

УТВЕРЖДАЮ

проректор по науке и инновациям
ФГБОУ ВО «Кубанский
государственный университет»,
доктор химических наук, доцент

Пар

«01»

Алиил Владимирович

25 г.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

федерального государственного бюджетного образовательного
учреждения высшего образования
«Кубанский государственный университет»
Министерства науки и высшего образования Российской Федерации

Диссертация «Методы и алгоритмы интеллектуальной поддержки принятия решений в слабоструктурированных задачах выбора на основе нечётких когнитивных карт» выполнена на кафедре анализа данных и искусственного интеллекта в федеральном государственном бюджетном образовательном учреждении высшего образования «Кубанский государственный университет» Министерства науки и высшего образования Российской Федерации.

В период подготовки диссертации Петухова Алина Владимировна являлась соискателем кафедры анализа данных и искусственного интеллекта по направлению подготовки 09.06.01 «Информатика и вычислительная техника» в ФГБОУ ВО «Кубанском государственном университете». В настоящее время Петухова Алина Владимировна работает в компании Квантум блек (QuantumBlack, McKinsey&Company, г. Лондон, Великобритания) на должности аналитик данных.

В 2011 году окончила государственное образовательное учреждение высшего профессионального образования «Кубанский государственный университет» по специальности 28.01.01 «Безопасность жизнедеятельности в техносфере».

В 2013 году окончила федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего профессионального образования «Кубанский государственный университет» магистратуру по направлению подготовки 02.01.00 Химия.

В период 2016–2020 годах Петухова Алина Владимировна обучалась в аспирантуре федерального государственного бюджетного образовательного

учреждения высшего образования «Кубанский государственный университет» по направлению подготовки 09.06.01 «Информатика и вычислительная техника». В 2023 г. Петухова А.В. сдала на отлично кандидатский экзамен по специальности 2.3.4. Управление в организационных системах (технические науки), для чего была прикреплена на кафедру прикладной математики и программирования института математики, механики и компьютерных наук им. Воровича федерального государственного автономного образовательного учреждения высшего образования «Южный федеральный университет».

Научный руководитель — доктор технических наук, доцент, Коваленко Анна Владимировна, заведующий кафедрой анализа данных и искусственного интеллекта федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Кубанский государственный университет».

По итогам обсуждения принято следующее заключение:

1. Личное участие автора в получении результатов, изложенных в диссертации, заключается в следующем:

- разработала методы анализа и синтеза стратегий управления организационными системами на основе решения обратной задачи когнитивного моделирования (ОЗКМ), учитывая сильносвязанные структуры и ограничения на достижимость целевых показателей;
- показала, что использование модифицированных алгоритмов на основе нечетких реляционных уравнений позволяет находить управляющие воздействия, обеспечивающие достижение стратегических целей предприятия, даже при формальной неразрешимости задачи;
- разработала и автоматизировала метод минимально значимых корректировок целевых концептов, позволяющий получать приближённые управленческие стратегии в условиях ограниченности и неполноты данных;
- предложила метод оптимизации структуры нечёткой когнитивной карты (НKK), обеспечивающий корректное выделение целевых и управляющих концептов для успешного применения алгоритмов моделирования;
- провела серию вычислительных экспериментов с использованием различных операций композиции (t-норм и s-норм) и показал их влияние на качество моделирования и стратегий управления;
- разработала частные алгоритмы программного комплекса «FuzzyM» модульного типа для поддержки принятия решений на основе НKK, обеспечивающий визуализацию, анализ и динамическое моделирование организационных систем;
- построила, обучила и протестировала модели НKK для систем управления в розничной торговле, муниципальном развитии и водоочистке, включая анализ влияния отдельных концептов и системных показателей;

- предложила метод извлечения причинно-следственных связей между концептами с использованием больших языковых моделей (LLM), подтвердила применимость подхода для построения НКК на малых выборках;
- провела анализ рисков применения НКК в бизнес-среде и разработал рекомендации по их минимизации при построении и использовании моделей;
- внедрила разработанные методы и программный комплекс в деятельность предприятий ООО «Программные технологии» и LTD «TectumAI», что позволило повысить скорость принятия решений на 45% и увеличить число анализируемых сценариев в 3,5 раза.

2. Научная новизна диссертационной работы заключается в развитии методов и алгоритмов построения и анализа нечетких когнитивных карт (НКК) для поддержки принятия решений в слабоструктурированных организационных системах, а также в получении следующих научных результатов:

- предложен алгоритм решения обратной задачи когнитивного моделирования (ОЗКМ), отличающийся от известных введением понятий доминантных уравнений и детерминирующих коэффициентов, что позволяет эффективно определять минимально необходимые изменения управляющих концептов для достижения заданного целевого состояния системы, формализованного через теорию нечетких реляционных уравнений (НРУ);
- разработан метод минимально значимой корректировки вектора целевых показателей, обеспечивающий разрешимость обратной задачи при отсутствии точного решения, а также метод оптимизации структуры НКК, позволяющий выделить управляющие и целевые концепты в сильно связанных картах, что расширяет применимость метода к реальным организационным системам;
- впервые предложен подход к построению структуры НКК с использованием больших языковых моделей, позволяющий определять весовые связи между концептами на основе текстовых описаний системы, и проведен сравнительный анализ построенных карт с экспертными НКК;
- сформулирован алгоритм комплексного анализа НКК, отличающийся возможностью выбора произвольных операций композиции (t-норм и s-норм) при анализе причинно-следственных связей, что позволяет учитывать слабые и сильные взаимодействия между концептами и получать более достоверную информацию о поведении системы;
- разработан программный комплекс «FuzzyM», отличающийся модульной архитектурой, возможностью визуализации системных характеристик, поддержкой различных сценариев анализа и решением прямых и

обратных задач когнитивного моделирования, а также способностью интеграции новых алгоритмов;

– построены и проанализированы математические модели организационных систем, включая предприятие розничной торговли, муниципальное образование и электродиализную установку, что позволило описать их функционирование средствами НКК, определить ключевые факторы развития и сформировать стратегии управления на основе решений обратной задачи.

3. Степень достоверности результатов проведенных исследований подтверждается использованием фундаментальных положений теории нечёткой логики, нечетких реляционных уравнений, системного анализа, а также элементов теории статистического и когнитивного моделирования. Полученные результаты многократно проверялись в рамках вычислительных экспериментов, проведённых с использованием разработанного программного комплекса «FuzzyM» и независимых сценариев моделирования. Результаты сопоставлены с теоретическими и практическими данными других авторов и не противоречат основам теории систем, теории управления и теории принятия решений. Апробация результатов выполнена в рамках научных семинаров, проектов РФФИ и представлена на всероссийских и международных конференциях.

4. Теоретическая и практическая значимость исследования.

Подтверждена гипотеза об эффективности применения нечётких когнитивных карт (НКК) и методов решения обратной задачи когнитивного моделирования (ОЗКМ) для построения стратегий управления в организационных системах. Это определяет теоретическую значимость исследования, связанного с развитием математического аппарата моделирования сложных слабоструктурированных систем, а также с внедрением алгоритмов минимально значимой корректировки и оптимизации структуры когнитивной карты.

Разработанные методы использовались в учебном процессе при формировании курса лекций по дисциплине «Введение в теорию нечётких когнитивных карт» для магистрантов направления «Прикладная математика и информатика», а также на семинарах кафедры прикладной математики КубГУ.

Практическая значимость определяется тем, что впервые разработан и реализован программный комплекс «FuzzyM», предназначенный для поддержки принятия решений на основе НКК. Комплекс позволяет строить модели систем, анализировать стратегии развития, визуализировать сценарии и решать обратные задачи моделирования с учётом экспертных знаний и нечётких взаимосвязей. Программное обеспечение внедрено на предприятиях розничной торговли и в компаниях, разрабатывающих системы поддержки принятия решений (ООО «Программные технологии», LTD «TectumAI»), что подтверждено актами внедрения. Использование комплекса позволило повысить эффективность стратегического анализа, сократить время принятия решений на

45%, увеличить количество анализируемых сценариев в 3,5 раза и повысить уверенность экспертов в прогнозах на 40%.

По результатам исследований получены два свидетельства о государственной регистрации программ для ЭВМ, разработан метод использования больших языковых моделей для построения НКК, а также идентифицированы риски применения НКК в бизнес-практике.

5. Полнота изложения материалов диссертации в работах, опубликованных соискателем

Содержание диссертационной работы достаточно полно отражено в 11 научных работах, в их числе 7 статей в рецензируемых научных изданиях, в которых должны быть опубликованы основные результаты диссертаций на соискание учёной степени кандидата наук, из них 2 статьи в издании, индексируемом в международных реферативных базах и системах цитирования Web of Sciences Core Collection и Scopus, получены 2 свидетельства о государственной регистрации программы для ЭВМ. В тексте диссертации отсутствуют недостоверные сведения об опубликованных соискателем по теме диссертации работах. Основное содержание диссертации отражено в следующих работах:

Публикации в изданиях, включенных в Перечень рецензируемых научных изданий, в которых должны быть опубликованы основные научные результаты диссертаций на соискание учёной степени кандидата наук

1. **Petukhova, A. V.** Algorithm for Optimization of Inverse Problem Modeling in Fuzzy Cognitive Maps / A. V. Petukhova, A. V. Kovalenko, A. V. Ovsyannikova // Mathematics. – 2022. – Vol. 10, № 19. – Art. 3452. – DOI 10.3390/math10193452. – Ст. на англ. языке. (Web of Science Core Collection, Scopus).

В данной публикации соискателем предложен алгоритм решения обратной задачи когнитивного моделирования на основе теории нечётких реляционных уравнений. В статье рассматриваются способы оптимизации структуры когнитивной карты путём выделения целевых и управляющих концептов, а также метод минимально значимой корректировки целевых значений при отсутствии точного решения. Продемонстрирована эффективность предложенного подхода на примере моделирования системы управления предприятием розничной торговли. Представлены результаты численного моделирования и обоснованы принципы формирования стратегии управления системой при заданных целевых показателях. (Вклад соискателя 10 / 16 стр.)

2. **Petukhova, A.** Retail System Scenario Modeling Using Fuzzy Cognitive Maps / A. Petukhova, N. Fachada // Information. – 2022. – Vol. 13, № 5. – Art. 251 – DOI 10.3390/info13050251. – Ст. на англ. языке. (Web of Science Core Collection, Scopus).

В статье представлены результаты построения модели сценарного развития предприятия розничной торговли на основе нечётких когнитивных карт (НКК). С помощью разработанного программного комплекса «FuzzyM» проведён анализ структуры предприятия как сложной организационной

системы, определены ключевые концепты, влияющие на показатели эффективности. Продемонстрирована применимость разработанного подхода для стратегического планирования в условиях высокой неопределённости и взаимосвязей между компонентами системы. (Вклад соискателя 12 / 18 стр.)

3. **Петухова, А. В.** Решение обратной задачи моделирования для предприятия розничной торговли с использованием теории нечётких когнитивных карт / А. В. Петухова // Инженерный вестник Дона. – 2023. – № 3 (99). – С. 135–146. – URL: <http://www.ivdon.ru/ru/magazine/archive/n3y2023/8262>.

В статье подтверждена гипотеза, что решение обратной задачи когнитивного моделирования (ОЗКМ) позволяет эффективно формировать управленческие стратегии в условиях высокой неопределённости. В работе впервые применён алгоритм минимально значимой корректировки целевых приращений концептов при неразрешимости задачи, а также предложено оптимальное распределение концептов на управляющие и целевые. Приведены графики и результаты моделирования, демонстрирующие применимость предложенного подхода для обоснования стратегий развития предприятия. Моделирование выполнено в разработанном соискателем программном комплексе «FuzzyM». (Вклад соискателя 12 / 12 стр.)

4. **Петухова, А. В.** Использование нечетких когнитивных карт для решения задачи развития муниципальных образований / А. В. Петухова, А. В. Коваленко, М. В. Шарпан // Инженерный вестник Дона. – 2024. – № 2(110). – С. 238-262. – URL: <http://www.ivdon.ru/ru/magazine/archive/n2y2024/9037>.

В статье подтверждена гипотеза о применимости нечётких когнитивных карт (НKK) для построения стратегии развития муниципального образования. Соискателем выполнено построение модели НKK на примере города Краснодара, проведены расчёты системных характеристик, анализ целевых концептов и сценариев развития. Описано решение обратной задачи когнитивного моделирования с использованием разработанного алгоритма. Проведён анализ различных операций каузальной алгебры и их влияния на устойчивость и гибкость стратегий. (Вклад соискателя 12 / 25 стр.)

5. **Петухова, А. В.** Системы поддержки принятия решений (СППР) на основе интеллектуальных технологий. Архитектура, проектирование и использование СППР в различных областях. / А. В. Петухова, А. В. Коваленко // Прикладная математика и вопросы управления / Applied Mathematics and Control Sciences. – 2025. – № 1. – С. 47–58. – DOI 10.15593/2499-9873/2025.1.04

В статье обоснована эффективность модульной архитектуры систем поддержки принятия решений (СППР), реализующей методы нечётких когнитивных карт, нечеткой логики и машинного обучения. Автором выполнен систематический анализ существующих СППР, предложена классификация архитектур, приведены рекомендации по выбору интеллектуальных методов для задач прогнозирования и стратегического планирования. Соискателем разработаны сводные таблицы сравнительных характеристик и построены графики, иллюстрирующие преимущества модульного подхода. (Вклад соискателя 10 / 16 стр.)

Свидетельства о государственной регистрации программ для ЭВМ

6. Св. о гос. рег. Программы для ЭВМ №2020616550 от 15.07.2020 г. Модуль поддержки принятия решений к программе моделирования социально-экономических процессов «FuzzyM» / А. В. Петухова, А. В. Коваленко.

Соискателем разработаны алгоритмы решения обратной задачи когнитивного моделирования и реализованы модули поддержки принятия решений. (Вклад соискателя 75%)

7. Св. о гос. рег. Программы для ЭВМ №2018615414 от 26.06.2018 г. Программа моделирования социально-экономических процессов на основе нечётких когнитивных карт «FuzzyM» / А. В. Петухова, В. Н. Кармазин.

Соискателем реализованы основные компоненты программного комплекса, обеспечивающие построение и анализ моделей на основе нечётких когнитивных карт. (Вклад соискателя 75%)

Прочие работы по теме диссертации:

10. Petukhova, A. Text clustering with large language model embeddings / A. Petukhova, J.P. Carvalho, N. Fachada // International Journal of Cognitive Computing in Engineering. – 2025. – Vol. 6. – P. 100-108 – DOI 10.1016/j.ijcce.2024.11.004. (Вклад соискателя 4 / 9 стр.)

11. Петухова, А. В. Риски использования нечётких когнитивных карт при управлении бизнес-процессами / А. В. Петухова, А. В. Коваленко, А. В. Овсянникова // Современная математика и концепции инновационного математического образования. – 2022. – №.1. – P. 171–177. (Вклад соискателя 4 / 7 стр.)

12. Петухова, А. В. Методы прогнозирования развития сложных систем с применением теории нечётких когнитивных карт / А. В. Петухова, А. В. Коваленко // Информатика. – 2022. – Т. 1. № 1. – С. 81–95 (Вклад соискателя 10 / 15 стр.)

13. Петухова, А. В. Обзор динамических свойств и алгоритмов обучения нечетких когнитивных карт / Петухова А. В., Коваленко А. В., Теунаев Д.М.// Политематический сетевой электронный научный журнал Кубанского государственного аграрного университета. – 2021. – №.167. – С. 43–74. (Вклад соискателя 20 / 32 стр.)

6. Соответствие содержания диссертации специальности, по которой она рекомендуется к защите

Представленная Петуховой Алиной Владимировной диссертационная работа посвящена разработке методов и алгоритмов интеллектуальной поддержки принятия решений в слабо структурированных задачах управления, основанных на использовании нечётких когнитивных карт. Работа содержит научно обоснованные теоретические и программные решения, имеющие важное значение для развития методов и алгоритмов интеллектуальной поддержки принятия управленческих решений в организационных системах, в том числе на

предприятиях розничной торговли, в муниципальных образованиях и на объектах водоочистки.

Указанная область исследования соответствует паспорту специальности 2.3.4. Управление в организационных системах:

п.3 – Разработка методов и алгоритмов решения задач управления в организационных системах;

п.4 – Разработка информационного и программного обеспечения систем управления и механизмов принятия решений в организационных системах;

п.5 – Разработка методов получения данных и идентификации моделей, прогнозирования и управления организационными системами на основе ретроспективной, текущей и экспертной информации;

п.9 – Разработка методов и алгоритмов интеллектуальной поддержки принятия управленческих решений в организационных системах.

7. Соответствие диссертации требованиям, установленным п. 14 Положения о присуждении ученых степеней.

Диссертационная работа Петуховой Алины Владимировны представляет собой оригинальное исследование. Соискатель в тексте диссертации корректно ссылается на научные работы и источники заимствования используемых научных и экспериментальных материалов, на авторов исследований, направление которых релевантно теме диссертационной работы, в том числе на работы, выполненные как им лично, так и в соавторстве.

Диссертация «Методы и алгоритмы интеллектуальной поддержки принятия решений в слабоструктурированных задачах выбора на основе нечётких когнитивных карт» Петуховой Алины Владимировны рекомендуется к защите на соискание учёной степени кандидата технических наук по специальности 2.3.4. Управление в организационных системах.

Заключение принято на заседании кафедры анализа данных и искусственного интеллекта Кубанского государственного университета, занимающейся научными исследованиями в области теории управления и её приложениям.

Результаты голосования: «За» – 14 чел., «Против» – 0 чел., «Воздержалось» – 0, протокол заседания № 15 от «30» июня 2025 г.

Доктор физико-математических наук,
профессор, зам. заведующего
кафедры анализа
данных и искусственного
интеллекта федерального государственного
бюджетного образовательного учреждения
высшего образования «Кубанский государственный университет»

✓ /Осипян Валерий Осипович