**Проект 18-01-00402 А, руководитель – Бутакова М.А.**

«Разработка моделей и методов мультигранулярных вычислений для группового принятия решений в интеллектуальных системах ситуационной осведомленности»

Заказчик – РФФИ

Договоры №№ 18-01-00402\18, 18-01-00402\19, 18-01-00402\20

Срок выполнения проекта 2018 – 2020 г.г.

**В проекте предусмотрены следующие этапы.**

1. Анализ и исследование современных подходов к принятию решений в интеллектуальных системах, использующих неметрические и неаддитивные способы определения теоретико-множественных конструкций для систем и процессов с высокой неопределенностью.

2. Разработка нового теоретико-множественного подхода для множеств, имеющих неаддитивные меры для многоуровневого гранулирования информации с признаками неопределенности, включающими неполноту, неточность и противоречивость имеющихся данных.

3. Разработка нового подхода к извлечению знаний о ситуациях в физической среде, оборудованных датчиками, путем использования трех уровней вычислений: 1) сенсорных; 2) контекстных; 3) ситуативных.

4. Разработка нового многоагентного подхода к распознаванию инцидентов, включающего групповое многоуровневое взаимодействие агентов различного типа: сенсорных агентов; агентов агрегации наблюдений; агентов идентификации инцидентов; решающих агентов.

5. Разработка новых теоретико-модельных методов и онтологического моделирования ситуаций на основе методологии анализа формальных понятий, а также формальных спецификаций инцидентов и ситуаций.

6. Разработка методов пространственно-темпорального анализа отношений между группами классифицированных инцидентов и ситуаций на основе разрабатываемого подхода многоуровневого гранулирования информации.

7. Разработка нового класса когнитивных моделей - мультигранулярных нечетко-приближенных когнитивных классификаторов и гранулярных когнитивных вычислений, управляемых данными.

8. Разработка нового класса гибридных моделей искусственного интеллекта - мультигранулярных нечетко-приближенных когнитивных сетей.

**Итоговые результаты:**

1. Онтологические модели для формальной спецификации инцидентов и ситуаций в условиях высокой неопределенности, адекватно отвечающие методам формального анализа понятий. Основным отличием полученного результата является построение алгебраических и геометрических интерпретаций информационного гранулирования для объединения семантически связанных значений, представленных в терминах нечеткой арифметики. Представлена классификация мультигранулярных вычислений, для чего использованы как двоичные, так и многозначные гранулярные структуры. Формализовано отношение нечеткого покрытия.

2. Метод онтологического моделирования ситуационной осведомленности на основе формального анализа понятий в условиях высокой неопределенности. Особое внимание в методе уделено конструкциям распределенной динамической дескрипционной логики, которые можно рассматривать как логическую модель для дальнейшего механизма распределенного динамического вывода рассуждений о возникновении нештатной ситуации с принятием соответствующего решения о её устранении.

3. Разработана распределенная архитектура обработки информации, обладающей слабоструктурированными признаками на базе агенто-ориентированной имитационной модели ситуационной осведомленности, имеющая ряд отличительных особенностей кластеризации данных: а) на основе приближенных («грубых») множеств; б) на основе пространственной кластеризации DBSCAN; в) на основе новых определений, синтаксических и семантических конструкторов и аксиом логики SHOIN, доработанной для динамического механизма распределенных рассуждений.

4. Модель мультигранулярного нечетко-приближенного когнитивного классификатора, построенная на базе исследований свойств информационных гранул имеющая отличительную особенность учета в ней степени неопределенности, влияющей на разбиение данных при процедуре их кластеризации, при которой в процедуре кластеризации формируется множество многомерных иерархических гранул и используются алгоритмы расчетов нечетких когнитивных карт, как классификаторов ситуаций.

5. Построена иерархия уровней грануляции онтологий в информационно-управляющих системах, предложен способ формирования единого подхода к гранулярным вычислениям в плане анализа ситуационной осведомленности, предложены алгоритмы расчетов в информационном гранулировании с использованием нечетких реляционных уравнений.

6. Разработан теоретико-модельный метод онтологического моделирования новых типов ситуаций с использованием мер гранулярности, использующий гранулярные онтологии для слабоструктурированных предметных областей, анализа и измерения семантической близости между гранулируемыми понятиями.

7. Разработан метод распознавания новых типов инцидентов и аномалий, использующий полученное авторами определение минимально-энтропийных множеств, расширяющее традиционное определение энтропии для случайных процессов. Представлена гильбертова модель пространства с воспроизводящим ядром, предназначенная для оценки энтропии по случайной выборке реализаций случайного процесса, а именно по функциональным данным. На основе обсуждаемого метода были предложены два подхода к оценке минимальных множеств энтропии, один из которых относится к параметрическим, а другой - к непараметрическим методам статистики. Основным практическим применением является решение задач обнаружения аномалий с помощью функциональных данных.

8. Усовершенствован и развит метод потокового обнаружения аномальных явлений в информационных и информационно -управляющих системах на основе информационно-энтропийного подхода. Отличием этого метода от существующих является решение задач с использованием воспроизведения гильбертовых пространств ядра для многомерных и функциональных данных на основе ядра Мерсера и локальных ядер энтропии. Представлена и математически формализована комбинация ядер для обнаружения аномалий, а также введено определение многовариантных мер разреженности, далее рассмотрены вопросы взвешивания энтропии, использования среднего значения по Кархеру.

9. Дано формальное определение логики нового типа, называемой распределенной динамической дескриптивной логикой. На основе ситуационных баз знаний с объединением в распределенную ситуационную базу знаний была разработана архитектура системы поддержки принятия решений, имеющая механизм вывода и правила эволюции онтологий. Отличием этого подхода является использование интервального аналога процесса анализа иерархий для интеллектуальной поддержки принятия решений.

10. Предложена теоретико-модельная конструкция хранилища ситуаций и инцидентов нового с наличием в ней механизма распределенного динамического вывода решений в возникновении ситуаций, инцидентов и аномалий функционирования информационных систем.

11. Разработан подход к многоуровневому гранулированию информации, отличающийся от известных возможностями динамического изменения метрик грануляции, позволяющий установить детализированные пространственно-темпоральные связи между результатами и группами классифицированных аномалий и ситуаций, а как следствие позволяющий осуществлять интеллектуальную поддержку принятия решений с заданными характеристиками качества решений.

12. Получили развитие методы многовариантного многокритериального принятия решений в интеллектуальных системах на основе теоретико-решающих приближенных множеств, отличающиеся от известных возможностями изменения границ вариабельности приближенного ("грубого") множества.

13. Дано формальное определение для нечетко-приближенного классификатора входных данных, отличающегося возможностями классификации потоковых данных и технологий искусственных нейронных сетей на основе расширяющегося нейронного газа.

14. Разработана архитектура нового класса интеллектуальных систем ситуационной осведомленности - мультигранулярных нечетко-приближенных когнитивных сетей.

15. Метод принятия решений на основе неточных вероятностей для обнаружения аномалий и инцидентов, отличающийся использованием подхода многомерной неточной стохастической симуляции редких событий и больших уклонений в данных.

16. Разработаны алгоритмы 3D визуализации ситуационной осведомленности на основе диаграмм решеток формальных понятий и ситуаций на основе неточных интервальных вероятностей.

**Публикации по результатам проекта**

1. Savvas Ilias K., Michos Christos, Chernov Andrey, Butakova Maria. High Performance Clustering Techniques: A Survey. Advances in Intelligent Systems and Computing, 2020, 1156, 252-259, IPF SJR 2019 - 0.18
2. Butakova Maria A., Chernov Andrey V., Miziukov Grigirii S.. Method for Determining Information Proximity Based on Spectral Conversion of Text Documents. CEUR Workshop Proceedings, 2020, 2556, IPF SJR 2019 - 0.18
3. Chernov Andrey, Butakova Maria, Kostyukov Aleksandr. Intelligent Decision Support for Power Grids Using Deep Learning on Small Datasets. 2020, 958-962
4. Chernov Andrey, Butakova Maria, Guda Alexander, Shevchuk Petr. Development of Intelligent Obstacle Detection System on Railway Tracks for Yard Locomotives Using CNN. Communications in Computer and Information Science, 2020, 1279, 33-43, IPF SJR 2019 - 0.19
5. Chernov Anrey V., Butakova Maria A., Guda Alexandr N.. Guaranteed QOS model for virtual data channels in complex network infrastructure. 2020
6. Garani Georgia, Savvas Ilias K., Chernov Andrey V., Butakova Maria A.. An Intelligent Data Warehouse Approach for Handling Shape-Shifting Constructions. Advances in Intelligent Systems and Computing, 2020, 1156, 260-269, IPF SJR 2019 - 0.18
7. Savvas Ilias K., Chernov Andrey V., Butakova Maria A.. Experiments with IBM Quantum for Random Number Generation and String Matching. 2020
8. Бутакова Мария Александровна, Гуда Александр Николаевич, Чернов Андрей Владимирович. Обнаружение аномалий в информационных потоках и экспериментальные исследования на моделях машинного обучения. Вестник Ростовского государственного университета путей сообщения, 2020
9. Бутакова Мария Александровна, Гуда Александр Николаевич, Жуков Вячеслав Васильевич. Повышение эффективности использования ресурсов инфраструктуры ОАО «РЖД» на основе асинхронного взаимодействия информационных сервисов и услуг. 2020
10. Butakova M.A., Miziukov G.S. Measure and conditions for determining the information proximity of text information streams. Информатизация и связь, 2020, 2, 114-118
11. Бутакова Мария Александровна, Мизюков Григорий Сергеевич. Оценка перспектив использования современных решений в области анализа неструктурированной информации. 2020
12. Карташов Олег Олегович, Дейнеко Олег Владимирович, Юхнов Василий Иванович. Подход к реализации алгоритмов искусственного интеллекта в системах управления движением на транспорте. 2020
13. Чернов Андрей Владимирович, Бутакова Мария Александровна, Шевчук Петр Сергеевич. Кластеризация данных методом растущего нейронного газа. Инженерный вестник Дона, 2020, 7
14. Чубейко Сергей Валерьевич. Сравнительный анализ форматов хранения данных в WEB-приложениях. 2020
15. Чубейко Сергей Валерьевич, Мялова Мария Ильинична. Анализ и систематизация программных библиотек для автоматизированной обработки электронных документов. 2020
16. Garani Georgia, Chernov Andrey, Savvas Ilias, Butakova Maria. A Data Warehouse Approach for Business Intelligence. 2019, 70-75
17. Бутакова Мария Александровна, Мизюков Григорий Сергеевич Чубейко Сергей Валерьевич. Способ построения маршрута общественного транспорта в реальном времени на основании отношения подобия. Автоматизация. Современные технологии, 2019, 73 - 5, 206-210
18. Чернов Андрей Владимирович, Мизюков Григорий Сергеевич Тимофеева Маргарита Сергеевна Глазунов Дмитрий Владимирович. Модель выявления ключевой информации в массивах неструктурированных данных на примере СКО ФО. Вестник транспорта Поволжья, 2019, 1(73), 94-100
19. Верескун Владимир Дмитриевич, Бутакова Мария Александровна Гуда Александр Николаевич Чернов Андрей Владимирович. Информационно-энтропийные подходы к обнаружению аномалий функционирования в распределенных информационных системах. Вестник Ростовского государственного университета путей сообщения, 2019, 1(73), 125-135
20. Chernov A. V., Butakova M. A., Kartashov O. O., Alexandrov A. A.. Intelligent Decision Support by Means of Dynamic Description Logic. 2019, 138-141
21. Chernov A. V., Butakova M. A., Deineko O. V., Miroshnikov A. M. An Approach to Granulation and Ontology Similarity Measurement for Intelligent Decision Support in Semi-Structured Subject Areas. 2019, 146-148
22. Butakova Maria A., Chernov Andrey V., Savvas Ilias K., Garani Georgia. Data Warehouse Design for Security Applications Using Distributed Ontology-Based Knowledge Representation. 2020, 140-145
23. Верескун Владимир Дмитриевич, Бутакова Мария Александровна Гуда Александр Николаевич Чернов Андрей Владимирович. Комбинация мер энтропии для обнаружения аномалий в информационных системах. Вестник Ростовского государственного университета путей сообщения, 2019, 3(75), 72-80
24. Верескун Владимир Дмитриевич, Бутакова Мария Александровна. Метод динамической эволюции онтологий локальных баз знаний смарт-объектов. 2019, 1, 102-107
25. Бутакова Мария Александровна, Гуда Александр Николаевич. О подходе к интеллектуальной поддержке принятия групповых решений в инфраструктуре управления железнодорожным транспортом. 2019, 1, 97-102
26. Верескун Владимир Дмитриевич, Бутакова Мария Александровна Чернов Андрей Владимирович. Принятие решений группой смарт-объектов на основе согласования субъективных вероятностных оценок событий. 2019
27. Бутакова Мария Александровна, Дейнеко Олег Владимирович, Чернов Андрей Владимирович. О возможности миграции ЕК АСУИ на нереляционные базы данных (NOSQL). 2019, 177-178
28. Maria A. Butakova, A. V. Chernov, P. S. Shevchuk and V. D. Vereskun. Neural fuzzy adaptive control for mobile smart objects. 2018 International Symposium on Consumer Technologies (ISCT), 2018, 45-48
29. Бутакова М.А., Климанская Е.В., Чернов А.В.. Формальные структуры и представления для гранулярных вычислений. Современные наукоемкие технологии, 2018, 5, 36-40
30. Andrey V. Chernov, Ilias K. Savvas, Maria A. Butakova. Detection of Point Anomalies in Railway Intelligent Control System Using Fast Clustering Techniques. Advances in Intelligent Systems and Computing, 2018, 875, 267-276
31. Maria A. Butakova, Andrey V. Chernov, Alexander N. Guda, Vladimir D. Vereskun and Oleg O. Kartashov. Knowledge Representation Method for Intelligent Situation Awareness System Design. Advances in Intelligent Systems and Computing, 2018, 875, 225-235
32. Чернов А.В., Бутакова М.А., Верескун В.Д. Методы распределенных рассуждений в интеллектуальных системах ситуационной осведомленности об инцидентах в критической информационной инфраструктуре. Международная конференция по мягким вычислениям и измерениям, 2018, 2018, 618-621
33. Барышникова А.С., Климанская Е.В.. Реформа железнодорожного транспорта в российской федерации: перспективы и стратегия развития до 2030 года. Сборник научных трудов «Актуальные проблемы и перспективы развития транспорта, промышленности и экономики России», Том 1. Технические науки., 2018, 1, 18-20
34. Бутакова М.А., Верескун В.Д., Чернов А.В. Расчеты информационных гранул: нечеткие реляционные уравнения. Сборник научных трудов «Актуальные проблемы и перспективы развития транспорта, промышленности и экономики России», Том 1. Технические науки., 2018, 1, 24-28
35. Давыдов Ю.В., Бутакова М.А. Анализ способов построения гибридных интеллектуальных систем на основе приближенных множеств и искусственных нейронных сетей. Сборник научных трудов «Актуальные проблемы и перспективы развития транспорта, промышленности и экономики России», Том 1. Технические науки., 2018, 29-33
36. Чернов А.В., Александров А.А., Мирошников А.М., Матасов К.А. Алгоритмы расчетов и проблемы использования программных конструкторов для вычисления нечетких когнитивных карт. Сборник научных трудов «Актуальные проблемы и перспективы развития транспорта, промышленности и экономики России», Том 1. Технические науки., 2018, 95-98
37. Дейнеко О.В. О возможности формирования единого подхода к гранулярным вычислениям. Сб. науч. трудов “Транспорт: наука, образование, производство” (“Транспорт 2018”), Т.3., 2018, 3, 60-64
38. Мизюков Г.С. Роль Big Data в информационной инфраструктуре транспортного сектора. Транспорт: наука, образование, производство, (“Транспорт 2018”), Ростов-на-Дону, 2018, 142-145
39. Поляков С.В., Чубейко С.В.. Методы анализа тональности текста. Сб. науч. трудов “Транспорт: наука, образование, производство” (“Транспорт 2018”), Т.3. , 2018, 3, 171-174
40. Бутакова М.А., Дейнеко О.В., Чернов А.В. Иерархия уровней грануляции онтологий в информационно-управляющих системах на железнодорожном транспорте. Интеллектуальные системы управления на железнодорожном транспорте. Компьютерное и математическое моделирование. (ИСУЖТ 2018), 2018
41. Верескун В.Д., Бутакова М.А., Карташов О.О. Децентрализованный логический вывод для интеллектуального управления транспортными технологическими процессами. Интеллектуальные системы управления на железнодорожном транспорте. Компьютерное и математическое моделирование. (ИСУЖТ 2018), 2018, 82-86
42. Давыдов Ю.В., Чернов А.В., Бутакова М.А., Чубейко С.В. Интеграция искусственных нейронных сетей и приближённых множеств для построения перспективных архитектур интеллектуальных информационных систем. Информатизация и связь, 2018, 6, 13-19
43. Верескун В.Д., Гуда А.Н., Бутакова М.А. Интеллектуальный анализ данных: дискретизация значений атрибутов с использованием теории приближенных множеств и кластеризации. Вестник Ростовского государственного университета путей сообщения, 2018, 3, 76-84
44. Дергачев В.В., Климанская Е.В. Свойства информационных гранул и подходы к гранулированию, основанные на методах кластеризации. Вестник Ростовского государственного университета путей сообщения, 2018, 1, 65-71
45. Карташов О.О., Бутакова М.А., Чернов А.В., Костюков А.В., Жарков Ю.И. Средства представления знаний и извлечения данных для интеллектуального анализа ситуаций. Инженерный вестник Дона, 2018, 4.

**В 2020 году, полученные результаты были апробированы на следующих научных мероприятиях по тематике Проекта:**

1) AI4RAILS 2020, 1st International Workshop on “Artificial Intelligence for RAILwayS” colocated with EDCC 2020, докладчик Бутакова М.А., тип доклада: секционный.

2) Reliability and Statistics in Transportation and Communication (RelStat-2020), докладчик Бутакова М.А., тип доклада: секционный.

3) 2nd International Conference on Control Systems, Mathematical Modeling, Automation and Energy Efficiency (SUMMA), докладчик Бутакова М.А., тип доклада: секционный.

4) 28th Telecommunications forum (TELFOR 2020), докладчик Бутакова М.А., тип доклада: секционный.

5) Транспорт: Наука, Образование, Производство (Транспорт-2020), докладчики: Бутакова М.А., Мизюков Г.С., Карташов О.О., Дейнеко О.В., Чубейко С.В., Шевчук П.С., типы докладов: секционные.