 0,98151  |          |        |
| 37 | 2.                                        | 0,711173 | 0,763038 | 0,848746 | 0,637603 | 0,410331  | 0,672262  | 0,62141   | 0,710976 | 0,620973  | 0,931598 | 0,967188 |          |        |
| 38 | 3.                                        | 0,757402 | 0,804599 | 0,877875 | 0,688661 | 0,447133  | 0,718432  | 0,669091  | 0,757268 | 0,671972  | 0,944549 | 0,972788 |          |        |
| 39 | 4.                                        | 0,811178 | 0,851479 | 0,909943 | 0,754042 | 0,500388  | 0,770423  | 0,727734  | 0,811069 | 0,73859   | 0,96014  | 0,980655 |          |        |
| 40 | 5.                                        | 0,86292  | 0,89445  | 0,936758 | 0,821291 | 0,569688  | 0,822696  | 0,789239  | 0,862835 | 0,807769  | 0,973092 | 0,987164 |          |        |
| 41 | 6.                                        | 0,908635 | 0,929102 | 0,957771 | 0,879931 | 0,653974  | 0,871382  | 0,848091  | 0,906574 | 0,86921   | 0,982523 | 0,991765 |          |        |
| 42 | 7.                                        | 0,939406 | 0,954216 | 0,972579 | 0,923759 | 0,745173  | 0,912303  | 0,897962  | 0,939366 | 0,916159  | 0,988839 | 0,994748 |          |        |
| 43 | 8.                                        | 0,939406 | 0,954216 | 0,972579 | 0,923759 | 0,745173  | 0,912303  | 0,897962  | 0,939366 | 0,916159  | 0,988839 | 0,994748 |          |        |
| 44 | 9.                                        | 0,939406 | 0,954216 | 0,972579 | 0,923759 | 0,745173  | 0,912303  | 0,897962  | 0,939366 | 0,916159  | 0,988839 | 0,994748 |          |        |
| 45 |                                           |          |          |          |          |           |           |           |          |           |          |          |          |        |
| 46 | Матрица после обучения                    |          |          |          |          |           |           |           |          |           |          |          |          |        |
| 47 |                                           | x1       | x2       | x3       | x4       | x5        | x6        | x7        | x8       | x9        | x10      | x11      |          |        |
| 48 | x1                                        | 0.0      | 0.585841 | 0.422841 | 0.210582 | 0.339044  | 0.397278  | 0.389449  | 0.405205 | 0.703482  | 0.801120 | 0.797341 | 0.884037 | 1.     |
| 49 | x2                                        | 0.414508 | 0.0      | 0.929888 | 0.404099 | 0.706311  | 0.406244  | 0.398036  | 0.414442 | 0.400969  | 0.442579 | 0.446538 | 0.478576 | 0.8826 |
| 50 | x3                                        | 0.428100 | 0.436127 | 0.0      | 0.416915 | 0.355661  | 0.971388  | 0.410624  | 0.428026 | 0.413589  | 0.458218 | 0.462489 | 0.768205 | 0.5057 |
| 51 | x4                                        | 0.393326 | 0.400052 | 0.409742 | 0.0      | 0.330510  | 0.385703  | 0.378394  | 0.393270 | 0.381265  | 0.418310 | 0.421805 | 0.482358 | 0.3838 |
| 52 | x5                                        | 0.325896 | 0.330716 | 0.337571 | 0.319431 | 0.0       | 0.320111  | 0.314951  | 0.325859 | 0.317363  | 0.343645 | 0.346101 | 0.761204 | 0.2551 |
| 53 | x6                                        | 0.394396 | 0.401258 | 0.411178 | 0.384943 | -0.029640 | 0.0       | 0.945656  | 0.394337 | 0.382067  | 0.789038 | 0.785084 | 0.405670 | 0.5445 |
| 54 | x7                                        | 0.385133 | 0.391654 | 0.401047 | 0.378198 | 0.324125  | 0.377724  | 0.0       | 0.385079 | 0.373444  | 0.883890 | 0.877579 | 0.983822 | 0.2622 |
| 55 | x8                                        | 0.405205 | 0.412376 | 0.422765 | 0.395291 | 0.339047  | 0.090564  | 0.074710  | 0.0      | 0.392290  | 0.431952 | 0.693908 | 0.792870 | 0.9888 |
| 56 | x9                                        | 0.389572 | 0.396169 | 0.405670 | 0.811652 | 0.327717  | -0.169911 | -0.191535 | 0.389513 | 0.0       | 0.414070 | 0.779034 | 0.798035 | 0.187  |
| 57 | x10                                       | 0.440886 | 0.449198 | 0.461676 | 0.120821 | 0.004283  | 0.431630  | 0.422275  | 0.440605 | -0.010319 | 0.0      | 0.477305 | 0.888623 | 0.755  |
| 58 | x11                                       | 0.445922 | 0.454643 | 0.467454 | 0.433693 | 0.008041  | 0.436706  | 0.427110  | 0.445838 | 0.430105  | 0.478815 | 0.0      |          |        |
| 59 |                                           |          |          |          |          |           |           |           |          |           |          |          |          |        |

Рисунок 5.13 – Экранная форма вывода результатов оценки реализуемости проекта по разработке ПТС УС МП

Повторение процесса обучения с использованием других начальных значений параметров вершин и матрицы отношений после обучения дает один и тот же конечный результат. Это позволяет сделать вывод о том, что полученная НКМ  $G_{\text{неч1}}$  оценки реализуемости проекта по разработке ПТС УС МП с матрицей отношений НКМ обеспечивает реализуемость проекта при наличии ресурсов, в соответствии с контрактом и нормативной документацией.

В таблице 5.8 приведена сравнительная оценка расчетных значений, полученных с использованием комплекса когнитивных моделей, методов поддержки принятия решений, а также методики, основанной на нормах времени на разработку программных средств (ПС), принятой в Научно-исследовательском институте многопроцессорных вычислительных систем имени академика А.В. Каляева федерального государственного автономного образовательного учреждения высшего образования «Южный федеральный университет» (НИИ МВС ЮФУ) [155] и фактических значений факторов, характеризующих реализуемость проекта по разработке ПТС УС МП.

Таблица 5.8 – Сравнительная оценка расчетных и фактических значений факторов, характеризующих реализуемость проекта по разработке ПТС УС МП

| № | Наименование фактора                  | Значения по контракту | Фактические значения | Расчетные значения, полученные с использованием методики, принятой на предприятии | Расчетные значения, полученные с использованием комплекса когнитивных моделей и методов |
|---|---------------------------------------|-----------------------|----------------------|-----------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------|
| 1 | Время разработки ПТС УС МП (день)     | 909                   | 967*                 | 874                                                                               | 891                                                                                     |
| 2 | Стоимость разработки ПТС УС МП (руб.) | 2 000 000             | 2 146 448            | 1 913 462                                                                         | 1 989 400                                                                               |

\*Сроки изменены из-за оттягивания сроков испытаний Генеральным заказчиком в связи с переносом сроков построения Нововоронежкой АЭС-2.

Данные по разработке ПТС УС МП предоставлены НИИ МВС ЮФУ при выполнении ОКР № 592218/322 «Разработка, изготовление, испытание и поставка программно-технических средств управляющей системы машины перегрузки топлива для энергоблока № 1 Нововоронежской АЭС-2» по заданию ОАО «Всероссийский научно-исследовательский и проектно-конструкторский институт атомного энергетического машиностроения» (ОАО «ВНИИАМ»).

Таким образом, в ходе исследований было установлено, что разработанный комплекс когнитивных моделей и методов поддержки принятия решений оказался работоспособен, поскольку выдал прогнозы, совпадающие с реальным ходом событий, т.е. погрешность прогноза значения фактора «Время разработки ПТС УС МП» составляет 7,9 % (76 дн.), значения фактора «Стоимость разработки ПТС УС МП» – 7,3 % (157 048 руб.).

Результаты, полученные на основе методики, принятой на предприятии, показали, что погрешность прогноза значения фактора «Время разработки ПТС УС МП» составляет 9,6 % (93 дн.), значения фактора «Стоимость разработки ПТС УС МП» – 11 % (232 986 руб.).

## **5.2. Оценка реализуемости проекта по разработке программно-технических средств системы управления машины переагрузочной для Ростовской АЭС**

Программно-технические средства системы управления машины переагрузочной (ПТС СУ МП) разрабатывались для Ростовской АЭС, энергоблок № 3.

Комплекс когнитивных моделей и методов поддержки принятия решений для оценки реализуемости проекта по разработке ПТС СУ МП представлена на рисунок 5.14, причем в качестве НКМ выступает  $G_{\text{неч1}}$ . Для подтверждения адекватности модели  $G_{\text{неч1}}$  (рисунок 5.7) использовался «исторический метод».

Далее на основе предыдущего опыта были выделены факторы и назначены их значения. Все факторы, необходимые для оценки реализуемости проекта по разработке ПТС СУ МП, были объединены в таблице 5.9.

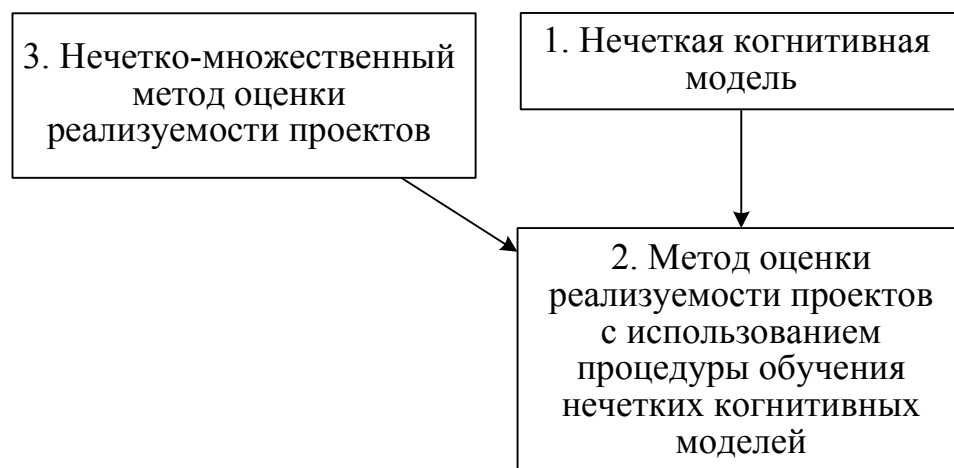


Рисунок 5.14 – Комплекс когнитивных моделей и методов для оценки реализуемости проекта по разработке ПТС СУ МП

Таблица 5.9 – Исходные данные для оценки реализуемости проекта по разработке ПТС СУ МП

| №  | Наименование фактора                                            | Значение фактора и интервал измерения значения |
|----|-----------------------------------------------------------------|------------------------------------------------|
| 1  | Количество задач                                                | [10, 12, 13]                                   |
| 2  | Производительность исполнителей (ведущий)                       | 32                                             |
| 3  | Количество оценок реализуемости проекта по разработке ПТС СУ МП | 3                                              |
| 4  | Завершение проекта                                              | 0,8                                            |
| 5  | Экономичность                                                   | 50                                             |
| 6  | Надежность ПТС СУ МП                                            | [9000, 9500, 10000]                            |
| 7  | Безопасность и защита ПТС СУ МП                                 | $7,8 \cdot 10^{-8}$                            |
| 8  | Внешние факторы                                                 | 0,6                                            |
| 9  | Количество ошибок исполнителей                                  | 0,6                                            |
| 10 | Время разработки ПТС СУ МП                                      | [232, 286, 348]                                |
| 11 | Стоимость разработки ПТС СУ МП                                  | [3250, 3287, 3315, 3368]                       |

Факторы «Завершение проекта», «Внешние факторы» и «Количество ошибок исполнителей» были представлены в виде вербального описания и оценены по таблице 4.1. Ограничения были заданы следующие:  $5,5 \cdot 10^{-8} \leq v_7 \leq 1 \cdot 10^{-7}$  (реактор/в год),  $230 \leq v_{10} \leq 364$  (дн.),  $3250 \leq v_{11} \leq 3368$  (тыс. руб.).

Время разработки ПТС СУ МП, за которое может быть выполнен заданный объем работ (количество задач), рассчитывали с использованием нечетко-множественного метода, рассмотренного в параграфе 3.3. Предполагалось, что



известно количество задач для разработки ПТС СУ МП в виде нечеткого треугольного числа  $V = [10, 12, 13]$  и известна производительность исполнителей, которая строится на основе опроса мнения исполнителей. С использованием нечетко-множественного метода определили время разработки ПТС СУ МП  $T = [232, 286, 348]$ .

Далее значения факторов (таблица 5.10), связей между ними и ограничений вводили в разработанную программу (рисунок 5.15) для оценки реализуемости проекта по разработке ПТС СУ МП за счет гарантированного нахождения значений факторов в пределах ограничений по времени и стоимости, установленных в контракте.

The screenshot shows the 'NHL algorithm' software interface. It is divided into several sections:

- Входные данные (Input Data):** A table for defining variables  $x_1$  through  $x_{11}$ . Each variable has a type (e.g., 'Треугольное' for triangular, 'Одиночное значение' for single value, 'Лингвистическое описание' for linguistic description), a value, and a shape (e.g., 'Треугольное' for triangular, 'Трапецевидное' for trapezoidal). Some values are marked with a question mark.
- Ограничения (Constraints):** A table with columns 'Xmin' and 'Xmax' for variables  $x_1$  through  $x_{11}$ . Values are entered for  $x_7$ ,  $x_{10}$ , and  $x_{11}$ .
- Параметры (Parameters):** Radio buttons for 'Численные значения' (Numerical values) and 'Лингвистическое описание' (Linguistic description). Below are settings for 'Тип переменных' (Type of variables), 'Шкала' (Scale), 'Скорость обучения' (Learning rate), and 'Пороговое значение' (Threshold value).
- Матрица связей (Connection Matrix):** A table showing the relationships between variables  $x_1$  through  $x_{11}$ . The cells contain linguistic descriptions of the relationships, such as '[1;1;1...]', '[1;1;1...]', '[1;1;1...]', etc.

Рисунок 5.15 – Экранная форма ввода начальных значений для оценки реализуемости проекта по разработке ПТС СУ МП

Основные результаты представлены на рисунке 5.16. В качестве пороговой функции использовали сигмоидальную функцию,  $\lambda = 1$ .

Как видно из рисунка 5.16, уже после пяти итераций возникло установившееся (равновесное) состояние, определяемое вектором переменных:  $X^{\text{вых}} = (0,6586; 0,7127; 0,8097; 0,5846; 0,3788; 0,6228; 0,5667; 0,6590; 0,5655;$

0,9085; 0,9557). Поскольку  $v_{10}$  (0,9085) и  $v_{11}$  (0,9557) не попали в заданный интервал, то далее использовали процедуру обучения НКМ  $G_{\text{неч1}}$ .

|    | A                                          | B        | C        | D        | E        | F         | G         | H         | I        | J         | K        | L        | M        | N        |
|----|--------------------------------------------|----------|----------|----------|----------|-----------|-----------|-----------|----------|-----------|----------|----------|----------|----------|
| 1  | Начальные значения вершин                  |          |          |          |          |           |           |           |          |           |          |          |          |          |
| 2  |                                            | x1       | x2       | x3       | x4       | x5        | x6        | x7        | x8       | x9        | x10      | x11      |          |          |
| 3  | 0.                                         | 0,0012   | 0,64     | 0,06     | 0,8      | 1         | 0,95      | 0         | 0,6      | 0,6       | 0,0286   | 0,98129  |          |          |
| 4  | Начальная матрица                          |          |          |          |          |           |           |           |          |           |          |          |          |          |
| 6  |                                            | x1       | x2       | x3       | x4       | x5        | x6        | x7        | x8       | x9        | x10      | x11      |          |          |
| 7  | x1                                         | 0.0      | 0.3      | 0.0      | -0.3     | 0.0       | 0.0       | 0.0       | 0.0      | 0.5       | 0.7      | 0.7      |          |          |
| 8  | x2                                         | 0.0      | 0.0      | 0.9      | 0.0      | 0.5       | 0.0       | 0.0       | 0.0      | 0.0       | 0.0      | 0.0      |          |          |
| 9  | x3                                         | 0.0      | 0.0      | 0.0      | 0.0      | 0.0       | 0.9       | 0.0       | 0.0      | 0.0       | 0.0      | 0.0      |          |          |
| 10 | x4                                         | 0.0      | 0.0      | 0.0      | 0.0      | 0.0       | 0.0       | 0.0       | 0.0      | 0.0       | 0.0      | 0.0      |          |          |
| 11 | x5                                         | 0.0      | 0.0      | 0.0      | 0.0      | 0.0       | 0.0       | 0.0       | 0.0      | 0.0       | 0.0      | 0.0      |          |          |
| 12 | x6                                         | 0.0      | 0.0      | 0.0      | 0.0      | -0.5      | 0.0       | 0.9       | 0.0      | 0.0       | 0.7      | 0.7      |          |          |
| 13 | x7                                         | 0.0      | 0.0      | 0.0      | 0.0      | 0.0       | 0.0       | 0.0       | 0.0      | 0.0       | 0.9      | 0.9      |          |          |
| 14 | x8                                         | 0.0      | 0.0      | 0.0      | 0.0      | 0.0       | -0.5      | -0.5      | 0.0      | 0.0       | 0.0      | 0.5      |          |          |
| 15 | x9                                         | 0.0      | 0.0      | 0.0      | 0.7      | 0.0       | -0.9      | -0.9      | 0.0      | 0.0       | 0.0      | 0.7      |          |          |
| 16 | x10                                        | 0.0      | 0.0      | 0.0      | -0.5     | -0.5      | 0.0       | 0.0       | 0.0      | -0.7      | 0.0      | 0.0      |          |          |
| 17 | x11                                        | 0.0      | 0.0      | 0.0      | 0.0      | -0.5      | 0.0       | 0.0       | 0.0      | 0.0       | 0.0      | 0.0      |          |          |
| 18 | Ограничения                                |          |          |          |          |           |           |           |          |           |          |          |          |          |
| 20 |                                            | min      | max      |          |          |           |           |           |          |           |          |          |          |          |
| 21 | x2                                         | -        | -        |          |          |           |           |           |          |           |          |          |          |          |
| 22 | x7                                         | 0.55     | 1.0      |          |          |           |           |           |          |           |          |          |          |          |
| 23 | x10                                        | 0.631868 | 1.0      |          |          |           |           |           |          |           |          |          |          |          |
| 24 | x11                                        | 0.964964 | 1.0      |          |          |           |           |           |          |           |          |          |          |          |
| 25 | =====Первый проход=====                    |          |          |          |          |           |           |           |          |           |          |          |          |          |
| 27 |                                            | x1       | x2       | x3       | x4       | x5        | x6        | x7        | x8       | x9        | x10      | x11      |          |          |
| 28 | 1.                                         | 0,5003   | 0,65483  | 0,65385  | 0,76947  | 0,5842    | 0,54091   | 0,50375   | 0,64566  | 0,6412    | 0,66695  | 0,91429  |          |          |
| 29 | 2.                                         | 0,62253  | 0,69103  | 0,77612  | 0,67585  | 0,46271   | 0,55712   | 0,52265   | 0,65603  | 0,60456   | 0,86403  | 0,94625  |          |          |
| 30 | 3.                                         | 0,65079  | 0,70636  | 0,80187  | 0,61781  | 0,40722   | 0,59472   | 0,53791   | 0,65837  | 0,57713   | 0,89661  | 0,95228  |          |          |
| 31 | 4.                                         | 0,65719  | 0,71128  | 0,80808  | 0,59345  | 0,38665   | 0,61486   | 0,55559   | 0,65889  | 0,56829   | 0,90487  | 0,95441  |          |          |
| 32 | 5.                                         | 0,65863  | 0,71268  | 0,80973  | 0,58459  | 0,37877   | 0,62275   | 0,56669   | 0,65901  | 0,56549   | 0,90851  | 0,95574  |          |          |
| 33 | =====Обучение=====                         |          |          |          |          |           |           |           |          |           |          |          |          |          |
| 34 |                                            | x1       | x2       | x3       | x4       | x5        | x6        | x7        | x8       | x9        | x10      | x11      |          |          |
| 35 | 1.                                         | 0,70063  | 0,75185  | 0,839    | 0,62415  | 0,40518   | 0,66787   | 0,61369   | 0,70073  | 0,60663   | 0,92336  | 0,96165  |          |          |
| 36 | 2.                                         | 0,71107  | 0,76293  | 0,84868  | 0,63712  | 0,40961   | 0,67276   | 0,62247   | 0,71111  | 0,62057   | 0,93176  | 0,96725  |          |          |
| 37 | 3.                                         | 0,75734  | 0,80454  | 0,87785  | 0,68833  | 0,44659   | 0,71879   | 0,66979   | 0,75737  | 0,67169   | 0,94462  | 0,97281  |          |          |
| 38 | 4.                                         | 0,81113  | 0,85144  | 0,90942  | 0,75379  | 0,49986   | 0,77072   | 0,7283    | 0,81115  | 0,73837   | 0,96017  | 0,98067  |          |          |
| 39 | 5.                                         | 0,86288  | 0,89442  | 0,93675  | 0,8211   | 0,56912   | 0,82295   | 0,78971   | 0,8629   | 0,80759   | 0,97311  | 0,98717  |          |          |
| 40 | 6.                                         | 0,9066   | 0,92908  | 0,95777  | 0,87979  | 0,65339   | 0,87157   | 0,84845   | 0,90662  | 0,86908   | 0,98253  | 0,99177  |          |          |
| 41 | 7.                                         | 0,9066   | 0,92908  | 0,95777  | 0,87979  | 0,65339   | 0,87157   | 0,84845   | 0,90662  | 0,86908   | 0,98253  | 0,99177  |          |          |
| 42 | 8.                                         | 0,9066   | 0,92908  | 0,95777  | 0,87979  | 0,65339   | 0,87157   | 0,84845   | 0,90662  | 0,86908   | 0,98253  | 0,99177  |          |          |
| 43 | Матрица после обучения                     |          |          |          |          |           |           |           |          |           |          |          |          |          |
| 44 |                                            | x1       | x2       | x3       | x4       | x5        | x6        | x7        | x8       | x9        | x10      | x11      |          |          |
| 45 | x1                                         | 0.0      | 0.585793 | 0.422786 | 0.210399 | 0.338848  | 0.397372  | 0.389612  | 0.405212 | 0.703445  | 0.801066 | 0.797293 | 0.752734 | 0.775    |
| 46 | x2                                         | 0.414438 | 0.0      | 0.929845 | 0.403965 | 0.706221  | 0.406347  | 0.398211  | 0.414452 | 0.400843  | 0.442549 | 0.446498 | 0.585445 | 0.7797   |
| 47 | x3                                         | 0.428044 | 0.436071 | 0.0      | 0.416787 | 0.355402  | 0.971291  | 0.410836  | 0.428060 | 0.413469  | 0.458212 | 0.462473 | 0.243028 | 0.63857  |
| 48 | x4                                         | 0.393192 | 0.399914 | 0.409612 | 0.0      | 0.330229  | 0.385720  | 0.378478  | 0.393204 | 0.381088  | 0.418197 | 0.421681 | 0.151538 | 0.767207 |
| 49 | x5                                         | 0.325643 | 0.330456 | 0.337310 | 0.319150 | 0.0       | 0.319964  | 0.314856  | 0.325651 | 0.317088  | 0.343389 | 0.345836 | 0.207334 | 0.12984  |
| 50 | x6                                         | 0.394506 | 0.401375 | 0.411322 | 0.384984 | -0.029917 | 0.0       | 0.945636  | 0.394518 | 0.382111  | 0.789194 | 0.785252 | 0.190908 | 0.841    |
| 51 | x7                                         | 0.385318 | 0.391850 | 0.401272 | 0.376307 | 0.324077  | 0.378045  | 0.0       | 0.385330 | 0.373562  | 0.884123 | 0.877831 | 0.197125 | 0.82604  |
| 52 | x8                                         | 0.405213 | 0.412392 | 0.422802 | 0.395238 | 0.338858  | 0.090868  | 0.075132  | 0.0      | 0.392242  | 0.432023 | 0.694016 | 0.109086 | 0.2367   |
| 53 | x9                                         | 0.389441 | 0.396040 | 0.405548 | 0.811606 | 0.327445  | -0.169658 | -0.191116 | 0.389453 | 0.0       | 0.413965 | 0.778912 | 0.243665 | 0.3859   |
| 54 | x10                                        | 0.440658 | 0.449171 | 0.461673 | 0.120619 | 0.003864  | 0.431810  | 0.422534  | 0.440675 | -0.010539 | 0.0      | 0.477328 | 0.200276 | 0.7337   |
| 55 | x11                                        | 0.445882 | 0.454604 | 0.467438 | 0.433570 | 0.007607  | 0.436883  | 0.427369  | 0.445900 | 0.429990  | 0.478836 | 0.0      |          |          |
| 56 | Значения вершин удовлетворяют ограничениям |          |          |          |          |           |           |           |          |           |          |          |          |          |
| 57 |                                            |          |          |          |          |           |           |           |          |           |          |          |          |          |
| 58 |                                            |          |          |          |          |           |           |           |          |           |          |          |          |          |

Рисунок 5.16 – Экранная форма вывода результатов оценки реализуемости проекта по разработке ПТС СУ МП

Затем проводили вычисления для тех же начальных значений параметров вершин  $X(0) = (0,001; 0,64; 0,06; 0,8; 1; 0,95; 0; 0,6; 0,6; 0,03; 0,98)$ , с применением на каждой итерации обновления значений связей.

Как видно из рисунка 5.14, уже после семи итераций возникло установившееся состояние НКМ, определяемое вектором переменных:  $X^{\text{вых}} = (0,9066; 0,9291; 0,9578; 0,8798; 0,6534; 0,8716; 0,8485; 0,9066; 0,8691; 0,9825; 0,9918)$  значения которого  $v_7$  (0,8485),  $v_{10}$  (0,9825),  $v_{11}$  (0,9918) удовлетворяют начальным ограничениям.

Полученная НКМ  $G_{\text{неч1}}$  оценки реализуемости проекта по разработке ПТС СУ МП с матрицей отношений НКМ обеспечивает реализуемость проекта при наличии ресурсов, в соответствии с контрактом и нормативной документацией.

В таблице 5.10 приведена сравнительная оценка расчетных значений, полученных с использованием комплекса когнитивных моделей, методов поддержки принятия решений, а также методики, основанной на нормах времени на разработку ПС, принятой в НИИ МВС ЮФУ и фактических значений факторов, характеризующих реализуемость проекта по разработке ПТС СУ МП.

Таблица 5.10 – Сравнительная оценка расчетных и фактических значений факторов, характеризующих реализуемость проекта по разработке ПТС СУ МП

| № | Наименование фактора                  | Значения по контракту | Фактические значения | Расчетные значения, полученные с использованием методики, принятой на предприятии | Расчетные значения, полученные с использованием комплекса когнитивных моделей и методов |
|---|---------------------------------------|-----------------------|----------------------|-----------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------|
| 1 | Время разработки ПТС СУ МП (день)     | 364                   | 351                  | 338                                                                               | 358                                                                                     |
| 2 | Стоимость разработки ПТС СУ МП (руб.) | 3 368 206             | 3 368 206            | 3 321 854                                                                         | 3 340 383                                                                               |

Исходные данные взяты из договора № 302-22212 от 02.05.2012 с ЗАО «Диаконт» (г. Санкт-Петербург) на разработку и поставку программно-технических средств системы управления машины перегрузочной для Ростовской АЭС, энергоблок № 3, 2012–2013 гг.



Таким образом, в ходе исследований было установлено, что разработанный комплекс когнитивных моделей и методов поддержки принятия решений оказался работоспособен, поскольку выдал прогнозы, совпадающие с реальным ходом событий, т.е. погрешность прогноза значения фактора «Время разработки ПТС СУ МП» составляет 1,9 % (7 дн.), значения фактора «Стоимость разработки ПТС СУ МП» – 0,8 % (27 823 руб.).

Результаты, полученные на основе методики, принятой на предприятии, показали, что погрешность прогноза значения фактора «Время разработки ПТС СУ МП» составляет 3,7 % (13 дн.), значения фактора «Стоимость разработки ПТС СУ МП» – 1,4 % (46 352 руб.).

### **5.3. Оценка реализуемости проекта по созданию системы управления складом в машиностроении**

Система управления складом для машиностроительного предприятия предназначена для управления погрузочно-разгрузочным оборудованием (роботами-штабелерами, транспортными тележками, роботами-погрузчиками и т.п.) на автоматизированном складе большого машиностроительного предприятия. При проектировании автоматизированного склада его информационно-управляющая система может быть легко адаптирована под различные варианты компоновки склада (рисунок 5.17):

1) Роботизированные складские линии (между двумя стеллажами перемещается робот-штабелер (или несколько роботов-штабелеров), выполняя необходимые операции по перемещению грузов);

2) Автоматические передвижные (самодвижущиеся) стеллажные секции (каждая секция может передвигаться по рельсам; секции стоят вплотную друг к другу, образуя при необходимости проход для движения погрузчика в том месте, откуда удобно осуществить погрузку/разгрузку грузов);

3) Гравитационные стеллажи, обслуживаемые как роботами-штабелерами, так и погрузчиками;

4) различные комбинации этих и других вариантов.



Рисунок 5.17 – Варианты компоновки склада

Для оценки реализуемости проекта по созданию системы управления складом (СУС) использовался следующий комплекс моделей и методов (рисунок 5.18), причем в качестве НКМ выступает  $G_{\text{неч1}}$  и новая НКМ  $G_{\text{неч (нов)}}$ .



Рисунок 5.18 – Комплекс когнитивных моделей и методов для оценки реализуемости проекта по созданию СУС

Далее на основе предыдущего опыта были выделены факторы и назначены их значения. Все факторы, необходимые для оценки реализуемости проекта по созданию СУС, были объединены в таблице 5.11.

Факторы «Завершение проекта», «Внешние факторы» и «Количество ошибок исполнителей» были представлены в виде вербального описания и оценены по таблице 4.1. Ограничения были заданы следующие:  $8000 \leq v_6 \leq 100000$  (час.),  $5,5 \cdot 10^{-8} \leq v_7 \leq 1 \cdot 10^{-7}$  (реактор/в год),  $300 \leq v_{10} \leq 321$  (дн.),  $3000 \leq v_{11} \leq 3110$  (тыс. руб.).

Таблица 5.11 – Исходные данные для оценки реализуемости проекта по созданию СУС

| №  | Наименование фактора                                    | Значение фактора и интервал измерения значения |
|----|---------------------------------------------------------|------------------------------------------------|
| 1  | Количество задач                                        | [10, 11, 12]                                   |
| 2  | Производительность исполнителей (ведущий)               | 32                                             |
| 3  | Количество оценок реализуемости проекта по созданию СУС | 4                                              |
| 4  | Завершение проекта                                      | 0,95                                           |
| 5  | Экономичность                                           | 50                                             |
| 6  | Надежность СУС                                          | [20000, 27000, 35000]                          |
| 7  | Безопасность и защита СУС                               | $7,8 \cdot 10^{-8}$                            |
| 8  | Внешние факторы                                         | 0,55                                           |
| 9  | Количество ошибок исполнителей                          | 0,55                                           |
| 10 | Время создания СУС                                      | [300, 309, 317, 320]                           |
| 11 | Стоимость создания СУС                                  | [3065, 3073, 3087, 3090]                       |

Отметим, что время и стоимость создания СУС были рассчитаны с использованием нечетко-интервального метода, рассмотренного в параграфе 3.4.

Было предложено четыре альтернативы ( $X_1, X_2, X_3, X_4$ ) разработки проекта, которые описывались тремя частными критериями реализуемости:  $k_1$  – время создания СУС, дни;  $k_2$  – стоимость создания СУС, тыс. руб.;  $k_3$  – количество исполнителей;  $w$  – относительная важность критериев.

Расчетные значения частных критериев и относительной важности критериев для каждой альтернативы представлены в таблице 5.12.

Таблица 5.12 – Расчетные значения частных критериев реализуемости альтернатив

| Альтернативы проекта | Частные критерии реализуемости альтернатив |                          |                 |                  |
|----------------------|--------------------------------------------|--------------------------|-----------------|------------------|
|                      | $k_1$                                      | $k_2$                    | $k_3$           | $w$              |
| $X_1$                | [300, 305, 310, 321]                       | [3060, 3068, 3080, 3100] | [6, 7, 8, 10]   | [3, 3,2, 3,5, 4] |
| $X_2$                | [305, 308, 313, 317]                       | [3070, 3079, 3085, 3110] | [9, 10, 12, 13] | [2, 2,4, 2,6, 3] |
| $X_3$                | [300, 309, 317, 320]                       | [3065, 3073, 3087, 3090] | [5, 6, 7, 9]    | [3, 3,5, 3,8, 4] |

В результате использования нечетко-интервального метода были рассчитаны скалярные интервальные оценки обобщенной полезности для каждой альтернативы проекта по созданию СУС:

$$P(X_1)=[0,52, 0,7, 0,88,1,22], P(X_2)=[0,39, 0,57, 0,73, 0,99],$$

$$P(X_3)=[0,5, 0,72, 0,94,1,35].$$

Поскольку интервалы частных критериев пересекаются, то выбор наилучшей альтернативы осуществляли с помощью метода Чью-Парка:

$$C_p(P(X_1)) = 1,62; C_p(P(X_2)) = 0,32; C_p(P(X_3)) = 1,7.$$

В результате расчета наилучшей альтернативой разработки проекта по созданию СУС является альтернатива  $X_3$ , затем альтернатива  $X_1$ .

Далее значения факторов (таблица 5.12), связей между факторами, и ограничений вводили в разработанную программу (рисунок 5.19) для оценки реализуемости проекта по созданию СУС за счет гарантированного нахождения значений факторов в пределах ограничений по времени и стоимости, установленных в контракте.

The screenshot shows the 'NHL algorithm' software interface. It is divided into several sections:

- Входные данные (Input Data):** A table for 'Значения вершин' (Vertex values) with columns for factors x1 through x11. Each factor has a dropdown menu for its type (e.g., 'Треугольное', 'Одиночное значение', 'Лингвистическое описание') and input fields for numerical values. Some cells contain question marks, indicating missing or to-be-determined values.
- Ограничения (Constraints):** A table with columns 'Xmin' and 'Xmax' for factors x1 through x11. Some cells contain numerical values, while others are empty.
- Параметры (Parameters):** Radio buttons for 'Численные значения' (selected) and 'Лингвистическое описание'. Below are dropdowns for 'Тип переменных' (Треугольное), 'Шкала' (5-бальная), and input fields for 'Скорость обучения' (0.06) and 'Пороговое значение' (0.001).
- Путь к отчету (Report Path):** A text field showing 'C:\Users\Админ\Desktop\report3.x' and a 'Рассчитать' (Calculate) button.
- Матрица связей (Relationship Matrix):** A table with 11 columns (x1 to x11) and 11 rows (x1 to x11). It contains linguistic relationship labels like '[1;1;1]', '[1;1;-]', '[2;1;2]', etc., representing the strength and direction of relationships between factors.

Рисунок 5.19 – Экранная форма ввода начальных значений для оценки реализуемости проекта по созданию СУС

Основные результаты оценки реализуемости проекта по созданию СУС представлены на рисунке 5.20.

|    | A                                         | B         | C         | D         | E         | F         | G         | H         | I         | J         | K         | L                   | M | N |
|----|-------------------------------------------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|---------------------|---|---|
| 1  | Начальные значения вершин после обработки |           |           |           |           |           |           |           |           |           |           |                     |   |   |
| 2  |                                           | x1        | x2        | x3        | x4        | x5        | x6        | x7        | x8        | x9        | x10       | x11                 |   |   |
| 3  | 0.                                        | 0,000314  | 0,64      | 0,08      | 0,95      | 1         | 0,771429  | 0         | 0,55      | 0,55      | 0,100809  | 0,998359            |   |   |
| 4  |                                           |           |           |           |           |           |           |           |           |           |           |                     |   |   |
| 5  | Начальная матрица                         |           |           |           |           |           |           |           |           |           |           |                     |   |   |
| 6  |                                           | x1        | x2        | x3        | x4        | x5        | x6        | x7        | x8        | x9        | x10       | x11                 |   |   |
| 7  | x1                                        | 0.0       | 0.3       | 0.0       | -0.3      | 0.0       | 0.0       | 0.0       | 0.0       | 0.5       | 0.7       | 0.7                 |   |   |
| 8  | x2                                        | 0.0       | 0.0       | 0.9       | 0.0       | 0.5       | 0.0       | 0.0       | 0.0       | 0.0       | 0.0       | 0.0                 |   |   |
| 9  | x3                                        | 0.0       | 0.0       | 0.0       | 0.0       | 0.0       | 0.9       | 0.0       | 0.0       | 0.0       | 0.0       | 0.0                 |   |   |
| 10 | x4                                        | 0.0       | 0.0       | 0.0       | 0.0       | 0.0       | 0.0       | 0.0       | 0.0       | 0.0       | 0.0       | 0.0                 |   |   |
| 11 | x5                                        | 0.0       | 0.0       | 0.0       | 0.0       | 0.0       | 0.0       | 0.0       | 0.0       | 0.0       | 0.0       | 0.0                 |   |   |
| 12 | x6                                        | 0.0       | 0.0       | 0.0       | 0.0       | -0.5      | 0.0       | 0.9       | 0.0       | 0.0       | 0.7       | 0.7                 |   |   |
| 13 | x7                                        | 0.0       | 0.0       | 0.0       | 0.0       | 0.0       | 0.0       | 0.0       | 0.0       | 0.0       | 0.9       | 0.9                 |   |   |
| 14 | x8                                        | 0.0       | 0.0       | 0.0       | 0.0       | 0.0       | -0.5      | -0.5      | 0.0       | 0.0       | 0.0       | 0.5                 |   |   |
| 15 | x9                                        | 0.0       | 0.0       | 0.0       | 0.7       | 0.0       | -0.9      | -0.9      | 0.0       | 0.0       | 0.0       | 0.7                 |   |   |
| 16 | x10                                       | 0.0       | 0.0       | 0.0       | -0.5      | -0.5      | 0.0       | 0.0       | 0.0       | -0.7      | 0.0       | 0.0                 |   |   |
| 17 | x11                                       | 0.0       | 0.0       | 0.0       | 0.0       | -0.5      | 0.0       | 0.0       | 0.0       | 0.0       | 0.0       | 0.0                 |   |   |
| 18 |                                           |           |           |           |           |           |           |           |           |           |           |                     |   |   |
| 19 | Ограничения после обработки               |           |           |           |           |           |           |           |           |           |           |                     |   |   |
| 20 |                                           | min       | max       |           |           |           |           |           |           |           |           |                     |   |   |
| 21 | x2                                        | -         | -         |           |           |           |           |           |           |           |           |                     |   |   |
| 22 | x6                                        | 0.08      | 1.0       |           |           |           |           |           |           |           |           |                     |   |   |
| 23 | x7                                        | 0.55      | 1.0       |           |           |           |           |           |           |           |           |                     |   |   |
| 24 | x10                                       | 0.9345794 | 1.0       |           |           |           |           |           |           |           |           |                     |   |   |
| 25 | x11                                       | 0.9646302 | 1.0       |           |           |           |           |           |           |           |           |                     |   |   |
| 26 |                                           |           |           |           |           |           |           |           |           |           |           |                     |   |   |
| 27 | =====Первый проход=====                   |           |           |           |           |           |           |           |           |           |           |                     |   |   |
| 28 |                                           | x1        | x2        | x3        | x4        | x5        | x6        | x7        | x8        | x9        | x10       | x11                 |   |   |
| 29 | 1.                                        | 0,500079  | 0,654775  | 0,658381  | 0,783215  | 0,595248  | 0,518349  | 0,48108   | 0,634138  | 0,617851  | 0,654988  | 0,899942            |   |   |
| 30 | 2.                                        | 0,622478  | 0,691     | 0,776894  | 0,67657   | 0,47153   | 0,559201  | 0,518851  | 0,653427  | 0,600898  | 0,858253  | 0,942418            |   |   |
| 31 | 3.                                        | 0,650782  | 0,706354  | 0,801992  | 0,618061  | 0,410258  | 0,596498  | 0,538527  | 0,657782  | 0,577217  | 0,895876  | 0,951833            |   |   |
| 32 | 4.                                        | 0,657187  | 0,711276  | 0,8081    | 0,593618  | 0,387302  | 0,615361  | 0,556504  | 0,658762  | 0,568441  | 0,904964  | 0,95446             |   |   |
| 33 | 5.                                        | 0,657187  | 0,711276  | 0,8081    | 0,593618  | 0,387302  | 0,615361  | 0,556504  | 0,658762  | 0,568441  | 0,904964  | 0,95446             |   |   |
| 34 | 6.                                        | 0,657187  | 0,711276  | 0,8081    | 0,593618  | 0,387302  | 0,615361  | 0,556504  | 0,658762  | 0,568441  | 0,904964  | 0,95446             |   |   |
| 35 | =====Обучение=====                        |           |           |           |           |           |           |           |           |           |           |                     |   |   |
| 36 |                                           | x1        | x2        | x3        | x4        | x5        | x6        | x7        | x8        | x9        | x10       | x11                 |   |   |
| 37 | 1.                                        | 0,700639  | 0,751854  | 0,839003  | 0,624169  | 0,405183  | 0,667905  | 0,613788  | 0,700731  | 0,606631  | 0,923387  | 0,961662            |   |   |
| 38 | 2.                                        | 0,711077  | 0,762938  | 0,848885  | 0,637123  | 0,409609  | 0,672778  | 0,622521  | 0,711115  | 0,620574  | 0,931774  | 0,967258            |   |   |
| 39 | 3.                                        | 0,757343  | 0,804546  | 0,877856  | 0,688342  | 0,446593  | 0,718805  | 0,669834  | 0,757369  | 0,67117   | 0,944623  | 0,972817            |   |   |
| 40 | 4.                                        | 0,811132  | 0,851442  | 0,909423  | 0,753801  | 0,499888  | 0,770738  | 0,728334  | 0,811153  | 0,738377  | 0,960176  | 0,980669            |   |   |
| 41 | 5.                                        | 0,862884  | 0,894424  | 0,936754  | 0,821109  | 0,569135  | 0,822959  | 0,789741  | 0,862901  | 0,8076    | 0,973111  | 0,987171            |   |   |
| 42 | 6.                                        | 0,906808  | 0,929084  | 0,957768  | 0,879803  | 0,653405  | 0,871585  | 0,84848   | 0,90662   | 0,869087  | 0,982533  | 0,991769            |   |   |
| 43 | 7.                                        | 0,937387  | 0,954202  | 0,972576  | 0,923676  | 0,695068  | 0,912444  | 0,89801   | 0,939345  | 0,916275  | 0,988874  | 0,994749            |   |   |
| 44 | 8.                                        | 0,937387  | 0,954202  | 0,972576  | 0,923676  | 0,695068  | 0,912444  | 0,89801   | 0,939345  | 0,916275  | 0,988874  | 0,994749            |   |   |
| 45 | 9.                                        | 0,937387  | 0,954202  | 0,972576  | 0,923676  | 0,695068  | 0,912444  | 0,89801   | 0,939345  | 0,916275  | 0,988874  | 0,994749            |   |   |
| 46 |                                           |           |           |           |           |           |           |           |           |           |           |                     |   |   |
| 47 | Матрица после обучения                    |           |           |           |           |           |           |           |           |           |           |                     |   |   |
| 48 |                                           | x1        | x2        | x3        | x4        | x5        | x6        | x7        | x8        | x9        | x10       | x11                 |   |   |
| 49 | x1                                        | 0.0       | 0.5857948 | 0.4227884 | 0.2104052 | 0.3388555 | 0.3973791 | 0.3896262 | 0.4052137 | 0.7034462 | 0.8010858 | 0.7972940718946034  |   |   |
| 50 | x2                                        | 0.4144408 | 0.0       | 0.9298461 | 0.4039697 | 0.7062240 | 0.4063540 | 0.3982280 | 0.4144537 | 0.4008459 | 0.4425533 | 0.44650110551261885 |   |   |
| 51 | x3                                        | 0.4280467 | 0.4380733 | 0.0       | 0.4167921 | 0.3554100 | 0.9712885 | 0.4108518 | 0.4280810 | 0.4134723 | 0.4582164 | 0.4624756273989298  |   |   |
| 52 | x4                                        | 0.3931975 | 0.3999192 | 0.4096168 | 0.0       | 0.3302378 | 0.3857284 | 0.3784931 | 0.3932083 | 0.3810938 | 0.4182035 | 0.4216888484885401  |   |   |
| 53 | x5                                        | 0.3258513 | 0.3304836 | 0.3373180 | 0.3191592 | 0.0       | 0.3199749 | 0.3148714 | 0.3258588 | 0.3170986 | 0.3433982 | 0.34584463608849163 |   |   |
| 54 | x6                                        | 0.3945132 | 0.4013830 | 0.4113296 | 0.3849931 | -0.029902 | 0.0       | 0.9456326 | 0.3945247 | 0.3821186 | 0.7891995 | 0.785258586722714   |   |   |
| 55 | x7                                        | 0.3853337 | 0.3918857 | 0.4012890 | 0.3763230 | 0.3240930 | 0.3780639 | 0.0       | 0.3853442 | 0.3735775 | 0.8841360 | 0.8778468294853781  |   |   |
| 56 | x8                                        | 0.4052147 | 0.4123936 | 0.4228032 | 0.3952419 | 0.3388847 | 0.0908796 | 0.0751575 | 0.0       | 0.3922446 | 0.4320257 | 0.6940157649838173  |   |   |
| 57 | x9                                        | 0.3894448 | 0.3960431 | 0.4055516 | 0.8116085 | 0.3274528 | -0.169641 | -0.191081 | 0.3894554 | 0.0       | 0.4139700 | 0.7789135958996885  |   |   |
| 58 | x10                                       | 0.4408623 | 0.4491750 | 0.4616772 | 0.1206292 | 0.0038782 | 0.4318193 | 0.4225526 | 0.4406781 | -0.010531 | 0.0       | 0.4773332849147468  |   |   |
| 59 | x11                                       | 0.4458853 | 0.4546065 | 0.4674411 | 0.4335758 | 0.0076213 | 0.4368912 | 0.4273868 | 0.4459018 | 0.4299938 | 0.4788413 | 0.0                 |   |   |
| 60 |                                           |           |           |           |           |           |           |           |           |           |           |                     |   |   |

Рисунок 5.20 – Экранная форма вывода результатов оценки реализуемости проекта по созданию СУС

В качестве пороговой функции использовали сигмоидальную функцию,  $\lambda = 1$ . Как видно из рисунка 5.20, уже после четырех итераций возникло установившееся состояние, определяемое вектором переменных:  $X^{\text{вых}} = (0,6572; 0,7113; 0,8081; 0,5936; 0,3873; 0,6154; 0,5565; 0,6588; 0,5684; 0,9050; 0,9545)$ .

Поскольку  $v_{10}$  (0,9050) и  $v_{11}$  (0,9545) не попали в заданный интервал, то далее использовали процедуру обучения НКМ  $G_{\text{неч1}}$ .

Затем проводили вычисления для тех же начальных значений параметров вершин  $X(0) = (0,0003; 0,64; 0,08; 0,95; 1; 0,77; 0; 0,55; 0,55; 0,1; 0,99)$  с применением на каждой итерации обновления значений связей.

Как видно из рисунка 5.20, уже после семи итераций возникло установившееся состояние НКМ, определяемое вектором переменных:  $X^{\text{вых}} = (0,9374; 0,9542; 0,9726; 0,9237; 0,6951; 0,9124; 0,8980; 0,9393; 0,9163; 0,9889; 0,9947)$  значения которого  $v_6$  (0,9124)  $v_7$  (0,8980),  $v_{10}$  (0,9889),  $v_{11}$  (0,9947) удовлетворяют начальным ограничениям.

Полученная НКМ  $G_{\text{неч1}}$  оценки реализуемости проекта по созданию СУС с матрицей отношений НКМ обеспечивает реализуемость проекта при наличии ресурсов, в соответствии с контрактом.

В таблице 5.13 приведена сравнительная оценка расчетных значений, полученных с использованием комплекса когнитивных моделей, методов поддержки принятия решений, а также методики, основанной на нормах времени на разработку ПС, принятой в НИИ МВС ЮФУ и фактических значений факторов, характеризующих реализуемость проекта по созданию СУС.

Таблица 5.13 – Сравнительная оценка расчетных и фактических значений факторов, характеризующих реализуемость проекта по созданию СУС

| № | Наименование фактора          | Значения по контракту | Фактические значения | Расчетные значения, полученные с использованием методики, принятой на предприятии | Расчетные значения, полученные с использованием комплекса когнитивных моделей и методов |
|---|-------------------------------|-----------------------|----------------------|-----------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------|
| 1 | Время создания СУС (день)     | 321                   | 284                  | 320                                                                               | 315                                                                                     |
| 2 | Стоимость создания СУС (руб.) | 3 086 600             | 3 086 600            | 3 028 541                                                                         | 3 078 962                                                                               |



Исходные данные взяты из контракта 302-21224 от 11.04.2012 с ОАО «Точрадиомаш» (г. Майкоп) на создание и поставку системы управления складом, 2012–2013 гг.

Таким образом, в ходе исследований было установлено, что разработанный комплекс когнитивных моделей и методов поддержки принятия решений оказался работоспособен, поскольку выдал прогнозы, совпадающие с реальным ходом событий, т.е. погрешность прогноза значения фактора «Время создания СУС» составляет 10,9 % (31 дн.), значения фактора «Стоимость создания СУС» – 0,2 % (7 638 руб.).

Результаты, полученные на основе методики, принятой на предприятии, показали, что погрешность прогноза значения фактора «Время создания СУС» составляет 12,7 % (36 дн.), значения фактора «Стоимость создания СУС» – 1,8 % (58 059 руб.).

Предположим, при анализе результатов руководитель проекта решил подкорректировать модель  $G_{\text{неч1}}$ , в результате была разработана новая НКМ  $G_{\text{неч (нов)}}$ . На рисунке 5.21 представлена новая НКМ оценки реализуемости проекта по созданию СУС.

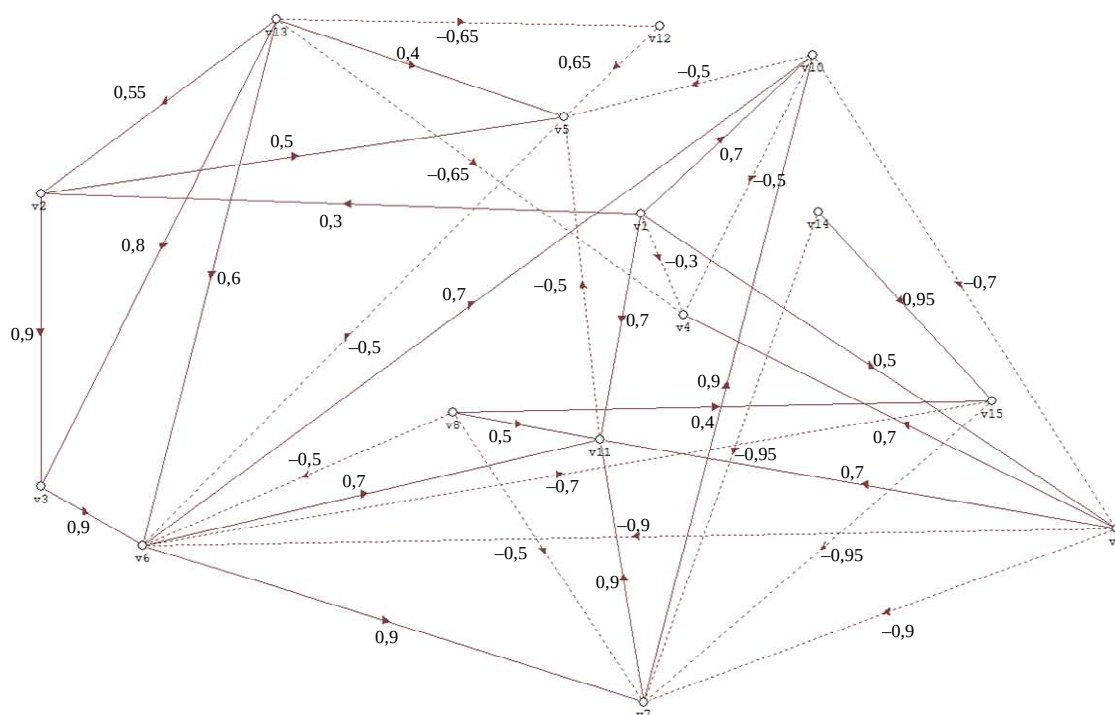


Рисунок 5.21 – Новая нечеткая когнитивная модель  $G_{\text{неч (нов)}}$  оценки реализуемости проекта по созданию СУС

Здесь новые вершины  $v_{12}$  – количество исполнителей;  $v_{13}$  – квалификация исполнителей;  $v_{14}$  – нарушение нормальной эксплуатации;  $v_{15}$  – аварийная ситуация. Отметим, что под вершиной  $v_8$  понимается внешняя среда (пожар, энергоснабжение).

Новые связи:  $v_6v_{15}$  – уменьшение надежности СУС приводит к увеличению аварийных ситуаций;  $v_8v_{15}$  – увеличение внешних факторов приводит к увеличению аварийных ситуаций;  $v_{12}v_5$  – увеличение количества исполнителей приводит к увеличению экономичности;  $v_{13}v_2$  – высокая квалификация исполнителей приводит к увеличению производительности исполнителей;  $v_{13}v_3$  – высокая квалификация исполнителей приводит к увеличению количества оценок реализуемости проекта по созданию СУС;  $v_{13}v_6$  – высокая квалификация исполнителей приводит к увеличению надежности СУС;  $v_{13}v_4$  – увеличение квалификации исполнителей приводит к уменьшению возможности неудачного завершения проекта;  $v_{13}v_5$  – высокая квалификация исполнителей приводит к увеличению экономичности;  $v_{13}v_{12}$  – высокая квалификация исполнителей приводит к уменьшению количества исполнителей;  $v_{14}v_{15}$  – увеличение нарушений нормальной эксплуатации приводит к увеличению аварийных ситуаций;  $v_{14}v_7$  – увеличение нарушений нормальной эксплуатации приводит к уменьшению безопасности и защиты СУС;  $v_{15}v_7$  – увеличение аварийных ситуаций приводит к уменьшению безопасности и защиты СУС.

Для получения информации о неявных взаимных влияниях между факторами был проведен анализ структуры НКМ  $G_{\text{неч(нов)}}$ .

После ввода значений связей между вершинами, получили основные результаты расчета системных показателей НКМ  $G_{\text{неч(нов)}}$  (рисунок 5.22).

Из рисунка 5.22 видно, что на целевую вершину « $v_7$  – Безопасность и защита СУС» влияют  $v_1, v_2, v_3, v_6, v_7, v_8, v_9, v_{10}, v_{13}, v_{14}, v_{15}$ .

Наибольшее положительное влияние на целевую вершину  $v_7$  оказывают вершины  $v_3$  (0,81) и  $v_2$  (0,73). Отрицательное влияние оказывают вершины  $v_{14}$  (–0,95) и  $v_{15}$  (–0,95), которые находятся на высоком уровне, это указывает на то, что данные вершины могут негативно влиять на значения целевой вершины  $v_7$ .



|     |                                    |                                      |                                  |                                      |                            |                                |                    |                    |     |                     |                    |                    |     |     |     |                      |
|-----|------------------------------------|--------------------------------------|----------------------------------|--------------------------------------|----------------------------|--------------------------------|--------------------|--------------------|-----|---------------------|--------------------|--------------------|-----|-----|-----|----------------------|
| 50  | =====Влияние вершин=====           |                                      |                                  |                                      |                            |                                |                    |                    |     |                     |                    |                    |     |     |     |                      |
| 51  |                                    | x1                                   | x2                               | x3                                   | x4                         | x5                             | x6                 | x7                 | x8  | x9                  | x10                | x11                | x12 | x13 | x14 | x15                  |
| 52  | x1                                 | 0.0                                  | 0.3                              | 0.27                                 | 0.0                        | -0.35                          | -0.45              | -0.45              | 0.0 | 0.5                 | 0.7                | 0.7                | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.315                |
| 53  | x2                                 | 0.0                                  | 0.0                              | 0.9                                  | -0.3280500000000000        | 0.5                            | 0.81               | 0.7290000000000000 | 0.0 | -0.4592700000000000 | 0.6561000000000000 | 0.6561000000000000 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | -0.567               |
| 54  | x3                                 | 0.0                                  | 0.0                              | 0.0                                  | -0.3645000000000000        | -0.45                          | 0.9                | 0.81               | 0.0 | -0.5103000000000000 | 0.7290000000000000 | 0.7290000000000000 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | -0.63                |
| 55  | x4                                 | 0.0                                  | 0.0                              | 0.0                                  | 0.0                        | 0.0                            | 0.0                | 0.0                | 0.0 | 0.0                 | 0.0                | 0.0                | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0                  |
| 56  | x5                                 | 0.0                                  | 0.0                              | 0.0                                  | 0.0                        | 0.0                            | 0.0                | 0.0                | 0.0 | 0.0                 | 0.0                | 0.0                | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0                  |
| 57  | x6                                 | 0.0                                  | 0.0                              | 0.0                                  | -0.405                     | -0.5                           | 0.5103000000000000 | 0.9                | 0.0 | -0.567              | 0.81               | 0.81               | 0.0 | 0.0 | 0.0 | -0.7                 |
| 58  | x7                                 | 0.0                                  | 0.0                              | 0.0                                  | -0.45                      | -0.45                          | 0.5670000000000000 | 0.5670000000000000 | 0.0 | -0.63               | 0.9                | 0.9                | 0.0 | 0.0 | 0.0 | -0.3969              |
| 59  | x8                                 | 0.0                                  | 0.0                              | 0.0                                  | 0.225                      | 0.25                           | -0.5               | -0.5               | 0.0 | 0.315               | -0.45              | 0.5                | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.4                  |
| 60  | x9                                 | 0.0                                  | 0.0                              | 0.0                                  | 0.7                        | 0.45                           | -0.9               | -0.9               | 0.0 | 0.567               | -0.81              | -0.81              | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.63                 |
| 61  | x10                                | 0.0                                  | 0.0                              | 0.0                                  | -0.5                       | -0.5                           | 0.63               | 0.63               | 0.0 | -0.7                | 0.567              | 0.567              | 0.0 | 0.0 | 0.0 | -0.44099999999999995 |
| 62  | x11                                | 0.0                                  | 0.0                              | 0.0                                  | 0.0                        | 0.0                            | 0.0                | 0.0                | 0.0 | 0.0                 | 0.0                | 0.0                | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0                  |
| 63  | x12                                | 0.0                                  | 0.0                              | 0.0                                  | 0.0                        | 0.65                           | 0.0                | 0.0                | 0.0 | 0.0                 | 0.0                | 0.0                | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0                  |
| 64  | x13                                | 0.0                                  | 0.55                             | 0.8                                  | -0.65                      | -0.4225000000000000            | 0.7200000000000000 | 0.6480000000000000 | 0.0 | -0.4082400000000000 | 0.5832000000000000 | -0.65              | 0.0 | 0.0 | 0.0 | -0.504               |
| 65  | x14                                | 0.0                                  | 0.0                              | 0.0                                  | 0.4275                     | 0.4275                         | -0.5385            | -0.95              | 0.0 | 0.5984990000000000  | -0.855             | -0.855             | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.95                 |
| 66  | x15                                | 0.0                                  | 0.0                              | 0.0                                  | 0.4275                     | 0.4275                         | -0.5385            | -0.95              | 0.0 | 0.5984990000000000  | -0.855             | -0.855             | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.377055             |
| 67  | =====Консонанс влияния вершин===== |                                      |                                  |                                      |                            |                                |                    |                    |     |                     |                    |                    |     |     |     |                      |
| 68  |                                    | x1                                   | x2                               | x3                                   | x4                         | x5                             | x6                 | x7                 | x8  | x9                  | x10                | x11                | x12 | x13 | x14 | x15                  |
| 69  | x1                                 | 1.0                                  | 1.0                              | 1.0                                  | 0.0                        | 0.2173913043                   | 0.01010110         | 0.01010110         | 1.0 | 0.01010110          | 0.266968           | 0.266968           | 1.0 | 1.0 | 1.0 | 0.010101010101010235 |
| 70  | x2                                 | 1.0                                  | 1.0                              | 1.0                                  | 1.0                        | 0.1049723756                   | 1.0                | 1.0                | 1.0 | 1.0                 | 1.0                | 0.34228110         | 1.0 | 1.0 | 1.0 | 1.0                  |
| 71  | x3                                 | 1.0                                  | 1.0                              | 1.0                                  | 1.0                        | 1.0                            | 1.0                | 1.0                | 1.0 | 1.0                 | 1.0                | 0.34228110         | 1.0 | 1.0 | 1.0 | 1.0                  |
| 72  | x4                                 | 1.0                                  | 1.0                              | 1.0                                  | 1.0                        | 1.0                            | 1.0                | 1.0                | 1.0 | 1.0                 | 1.0                | 1.0                | 1.0 | 1.0 | 1.0 | 1.0                  |
| 73  | x5                                 | 1.0                                  | 1.0                              | 1.0                                  | 1.0                        | 1.0                            | 1.0                | 1.0                | 1.0 | 1.0                 | 1.0                | 1.0                | 1.0 | 1.0 | 1.0 | 1.0                  |
| 74  | x6                                 | 1.0                                  | 1.0                              | 1.0                                  | 1.0                        | 1.0                            | 1.0                | 1.0                | 1.0 | 1.0                 | 1.0                | 0.34228110         | 1.0 | 1.0 | 1.0 | 1.0                  |
| 75  | x7                                 | 1.0                                  | 1.0                              | 1.0                                  | 1.0                        | 1.0                            | 1.0                | 1.0                | 1.0 | 1.0                 | 1.0                | 0.34228110         | 1.0 | 1.0 | 1.0 | 1.0                  |
| 76  | x8                                 | 1.0                                  | 1.0                              | 1.0                                  | 1.0                        | 1.0                            | 1.0                | 1.0                | 1.0 | 1.0                 | 1.0                | 0.05263110         | 1.0 | 1.0 | 1.0 | 1.0                  |
| 77  | x9                                 | 1.0                                  | 1.0                              | 1.0                                  | 1.0                        | 1.0                            | 1.0                | 1.0                | 1.0 | 1.0                 | 1.0                | 0.07284710         | 1.0 | 1.0 | 1.0 | 1.0                  |
| 78  | x10                                | 1.0                                  | 1.0                              | 1.0                                  | 1.0                        | 1.0                            | 1.0                | 1.0                | 1.0 | 1.0                 | 1.0                | 0.07284710         | 1.0 | 1.0 | 1.0 | 1.0                  |
| 79  | x11                                | 1.0                                  | 1.0                              | 1.0                                  | 1.0                        | 1.0                            | 1.0                | 1.0                | 1.0 | 1.0                 | 1.0                | 1.0                | 1.0 | 1.0 | 1.0 | 1.0                  |
| 80  | x12                                | 1.0                                  | 1.0                              | 1.0                                  | 1.0                        | 1.0                            | 1.0                | 1.0                | 1.0 | 1.0                 | 1.0                | 1.0                | 1.0 | 1.0 | 1.0 | 1.0                  |
| 81  | x13                                | 1.0                                  | 1.0                              | 1.0                                  | 1.0                        | 0.0273556231                   | 1.0                | 1.0                | 1.0 | 1.0                 | 1.0                | 0.34228110         | 1.0 | 1.0 | 1.0 | 1.0                  |
| 82  | x14                                | 1.0                                  | 1.0                              | 1.0                                  | 1.0                        | 1.0                            | 1.0                | 1.0                | 1.0 | 1.0                 | 1.0                | 0.34228110         | 1.0 | 1.0 | 1.0 | 1.0                  |
| 83  | x15                                | 1.0                                  | 1.0                              | 1.0                                  | 1.0                        | 1.0                            | 1.0                | 1.0                | 1.0 | 1.0                 | 1.0                | 0.34228110         | 1.0 | 1.0 | 1.0 | 1.0                  |
| 84  | Консонанс влияния вершин на НКМ    | Консонанс влияния системы на вершину | Диссонанс влияния вершины на НКМ | Диссонанс влияния системы на вершину | Воздействие вершины на НКМ | Воздействие системы на вершину |                    |                    |     |                     |                    |                    |     |     |     |                      |
| 85  | 0,5194488                          | 1                                    | 0,4805512                        | 0                                    | 0,102333333                | 0                              |                    |                    |     |                     |                    |                    |     |     |     |                      |
| 86  | 0,89648362                         | 1                                    | 0,103516383                      | 0                                    | 0,193125333                | 0,056666667                    |                    |                    |     |                     |                    |                    |     |     |     |                      |
| 87  | 0,95615213                         | 1                                    | 0,043847875                      | 0                                    | 0,08088                    | 0,131333333                    |                    |                    |     |                     |                    |                    |     |     |     |                      |
| 88  | 1                                  | 0,933333333                          | 0                                | 0,066666667                          | 0                          | -0,06117                       |                    |                    |     |                     |                    |                    |     |     |     |                      |
| 89  | 1                                  | 0,82331462                           | 0                                | 0,17668538                           | 0                          | 0,002166667                    |                    |                    |     |                     |                    |                    |     |     |     |                      |
| 90  | 0,95615213                         | 0,934006734                          | 0,043847875                      | 0,055993266                          | 0,05722                    | 0,080666667                    |                    |                    |     |                     |                    |                    |     |     |     |                      |
| 91  | 0,95615213                         | 0,934006734                          | 0,043847875                      | 0,055993266                          | 0,06714                    | 0,0356                         |                    |                    |     |                     |                    |                    |     |     |     |                      |
| 92  | 0,93684211                         | 1                                    | 0,063157895                      | 0                                    | 0,016                      | 0                              |                    |                    |     |                     |                    |                    |     |     |     |                      |
| 93  | 0,93818985                         | 0,934006734                          | 0,061810155                      | 0,055993266                          | -0,071533333               | -0,04638733                    |                    |                    |     |                     |                    |                    |     |     |     |                      |
| 94  | 0,93818985                         | 0,951131222                          | 0,061810155                      | 0,04868778                           | 0,016866667                | 0,131686667                    |                    |                    |     |                     |                    |                    |     |     |     |                      |
| 95  | 1                                  | 0,457417895                          | 0                                | 0,542582105                          | 0                          | 0,19502                        |                    |                    |     |                     |                    |                    |     |     |     |                      |
| 96  | 1                                  | 1                                    | 0                                | 0                                    | 0,043333333                | -0,043333333                   |                    |                    |     |                     |                    |                    |     |     |     |                      |
| 97  | 0,89130917                         | 1                                    | 0,108690833                      | 0                                    | 0,083310667                | 0                              |                    |                    |     |                     |                    |                    |     |     |     |                      |
| 98  | 0,95615213                         | 1                                    | 0,043847875                      | 0                                    | -0,05301                   | 0                              |                    |                    |     |                     |                    |                    |     |     |     |                      |
| 99  | 0,95615213                         | 0,934006734                          | 0,043847875                      | 0,055993266                          | -0,091206333               | -0,03778967                    |                    |                    |     |                     |                    |                    |     |     |     |                      |
| 100 |                                    |                                      |                                  |                                      |                            |                                |                    |                    |     |                     |                    |                    |     |     |     |                      |

Рисунок 5.22 – Экранная форма вывода основных результатов НКМ  $G_{\text{неч(нов)}}$ 

На целевую вершину « $v_{10}$  – Время создания СУС» влияют  $v_1, v_2, v_3, v_6, v_7, v_8, v_9, v_{10}, v_{13}, v_{14}, v_{15}$ .

Наибольшее положительное влияние на целевую вершину  $v_{10}$  оказывают вершины  $v_3$  (0,73) и  $v_2$  (0,66). Отрицательное влияние оказывают вершины  $v_{14}$  (-0,86) и  $v_{15}$  (-0,86), которые могут негативно влиять на значения целевой вершины  $v_{10}$ .

На целевую вершину « $v_{11}$  – Стоимость создания СУС» влияют  $v_1, v_2, v_3, v_6, v_7, v_8, v_9, v_{10}, v_{13}, v_{14}, v_{15}$ .

Наибольшее положительное влияние на целевую вершину  $v_{11}$  оказывают вершины  $v_3$  (0,73) и  $v_2$  (0,66). Отрицательное влияние оказывают вершины  $v_{14}$  (-0,86) и  $v_{15}$  (-0,86), которые могут негативно влиять на значения целевой вершины  $v_{11}$ .

Однако из рисунка 5.22 можно увидеть, что 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). Руководителю проекта необходимо согласовать присутствие вершины « $v_1$  – Количество задач» в моделируемой НКМ.

Заметим, что 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.

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 любое отрицательное воздействие извне.

Отрицательное влияние на НКМ оказывают вершины  $v_{15}$  (–0,09),  $v_9$  (–0,07) и  $v_{14}$  (–0,05). С другой стороны, НКМ отрицательно влияет на вершины  $v_4$  (–0,06),  $v_9$  (–0,05),  $v_{12}$  (–0,04) и  $v_{15}$  (–0,04).

Вершины  $v_9$  и  $v_{15}$  являются противоречивыми, но сбалансированными, так как вершина  $v_9$  ослабляет НКМ (–0,07), но в равной степени и наоборот (–0,05); вершина  $v_{15}$  ослабляет НКМ (–0,09) и наоборот (–0,04), т.е. вершины  $v_9$  и  $v_{15}$  с отрицательным влиянием, которое оказывается двусторонним (отрицательных циклов нет).

Далее решим задачу оценки реализуемости проекта по созданию СУС за счет нахождения значений факторов в интервалах с НКМ  $G_{\text{неч(нов)}}$  с помощью метода оценки реализуемости проектов по созданию ИУС с применением процедуры обучения НКМ, описанного в параграфе 4.3.

Для оценки реализуемости проекта по созданию СУС за счет гарантированного нахождения значений факторов в пределах ограничений по времени и стоимости ввели значения факторов, связей между ними и ограничения в разработанную программу (рисунок 5.23).

Факторы «Завершение проекта», «Внешние факторы», «Количество ошибок исполнителей», «Квалификация исполнителей», «Нарушение нормальной

эксплуатации», «Аварийная ситуация» были представлены в виде вербального описания и оценены по таблице 4.1.

The screenshot shows the 'NHL algorithm' software interface. On the left, there is a 'Входные данные' (Input data) section with a table for variables x4 through x15. Each variable has a linguistic description, a numerical value, and a question mark. Below this is a table for 'Ограничения' (Constraints) with columns for Xmin and Xmax. On the right, there is a 'Матрица связей' (Connection matrix) section. It includes radio buttons for 'Численные значения' (Numerical values) and 'Лингвистическое описание' (Linguistic description), with the latter selected. Below these are fields for 'Тип переменных' (Type of variables), 'Шкала' (Scale), 'Скорость обучения' (Learning rate) set to 0.06, and 'Пороговое значение' (Threshold value) set to 0.001. A 'Путь к отчету' (Report path) field and a 'Рассчитать' (Calculate) button are also present. The connection matrix table shows values for variables x1 through x15.

|     | x1 | x2   | x3  | x4    | x5   | x6   | x7    | x8 | x9   | x10 | x11 | x12 | x13 | x14 | x15   |
|-----|----|------|-----|-------|------|------|-------|----|------|-----|-----|-----|-----|-----|-------|
| x1  |    | 0.3  |     | -0.3  |      |      |       |    | 0.5  | 0.7 | 0.7 |     |     |     |       |
| x2  |    |      | 0.9 |       | 0.5  |      |       |    |      |     |     |     |     |     |       |
| x3  |    |      |     |       |      | 0.9  |       |    |      |     |     |     |     |     |       |
| x4  |    |      |     |       |      |      |       |    |      |     |     |     |     |     |       |
| x5  |    |      |     |       |      |      |       |    |      |     |     |     |     |     |       |
| x6  |    |      |     |       | -0.5 |      | 0.9   |    |      | 0.7 | 0.7 |     |     |     |       |
| x7  |    |      |     |       |      |      |       |    |      |     |     |     |     |     |       |
| x8  |    |      |     |       |      | -0.5 | -0.5  |    |      |     |     |     |     | 0.5 |       |
| x9  |    |      |     | 0.7   |      | -0.9 | -0.9  |    |      |     |     |     |     |     | 0.7   |
| x10 |    |      |     | -0.5  | -0.5 |      |       |    | -0.7 |     |     |     |     |     |       |
| x11 |    |      |     |       | -0.5 |      |       |    |      |     |     |     |     |     |       |
| x12 |    |      |     |       |      | 0.65 |       |    |      |     |     |     |     |     |       |
| x13 |    | 0.55 | 0.8 | -0.65 | 0.4  | 0.6  |       |    |      |     |     |     |     |     | -0.65 |
| x14 |    |      |     |       |      |      | -0.95 |    |      |     |     |     |     |     |       |
| x15 |    |      |     |       |      |      | -0.95 |    |      |     |     |     |     |     |       |

Рисунок 5.23 – Экранная форма ввода начальных значений для создания СУС НКМ  $G_{\text{неч(нов)}}$

Основные результаты оценки реализуемости проекта по созданию СУС представлены на рисунке 5.24.

В качестве пороговой функции использовали сигмоидальную функцию,  $\lambda = 1$ . Как видно из рисунка 5.24, уже после четырех итераций возникло установившееся состояние, определяемое вектором переменных:  $X^{\text{вых}} = (0,6572; 0,7945; 0,8945; 0,4548; 0,5728; 0,7488; 0,2113; 0,6588; 0,5719; 0,8851; 0,9448; 0,5196; 0,6597; 0,6589; 0,7549)$ .

Поскольку  $v_7$  (0,2113),  $v_{10}$  (0,8851) и  $v_{11}$  (0,9448) не попали в заданный интервал, то далее использовали процедуру обучения НКМ  $G_{\text{неч(нов)}}$ .

Затем провели вычисления для тех же начальных значений параметров вершин  $X(0) = (0,0003; 0,64; 0,08; 0,95; 1; 0,77; 0; 0,55; 0,55; 0,1; 0,99; 0,003; 0,93; 0,6; 0,4)$  с применением на каждой итерации обновления значений связей.

Как видно из рисунка 5.24, уже после пяти итераций возникло установившееся состояние НКМ, определяемое вектором переменных:

$X^{\text{ВЫХ}} = (0,9777; 0,9901; 0,9950; 0,9280; 0,9742; 0,9824; 0,6229; 0,9778; 0,9691; 0,9946; 0,9976; 0,9489; 0,9778; 0,9778; 0,9880)$  значения которого  $v_6$  (0,9824),  $v_7$  (0,6229),  $v_{10}$  (0,9946),  $v_{11}$  (0,9976) удовлетворяют начальным ограничениям.

|    | A                                          | B        | C        | D        | E          | F        | G        | H         | I        | J        | K        | L        | M        | N        | O        | P                  | Q | R |
|----|--------------------------------------------|----------|----------|----------|------------|----------|----------|-----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|--------------------|---|---|
| 1  | Начальные значения вершин после обработки  |          |          |          |            |          |          |           |          |          |          |          |          |          |          |                    |   |   |
| 2  | x1                                         | x2       | x3       | x4       | x5         | x6       | x7       | x8        | x9       | x10      | x11      | x12      | x13      | x14      | x15      |                    |   |   |
| 3  | 0.                                         | 0,00031  | 0,64     | 0,08     | 0,95       | 1        | 0,77143  | 0         | 0,55     | 0,55     | 0,10081  | 0,99636  | 0,00324  | 0,93     | 0,6      | 0,4                |   |   |
| 4  |                                            |          |          |          |            |          |          |           |          |          |          |          |          |          |          |                    |   |   |
| 5  | Начальная матрица                          |          |          |          |            |          |          |           |          |          |          |          |          |          |          |                    |   |   |
| 6  | x1                                         | x2       | x3       | x4       | x5         | x6       | x7       | x8        | x9       | x10      | x11      | x12      | x13      | x14      | x15      |                    |   |   |
| 7  | x1                                         | 0,0      | 0,3      | 0,0      | -0,3       | 0,0      | 0,0      | 0,0       | 0,5      | 0,7      | 0,7      | 0,0      | 0,0      | 0,0      | 0,0      |                    |   |   |
| 8  | x2                                         | 0,0      | 0,0      | 0,9      | 0,0        | 0,5      | 0,0      | 0,0       | 0,0      | 0,0      | 0,0      | 0,0      | 0,0      | 0,0      | 0,0      |                    |   |   |
| 9  | x3                                         | 0,0      | 0,0      | 0,0      | 0,0        | 0,0      | 0,9      | 0,0       | 0,0      | 0,0      | 0,0      | 0,0      | 0,0      | 0,0      | 0,0      |                    |   |   |
| 10 | x4                                         | 0,0      | 0,0      | 0,0      | 0,0        | 0,0      | 0,0      | 0,0       | 0,0      | 0,0      | 0,0      | 0,0      | 0,0      | 0,0      | 0,0      |                    |   |   |
| 11 | x5                                         | 0,0      | 0,0      | 0,0      | 0,0        | 0,0      | 0,0      | 0,0       | 0,0      | 0,0      | 0,0      | 0,0      | 0,0      | 0,0      | 0,0      |                    |   |   |
| 12 | x6                                         | 0,0      | 0,0      | 0,0      | 0,0        | -0,5     | 0,0      | 0,9       | 0,0      | 0,0      | 0,7      | 0,7      | 0,0      | 0,0      | 0,0      | -0,7               |   |   |
| 13 | x7                                         | 0,0      | 0,0      | 0,0      | 0,0        | 0,0      | 0,0      | 0,0       | 0,0      | 0,9      | 0,9      | 0,0      | 0,0      | 0,0      | 0,0      | 0,0                |   |   |
| 14 | x8                                         | 0,0      | 0,0      | 0,0      | 0,0        | 0,0      | -0,5     | -0,5      | 0,0      | 0,0      | 0,5      | 0,0      | 0,0      | 0,0      | 0,0      | 0,4                |   |   |
| 15 | x9                                         | 0,0      | 0,0      | 0,0      | 0,7        | 0,0      | -0,9     | -0,9      | 0,0      | 0,0      | 0,7      | 0,0      | 0,0      | 0,0      | 0,0      | 0,0                |   |   |
| 16 | x10                                        | 0,0      | 0,0      | 0,0      | -0,5       | -0,5     | 0,0      | 0,0       | 0,0      | -0,7     | 0,0      | 0,0      | 0,0      | 0,0      | 0,0      | 0,0                |   |   |
| 17 | x11                                        | 0,0      | 0,0      | 0,0      | 0,0        | -0,5     | 0,0      | 0,0       | 0,0      | 0,0      | 0,0      | 0,0      | 0,0      | 0,0      | 0,0      | 0,0                |   |   |
| 18 | x12                                        | 0,0      | 0,0      | 0,0      | 0,0        | 0,65     | 0,0      | 0,0       | 0,0      | 0,0      | 0,0      | 0,0      | 0,0      | 0,0      | 0,0      | 0,0                |   |   |
| 19 | x13                                        | 0,0      | 0,55     | 0,8      | -0,65      | 0,4      | 0,6      | 0,0       | 0,0      | 0,0      | 0,0      | -0,65    | 0,0      | 0,0      | 0,0      | 0,0                |   |   |
| 20 | x14                                        | 0,0      | 0,0      | 0,0      | 0,0        | 0,0      | 0,0      | -0,95     | 0,0      | 0,0      | 0,0      | 0,0      | 0,0      | 0,0      | 0,0      | 0,95               |   |   |
| 21 | x15                                        | 0,0      | 0,0      | 0,0      | 0,0        | 0,0      | 0,0      | -0,95     | 0,0      | 0,0      | 0,0      | 0,0      | 0,0      | 0,0      | 0,0      | 0,0                |   |   |
| 22 |                                            |          |          |          |            |          |          |           |          |          |          |          |          |          |          |                    |   |   |
| 23 | Ограничения после обработки                |          |          |          |            |          |          |           |          |          |          |          |          |          |          |                    |   |   |
| 24 | x2                                         | min      | max      |          |            |          |          |           |          |          |          |          |          |          |          |                    |   |   |
| 25 | x2                                         | -        | -        |          |            |          |          |           |          |          |          |          |          |          |          |                    |   |   |
| 26 | x6                                         | 0,08     | 1,0      |          |            |          |          |           |          |          |          |          |          |          |          |                    |   |   |
| 27 | x7                                         | 0,55     | 1,0      |          |            |          |          |           |          |          |          |          |          |          |          |                    |   |   |
| 28 | x10                                        | 0,934579 | 1,0      |          |            |          |          |           |          |          |          |          |          |          |          |                    |   |   |
| 29 | x11                                        | 0,984630 | 1,0      |          |            |          |          |           |          |          |          |          |          |          |          |                    |   |   |
| 30 |                                            |          |          |          |            |          |          |           |          |          |          |          |          |          |          |                    |   |   |
| 31 | =====Первый проход=====                    |          |          |          |            |          |          |           |          |          |          |          |          |          |          |                    |   |   |
| 32 | x1                                         | x2       | x3       | x4       | x5         | x6       | x7       | x8        | x9       | x10      | x11      | x12      | x13      | x14      | x15      |                    |   |   |
| 33 | 1.                                         | 0,50008  | 0,7598   | 0,80218  | 0,863739   | 0,88131  | 0,85281  | 0,28392   | 0,83414  | 0,61785  | 0,85499  | 0,89994  | 0,35405  | 0,71708  | 0,64568  | 0,85701            |   |   |
| 34 | 2.                                         | 0,82248  | 0,78854  | 0,88952  | 0,538046   | 0,6184   | 0,7175   | 0,22114   | 0,85343  | 0,8009   | 0,84547  | 0,93867  | 0,47202  | 0,67198  | 0,65803  | 0,74404            |   |   |
| 35 | 3.                                         | 0,65078  | 0,79298  | 0,89401  | 0,478118   | 0,58309  | 0,74104  | 0,20904   | 0,65778  | 0,5794   | 0,87895  | 0,9438   | 0,50881  | 0,66194  | 0,65837  | 0,75517            |   |   |
| 36 | 4.                                         | 0,65719  | 0,7945   | 0,89447  | 0,454805   | 0,57277  | 0,74885  | 0,21128   | 0,65876  | 0,57188  | 0,88507  | 0,94484  | 0,51963  | 0,6597   | 0,65889  | 0,75492            |   |   |
| 37 | 5.                                         | 0,65719  | 0,7945   | 0,89447  | 0,454805   | 0,57277  | 0,74885  | 0,21128   | 0,65876  | 0,57188  | 0,88507  | 0,94484  | 0,51963  | 0,6597   | 0,65889  | 0,75492            |   |   |
| 38 | 6.                                         | 0,65719  | 0,7945   | 0,89447  | 0,454805   | 0,57277  | 0,74885  | 0,21128   | 0,65876  | 0,57188  | 0,88507  | 0,94484  | 0,51963  | 0,6597   | 0,65889  | 0,75492            |   |   |
| 39 | =====Обучение=====                         |          |          |          |            |          |          |           |          |          |          |          |          |          |          |                    |   |   |
| 40 | x1                                         | x2       | x3       | x4       | x5         | x6       | x7       | x8        | x9       | x10      | x11      | x12      | x13      | x14      | x15      |                    |   |   |
| 41 | 1.                                         | 0,71547  | 0,83808  | 0,91822  | 0,496098   | 0,62772  | 0,80054  | 0,23009   | 0,7159   | 0,82732  | 0,91232  | 0,95896  | 0,57744  | 0,71816  | 0,71594  | 0,80309            |   |   |
| 42 | 2.                                         | 0,73026  | 0,85237  | 0,92721  | 0,502088   | 0,65179  | 0,80794  | 0,21163   | 0,73047  | 0,64562  | 0,92279  | 0,9641   | 0,58578  | 0,73059  | 0,73048  | 0,81926            |   |   |
| 43 | 3.                                         | 0,79356  | 0,89394  | 0,94842  | 0,564988   | 0,72479  | 0,85675  | 0,27085   | 0,79371  | 0,7167   | 0,9442   | 0,97384  | 0,6534   | 0,7938   | 0,79372  | 0,88903            |   |   |
| 44 | 4.                                         | 0,8628   | 0,93472  | 0,96887  | 0,655197   | 0,81673  | 0,90416  | 0,32213   | 0,8629   | 0,80515  | 0,96809  | 0,98463  | 0,73925  | 0,86297  | 0,86291  | 0,919              |   |   |
| 45 | 5.                                         | 0,91985  | 0,9639   | 0,98265  | 0,762557   | 0,89664  | 0,94187  | 0,39523   | 0,91992  | 0,88486  | 0,98111  | 0,99174  | 0,82883  | 0,91996  | 0,91993  | 0,95544            |   |   |
| 46 | 6.                                         | 0,91985  | 0,9639   | 0,98265  | 0,762557   | 0,89664  | 0,94187  | 0,39523   | 0,91992  | 0,88486  | 0,98111  | 0,99174  | 0,82883  | 0,91996  | 0,91993  | 0,95544            |   |   |
| 47 | 7.                                         | 0,91985  | 0,9639   | 0,98265  | 0,762557   | 0,89664  | 0,94187  | 0,39523   | 0,91992  | 0,88486  | 0,98111  | 0,99174  | 0,82883  | 0,91996  | 0,91993  | 0,95544            |   |   |
| 48 |                                            |          |          |          |            |          |          |           |          |          |          |          |          |          |          |                    |   |   |
| 49 | Матрица после обучения                     |          |          |          |            |          |          |           |          |          |          |          |          |          |          |                    |   |   |
| 50 | x1                                         | x2       | x3       | x4       | x5         | x6       | x7       | x8        | x9       | x10      | x11      | x12      | x13      | x14      | x15      |                    |   |   |
| 51 | x1                                         | 0,0      | 0,725380 | 0,617767 | 0,4477333  | 0,598152 | 0,609311 | 0,395779  | 0,603886 | 0,802228 | 0,871768 | 0,869275 | 0,589836 | 0,603907 | 0,603889 | 0,6106878090565739 |   |   |
| 52 | x2                                         | 0,614870 | 0,0      | 0,956639 | 0,5891766  | 0,812348 | 0,621031 | 0,400790  | 0,614912 | 0,607291 | 0,630053 | 0,633130 | 0,599488 | 0,614938 | 0,614916 | 0,6224839979528713 |   |   |
| 53 | x3                                         | 0,620950 | 0,631660 | 0,0      | 0,5939673  | 0,614078 | 0,973008 | 0,403850  | 0,620997 | 0,612906 | 0,637142 | 0,640440 | 0,604766 | 0,621025 | 0,621001 | 0,6290327432551621 |   |   |
| 54 | x4                                         | 0,576276 | 0,583115 | 0,588767 | 0,0        | 0,572062 | 0,580335 | 0,383963  | 0,576302 | 0,571111 | 0,586486 | 0,588521 | 0,585297 | 0,576317 | 0,576304 | 0,5814972038746472 |   |   |
| 55 | x5                                         | 0,597422 | 0,605769 | 0,610270 | 0,57535196 | 0,0      | 0,602441 | 0,392810  | 0,597454 | 0,591113 | 0,609923 | 0,612424 | 0,584266 | 0,597474 | 0,597457 | 0,6037717695368156 |   |   |
| 56 | x6                                         | 0,610245 | 0,619920 | 0,625230 | 0,58541487 | 0,400181 | 0,0      | 1,044198  | 0,610285 | 0,602958 | 0,879199 | 0,876930 | 0,595388 | 0,610309 | 0,610289 | 0,3513202988798946 |   |   |
| 57 | x7                                         | 0,363082 | 0,365603 | 0,367000 | 0,3667096  | 0,361495 | 0,364616 | 0,0       | 0,363093 | 0,361201 | 0,693955 | 0,688027 | 0,359253 | 0,363100 | 0,363094 | 0,3649883735078152 |   |   |
| 58 | x8                                         | 0,603888 | 0,612906 | 0,617815 | 0,58041556 | 0,598187 | 0,417429 | 0,037216  | 0,0      | 0,597084 | 0,617436 | 0,798135 | 0,589889 | 0,603948 | 0,603928 | 0,7628722381683653 |   |   |
| 59 | x9                                         | 0,595895 | 0,604167 | 0,608830 | 0,8835573  | 0,590710 | 0,255404 | -0,253231 | 0,595928 | 0,0      | 0,608286 | 0,859929 | 0,582863 | 0,595947 | 0,595930 | 0,6021873616837425 |   |   |
| 60 | x10                                        | 0,620489 | 0,631148 | 0,637059 | 0,37251987 | 0,409747 | 0,627047 | 0,403435  | 0,620536 | 0,325233 | 0,0      | 0,639882 | 0,604367 | 0,620563 | 0,620540 | 0,6285347693848857 |   |   |
| 61 | x11                                        | 0,623959 | 0,634983 | 0,641122 | 0,5963465  | 0,412983 | 0,630761 | 0,405070  | 0,624008 | 0,615886 | 0,640646 | 0,0      | 0,607383 | 0,624037 | 0,624012 | 0,6322705413664886 |   |   |
| 62 | x12                                        | 0,587060 | 0,594710 | 0,598821 | 0,5866904  | 0,847372 | 0,591638 | 0,388515  | 0,587089 | 0,581280 | 0,598505 | 0,600792 | 0,0      | 0,587107 | 0,587092 | 0,592886523352492  |   |   |
| 63 | x13                                        | 0,603911 | 0,619216 | 0,607780 | 0,2930210  | 0,761333 | 0,839890 | 0,395811  | 0,603948 | 0,597105 | 0,617464 | 0,620191 | 0,313590 | 0,0      | 0,603951 | 0,610755749312837  |   |   |
| 64 | x14                                        | 0,603892 | 0,612910 | 0,617819 | 0,5804181  | 0,598190 | 0,609358 | -0,285501 | 0,603928 | 0,597087 | 0,617440 | 0,620166 | 0,589872 | 0,603949 | 0,0      | 0,9720707512105164 |   |   |
| 65 | x15                                        | 0,612233 | 0,622028 | 0,627400 | 0,5870999  | 0,605996 | 0,618210 | -0,28174  | 0,612273 | 0,604855 | 0,626985 | 0,629968 | 0,597195 | 0,612298 | 0,612277 | 0,0                |   |   |
| 66 |                                            |          |          |          |            |          |          |           |          |          |          |          |          |          |          |                    |   |   |
| 67 | Значения вершин удовлетворяют ограничениям |          |          |          |            |          |          |           |          |          |          |          |          |          |          |                    |   |   |

Рисунок 5.24 – Экранная форма вывода результатов оценки реализуемости проекта по созданию СУС НКМ  $G_{\text{неч(нов)}}$

Полученная НКМ  $G_{\text{неч(нов)}}$  оценки реализуемости проекта по созданию СУС с матрицей отношений НКМ обеспечивает реализуемость проекта при наличии ресурсов, в соответствии с контрактом.

В таблице 5.14 приведена сравнительная оценка расчетных значений, полученных с использованием комплекса когнитивных моделей, методов поддержки принятия решений, а также методики, основанной на нормах времени на разработку ПС, принятой в НИИ МВС ЮФУ, и фактических значений факторов, характеризующих реализуемость проекта по созданию СУС (НКМ  $G_{\text{неч(нов)}}$ ).

Таблица 5.14 – Сравнительная оценка расчетных и фактических значений факторов, характеризующих реализуемость проекта по созданию СУС (НКМ  $G_{\text{неч(нов)}}$ )

| № | Наименование фактора          | Значения по контракту | Фактические значения | Расчетные значения, полученные с использованием методики, принятой на предприятии | Расчетные значения, полученные с использованием комплекса когнитивных моделей и методов |
|---|-------------------------------|-----------------------|----------------------|-----------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------|
| 1 | Время создания СУС (день)     | 321                   | 284                  | 320                                                                               | 315                                                                                     |
| 2 | Стоимость создания СУС (руб.) | 3 086 600             | 3 086 600            | 3 028 541                                                                         | 3 081 187                                                                               |

Таким образом, в ходе исследований было установлено, что разработанный комплекс когнитивных моделей и методов поддержки принятия решений оказался работоспособен, поскольку выдал прогнозы, совпадающие с реальным ходом событий, т.е. погрешность прогноза значения фактора «Время создания СУС» составляет 10,9 % (31 дн.), значения фактора «Стоимость создания СУС» – 0,2 % (5 413 руб.).

Результаты, полученные на основе методики, принятой на предприятии, показали, что погрешность прогноза значения фактора «Время создания СУС» составляет 12,7 % (36 дн.), значения фактора «Стоимость создания СУС» – 0,5 % (15 724 руб.).



В таблице 5.15 приведены результаты сопоставления значений, полученных с/без применением разработанного ПО при проведении анализа реализуемости проекта по созданию ИУС промышленных объектов.

Таблица 5.15 – Результаты сопоставления значений, полученных с/без применением разработанного программного обеспечения

| № | Наименование фактора                                                                  | Без применения ПО | С применением ПО |
|---|---------------------------------------------------------------------------------------|-------------------|------------------|
| 1 | Время проведения анализа реализуемости проекта систем (день)                          | 21                | 10               |
| 2 | Количество исполнителей, участвующих в выполнении анализа реализуемости систем (чел.) | 5                 | 2                |

Таким образом, использование разработанного ПО для анализа реализуемости проекта по разработке ПТС УС МП, ПТС СУ МП и созданию СУС промышленных объектов с использованием комплекса когнитивных моделей и методов поддержки принятия решений показало, что время проведения анализа реализуемости проекта по созданию систем можно сократить на 55 %; количество исполнителей (конструктор, технолог, начальник производства, экономист), участвующих в выполнении анализа реализуемости проекта, уменьшить в 2 раза.

В ходе исследований было установлено, что разработанный комплекс когнитивных моделей и методов поддержки принятия решений по сравнению с методикой, принятой на предприятии, в 1,3–2,7 раза показал более точный результат по факторам реализуемости проектов.

Погрешность прогноза значений фактора «Время создания системы» с применением комплекса когнитивных моделей и методов поддержки принятия решений в среднем составила 1,9–10,9 % (7–31 дн.), значений фактора «Стоимость создания системы» в среднем – 0,2–7,3 % (5 413–157 048 руб.).

Погрешность прогноза значений фактора «Время создания системы» с применением методики, принятой на предприятии, в среднем составила 3,7–12,7 % (13–36 дн.), значений фактора «Стоимость создания системы» – 0,5–11 % (15 724–232 986 руб.).

Полученные результаты прошли апробацию на реальных примерах, что подтверждается актами внедрения и использования (приложение Б).

Далее рассматриваются *перспективы развития исследований в области поддержки принятия решений при анализе реализуемости проектов по созданию информационно-управляющих систем*. В данной диссертационной работе выполнены исследования в области поддержки принятия решений при анализе реализуемости проектов по созданию ИУС, основанные на комплексе когнитивных моделей и методов поддержки принятия решений.

В работе достигнута заявленная цель, поставленные задачи решены, поэтому ее можно считать законченным научным исследованием. Однако научные исследования в данной области целесообразно продолжить:

1) Разработать математические методы выбора сценария развития ситуаций, связанных с созданием ИУС, основанные на количественном оценивании сценариев, а не на методах неформального анализа (собственного прошлого опыта и интуиции). Это позволит на этапе предпроектного исследования выбирать наилучшие сценарии развития системы, отражающие реализуемость проекта при наличии ограниченных финансовых, временных и трудовых ресурсов, в соответствии с контрактом по созданию ИУС в условиях неопределенных исходных данных.

2) Расширить области применения разработанных методологических основ анализа реализуемости проектов по созданию перспективных ИУС и систем обработки информации для атомных станций, военной, специальной и космической техники, предупреждения чрезвычайных ситуаций, а также при разработке новых технологических решений и ПО в условиях неопределенных исходных данных, представляющих собой сложные ИУС.

3) Расширить области применения разработанного комплекса когнитивных моделей и методов поддержки принятия решений при анализе реализуемости проекта по созданию ИУС. Представляется целесообразным применять комплекс «когнитивные модели и методы поддержки принятия решений» на этапе проектирования и изготовления ИУС, ввода в эксплуатацию ИУС, эксплуатации ИУС.

### Выводы по главе 5

1) На примере разработки ПТС УС МП Нововоронежской АЭС-2, ПТС СУ МП для Ростовской АЭС и создания СУС промышленных объектов показано, что применение разработанного комплекса когнитивных моделей и методов поддержки принятия решений позволяет существенно повысить обоснованность принимаемых решений на этапе предпроектного исследования в условиях неопределенных исходных данных.

2) Разработаны ЧКМ и НКМ оценки реализуемости проекта по разработке и созданию ПТС УС МП, ПТС СУ МП, СУС промышленных объектов. Приведены результаты импульсного моделирования сценариев (пессимистических и оптимистических) развития ситуаций на разработанных четких и нечетких когнитивных моделях, дан их анализ.

3) Использование разработанного прикладного программного обеспечения, реализующего когнитивные модели и методы поддержки принятия решений, для анализа реализуемости проектов, позволило время проведения анализа реализуемости проекта по созданию систем сократить на 55 %; количество исполнителей, участвующих в выполнении анализа реализуемости проекта, уменьшить в 2 раза. В ходе исследований было установлено, что разработанный комплекс когнитивных моделей и методов поддержки принятия решений по сравнению с методикой, принятой на предприятии в 1,3–2,7 раза показал более точный результат по факторам реализуемости проектов.

Погрешность прогноза значений фактора «Время создания системы» с применением комплекса когнитивных моделей и методов поддержки принятия решений в среднем составила 1,9–10,9 % (7–31 дн.), значений фактора «Стоимость создания системы» в среднем – 0,2–7,3 % (5 413–157 048 руб.).

Погрешность прогноза значений фактора «Время создания системы» с применением методики, принятой на предприятии, в среднем составила 3,7–12,7 % (13–36 дн.), значений фактора «Стоимость создания системы» – 0,5–11 % (15 724–232 986 руб.).



Результаты экспериментальных исследований эффективности предложенного комплекса когнитивных моделей и методов поддержки принятия решений при анализе реализуемости проектов по созданию ИУС показали обоснованность и объективность использования предложенных методологических основ анализа реализуемости проектов по созданию ИУС промышленных объектов на этапе предпроектного исследования.

4) Рассмотрены перспективные направления продолжения научных исследований, заключающиеся в разработке математических методов выбора сценария развития ситуаций, связанных с реализуемостью создания ИУС; использовании разработанного комплекса когнитивных моделей и методов поддержки принятия решений при анализе реализуемости проекта по созданию ИУС в других областях.

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В диссертационной работе на основе анализа отечественных и зарубежных исследований в области создания ИУС поставлена и решена актуальная и важная научно-техническая проблема, имеющая важное социально-экономическое и народно-хозяйственное значение: разработаны методологические основы анализа реализуемости проектов по созданию ИУС ПрО, базирующихся на комплексе когнитивных моделей, методов поддержки принятия решений. Рассмотрено применение полученных результатов для решения практических задач, связанных с анализом реализуемости проектов по созданию ИУС промышленных объектов.

При решении данной проблемы были сделаны следующие выводы и получены следующие результаты:

1. Разработаны методологические основы анализа реализуемости проектов по созданию ИУС на этапе предпроектного исследования, базирующиеся на общесистемных принципах, принципах управления и моделирования, отличающиеся в использовании комплексной интеграции когнитивных моделей, методов поддержки принятия решений, что позволяет руководителям проекта минимизировать затраты на ресурсы при проведении оценки реализуемости проектов в условиях неопределенных исходных данных.

2. Разработаны методы и алгоритмы поддержки принятия решений для оценки реализуемости проектов по созданию ПО и ИУС с использованием «мягких вычислений», заключающиеся в проведении сравнительного анализа возможных альтернатив оценки реализуемости проектов с учетом интервальной неопределенности и нечеткости исходных данных и отличающиеся постановкой и решением задач с учетом пересечения интервалов и нечетких чисел, что позволяет сэкономить бюджетные средства, сократить управленческие ошибки, принимаемые руководителем проекта на этапе предпроектного исследования, тем самым принять взвешенное решение о дальнейшем этапе проектирования и изготовления или формировании новых возможных альтернатив по созданию ПО и ИУС.

3. Разработан алгоритм обработки неопределенных исходных данных, заключающийся в нормировании и структуризации значений факторов и связей между ними, отличается учетом неопределенных исходных данных, представленных в виде вербальных описаний, интервалов, нечетких чисел, что позволяет применить методологию нечеткого когнитивного моделирования процесса анализа реализуемости проектов в случае неопределенных исходных данных.

4. Разработаны когнитивные модели, методы и алгоритмы поддержки принятия решений для оценки реализуемости проектов по созданию ИУС с использованием методологии когнитивного и нечеткого когнитивного моделирования процесса анализа реализуемости проектов, заключающиеся в применении нового алгоритма обработки неопределенных исходных данных и решении задачи оценки реализуемости проекта, которые в известных источниках не рассматривались, что позволяет предоставлять рекомендации обоснования выбора целевых и управляющих факторов; выявить, какие из факторов оказывают наибольшее влияние на всю систему и наоборот; осуществить поиск наилучших значений факторов, отражающих реализуемость проектов в условиях неопределенных исходных данных, тем самым повышая обоснованность принятия решений на этапе предпроектного исследования.

5. Разработана структура БЗ интеллектуальной СППР, заключающаяся в использовании обобщенной схемы методологии когнитивного и нечеткого когнитивного моделирования процесса анализа реализуемости проектов, чем и отличается от известных способов создания структур БЗ, что позволяет осуществлять поиск информации в виде когнитивных моделей, сценариев развития системы, заложенных в БЗ; преобразовывать полученную информацию в четкие и/или нечеткие когнитивные модели; сократить время проведения анализа реализуемости проектов, уменьшить в некоторой степени количество исполнителей, участвующих при анализе реализуемости проектов.

6. Разработано ПО для анализа реализуемости ИУС, позволяющее сократить время проведения анализа на 55 %, уменьшить количество исполнителей,

участвующих в выполнении анализа в 2 раза, а также предоставляет возможность отображать на экране результаты оценки реализуемости проектов и требовать для решения подобных задач от пользователя только системных знаний и понимания. Результаты экспериментальных исследований эффективности комплекса когнитивных моделей, методов поддержки принятия решений при анализе реализуемости проектов по созданию ИУС состоят в том, что предложенный комплекс по сравнению с другими методиками аналогичного назначения в 1,3–2,7 раза показал более точный результат по факторам реализуемости проектов. Погрешность прогноза значений фактора «Время создания системы» с применением комплекса когнитивных моделей и методов поддержки принятия решений в среднем составила 1,9–10,9 % (7–31 дн.), значений фактора «Стоимость создания системы» в среднем – 0,2–7,3 % (5 413–157 048 руб.). Числовые достоинства приведены на основе анализа трех проектов (разработка программно-технических средств управляющей системы машины перегрузки топлива Нововоронежской АЭС-2; программно-технических средств системы управления машины перезагрузочной для Ростовской АЭС; системы управления складом в машиностроении) и отражают положительную тенденцию предлагаемого подхода.

### Список литературы

1. Абрамова, Н.А. Когнитивный анализ и управление развитием ситуаций: проблемы методологии, теории и практики / Н.А. Абрамова, З.К. Авдеева // Проблемы управления. – 2008. – № 3. – С. 85–87.
2. Авдеев, А.А. Машины перегрузки ядерного топлива нового поколения для энергоблоков проекта АЭС-2006 С ВВЭР-1200 / А.А. Авдеев, А.М. Кобелев, Д.В. Жильников, С.М. Ефремов, М.Э. Пинчук, С.А. Марченко, В.В. Коробкин // Интеграл. – 2010. – № 1 (51). – С. 28–33.
3. Авдеева, З.К. Угрозы безопасности мегаполиса, когнитивное моделирование [Электронный ресурс] / З.К. Авдеева, Г.В. Горелова, С.В. Коврига, Н.Д. Панкратова. – Режим доступа: <http://dspace.nbuv.gov.ua/bitstream/handle/123456789/86109/02-Avdeeva.pdf?sequence=1>.
4. Авдеева, З.К. Когнитивное моделирование для решения задач управления слабоструктурированными системами (ситуациями) [Электронный ресурс] / З.К. Авдеева, С.В. Коврига, Д.И. Макаренко. – Режим доступа: <http://elibrary.ru/download/39066750.pdf>.
5. Аверкин, А.Н. «Лотфи Заде и Россия» [Электронный ресурс] / А.Н. Аверкин, И.З. Батыршин, В.Б. Тарасов. – Режим доступа: <http://zadeh.narod.ru/ABT.html>.
6. Аверкин, А.Н. Толковый словарь по искусственному интеллекту / А.Н. Аверкин, М.Г. Гаазе-Рапопорт, Д.А. Поспелов. – М.: Радио и связь, 1992. – 256 с.
7. Акимов, В.А. Метод нечеткого критического пути / В.А. Акимов, В.Г. Балашов, А.Ю. Заложнев // Управление большими системами. – 2003. – Вып. 3. – С. 5–10.
8. Александровская, Л.Н. Статистические методы анализа безопасности сложных технических систем / Л.Н. Александровская, И.З. Аронов, А.И. Елизаров и др. – М.: Логос, 2001. – 232 с.

9. Андрейчиков, А.В. Интеллектуальные информационные системы: учебник / А.В. Андрейчиков, О.Н. Андрейчикова. – М.: Финансы и статистика, 2004. – 424 с.
10. Аньшин, В.М. Применение теории нечетких множеств к задаче формирования портфеля проектов / В.М. Аньшин, И.В. Демкин, И.М. Никонов, И.Н. Царьков // Проблемы анализа риска. – 2008. – Т. 5. – № 3. – С. 8–21.
11. Арнольд, В.И. «Жесткие» и «мягкие» математические модели / В.И. Арнольд. – М.: МЦНМО, 2004. – 32 с.
12. Баханькова, Е.Р. Оценка проектов и программ: курс лекций. Школа управления НКО / Е.Р. Баханькова, А.Ю. Бодунген, А.Э. Боровых, Е.В. Грешнова, П.В. Гриднева, О.Б. Казаков, А.И. Кузьмин. – М.: ЦПНКО, 2003. – С. 19.
13. Бахметьев, А.М., Методы оценки и обеспечения безопасности ЯЭУ / А.М. Бахметьев, О.Б. Самойлов, Г.Б. Усынин. – М.: Энергоатомиздат, 1988. – 136 с.
14. Бендиков, М.А. Оценка реализуемости инновационного проекта [Электронный ресурс] / М.А. Бендиков // Менеджмент в России и за рубежом. – 2001. – № 2. – Режим доступа: <http://dis.ru/library/detail.php?ID=22773>.
15. Бодянский, Е.В. Определение экстремальных многофакторных оценок альтернативных вариантов решений в условиях интервальной неопределенности / Е.В. Бодянский, К.Э. Петров // Проблеми інформаційних технологій: зб. наук. пр. Херсонського національного технічного університету. – 2008. – № 2(4). – С. 27–33.
16. Большаков, О. Использование Microsoft Solution Framework (MSF) в малых командах разработчиков [Электронный ресурс] / О. Большаков. – Режим доступа: <http://www.interface.ru/home.asp?artId=24314>.
17. Борисов, В.В. Компьютерная поддержка сложных организационно-технических систем / В.В. Борисов, И.А. Бычков, А.В. Дементьев, А.П. Соловьев, А.С. Федулов. – М.: Горячая линия – Телеком, 2002. – 154 с.
18. Борисов, В.В. Нечеткие модели и сети / В.В. Борисов, В.В. Круглов, А.С. Федулов. – М.: Горячая линия – Телеком, 2007. – 284 с.

19. Борисов, А.Н. Принятие решений на основе нечетких моделей. Примеры использования / А.Н. Борисов, П.О. Крумберг, И.П. Федоров. – Рига «Зинатне», 1990 – 184 с.
20. Вагин, В.Н. Достоверный и правдоподобный вывод в интеллектуальных системах / В.Н. Вагин, Е.Ю. Головина, А.А. Загорянская, М.В. Фомина; под ред. В.Н. Вагина, Д.А. Поспелова. – М.: ФИЗМАТЛИТ, 2008. – 712 с.
21. Валькман, Ю.Р. Моделирование не-факторов – основа интеллектуализации компьютерных технологий / Ю.Р. Валькман, В.С. Быков, А.Ю. Рыхальский // Системні дослідження та інформаційні технології. – 2007. – № 1. – С. 39–61.
22. Варшавский, П.Р. Моделирование рассуждений на основе прецедентов в интеллектуальных системах поддержки принятия решений [Электронный ресурс] / П.Р. Варшавский, А.П. Еремеев. – Режим доступа: <http://www.aidt.ru/images/documents/2009-02/45-57.pdf>.
23. Васильев, А.С. Модификация генетического алгоритма для решения задачи календарного планирования с ограниченными ресурсами [Электронный ресурс] / А.С. Васильев, В.Г. Матвейкин. – Режим доступа: [http://vestnik.tstu.ru/rus/t\\_14/pdf/14\\_2\\_012.pdf](http://vestnik.tstu.ru/rus/t_14/pdf/14_2_012.pdf).
24. Васильев, В.И. Автоматизация процесса оценки информационных рисков с использованием нечетких когнитивных карт [Электронный ресурс] / В.И. Васильев, Р.Т. Кудрявцева, В.А. Юдинцев. – Режим доступа: <http://journal.ugatu.ac.ru/index.php/vestnik/article/view/972/833>.
25. Венгерский, Е. Вероятностные методы в проектировании транспорта / Е. Венгерский. – М.: Транспорт, 1979. – 320 с.
26. Вигерс, Карл Разработка требований к программному обеспечению / Карл Вигерс, Джой Битти. – СПб.: БХВ-Петербург, 2014 – 394 с.
27. Википедия Информационно-управляющая система [Электронный ресурс]. – Режим доступа: [https://ru.wikipedia.org/wiki/ Информационно-управляющая система](https://ru.wikipedia.org/wiki/Информационно-управляющая_система).

28. Волков, В.А. Организационно-экономические подходы к оценке реализуемости инновационно-инвестиционных проектов [Электронный ресурс] / В.А. Волков, А.И. Орлов // КубГАУ. – 2014. – № 97 (03). – С. 181–202. – Режим доступа: <http://ej.kubagro.ru/2014/03/pdf/13.pdf>.
29. Воробович, Н.П. Программные пакеты, предназначенные для управления проектами / Н.П. Воробович, О.Ю. Семенов // Вестник Красноярского государственного аграрного университета. – 2009. – № 11. – С. 3–6.
30. Воцинин, А.П. Интервальный анализ данных: развитие и перспективы / А.П. Воцинин // Заводская лаборатория. – 2002. – Т. 68. – № 1. – С. 118–126.
31. Гаврилова, Т.А. Базы знаний интеллектуальных систем / Т.А. Гаврилова, В.Ф. Хорошевский. – СПб.: Питер, 2000. – 384 с.
32. Гвоздев, В.Е. Системное моделирование программного проекта / В.Е. Гвоздев, А.Е. Колоденкова // Интеллектуальные системы управления / под ред. акад. С.Н. Васильева. – М.: Машиностроение, 2010. – 544 с. (С. 48–54).
33. Гладков, Л.А. Решение задач управления и оптимизации на основе гибридных интеллектуальных методов [Электронный ресурс] / Л.А. Гладков. – Режим доступа: <http://refdb.ru/look/2068541.html>.
34. Глазова, М.А. Системы оценки стоимости проектов по разработке программного обеспечения / М.А. Глазова // Прикладная информатика. – 2008. – № 3 (15). – С. 12–27.
35. Горелова, Г.В. Когнитивный подход к имитационному моделированию сложных систем / Г.В. Горелова // Известия ЮФУ. Технические науки. – 2013. – № 3. – С. 239–250.
36. Горелова, Г.В. О когнитивном моделировании сложных систем, инструментарий исследования / Г.В. Горелова // Известия ЮФУ. Технические науки. – 2012. – № 6 (131). – С. 236–240.
37. Горелова, Г.В. О разработке интеллектуализированных систем поддержки принятия решений на основе когнитивного моделирования / Г.В. Горелова // «Перспективные системы и задачи управления»: тр. 10-й Всерос. науч.-практ. конф., Т. 2. – Ростов-на-Дону: Изд-во ЮФУ, 2015. – С. 255–265.



38. Горелова, Г.В. Региональная система образования, методология комплексных исследований / Г.В. Горелова, Н.Х. Джаримов. – Майкоп: Печатный двор Кубани, 2004. – 360 с.

39. Горелова, Г.В. Исследование слабоструктурированных проблем социально-экономических систем: когнитивный подход / Г.В. Горелова, Е.Н. Захарова, С.А. Радченко. – Ростов н/Д: РГУ, 2006. – 332 с.

40. Горелова, Г.В. Выявление рисков на этапе предпроектного исследования при разработке интеллектуальных информационно-управляющих систем технических объектов на основе когнитивного моделирования / Г.В. Горелова, А.Е. Колоденкова // Конгресс по интеллектуальным системам и информационным технологиям «IS&IT'15»: тр. конгресса. – Таганрог: ЮФУ, 2015. – Т. 2. – С. 236–242.

41. Горелова, Г.В. Оценка безопасности информационно-управляющих систем атомных станций с использованием когнитивного моделирования / Г.В. Горелова, А.Е. Колоденкова // Технологии техносферной безопасности. – 2015. – № 4 (62). – С. 339–348.

42. Горелова, Г.В. Интеллектуальная система поддержки принятия решений на этапе предпроектных исследований при создании перспективных систем управления / Г.В. Горелова, А.Е. Колоденкова, В.В. Коробкин // Известия ЮФУ. Технические науки. – 2016. – № 2 (175). – С. 115–126.

43. Горелова, Г.В. Когнитивное моделирование как инструмент исследования и принятия решений при разработке информационно-управляющих систем для атомных станций / Г.В. Горелова, А.Е. Колоденкова, В.В. Коробкин // Управление развитием крупномасштабных систем MLSD-2015: тр. восьмой Междунар. конф. – М.: ИПУ РАН, 2015. – Т. 2. – С. 182–186.

44. Горелова, Г.В. Построение комплексной оценки разработки информационно-управляющих систем на основе когнитивных моделей / Г.В. Горелова, А.Е. Колоденкова, В.В. Коробкин // Проблемы управления и моделирования в сложных системах: тр. XVII Междунар. конф. – Самара: СамНЦ РАН, 2015. – С. 326–331.

45. Горелова, Г.В. Предпроектные исследования – ключ к безопасности функционирования информационно-управляющих систем / Г.В. Горелова, Н.К. Криони, А.Е. Колоденкова, В.В. Коробкин // Проблемы управления безопасностью сложных систем: тр. XXIII Междунар. конф. – М.: РГГУ, 2015. – С. 207–211.

46. Горелова, Г.В. Имитационное моделирование на основе когнитивной методологии и системной динамики, анализ системы «Юг России» / Г.В. Горелова, А.В. Масленникова // Системный анализ в экономике: матер. науч.-практ. конф. – М.: ЦЭМИ РАН, 2012. – С. 33–45.

47. Горелова, Г.В. О возможностях синтеза методов исследования сложных систем на основе когнитивного подхода [Электронный ресурс] / Г.В. Горелова, А.В. Масленникова. – Режим доступа: <http://vspu2014.ipu.ru/proceedings/prcdngs/4097.pdf>.

48. Горелова, Г.В. О возможности анализа и синтеза структур отказоустойчивых распределенных информационно-управляющих систем, основанной на когнитивном подходе / Г.В. Горелова, Э.В. Мельник // Искусственный интеллект. – 2008. – С. 638–648.

49. Горелова, Г.В. О когнитивном моделировании развития ситуаций в регионе в условиях быстрых изменений среды и противодействия / Г.В. Горелова, Э.В. Мельник // Известия Южного федерального университета. Технические науки. – 2011. – № 3. – С. 65–78.

50. Горелова, Г.В. Когнитивный анализ, синтез, прогнозирование развития больших систем в интеллектуальных РИУС / Г.В. Горелова, Э.В. Мельник, Я.С. Коровин // Искусственный интеллект. – 2010. – С. 61–72.

51. 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. Междун. науч.-техн. мультikonф. – Таганрог: ТТИ ЮФУ, 2009. – Т. 2. – С. 28–31.

52. Горелова, Г.В. Когнитивное моделирование для интеллектуальной системы поддержки принятия решений управления транзитной торговлей / Г.В. Горелова, А.И. Хлебникова // Искусственный интеллект. – 2010. – № 3. – С. 473–482.
53. Городецкий, В.И. Многоагентные системы (обзор) / В.И. Городецкий, М.С. Грушинский, А.В. Хабалов // Новости искусственного интеллекта. – 1998. – № 2. – С. 64–116.
54. ГОСТ Р 51901.1 Менеджмент риска. Анализ риска технологических систем. – М.: ГОССТАНДАРТ РОССИИ, 2002. – 40 с.
55. ГОСТ Р ИСО МЭК ТО 10032-2007: Эталонная модель управления данными. – М.: Стандартиформ, 2009. – 45 с.
56. ГОСТ Р МЭК 60950-2002 Безопасность оборудования информационных технологий. – М.: ГОССТАНДАРТ РОССИИ, 2002. – 177 с.
57. ГОСТ Р ИСО/МЭК 15408-1-2012 Информационная технология. Методы и средства обеспечения безопасности. Критерии оценки безопасности информационных технологий. Ч. 1. Введение и общая модель. – М.: Стандартиформ, 2014. – 56 с.
58. Григорян, Т.Г. Применение когнитивного моделирования в оценке портфелей проектов повышения безопасности АЭС / Т.Г. Григорян, Е.А. Квасневский, К.В. Кошкин // Управління проектами та розвиток виробництва: Зб.наук.пр. – Луганськ: Вид-во СНУ ім. В.Даля, 2012. – № 2 (42). – С. 66–70.
59. Губко, М.В. Лекции по принятию решений в условиях нечеткой информации [Электронный ресурс] / М.В. Губко. – Режим доступа: <http://www.mtas.ru/Library/uploads/1099037698.pdf>.
60. Гузаиров, М.Б. Системный подход к анализу сложных систем и процессов на основе триад / М.Б. Гузаиров, Б.Г. Ильясов, И.Б. Герасимова // Проблемы управления. – 2007. – № 5. – С. 32–38.
61. Гузаиров, М.Б. Построение модели угроз с помощью нечетких когнитивных карт на основе сетевой политики безопасности [Электронный

ресурс] / М.Б. Гузаиров, И.В. Машкина, Е.С. Степанова. – Режим доступа: [pvti.ru/data/file/bit/bit\\_2\\_2011\\_8.pdf](http://pvti.ru/data/file/bit/bit_2_2011_8.pdf).

62. Гулаков, В.К. Распределенный подход как метод оперативного управления проектом / В.К. Гулаков, А.К. Буйвал, П.А. Паршиков // Вестник Брянского государственного технического университета. – 2010. – № 1. – С. 54–63.

63. ДеМарко, Т. Вальсируя с Медведями: Управление рисками в проектах по разработке программного обеспечения / Т. ДеМарко, Т. Листер. – М.: Компания р.т.Office, 2005. – 208 с.

64. Деревья решений С4.5. Математический аппарат [Электронный ресурс]. – Режим доступа: [http://www.basegroup.ru/library/analysis/tree/math\\_c45\\_part2](http://www.basegroup.ru/library/analysis/tree/math_c45_part2).

65. Джексон, П. Введение в экспертные системы / П. Джексон. – М.: Вильямс, 2001. – 624 с.

66. Документ NS-G-1.2 Оценка безопасности и независимая проверка для атомных электростанций: руководство. – Вена, 2004. – 109 с.

67. Дьяконов, В.П. Новые информационные технологии / В.П. Дьяконов. – М.: СОЛОН-Пресс, 2005. – 640 с.

68. Дюк, В.А. Data Mining – интеллектуальный анализ данных [Электронный ресурс] / В.А. Дюк. – Режим доступа: <http://inftech.webservis.ru/it/database/datamining/ar2.html>.

69. Живицкая, Е.Н. Методология решения неструктуризованных проблем: лекция 17 [Электронный ресурс] / Е.Н. Живицкая. – Режим доступа: <http://victor-safronov.narod.ru/systems-analysis/lectures/zhivickaya/19.html>.

70. Заде, Л.А. Роль мягких вычислений и нечеткой логики в понимании, конструировании и развитии информационных / интеллектуальных систем [Электронный ресурс] / Л.А. Заде. – Режим доступа: <http://refdb.ru/look/1545751.html>.

71. Заде, Л.А. Понятие лингвистической переменной и его применение к принятию приближенных решений / Л.А. Заде. – М.: Мир, 1976. – 166 с.

72. Зайцев, Е.И. Об агентно-ориентированных системах и многоагентных банках знаний / Е.И. Зайцев // Объектные системы – 2012: матер. VI Междунар. науч.-практ. конф. – Ростов-на-Дону: ШИ ЮРГТУ (НПИ), 2012. – С. 50–56.

73. Зинец, Е.А. Метод и средства создания мультиагентной системы управления и контроля за распределением трудовых ресурсов [Электронный ресурс] / Е.А. Зинец. – Режим доступа: [http://www.nbu.gov.ua/e-journals/vntu/2009-1/2009-1\\_ru.files/ru/09oazlra\\_ru.pdf](http://www.nbu.gov.ua/e-journals/vntu/2009-1/2009-1_ru.files/ru/09oazlra_ru.pdf).

74. Ильясов, Б.Г. Интеллектуальные системы управления. Теория и практика / Б.Г. Ильясов, В.И. Васильев. – М.: Радиотехника, 2009. – 392 с.

75. Илюхин, С.Ю. Экспертные системы [Электронный ресурс] / С.Ю. Илюхин. – Режим доступа: <http://www.studfiles.ru/preview/596910>.

76. Йордан, Э. Путь камикадзе. Полное руководство для разработчика программного обеспечения по выживанию в безнадежных проектах [Электронный ресурс] / Э. Йордан. – Режим доступа: <http://www.bestreferat.ru/referat-400244.html>.

77. Казанин, И.Ю. Исследование социально-экономической безопасности Ростовской области, когнитивное моделирование стратегии развития [Электронный ресурс] / И.Ю. Казанин. – Режим доступа: <http://cyberleninka.ru/article/n/issledovanie-sotsialno-ekonomicheskoy-bezopasnosti-rostovskoy-oblasti-kognitivnoe-modelirovanie-strategii-razvitiya>.

78. Калабеков, И.Г. Российские реформы в цифрах и фактах, 2008-2015. [Электронный ресурс] / И.Г. Калабеков. – Режим доступа: <http://refru.ru/struct.pdf>.

79. Каляев, И.А. Методы и средства повышения безопасности и сокращения времени операций с ядерным топливом на АЭС с реактором типа ВВЭР-1000 / И.А. Каляев, В.В. Коробкин, Э.В. Мельник, М.А. Хисамутдинов. – Ростов на-Дону: ЮФУ, 2014. – 208 с.

80. Карпенко, С.Н. Введение в программную инженерию: учебно-методические материалы по программе повышения квалификации «Информационные технологии и компьютерное моделирование в прикладной математике» / С.Н. Карпенко. – Нижний Новгород, 2007. – 103 с.

81. Карпов, Л.Е. Методы добычи данных при построении локальной метрики в системах вывода по прецедентам: препринт № 18 / Л.Е. Карпов, В.Н. Юдин. – М.: ИСП РАН, 2006. – 42 с.
82. Касти, Дж. Большие системы: связность, сложность и катастрофы / Дж. Касти. – М.: Мир, 1982. – 216 с.
83. Каталевский, Д.Ю. Основы имитационного моделирования и системного анализа в управлении: учебное пособие / Д.Ю. Каталевский. – М.: МГУ, 2011. – 304 с.
84. Классификация наблюдений с использованием иерархических деревьев решений [Электронный ресурс]. – Режим доступа: [www.ievbras.ru/ecostat/Kiril/Library/Book1/Content391/Content391.htm](http://www.ievbras.ru/ecostat/Kiril/Library/Book1/Content391/Content391.htm).
85. Клевцов, С.И. Анализ и формирование требований к ПО информационных систем сбора и обработки данных: учебное пособие / С.И. Клевцов. – Таганрог: ТТИ ЮФУ, 2007. – 100 с.
86. Колоденкова, А.Е. Актуальные проблемы современной программной инженерии: концептуальное проектирование и жизнеспособность программного проекта / А.Е. Колоденкова // Вестник УГАТУ. – 2011. – Т. 15. – № 2 (42). – С. 8–21.
87. Колоденкова, А.Е. Анализ жизнеспособности – важная стадия жизненного цикла инновационных программных проектов / А.Е. Колоденкова // Программная инженерия. – 2010. – № 1. – С. 21–30.
88. Колоденкова, А.Е. Задачи программного инжиниринга сложных систем на основе критерия жизнеспособности проекта / А.Е. Колоденкова // Проблемы управления и моделирования в сложных системах: тр. XII Междунар. конф. – Самара: СамНЦ РАН, 2010. – С. 593–598.
89. Колоденкова, А.Е. Интеллектуальные технологии в задачах оценки жизнеспособности проектов сложных систем / А.Е. Колоденкова // Проблемы управления и моделирования в сложных системах: тр. XIII Междунар. конф. – Самара: СамНЦ РАН, 2011. – С. 470–476.

90. Колоденкова, А.Е. Комплексный подход к оценке рисков создания программного обеспечения информационно-управляющих систем для атомных станций / А.Е. Колоденкова // Вестник компьютерных и информационных технологий. – 2015. – № 2 (128). – С. 15–20.

91. Колоденкова, А.Е. Моделирование процесса реализуемости проекта по созданию информационно-управляющих систем с применением нечетких когнитивных моделей / А.Е. Колоденкова // Вестник компьютерных и информационных технологий. – 2016. – № 6 (144). – С. 10–17.

92. Колоденкова, А.Е. Многокритериальная оценка реалистичности проекта: один из путей выхода из «кризиса программного обеспечения» / А.Е. Колоденкова // Интегрированные модели и мягкие вычисления в искусственном интеллекте: сб. науч. тр. VII-й Междунар. науч.-практ. конф. – М.: Физматлит, 2013. – Т. 3. – С. 1112–1122.

93. Колоденкова, А.Е. Мягкие вычисления как путь к преодолению НЕ-факторов в задачах оценки жизнеспособности проектов / А.Е. Колоденкова // Управление большими системами: сборник трудов. – 2013. – № 46. – С. 197–215.

94. Колоденкова, А.Е. НЕ-факторы и методы вычислительного интеллекта в концептуальном проектировании / А.Е. Колоденкова // Интегрированные модели и мягкие вычисления в искусственном интеллекте: сб. науч. тр. VI-й Междунар. науч.-практ. конф. – М.: Физматлит. – 2011. – Т. 2. – С. 710–721.

95. Колоденкова, А.Е. Нечеткие вычисления и оценка реалистичности разработки программного обеспечения мехатронных систем / А.Е. Колоденкова // Мехатроника и эргатические системы (МЭС-2011): матер. 4-й Всерос. мультikonф. по проблемам управления. – Таганрог: ТТИ ЮФУ, 2011. – Т. 2. – С. 87–90.

96. Колоденкова, А.Е. Нечетко-интервальный подход к оценке реалистичности проекта в условиях недоопределенности / А.Е. Колоденкова // Конгресс по интеллектуальным системам и информационным технологиям «IS&IT'11»: тр. конгресса. – М.: Физматлит, 2011. – Т. 1. – С. 213–217.

97. Колоденкова, А.Е. Нечетко-множественный подход к оценке реалистичности альтернатив программного обеспечения мехатронных систем / А.Е. Колоденкова // Мехатроника, автоматизация, управление. – 2011. – № 4. – С. 45–53.

98. Колоденкова, А.Е. Оценка жизнеспособности программных проектов в условиях нечеткости исходных данных / А.Е. Колоденкова // Программная инженерия. – 2011. – № 5. – С. 10–16.

99. Колоденкова, А.Е. Оценка реализуемости проекта по созданию информационно-управляющих систем с применением процедуры обучения нечеткой когнитивной модели / А.Е. Колоденкова // Вестник УГАТУ. – 2016. – Т. 20. – № 2 (72). – С. 123–133.

100. Колоденкова, А.Е. Оценка реализуемости создания программного обеспечения информационно-управляющих систем атомных станций при интервальном характере исходных данных / А.Е. Колоденкова // Известия высших учебных заведений. Северо-Кавказский регион. Технические науки. – 2015. – № 4 (185). – С. 28–34 с.

101. Колоденкова, А.Е. Оценка рисков создания программного обеспечения информационно-управляющих систем для высокорисковых промышленных предприятий в условиях интервальной неопределенности исходных данных / А.Е. Колоденкова // Вестник УГАТУ. – 2015. – Т. 19. – № 1 (67). – С. 171–178.

102. Колоденкова, А.Е. Построение системы когнитивных моделей и методов анализа реализуемости проекта по созданию информационно-управляющих систем для атомных станций / А.Е. Колоденкова // Глобальная ядерная безопасность. – 2016. – № 3 (20). – С. 43–50.

103. Колоденкова, А.Е. Предпроектные исследования по созданию информационно-управляющих систем атомных станций в условиях неопределенности / А.Е. Колоденкова // Глобальная ядерная безопасность. – 2016. – № 1 (18). – С. 26–33.

104. Колоденкова, А.Е. Проблемы концептуального проектирования программного обеспечения мехатронных систем / А.Е. Колоденкова //



Мехатроника, автоматизация, управление: матер. 7-й науч.-техн. конф. – С.-Петербург: ОАО «Концерн«ЦНИИ«Электроприбор», 2010. – С. 228–231.

105. Колоденкова, А.Е. Современные подходы к оценке реалистичности разработки программного обеспечения мехатронных и робототехнических систем в условиях неопределенности / А.Е. Колоденкова // Управление, автоматизации и окружающая среда: матер. Междунар. науч.-техн. конф. – Севастополь: СевНТУ, 2011. – С. 129–134

106. Колоденкова, А.Е. Статистический подход к оценке реалистичности программных проектов для автоматизированных информационно-управляющих систем / А.Е. Колоденкова // Мехатроника, автоматизация, управление. – 2010. – № 4. – С. 52–60.

107. Колоденкова, А.Е. Стохастическая парадигма учета неопределенности в задачах оценки жизнеспособности проекта / А.Е. Колоденкова // Проблемы управления и моделирования в сложных системах: тр. XV Междунар. конф. – Самара: СамНЦ РАН, 2013. – С. 433–438.

108. Колоденкова, А.Е. Топологический анализ структуры нечеткой когнитивной модели оценки реализуемости проекта по созданию информационно-управляющих систем для сложных технических объектов / А.Е. Колоденкова // Вестник УГАТУ. – 2016. – Т. 20. – № 3 (73). – С. 129–136.

109. Колоденкова, А.Е. Моделирование процессов создания и оценки реализуемости информационно-управляющих систем мехатронных комплексов / А.Е. Колоденкова, В.В. Коробкин, А.П. Кухаренко // Известия ЮФУ. Технические науки. – 2015. – № 10 (171). – С. 117–128.

110. Коннолли, Т. Базы данных. Проектирование, реализация и сопровождение. Теория и практика / Т. Коннолли, К. Бегг. – М.: Вильямс, 2003. – 1436 с.

111. Кононов, Д.А. Базисные понятия моделирования информационного управления в социальных системах / Д.А. Кононов, В.В. Кульба, Н. Шубин // Теория активных систем: тр. Междунар. науч.-практ. конф. – М.: СИНТЕГ, 2003. – Т. 2. – С. 125–129.

112. Коробкин, В.В. Детерминированный подход к оценке безопасности и рисков информационно-управляющих систем для атомных станций / В.В. Коробкин, А.Е. Колоденкова // Безопасность, эффективность и экономика атомной энергетики: тез. докл. девятой Междунар. науч.-техн. конф. – М.: ОАО «Российский концерн по производству электрической и тепловой энергии на атомных станциях», 2014. – С. 180–187.

113. Коробкин, В.В. Диагностика проектов по разработке программного обеспечения на основе использования прецедентов / В.В. Коробкин, А.Е. Колоденкова // Управление развитием крупномасштабных систем MLSD-2013: тр. седьмой Междунар. конф. – М.: ИПУ РАН, 2013. – Т. 1. – С. 176–182.

114. Коробкин, В.В. Диагностика состояния проектов по разработке распределенных информационно-управляющих и сетевых систем / В.В. Коробкин, А.Е. Колоденкова // Шестая Всерос. мультikonф. по проблемам управления. – Ростов-на-Дону: ЮФУ, 2013. – Т. 4. – С. 54–58.

115. Коробкин, В.В. Один из подходов к оценке безопасности и рисков информационно-управляющих систем для атомных станций [Электронный ресурс] / В.В. Коробкин, А.Е. Колоденкова // XII Всероссийское совещание по проблемам управления ВСПУ-2014: тр. – М.: ИПУ РАН, 2014. – С. 8180–8189. – Режим доступа: <http://vspu2014.ipu.ru/proceedings/prcdngs/8180.pdf>.

116. Коробкин, В.В. Оценка реализуемости проекта по созданию систем контроля и управления для атомных станций с применением нечеткого когнитивного моделирования / В.В. Коробкин, А.Е. Колоденкова // Безопасность, эффективность и экономика атомной энергетики: тез. докл. десятой Междунар. науч.-техн. конф. – М., 2016. – С. 277–281.

117. Коробкин, В.В. Математическая модель оценки реализуемости создания программного обеспечения для суперкомпьютеров на основе систем массового обслуживания / В.В. Коробкин, А.Е. Колоденкова, В.П. Поваров // Известия ЮФУ. Технические науки. – 2014. – № 12 (161). – С. 149–156.

118. Коробкин, В.В. Применение метода прецедентов на этапе предпроектного исследования в целях снижения рисков при проектировании

программного обеспечения распределенных информационно-управляющих систем / В.В. Коробкин, А.Е. Колоденкова, А.П. Кухаренко // Известия ЮФУ. Технические науки. – 2016. – № 8 (181). – С. 4–14.

119. Коробкин, В.В. Нейросетевая система диагностики и поддержки принятия решений [Электронный ресурс] / В.В. Коробкин, Я.С. Коровин. – Режим доступа: [http://www.reamntk.ru/tezisi.html?t\\_id=100](http://www.reamntk.ru/tezisi.html?t_id=100).

120. Коростелев, Д.А. Применение нечетких когнитивных моделей для формирования множества альтернатив в задачах принятия решений / Д.А. Коростелев, Д.Г. Лагерева, А.Г. Подвесовский // Вестник Брянского государственного технического университета. – 2009. – № 4(24). – С. 77–85.

121. Короткий, С. Нейронные сети Хопфилда и Хэмминга [Электронный ресурс] / С. Короткий. – Режим доступа: <http://www.org.ru/stasson/n4.zip>.

122. Коуберн, А. Люди как нелинейные и наиболее важные компоненты в создании программного обеспечения [Электронный ресурс] / А. Коуберн. – Режим доступа: [http://www.maxkir.com/sd/people\\_as\\_nonlinearRUS.htm](http://www.maxkir.com/sd/people_as_nonlinearRUS.htm).

123. Кофман, А. Введение в теорию нечетких множеств / А. Кофман. – М.: Радио и связь, 1982. – 432 с.

124. Кривуля, Г.Ф. Анализ темпоральных деревьев решений с применением булевых производных [Электронный ресурс] / Г.Ф. Кривуля, И.В. Власов, О.А. Павлов. – Режим доступа: [http://pit.hntu.com.ua/media/pdf/31\\_1.pdf](http://pit.hntu.com.ua/media/pdf/31_1.pdf).

125. Криони, Н.К. Оценка затрат времени на создание программного обеспечения информационно-управляющих систем в условиях нечеткости исходных данных / Н.К. Криони, А.Е. Колоденкова, В.В. Коробкин, Е.А. Халикова // Вестник компьютерных и информационных технологий. – 2016. – № 1 (139). – С. 10–16.

126. Круглов, В.В. Нечеткая логика и искусственные нейронные сети / В.В. Круглов, М.И. Дли, Р.Ю. Голунов. – М.: Физматлит, 2001. – 224 с.

127. Кузькин, А.А. Методика обеспечения устойчивости стратегии развития информационных технологий в организации [Электронный ресурс] /

А.А. Кузькин. – Режим доступа: <http://proceedings.spiiras.nw.ru/ojs/index.php/sp/article/download/3045/1767>.

128. Кулинич, А.А. Методология когнитивного моделирования сложных плохо определенных ситуаций [Электронный ресурс] / А.А. Кулинич. – Режим доступа: <http://kk.docdat.com/docs/index-406893.html>.

129. Кульба, В.В. Модифицированные функциональные графы как аппарат моделирования сложных динамических систем / В.В. Кульба, В.М. Назаретов, И.П. Чухров // Препринт. – М.: ИПУ РАН, 1995. – 43 с.

130. Кульба, В.В. Сценарный анализ динамики поведения социально-экономических систем / В.В. Кульба, Д.А. Кононов, С.С. Ковалевский и др. – М.: ИПУ РАН, 2002. – 122 с.

131. Лапа, М.В. Экспертная оценка показателей долговечности систем внутриреакторного контроля на основе нечеткой логики [Электронный ресурс] / М.В. Лапа, К.Н. Маловик. – Режим доступа: [http://archive.nbu.gov.ua/portal/natural/VKPI\\_prylad/2012\\_43/8/razd\\_8\\_3.pdf](http://archive.nbu.gov.ua/portal/natural/VKPI_prylad/2012_43/8/razd_8_3.pdf).

132. Левин, В.И. Сравнение интервальных величин и оптимизация неопределенных систем / В.И. Левин // Информационные технологии. – 1998. – № 7. – С. 22–32.

133. Левинсон, М. Общие ошибки управления проектами [Электронный ресурс] / М. Левинсон. – Режим доступа: <http://www.osp.ru/cio/2009/02/5337322>.

134. Липаев, В.В. Анализ и сокращение рисков проектов сложных программных средств / В.В. Липаев. – М.: СИНТЕГ, 2005. – 224 с.

135. Липаев, В.В. Проблемы программной инженерии: качество, безопасность, риски, экономика / В.В. Липаев // Программная инженерия. – 2010. – № 1. – С. 7–20.

136. Липаев, В.В. Программная инженерия. Методологические основы: учебник / В.В. Липаев. – М.: ГУ-ВШЭ, ТЕИС, 2006. – 603 с.

137. Липаев, В.В. Профили стандартов жизненного цикла программных средств / В.В. Липаев // Информационный бюллетень Jet Info. – 2005. – № 12. – С. 1–19.

138. Липаев, В.В. Техничко-экономическое обоснование проектов сложных программных средств / В.В. Липаев. – М.: СИНТЕГ, 2004. – 284 с.
139. Люгер, Д.Ф. Искусственный интеллект: стратегии и методы решения сложных проблем / Д.Ф. Люгер. – М.: Издательский дом «Вильямс», 2003. – 864 с.
140. Мазур, И.И. Управление проектами: учебное пособие / И.И. Мазур, В.Д. Шапиро, Н.Г. Ольдерогге. – М.: Омега-Л, 2004. – 664 с.
141. Майер, Р.В. Основы компьютерного моделирования: учебное пособие / Р.В. Майер. – Глазов: ГГПИ, 2005. – 25 с.
142. Макконнелл, С. Сколько стоит программный проект / С. Макконнелл. – М.: Русская редакция, СПб.: Питер, 2007. – 304 с.
143. Максимов, В.И. Когнитивные технологии – от незнания к пониманию / В.И. Максимов // Когнитивный анализ и управление развитием ситуаций (CASC'2001): сб. тр. 1-й Междунар. конф. – М.: ИПУ РАН, 2001. – Т. 1. – С. 4–18.
144. Мескон, М. Основы менеджмента / М. Мескон, М. Альберт, Ф. Хедоури. – М.: Дело, 1997. – 502 с.
145. Моисеев, Н.Н. Элементы теории оптимальных систем / Н.Н. Моисеев. – М.: Наука, 1975. – 528 с.
146. Муханов, Б.К. Сравнительная оценка структурных качеств тепловых сетей городов Казахстана [Электронный ресурс] / Б.К. Муханов, А.Р. Акбасов, Ш.К. Адилова. – Режим доступа: <http://vestnik.kazntu.kz/files/newspapers/36/1032/1032.pdf>.
147. Мыльник, В.В. Исследование систем управления: учебное пособие для вузов / В.В. Мыльник. – М.: Академический проект, 2009. – 356 с.
148. Налимов, В.В. Анализ оснований экологического прогноза. Паттерн-анализ как ослабленный вариант прогноза / В.В. Налимов // Человек и биосфера. – 1983. – № 8. – С. 31–47.
149. Налимов, В.В. Теория эксперимента / В.В. Налимов. – М.: Наука, 1971. – 207 с.
150. Нариньяни, А.С. Введение в недоопределенность // Информационные технологии. Приложение / А.С. Нариньяни. – 2007. – № 4 – 32 с.

151. Нариньяни, А.С. Не-факторы: state of art / А.С. Нариньяни // Научная сессия МИФИ-2004. – Т. 3. – С. 26–30.
152. Нариньяни, А.С. Инженерия знаний и НЕ-факторы: краткий обзор-08 [Электронный ресурс] / А.С. Нариньяни. – Режим доступа: <http://www.computer-museum.ru/frgnhist/ne-faktor.htm>.
153. Николаев, В.И. Системотехника: методы и приложения / В.И. Николаев, В.М. Брук. – Л.: Машиностроение, Ленингр. Отд-ние, 1985. – 199 с.
154. Новичихин, А.В. Методические особенности проектного программирования развития предприятий ресурсного региона (на примере угольной отрасли) [Электронный ресурс] / А.В. Новичихин, А.Н. Уланкин. – Режим доступа: [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).
155. Нормы времени на разработку ПО (ВЦСПС от 24.09.86 N35722\_19) [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://normativ.kontur.ru/document?moduleId=1&documentId=5384>.
156. Общая теория систем [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://sergeeva-i.narod.ru/inform/page1.htm>.
157. Общие положения обеспечения безопасности атомных станций ОПБ-8897-НП-001-97 (ПНАЭ Г-01-011-97) [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://www.zakonprost.ru/content/base/96304>.
158. ОСТ 4.071.030 Создание системы. Нормативы трудоемкости. Отраслевой стандарт Автоматизированная система управления предприятием [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://www.it-gost.ru/content/view/67/41>.
159. Паклин, Н.Б. Нечетко-когнитивный подход к управлению динамическими системами [Электронный ресурс] / Н.Б. Паклин. – Режим доступа: [http://www.iai.donetsk.ua/public/JournalAI\\_2003\\_4/Razdel5/04\\_Paklin.pdf](http://www.iai.donetsk.ua/public/JournalAI_2003_4/Razdel5/04_Paklin.pdf).
160. Поваров, В.П. Распределенная информационно-управляющая система машины перегрузочной с двумя каналами управления, диагностики, защит и блокировок [Электронный ресурс] / В.П. Поваров, В.В. Коробкин, Е.А. Тумаков. – Режим доступа: <http://www.v-itc.ru/electrotech/2015/01/pdf/2015-01-07.pdf>.

161. Поспелов, Д.А. Многоагентные системы – настоящее и будущее / Д.А. Поспелов // Информационные технологии и вычислительные системы. – 1998. – № 1. – С. 14–21.

162. Предупреждение и ликвидация чрезвычайных ситуаций [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://www.obzh.ru/pre/slov.html>.

163. Приборы и средства автоматизации для атомных станций. Общие технические требования ОТТ 08042462 [Электронный ресурс]. – Режим доступа: [http://snipov.net/database/c\\_4294946196\\_doc\\_4293842535.html](http://snipov.net/database/c_4294946196_doc_4293842535.html).

164. Принципы и методологические основы маркетинговых исследований [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://managment-study.ru/principy-i-metodologicheskie-osnovy-marketingovykh-issledovaniy.html>.

165. Программное средство [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://www.costxpert.com>.

166. Промышленный объект [Электронный ресурс]. – Режим доступа: [http://www.consultant.ru/law/ref/ju\\_dict/word/promyshlennyj\\_obekt/](http://www.consultant.ru/law/ref/ju_dict/word/promyshlennyj_obekt/).

167. Путятин, В.Г. Системный подход к проектированию автоматизированных систем обработки информации и управления [Электронный ресурс] / В.Г. Путятин, В.А. Валетчик, В.А. Додонов. – Режим доступа: <http://pandia.ru/text/77/342/99370.php>.

168. Пьявченко, О.Н. Методы и алгоритмы моделирования развития сложных ситуаций / О.Н. Пьявченко, Г.В. Горелова, А.В. Боженюк, С.А. Клевцов, В.Л. Каратаев, С.А. Радченко, А.Б. Клевцова. – Таганрог: ТРТУ, 2003. – 157 с.

169. Рассел, С. Искусственный интеллект: современный подход / С. Рассел, П. Норвиг. – М.: Вильямс, 2006. – 1408 с.

170. Робертс, Ф.С. Дискретные математические модели с приложениями к социальным, биологическим и экологическим задачам / Ф.С. Робертс. – М.: Наука, 1986. – 496 с.

171. Розенблатт, Ф. Принципы нейродинамики. Перцептрон и теория механизмов мозга / Ф. Розенблатт. – М.: Мир, 1965. – 480 с.

172. Российская энциклопедия по охране труда: в 3 т. – 2-е изд., перераб. и доп. – М.: НЦ ЭНАС, 2007. – 12478 с.
173. Российский статистический ежегодник. 2014: стат. сб. / Росстат. – М., 2014.
174. Россия в цифрах. 2015: стат. сб. / Росстат. – М., 2015.
175. Ростехнадзор России [Электронный ресурс]. – Режим доступа: [www.gosnadzor.ru](http://www.gosnadzor.ru).
176. Садовникова, Н.П. Выбор стратегий территориального развития на основе когнитивного анализа и сценарного моделирования [Электронный ресурс] / Н.П. Садовникова, Н.П. Жидкова // Интернет-вестник ВолгГАСУ. Сер.: Строит. информатика. 2012. – Вып. 7 (21). – Режим доступа: [www.vestnik.vgasu.ru](http://www.vestnik.vgasu.ru).
177. Саханков, И.А. Нечеткие когнитивные карты как средство анализа качественных систем в динамике [Электронный ресурс] / И.А. Саханков, А.С. Федулов. – Режим доступа: <http://sibac.info/conf/naturscience/vi/33085>.
178. Сидоров, Н.А. Модели, методы и средства оценки стоимости программного обеспечения [Электронный ресурс] / Н.А. Сидоров, Д.В. Баценко, Ю.Н. Василенко, Ю.В. Щебетин. – Режим доступа: <http://dspace.nbu.gov.ua/bitstream/handle/123456789/1541/36-Sidorov.pdf?sequence=1>.
179. Силов, В.Б. Принятие стратегических решений в нечеткой обстановке / В.Б. Силов. – М.: ИНПРО-РЕС, 1995. – 228 с.
180. Скороход, С.В. Оптимизация трудового коллектива в условиях четкой и нечеткой информации / С.В. Скороход // Известия ЮФУ. Технические науки, 2009. – № 4 (93). – С. 136–141.
181. Старцева, Е.Б. Этапы построения модульной структуры базы знаний экспертной системы на основе системного подхода / Е.Б. Старцева // Вестник УГАТУ. – 2006. – Т. 7. – № 2. – С. 178–181.
182. Структура интеллектуальной системы [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://sbg.hop.ru/lr1/IIS12.htm>.



183. Тарасов, В.Б. От многоагентных систем к интеллектуальным организациям: философия, психология, информатика / В.Б. Тарасов. – М.: Эдиториал УРСС, 2002. – 352 с.

184. Федорова, И.В. Критичность в сетях с интервальными продолжительностями операций / И.В. Федорова // Проблемы информационной экономики. Вып. VI. Моделирование инновационных процессов и экономической динамики: сб. науч. тр. под ред. Р.М. Нижегородцева. – М.: ЛЕНАНД, 2006. – С. 351–362.

185. Филимонов, Н.Б. Вопросы интеллектуализации человеко-машинных систем управления / Н.Б. Филимонов, А.Б. Филимонов // Мехатроника, автоматизация, управление: матер. Междунар. науч.-техн. конф. – Таганрог: ТТИ ЮФУ, 2009. – С. 213–217.

186. Форрестер, Дж. Антиинтуитивное поведение сложных систем // Современные проблемы кибернетики / Дж. Форрестер. – М.: Знание, 1977. – С. 9–25.

187. Форрестер, Дж. Мировая динамика / Дж. Форрестер. – М.: Наука, 1978. – 167 с.

188. Черняховская, Л.Р. Оценка влияния социально-психологических факторов на качество подготовки студента с применением нечетких когнитивных карт / Л.Р. Черняховская, И.Б. Герасимова, А.Р. Салаватова, Л.Н. Мухамедрахимова // Вестник УГАТУ. – 2014. – № 4 (65). – Т. 18. – С. 134–141.

189. Чуйкин, А.М. Разработка управленческих решений: учебное пособие / А.М. Чуйкин. – Калининград: Калинингр. ун-т, 2000. – 150 с.

190. Шаповалова, С.И. Среда моделирования нейронных сетей для решения задач диагностики оборудования АЭС [Электронный ресурс] / С.И. Шаповалова, Г.И. Шараевский. – Режим доступа: [http://eprints.isoftware.kiev.ua/441/1/%231\\_D51-c675.pdf](http://eprints.isoftware.kiev.ua/441/1/%231_D51-c675.pdf).

191. Шашкин, А.И. Календарное планирование работ по проекту на основе нечетких исходных данных [Электронный ресурс] / А.И. Шашкин, М.М.

Ширяев. – Режим доступа: <http://vestnik-samgu.samsu.ru/est/2008web3/math/200830112.pdf>.

192. Швецов, А.Н. Агентно-ориентированные системы: от формальных моделей к промышленным приложениям [Электронный ресурс] / А.Н Швецов. – Режим доступа: <http://www.ict.edu.ru/ft/005656/62333e1-st20.pdf>.

193. Шокин, Ю.И. Интервальный анализ / Ю.И. Шокин. – Новосибирск: Наука, 1981. – 111 с.

194. Яшина, Е.С. Планирование портфеля научно-технических проектов с использованием аналогичных технических и управленческих решений [Электронный ресурс] / Е.С. Яшина, Л.Н. Лутай. – Режим доступа: <http://www.khai.edu/csp/nauchportal/Arhiv/REKS/2009/REKS309/Yashina.pdf>.

195. Ali, Idri Fuzzy analogy: a new approach for software cost estimation [Электронный ресурс] / Ali Idri, Alain Abran, Taghi M. Khosgoftaar. – Режим доступа: [https://www.researchgate.net/publication/228464560\\_Fuzzy\\_analogy\\_A\\_new\\_approach\\_for\\_software\\_cost\\_estimation](https://www.researchgate.net/publication/228464560_Fuzzy_analogy_A_new_approach_for_software_cost_estimation).

196. Amodt, A. Case-based reasoning: foundational issues, methodological variations, and system approaches / A. Amodt, E. Plaza // AI Communications, 1994. – Vol. 7. – P. 39–59.

197. Anand, S.S. Utilising censored neighbours in prognostication. denmark: Workshop on prognostic models in medicine / S.S. Anand, J.G. Hughes, D.A. Bell 1999. – P. 15–20.

198. Atkin, R.H. Polyhedral dynamics and the geometry of systems, RR-77-6 / R.H. Atkin, J. Casti // International institute for applied systems analysis. – Laxenburg (Austria). – March, 1977.

199. Bernstein, L. Strategic evolution of ESE data systems (SEEDS) survey of cost estimation tool [Электронный ресурс] / L. Bernstein. – Режим доступа: [http://guinness.cs.stevens%tech.edu/~lbernste/papers/Cost\\_EstimationTools.doc](http://guinness.cs.stevens%tech.edu/~lbernste/papers/Cost_EstimationTools.doc).

200. Boehm, B. A Spiral model of software development and enhancement / B. Boehm // Computer, 1988. – P. 61–72.

201. Boehm, B. Software development cost estimation approaches – a survey [Электронный ресурс] / B. Boehm, Chris Abts. – Режим доступа: <http://csse.usc.edu/TECHRPTS/2000/usccse2000-505/usccse2000-505.pdf>.
202. David, L. Norden-raleigh analysis: a useful tool for EVM in development projects / L. David. – The Measurable News. – 2002. – 24 p.
203. Dickerson, J. Virtual worlds as fuzzy cognitive maps / J. Dickerson, B. Kosko // Virtual reality annual international symposium, 1993. – P. 471–477.
204. Dickerson, J. Virtual worlds as fuzzy dynamic systems / J. Dickerson, B. Kosko // Technology for multimedia. – New York, IEEE Press, 1998. – P. 567–603.
205. Divya, Kashyap An approach for software effort estimation using fuzzy numbers and genetic algorithm to deal with uncertainty [Электронный ресурс] / Divya, Kashyap, A.K. Misra. – Режим доступа: <http://airccj.org/CSCP/vol3/csit3407.pdf>.
206. Douali, N. Decision support system based semantic web for personalized patient care / N. Douali, J. Roo, M. Jaulent // Studies in health technology and informatics, 2012. – Vol. 180. – P. 1203–1205.
207. Faheem, Ahmed Integrating function point project information for improving the accuracy of effort estimation [Электронный ресурс] / A. Faheem, B. Salah, S. Adel, K. Issa. – Режим доступа: [http://faculty.uaeu.ac.ae/ikhalil/docs/SWE\\_FP.pdf](http://faculty.uaeu.ac.ae/ikhalil/docs/SWE_FP.pdf).
208. Farhad Soleimani Gharehchopogh A new approach based on continuous genetic algorithm in software cost estimation [Электронный ресурс] / F. Soleimani Gharehchopogh, A. Pourali. – Режим доступа: <http://jsrad.org/wp-content/2015/Issue%204,%202015/13%202015-2-4-87-94.pdf>.
209. Francisco, Valdés Souto Industry case studies of estimation models using fuzzy sets [Электронный ресурс] / Francisco Valdés Souto, Alain Abran. – Режим доступа: <http://s3.amazonaws.com/publicationslist.org/data/a.abran/ref-2029/1086.pdf>.
210. Galorath, D. Software sizing, estimation and risk management: When Performance is Measured Performance Improves / D. Galorath, M. Evans // Auerbach Publications, 2006. – P. 570.

211. Ginis, L.A. Cognitive and simulation modeling of development of regional economy system / L.A. Ginis, G.V. Gorelova, A.E. Kolodenkova // International Journal of Economics and Financial Issues. – 2016. – Vol. 6. – No. 5S. – P. 97–103.
212. ISO/IEC/IEEE 24765-2010 Systems and software engineering – Vocabulary. – JTC 1/SC 7, 2010. – 418 p.
213. Jennings, N.R. Agent Technology / N.R. Jennings, N.R. Wooldridge. Berlin Heidelberg New-York: Springer-Verlag, 1998.
214. Karagiannis, I.E. Input-Sensitive Fuzzy Cognitive Maps / I.E. Karagiannis, P.P. Groumpos // IJCSI International Journal of Computer Science Issues/ – 2013. – Vol. 10. – No 1. – P. 143–151.
215. Kolodenkova, A.E. A method of project feasibility assessment on creation of information-control systems for complex technical objects on the basis of fuzzy cognitive modeling / A.E. Kolodenkova, E.A. Khalikova, V.V. Korobkin, N.G. Gubanov // International Journal of Control Theory and Applications. – No. 9 (30). – P. 73–82.
216. Kosko, B. Fuzzy Cognitive Maps / B. Kosko // International Journal of Man-Machine Studies. – 1986. – Vol. 1. – P. 65–75.
217. Koulouriotis, D.E. Learning fuzzy cognitive maps using evolution strategies: a novel schema for modeling a simulating high-level behavior / D.E. Koulouriotis, I.E. Diakoulakis, D.M. Emiris // Proceedings of IEEE Congress on Evolutionary Computation, Seoul, Korea. – 2001. – Vol. 1. – P. 364–371.
218. Krioni, N.K. Intelligent decision-making support system using cognitive modeling for project feasibility assessment on creating complex technical systems / N.K. Krioni, A.E. Kolodenkova, V.V. Korobkin, N.G. Gubanov // International Journal of Applied Business and Economic Research. – 2016. – Vol. 14. – No. 10. – P. 7289–7300.
219. Moore, R.E. Methods and Applications of Interval Analysis / R.E. Moore. – SIAM, Philadelphia, 1979. – 190 p.
220. Murthy, K. Automatic Construction of Decision Trees from Data: A Multi-Disciplinary Survey / K. Murthy, 1997. – 49 p.

221. NUREG/CR 6263 High integrity software for nuclear power plants: Candidate Guidelines, Technical Basis, and Research Needs. – U.S. NRC, Washington, 1995.

222. NUREG/CR-5930 High integrity software standards and guidelines. – U.S. Nuclear Regulatory Commission, 1992.

223. Papageorgiou, E.I. A weight adaptation method for fuzzy cognitive map learning [Электронный ресурс] / E.I. Papageorgiou, P.P. Groumpos. – Режим доступа [http://www.researchgate.net/publication/220175959\\_A\\_weight\\_adaptation\\_method\\_for\\_fuzzy\\_cognitive\\_map\\_learning](http://www.researchgate.net/publication/220175959_A_weight_adaptation_method_for_fuzzy_cognitive_map_learning).

224. Papageorgiou, E.I. Activation Hebbian learning rule for fuzzy cognitive maps / E.I. Papageorgiou, C.D. Stylios, P.P. Groumpos // Proceedings of 15th IFAC World Congress of International Federation of Automatic Control, Barcelona, Spain, 2002, CD-ROM.

225. Papageorgiou, E.I. Active Hebbian learning algorithm to train fuzzy cognitive maps Internet / E.I. Papageorgiou, C.D. Stylios, P.P. Groumpos // International Journal of Approximate Reasoning. – 2004. – Vol. 37. – P. 219–249.

226. Papageorgiou, E.I. Fuzzy cognitive map learning based on nonlinear Hebbian rule / E.I. Papageorgiou, C.D. Stylios, P.P. Groumpos // Lecture Notes in Artificial Intelligence. – 2003. – Vol. 2903. – P. 254–266.

227. 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.

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

229. Pawandeeep, Kaur A Proposed framework for software effort estimation using the combinational approach of fuzzy logic and neural networks / K. Pawandeeep, ,

S. Rupinder // International Journal of Hybrid Information Technology. – 2015. – Vol. 8. – No. 10. – P. 73–80.

230. Pichai, Jodpimai Estimating software effort with minimum features using neural functional approximation [Электронный ресурс] / Pichai Jodpimai, Peraphon Sophatsathit, Chidchanok Lursinsap. – Режим доступа: [http://pioneer.netserv.chula.ac.th/~sperapho/pub/est\\_swEffort.pdf](http://pioneer.netserv.chula.ac.th/~sperapho/pub/est_swEffort.pdf).

231. Putnam, L. Measures for Excellence, Yourdon Press Computing Series / L. Putnam, W. Myers, 1992.

232. Roberts, F. Graph Theory and its applications to problems of society, society for industrial and applied mathematics / F. Roberts. – Philadelphia, 1978. – 116 p.

233. Rodrigo, G.C. Rochaa A case-based reasoning system to support the global software development [Электронный ресурс] / Rodrigo G. C. Rochaa, Ryan R. Azevedoa, Ygor Cesar Sousaa, Eduardo de A. Tavaresa, Silvio Meirab. Режим доступа: <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1877050914010643>.

234. Rosina, Weber Predicting software development project outcomes [Электронный ресурс] / Rosina, Weber, Michael Waller, June Verner, William Evancho. – Режим доступа: <http://www.pages.drexel.edu/~rw37/iccbr03.pdf>.

235. Sadovnikova, N.P. Application of the cognitive modeling for analysis of the ecological and economical efficiency of the urban planning project [Электронный ресурс] / N.P. Sadovnikova // Internet-vestnik VolgGASU. Ser.: Civil Engineering Informatics. Issue, 2011. – 5(14). – Режим доступа: [www.vestnik.vgasu.ru](http://www.vestnik.vgasu.ru).

236. Shoham, Y. Agent-Oriented programming / Y. Shoham // AI. – 1993. – Vol. 60. – P. 51–92.

237. SPR Knowledge Plan Version 3.0. Users Guide Copyright (c) // Software Productivity Research, 1998.

238. Standish Group 2015 Chaos Report – Q&A with Jennifer Lynch [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://www.infoq.com/articles/standish-chaos-2015>.

239. Standish Group Report: CHAOS Summary 2009 [Электронный ресурс]. – Режим доступа: [http://www.standishgroup.com/newsroom/chaos\\_2009.php](http://www.standishgroup.com/newsroom/chaos_2009.php).
240. Stylios, C.D. Introducing the theory of fuzzy cognitive maps in distributed systems / C.D. Stylios, V.C. Georgopoulos, P.P. Groumpos // Proceedings of 12th IEEE Intern. Symposium on Intelligent Control, Istanbul, 1997. – P. 55–60.
241. Stylios, C.D. Fuzzy cognitive map in modeling supervisory control systems [Электронный ресурс] / C.D. Stylios, P.P. Groumpos // Laboratory for Automation and Robotics, Department of Electrical and Computer Engineering University of Patras, GREECE. – Режим доступа: <http://www.researchgate.net/publication/220256484>.
242. Tukey, J.W. A practical statistician looks at the transactions, IEEE Trans, on Information Theory / J.W. Tukey. – 1966. – No. 2. – P. 87–91.
243. Watson, I.D. Case-based reasoning: A review. The Knowledge Engineering Review / I.D. Watson, F. Marir, 1994. – Vol. 9. – No. 4. – P. 355–381.
244. Wooldridge, M.J. An introduction to multiagent systems / M.J. Wooldridge. – John Wiley&Sons Ltd, 2002. – 366 p.
245. Zadeh, L. Fuzzy Logic, Neural Networks, and Soft Computing / L. Zadeh // Communications of the ACM. – 1994. – Vol. 37. – No. 3. – P. 77–84.
246. Zhaowei, Ren Learning fuzzy cognitive maps by a hybrid method using nonlinear Hebbian learning and extended great deluge algorithm [Электронный вариант] / Zhaowei, Ren. – Режим доступа: [http://ceur-ws.org/Vol-841/submission\\_27.pdf](http://ceur-ws.org/Vol-841/submission_27.pdf).

## ПРИЛОЖЕНИЕ А

Свидетельства о государственной регистрации программ для ЭВМ

РОССИЙСКАЯ ФЕДЕРАЦИЯ



**СВИДЕТЕЛЬСТВО**  
о государственной регистрации программы для ЭВМ  
**№ 2013612228**

Оценка реалистичности инновационного программного  
проекта с использованием генетического алгоритма

Правообладатель(ли): *Колоденкова Анна Евгеньевна (RU)*

Автор(ы): *Колоденкова Анна Евгеньевна (RU)*

Заявка № **2012661593**  
Дата поступления **26 декабря 2012 г.**  
Зарегистрировано в Реестре программ для ЭВМ  
**18 февраля 2013 г.**



Руководитель Федеральной службы  
по интеллектуальной собственности



Б.Л. Симонов



РОССИЙСКАЯ ФЕДЕРАЦИЯ



## СВИДЕТЕЛЬСТВО

о государственной регистрации программы для ЭВМ

№ 2015617388

Программная система когнитивного моделирования в  
условиях нечеткой информации

Правообладатели: *Горелова Галина Викторовна (RU), Колоденкова  
Анна Евгеньевна (RU), Халикова Елена Анатольевна (RU)*

Авторы: *Горелова Галина Викторовна (RU), Колоденкова Анна  
Евгеньевна (RU), Халикова Елена Анатольевна (RU)*



Заявка № 2015614585

Дата поступления 25 мая 2015 г.

Дата государственной регистрации  
в Реестре программ для ЭВМ 09 июля 2015 г.

Врио руководителя Федеральной службы  
по интеллектуальной собственности

Л.Л. Кирий

РОССИЙСКАЯ ФЕДЕРАЦИЯ



# СВИДЕТЕЛЬСТВО

о государственной регистрации программы для ЭВМ

**№ 2016610279**

**Оценка затрат времени на разработку программного обеспечения информационно-управляющих систем при интервальном характере исходных данных**

Правообладатели: *Колоденкова Анна Евгеньевна (RU), Халикова Елена Анатольевна (RU)*

Авторы: *Колоденкова Анна Евгеньевна (RU), Халикова Елена Анатольевна (RU)*



Заявка № **2015660804**

Дата поступления **11 ноября 2015 г.**

Дата государственной регистрации

в Реестре программ для ЭВМ **11 января 2016 г.**

Руководитель Федеральной службы  
по интеллектуальной собственности

Г.П. Ивлев



РОССИЙСКАЯ ФЕДЕРАЦИЯ



## СВИДЕТЕЛЬСТВО

о государственной регистрации программы для ЭВМ

№ 2016619666

**Анализ структуры нечеткой когнитивной модели в условиях  
нечетких исходных данных**

Правообладатели: *Колоденкова Анна Евгеньевна (RU), Халикова  
Елена Анатольевна (RU)*

Авторы: *Колоденкова Анна Евгеньевна (RU),  
Халикова Елена Анатольевна (RU)*



Заявка № 2016616923

Дата поступления 29 июня 2016 г.

Дата государственной регистрации  
в Реестре программ для ЭВМ 25 августа 2016 г.

Руководитель Федеральной службы  
по интеллектуальной собственности

*Г.П. Игнатов* Г.П. Игнатов

РОССИЙСКАЯ ФЕДЕРАЦИЯ



## СВИДЕТЕЛЬСТВО

о государственной регистрации программы для ЭВМ

№ 2016618078

**Диагностика проектов по созданию  
информационно-управляющих систем на основе метода  
прецедентов при интервальной неопределенности**

Правообладатели: *Колоденкова Анна Евгеньевна (RU), Коробкин  
Владимир Владимирович (RU), Халикова Елена Анатольевна  
(RU)*

Авторы: *Колоденкова Анна Евгеньевна (RU), Коробкин Владимир  
Владимирович (RU), Халикова Елена Анатольевна (RU)*



Заявка № 2016615356

Дата поступления 23 мая 2016 г.

Дата государственной регистрации  
в Реестре программ для ЭВМ 20 июля 2016 г.

Руководитель Федеральной службы  
по интеллектуальной собственности

*Г.П. Изюев* Г.П. Изюев

РОССИЙСКАЯ ФЕДЕРАЦИЯ



## СВИДЕТЕЛЬСТВО

о государственной регистрации программы для ЭВМ

№ 2016616584

Оценка реализуемости проекта по созданию  
информационно-управляющих систем с применением  
процедуры обучения нечеткой когнитивной модели в  
условиях нечетких исходных данных

Правообладатели: *Колоденкова Анна Евгеньевна (RU), Халикова  
Елена Анатольевна (RU)*

Авторы: *Колоденкова Анна Евгеньевна (RU),  
Халикова Елена Анатольевна (RU)*



Заявка № 2016613870

Дата поступления 19 апреля 2016 г.

Дата государственной регистрации  
в Реестре программ для ЭВМ 15 июня 2016 г.

Руководитель Федеральной службы  
по интеллектуальной собственности

*Г.П. Ивлиев* Г.П. Ивлиев



**ПРИЛОЖЕНИЕ Б****Акты о внедрении, об использовании результатов диссертационной работы****УТВЕРЖДАЮ**

Врио Директора

ФГБУН Институт механики им. Р.Р.Мавлютова

Уфимского научного центра РАН

Урманчеев С.Ф.

" 30 "  2017 г.**АКТ**

о внедрении результатов докторской диссертационной работы

Колоденковой Анны Евгеньевны

«Методы поддержки принятия решений при анализе реализуемости проектов  
информационно-управляющих систем промышленных объектов»

Научно-технический совет лаборатории «Робототехника и управление в технических системах» ИМех УНЦ РАН по результатам обсуждения составил настоящий акт о том, что в лаборатории, с учетом специфики проводимых исследований, внедрены отдельные результаты диссертационной работы Колоденковой А.Е. «Методы поддержки принятия решений при анализе реализуемости проектов информационно-управляющих систем промышленных объектов» представленной на соискание ученой степени доктора технических наук:

- 1) Метод и алгоритм оценки затрат времени на создание программного обеспечения информационно-управляющих систем.
- 2) Программное обеспечение «Оценка затрат времени на разработку программного обеспечения информационно-управляющих систем при интервальном характере исходных данных».

при разработке госбюджетных тем, научно-технических программ и выполнении грантов.

Использование указанных результатов позволяет:

- 1) снизить возможные проектные риски при разработке информационно-управляющих систем нетипичных робототехнических систем и вспомогательного технологического оборудования, а также сократить ошибки руководителя проекта при принятии управленческих решений в условиях неопределенности исходных данных.
- 2) сократить время на решение таких задач как оценка затрат времени на разработку систем управления, нахождение ожидаемой стоимости проекта по разработке специфичных манипуляторов и периферийного оборудования на 50 % за счет использования программного обеспечения, позволяющего учесть в расчетах не только реальные данные, но и косвенные параметры.

Зам. председателя НТС  
лаборатории РУТС ИМех УНЦ РАН



Мигранов А.Б.

“УТВЕРЖДАЮ”  
Генеральный директор  
АО “Атоммашэкспорт”



*[Signature]* С.С. Куликов

“01” 02 2017

### АКТ

**об использовании результатов докторской диссертационной работы  
Колоденковой Анны Евгеньевны  
«Методы поддержки принятия решений при анализе  
реализуемости проектов информационно-управляющих систем  
промышленных объектов»**

Комиссия в составе:

Председателя – технического директора АО “Атоммашэкспорт”  
С.И.Чучуева

и членов комиссии:

директора по продажам – В.В. Гречина,  
начальника отдела ИТ - О.К. Курдова

настоящим актом подтверждает, что научно-теоретические положения и практические результаты докторской диссертационной работы Колоденковой А.Е. “Методы поддержки принятия решений при анализе реализуемости проектов информационно-управляющих систем промышленных объектов”:

- Комплекс когнитивных моделей и методов поддержки принятия решений для оценки реализуемости проекта по созданию информационно-управляющих систем (ИУС) с использованием «мягких вычислений», методологии когнитивного и нечеткого когнитивного моделирования;

- Программное обеспечение «Программная система когнитивного моделирования в условиях нечеткой информации»

внедрены и использованы в деятельности АО “Атоммашэкспорт” в рамках подготовки документов для участия в тендерных и конкурсных процедурах, а также выполнении работ в интересах ГК “Росатом”, АО “Газпром” и ОМЗ.

*Использование полученных Колоденковой А.Е. результатов позволяет:*

- принять взвешенное решение на этапе предпроектных работ по контрактам, а также формировании новых возможных альтернатив организационно-технических решений при выполнении работ по созданию ИУС для атомной, нефтегазовой и машиностроительной отраслей промышленности;
- спрогнозировать возможности возникновения проблем, связанных с появлением каких-либо возмущений, а также смоделировать вероятность их развития, чтобы предпринять комплекс мер (технических, административных, финансовых и др.) для выработки обоснованных управленческих решений при выполнении работ по созданию ИУС для атомной, нефтегазовой и машиностроительной отраслей промышленности;
- на 21 % минимизировать финансовые затраты на этапе проведения анализа реализуемости проекта (контракта) по созданию оборудования в АО "Атоммашэкспорт".

Председатель комиссии:

технический директор АО "Атоммашэкспорт"  С.И. Чучуев

Члены комиссии:

директор по продажам

В.В. Гречин,

начальника отдела ИТ

О.К. Курдова



**“УТВЕРЖДАЮ”**

Проректор по организации научной и  
проектно-инновационной деятельности  
Южного федерального университета,  
д.т.н., профессор,



И.К. Шевченко

2017

М.П.

**АКТ**

о внедрении результатов диссертационной работы Колоденковой А.Е. на  
тему: **“Методы поддержки принятия решений при анализе  
реализуемости проектов информационно-управляющих систем  
промышленных объектов”**, представленной на соискание  
ученой степени доктора технических наук

Комиссия в составе: Коробкина В.В. – к.т.н., директора инновационно-технологического центра “Ядерная энергетика” Южного федерального университета (ИТЦ ЯЭ ЮФУ), лауреата Премии Правительства РФ в области науки и техники 2016 года, Серогодского А.И. – научного сотрудника ИТЦ ЯЭ ЮФУ, Игнатова В.Ф. – ведущего специалиста ИТЦ ЯЭ ЮФУ настоящим актом подтверждает, что в ИТЦ ЯЭ ЮФУ внедрены и используются следующие теоретические положения диссертационной работы Колоденковой А.Е.:

- алгоритм обработки неопределенных исходных данных, основанный на нормировании и структуризации значений факторов и связей между ними;
- модели, методы и алгоритмы оценки реализуемости проекта по созданию информационно-управляющих систем (ИУС) с применением методологии когнитивного и нечеткого когнитивного моделирования процесса анализа реализуемости проектов,

а также внедрены и используются следующие практические положения диссертационной работы Колоденковой А.Е.:

- программное обеспечение «Оценка реализуемости проекта по созданию информационно-управляющих систем с применением процедуры обучения нечеткой когнитивной модели в условиях нечетких исходных данных».

Использование указанных результатов позволило:

- осуществить анализ реализуемости проектов по созданию системы управления для складских комплексов в условиях интервальной неопределенности и нечеткости исходных данных;
- осуществить поиск наилучших значений факторов, отражающих реализуемость проекта при наличии имеющихся ресурсов, в соответствии с контрактом по созданию ИУС для Ростовской, Нововоронежской АЭС-2 и Белорусской АЭС;
- предоставить рекомендации обоснования выбора целевых и управляющих факторов при анализе реализуемости проектов по созданию ИУС для атомных станций в условиях неопределенных исходных данных;
- сократить время оценки реализуемости проектов по созданию ИУС до 50 % за счет использования разработанного программного обеспечения на основе теоретических положений диссертационной работы.

Директор ИТЦ ЯЭ ЮФУ,  
к.т.н.



Коробкин В.В.

Научный сотрудник  
ИТЦ ЯЭ ЮФУ



Серогодский А.И.

Ведущий специалист  
ИТЦ ЯЭ ЮФУ



Игнатов В.Ф.

**“УТВЕРЖДАЮ”**  
 Директор  
 НИИ многопроцессорных  
 вычислительных систем  
 Южного федерального университета,  
 (НИИ МВС ЮФУ)  
 кандидат технических наук

Я.С. Коровин

2017

М.П.



### АКТ

**об использовании результатов докторской диссертационной работы  
 Колоденковой Анны Евгеньевны  
 «Методы поддержки принятия решений при анализе  
 реализуемости проектов информационно-управляющих систем  
 промышленных объектов»**

Комиссия в составе: Капустяна С.Г. – д.т.н., начальника отдела НИИ МВС ЮФУ, Мельника Э.В. – д.т.н., заведующего лабораторией НИИ МВС ЮФУ, Кухаренко А.П. - к.т.н., ученого секретаря НИИ МВС ЮФУ настоящим актом подтверждает, что в НИИ многопроцессорных вычислительных систем ЮФУ внедрены и используются следующие теоретические и практические положения докторской диссертации Колоденковой А.Е.

1) Комплекс когнитивных моделей и методов поддержки принятия решений для оценки реализуемости проекта по созданию информационно-управляющих систем (ИУС) с использованием «мягких вычислений», методологии когнитивного и нечеткого когнитивного моделирования процесса анализа реализуемости.

2) Программная система «Анализ структуры нечеткой когнитивной модели в условиях нечетких исходных данных»

Результаты докторской диссертации Колоденковой А.Е. используются в НИИ МВС ЮФУ при выполнении работ по разработке, изготовлению и

внедрению программно-технических средств информационно-управляющих систем для Ростовской и Нововоронежской атомных станций.

Использование полученных Колоденковой А.Е. результатов позволяет:

1) уменьшить количество исполнителей, участвующих в анализе реализуемости проекта по созданию информационно-управляющих систем для складских комплексов, технологических линий для авиационной и машиностроительной промышленности, в 2 раза и тем самым снизить уровень накладных расходов на 30%-40%;

2) эффективно реагировать на изменяющуюся внешнюю и внутреннюю среду проекта, предвидя возможные варианты развития ситуаций, связанных с созданием информационно-управляющих систем для промышленных объектов за счет импульсного моделирования на четких и нечетких когнитивных моделях.

Начальник отдела

НИИ МВС ЮФУ, д.т.н.



Капустян С.Г.

Заведующего лабораторией

НИИ МВС ЮФУ, д.т.н.



Мельник Э.В.

Ученый секретарь

НИИ МВС ЮФУ, к.т.н.



Кухаренко А.П.