

## **Номер Проекта**

14-01-00427

## **Руководитель проекта**

Еремеев Александр Павлович

## **Название Проекта**

Методы и модели поиска решений в интеллектуальных системах поддержки принятия решений на основе темпоральных моделей, мягких вычислений, аналогий и прецедентов

## **Аннотация**

2014 г.:

Выполнен сравнительный анализ темпоральных логик (ТЛ), позволяющих оперировать с неточной (качественной) информацией о времени, в плане выбора наиболее предпочтительной ТЛ для использования в перспективных интеллектуальных системах (ИС) типа ИС поддержки принятия решений реального времени (ИСППР РВ). Предложен новый метод построения ТЛ на основе нечеткой логики. Исследованы различные подклассы сетей Петри (СП) - раскрашенные, временные, стохастические, функциональные, раскрашенные РВ - как базового инструмента моделирования процессов в сложных динамических системах. Предложен формализм раскрашенных СП РВ с поддержкой ТЛ Аллена (РСП РВ ТЛА), оперирующими как с качественными, так и с количественными темпоральными зависимостями и ориентированными на ИСППР РВ. Используя концепцию возможных миров в условиях неоднозначности и неточности данных, предложен новый подход к определению семантики запросов агрегации, оригинальные алгоритмы оценки агрегации запросов и метод многомерного анализа данных на основе технологии недоопределенных вычислений. Для проверки целостности данных предложено использовать аппарат темпоральных БД, позволяющий оперировать с темпоральными зависимостями и ограничениями целостности, совместно с технологией OLAP-RT, ориентированной на поддержку быстрых решений, что особенно актуально для ИСППР РВ. Выполнен сравнительный анализ моделей представления прецедентов с целью выбора перспективной модели. Предложен оригинальный метод поиска решения для ИСППР РВ на основе прецедентов с использованием теории структурного отображения. Разработана структурная модель диагностирования сложных проблемных ситуаций на основе интеграции методов на базе нечетких байесовских сетей доверия и теории Демпстера-Шефера.

2015 г.:

Разработаны методы представления и оперирования темпоральными зависимостями на основе нечеткой ТЛ дискретного времени (нечеткой точечной ТЛ) и нечеткой ТЛ непрерывного времени (нечеткой интервальной ТЛ) и алгоритмы вывода для таких ТЛ. Разработана нечеткая ТЛ РВ. В плане реализации метода поиска решения на основе прецедентов для ИСППР РВ разработаны алгоритмы извлечения прецедентов с применением онтологии предметной области, теории структурного отображения и метода ближайшего соседа. Сформулированы функциональные характеристики и необходимые требования к базовому инструментальному средству, позволяющему моделировать процессы в ИСППР РВ на РСП РВ ТЛА.

2016 г.:

В плане применения в ИСППР РВ исследован ряд темпоральных логик РВ (ТЛ РВ) для поиска решения и описания функционирования (поведения) сложных систем РВ: RTIL – real time interval logic, RTTL – real time temporal logic, RTL – real time logic, TRIO – Tempo Reale ImplicitO и др. Выполнен сравнительный анализ преимуществ и недостатков различных ТЛ РВ, сформулированы основные требования к ТЛ РВ для их использования в ИСППР РВ и построена оригинальная ТЛ РВ на основе интервальной ТЛ. Разработаны инструментальные средства поддержки нечеткой ТЛ.

Выполнена программная реализация предложенных алгоритмов извлечения прецедентов и базовых модулей прототипа системы поиска решения с использованием прецедентов и онтологии предметной области. Исследованы многомерная OLAP-модель данных для представления неточных и неопределенных данных в базах данных и знаний ИСППР (ИСППР РВ) и возможные семантики для агрегации запросов по таким данным. Определены критерии, которые должны быть удовлетворены при обработке неоднозначных данных и применяемые для выбора соответствующей семантики запросов. Исследована модель, поддерживающая неопределенность и неточность в значениях измерений и меры. Рассмотрены основные требования при обращении к неточностям - непротиворечивость и истинность. Программно реализована для включения в состав ИСППР РВ базовая версия инструментальной среды моделирования сложных динамических систем на основе РСР РВ ТЛА для вывода и сужения области поиска решения. Предложена оригинальная нейросетевая технология создания методов накопления и извлечения информации. План исследований 2016 г. и проекта в целом выполнен полностью.

#### **Библиографический список всех публикаций по проекту за весь период выполнения проекта**

1. Alexander Eremeev, Marina Fomina. Modeling of Reasoning in Intelligent Decision Support Systems by Integration of Methods Based on Case-Based Reasoning and Inductive Notions Formation // International Journal Information Content & Processing, 2014, Volume 1, Number 1, pp. 44-53.
2. Aleksandr Eremeev, Ruslan Khasiev, Irina Tcapenko, Marina Zueva. The Intelligent Decision Support System for Diagnostics of Difficult Diseases of Vision // International Journal Information Content & Processing, 2014, Volume 1, Number 3, pp. 269-279.
3. Алехин Р.В., Бутырин П.А., Варшавский П.Р., Еремеев А.П. Методы и программные средства построения компьютерных средств обучения по электротехнике на основе технологии wiki. Открытое образование, №6, 2014, С. 49-55.
4. Вагин В.Н., Еремеев А.П. Модели, методы и инструментальные средства разработки интеллектуальных систем поддержки принятия решения на основе нетрадиционных логик // Вопросы кибернетики: Сборник статей / Под. ред. В.Г. Беликова, А.Е. Никольского. – М.: Издательство «Спутник +», 2014. С. 113-132.
5. Еремеев А.П. Применение обучения с подкреплением в интеллектуальных системах реального времени // Труды Конгресса по интеллектуальным системам и информационным технологиям IS&IT'14. Научное издание в 4-х томах. – М.: Физматлит, 2014. – Т.1. С. 263-271.
6. Алехин Р.В., Варшавский П.Р. Реализация прецедентного модуля для интеллектуальной системы поддержки принятия решений // Четырнадцатая национальная конференция по искусственному интеллекту с международным участием КИИ-2014 (24-27 сентября 2014 г., г. Казань, Россия): Труды конференции. - Казань: Изд-во РИЦ «Школа», 2014. - Т.2. С. 5-13.
7. Еремеев А.П., Королев Ю.И. Верификация моделей процессов на основе темпоральных сетей Петри // Четырнадцатая национальная конференция по искусственному интеллекту с международным участием КИИ-2014 (24-27 сентября 2014 г., г. Казань, Россия): Труды конференции. - Казань: Изд-во РИЦ «Школа», 2014. - Т.2. С. 22-30.
8. Куриленко И.Е., Д.А. Шорникова Реализация подсистемы временного вывода на базе точечно-интервальной временной логики для систем поддержки принятия решений реального времени // Четырнадцатая национальная конференция по искусственному интеллекту с международным участием КИИ-2014 (24-27 сентября 2014 г., г. Казань, Россия): Труды конференции. - Казань: Изд-во РИЦ «Школа», 2014. - Т.1. С. 50-58.
9. Еремеев А.П., Королев Ю.И. Анализ и верификация раскрашенных сетей Петри реального времени с поддержкой логики Аллена // Открытые семантические технологии проектирования интеллектуальных систем (OSTIS-2014): материалы IV Междунар. научн.-техн. конф. (Минск, февраль 2014), – Минск: БГУИР, 2014. С. 461-464.

10. А.П. Еремеев, П.А. Бутырин, П.Р. Варшавский, Р.В. Алехин Реализация компьютерных средств обучения с использованием технологии wiki на примере базы знаний по электротехнике // Труды Междунар. научно-метод. конф. «Информатизация инженерного образования» ИНФОРИНО-2014, 15-16 апреля 2014 г., Москва, Изд. МЭИ, 2014, С. 57-60.
11. А.П. Еремеев, И.Е. Куриленко Применение перспективных информационных технологий на основе виртуализации в учебном процессе // Труды Междунар. научно-метод. конф. «Информатизация инженерного образования» ИНФОРИНО-2014, 15-16 апреля 2014 г., Москва, Изд. МЭИ, 2014, С. 61-64.
12. Куриленко И.Е. Построение нечеткой точечной темпоральной логики // Труды XXII международной научно-технической конференции «Информационные средства и технологии». 18-20 ноября 2014 г., в 3 томах. Т. 1. –М.: Издательский дом МЭИ, 2014, –С. 125-128.
13. Куриленко И.Е., Шорникова Д.А. Алгоритмы вывода для расширенной точно-интервальной темпоральной логики // Труды XXII международной научно-технической конференции «Информационные средства и технологии». 18-20 ноября 2014 г., в 3 томах. Т. 1. –М.: Издательский дом МЭИ, 2014, –С. 129-136.
14. Королев Ю.И. // Труды XXII международной научно-технической конференции «Информационные средства и технологии». 18-20 ноября 2014 г., в 3 томах. Т. 1. –М.: Издательский дом МЭИ, 2014, –С. 110-115.
15. Королев Ю.И. Темпоральные сети Петри с поддержкой логики Аллена: методы анализа // Нечеткие системы и мягкие вычисления (НСМВ-2014): труды Шестой всероссийской научно-практической конференции (г. Санкт-Петербург, 27-29 июня, 2014 г.). - в 2 т. - СПб: Политехника-сервис, 2014. - Т.1. С. 81-89.
16. Алехин Р.В. Использование структурного отображения для реализации поиска решения на основе прецедентов // Радиоэлектроника, электротехника и энергетика: XX Международная научно-техническая конференция студентов и аспирантов: Тезисы докладов в 4 томах, Т. 2. – М.: Издательский дом МЭИ, 2014, С. 21-22.
17. Грачева О.В. Исследование и разработка методов автоматического формирования метаанных для информационных Интернет-ресурсов // Радиоэлектроника, электротехника и энергетика: XX Международная научно-техническая конференция студентов и аспирантов: Тезисы докладов в 4 томах, Т. 2. – М.: Издательский дом МЭИ, 2014, С. 27.
18. Королев Ю.И. Моделирование интеллектуальных систем с помощью временных сетей Петри // Радиоэлектроника, электротехника и энергетика: XX Международная научно-техническая конференция студентов и аспирантов: Тезисы докладов в 4 томах, Т. 2. – М.: Издательский дом МЭИ, 2014, С. 32.
19. Королев Ю.И. Моделирование и методы анализа процессов в системах на основе графоориентированных формализмов и темпоральных логик // Материалы Третьей Международной научно-практической конференции «Социальный компьютеринг: основы, технологии развития, социально- гуманитарные эффекты» (ISC-14): Сборник статей и тезисов, – М: РИЦЦ МГГУ им. М.А. Шолохова, 2014, С. 135-139.
20. Еремеев А.П., Королев Ю.И. Раскрашенные сети Петри как инструмент моделирования интеллектуальных динамических систем // Научная сессия НИЯУ МИФИ-2014. Аннотации докладов. В 3 томах. - М.: НИЯУ МИФИ, 2014. - Т.3. Кибербезопасность. Экономические и правовые проблемы инновационного развития атомной отрасли. Методология профессионального и общего образования. Тематические секции обособленных подразделений НИЯУ МИФИ. С. 140.

21. Вагин В.Н., Еремеев А.П. Научная школа искусственного интеллекта в Московском энергетическом институте на базе кафедры прикладной математики: становление и результаты // Вестник МЭИ. – 2015. – № 2. – С. 29-37.
22. Еремеев А.П., Королев Ю.И. Анализ и верификация моделей процессов в сложных динамических системах // Искусственный интеллект и принятие решений. – 2015. – № 1. – С. 45-56.
23. Варшавский П.Р., Алехин Р.В., Ар Кар Мью, Зо Лин Кхаинг. Реализация прецедентного модуля для интеллектуальных систем // Программные продукты и системы. – 2015. – №2. – С. 26-31.
24. Eremeev A.P., Kurilenko I.E., Varshavskiy P.R. Temporal Case-Based Reasoning Systems for Automatic Parking Complex // International Journal of Computer, Electrical, Automation, Control and Information Engineering. – 2015. – Vol. 9, No 5. – pp. 1180-1186.
25. Еремеев А.П., Ивлиев С.А. Анализ и диагностика сложных патологий зрения на основе вейвлет-преобразований и нейросетевого подхода // Интегрированные модели и мягкие вычисления в искусственном интеллекте. Сборник научных трудов VIII-й Международной научно- практической конференции (Коломна, 18-20 мая 2015 г.). В 2-х томах. – М.: Физматлит, 2015. – Т. 2. – С. 589-595.
26. Куриленко И.Е. Некоторые алгоритмы вывода для расширенной точечно-интервальной временной логики // Интегрированные модели и мягкие вычисления в искусственном интеллекте. Сборник научных трудов VIII-й Международной научно-практической конференции (Коломна, 18-20 мая 2015 г.). В 2-х томах. – М.: Физматлит, 2015. – Т. 1. – С. 190-199.
27. Куриленко И.Е., Шорникова Д.А. Пошаговые алгоритмы вывода для точечной временной логики // Интегрированные модели и мягкие вычисления в искусственном интеллекте. Сборник научных трудов VIII-й Международной научно-практической конференции (Коломна, 18-20 мая 2015 г.). В 2-х томах. – М.: Физматлит, 2015. – Т. 1. – С. 200-207.
28. Алехин Р.В., Варшавский П.Р. Применение прецедентного модуля для решения задач экспертного диагностирования // Интегрированные модели и мягкие вычисления в искусственном интеллекте. Сборник научных трудов VIII-й Международной научно-практической конференции (Коломна, 18-20 мая 2015 г.). В 2-х томах. – М.: Физматлит, 2015. – Т. 1. – С. 165-173.
29. Варшавский П.Р., Кожухов А.А. Разработка подсистемы прогнозирования с использованием статистических и экспертных методов // Интегрированные модели и мягкие вычисления в искусственном интеллекте. Сборник научных трудов VIII-й Международной научно- практической конференции (Коломна, 18-20 мая 2015 г.). В 2-х томах. – М.: Физматлит, 2015. – Т. 1. – С. 174-180.
30. Еремеев А.А., Еремеев А.П. OLAP-ориентированный подход к моделированию гранулированных темпоральных тенденций и запросы к ним // Современные технологии в задачах управления, автоматизации обработки информации: Труды XXIV Международной научно-технической конференции (14-20 сентября 2015 г., Алушта). – М.: Издательский дом МЭИ, 2015. – С. 56-57.
31. Еремеев А.П., Ивлиев С.А. Диагностика заболеваний зрения на основе нейронных сетей // Современные технологии в задачах управления, автоматизации обработки информации: Труды XXIV Международной научно-технической конференции (14-20 сентября 2015 г., Алушта). – М.: Издательский дом МЭИ, 2015. – С. 122-123.
32. Анисимов Д.Н., Еремеев А.П., Колосов О.С., Цапенко И.В., Зуева М.В. Применение методов искусственного интеллекта при построении систем диагностики глазных заболеваний // Современные технологии в задачах управления, автоматизации обработки информации: Труды XXIV Международной научно-технической конференции (14-20 сентября 2015 г., Алушта). – М.: Издательский дом МЭИ, 2015. – С. 24-29.
33. Алехин Р.В., Варшавский П.Р. Проектирование базы знаний интеллектуальной системы, основанной на прецедентах // Современные технологии в задачах управления, автоматизации

- обработки информации: Труды XXIV Международной научно-технической конференции (14-20 сентября 2015 г., Алушта). – М.: Издательский дом МЭИ, 2015. – С. 40-41.
34. Варшавский П.Р., Кожухов А.А. Реализация прототипа подсистемы прогнозирования для интеллектуальной системы поддержки принятия решений (ИСППР) // Современные технологии в задачах управления, автоматизации обработки информации: Труды XXIV Международной научно-технической конференции (14-20 сентября 2015 г., Алушта). – М.: Издательский дом МЭИ, 2015. – С. 45-46.
35. Еремеев А.П., Королев Ю.И., Кутепов В.П., Фальк В.Н. Формализм сетей Петри с поддержкой темпоральных зависимостей // Труды Конгресса по интеллектуальным системам и информационным технологиям «IS&IT'15». Научное издание в 3-х томах. – Таганрог: Изд-во ЮФУ, 2015. – Т. 2. – С. 118-131.
36. Королев Ю.И. Верификация моделей процессов в динамических системах по методу Model Checking // Открытые семантические технологии проектирования интеллектуальных систем = Open Semantic Technologies for Intelligent Systems (OSTIS-2015): материалы V междунар. науч.-техн. конф. (Минск, 19-21 февраля 2015 года) / редкол. : В. В. Голенков [и др.]. – Минск: БГУИР, 2015. – С. 545-548.
37. Королев Ю.И. Инструментарий для разработки моделей сложных динамических систем на основе темпоральных сетей Петри // Интеллектуальные системы и технологии: современное состояние и перспективы. Сборник научных трудов III-ей Международной летней школы-семинара по искусственному интеллекту для студентов, аспирантов и молодых ученых (Тверь – Протасово, 1-5 июля 2015 г.) – Тверь: Изд-во Тверского государственного технического университета, 2015. – С. 13-22.
38. Еремеев А.П., Королев Ю.И. Подход к анализу процессов в динамических системах на основе темпоральных сетей Петри // Научная сессия НИЯУ МИФИ-2015. Аннотации докладов. В 3 томах. – М.: НИЯУ МИФИ, 2015 – Т.3. – С. 121.
39. Королев Ю.И. Разработка моделей процессов в сложных системах с использованием модифицированных сетей Петри // Научная сессия НИЯУ МИФИ-2015. Аннотации докладов. В 3 томах. – М.: НИЯУ МИФИ, 2015 – Т.3. – С. 158.
40. Вагин В.Н., Еремеев А.П., Гулякина Н.А. О формализации темпоральных рассуждений в интеллектуальных системах // Открытые семантические технологии проектирования интеллектуальных систем (OSTIS-2016 Open Semantic Technologies for Intelligent Systems). Материалы VI международной научно-технической конференции (Минск, 18-20 февраля 2016 года), БГУИР, 2016. С. 275-282.
41. Еремеев А.П., Королев Ю.И. Разработка программного обеспечения для моделирования систем на основе темпоральных сетей Петри // Открытые семантические технологии проектирования интеллектуальных систем (OSTIS-2016 Open Semantic Technologies for Intelligent Systems). Материалы VI международной научно-технической конференции (Минск, 18-20 февраля 2016 года), БГУИР, 2016. С. 283-288.
42. Куриленко И.Е. Разработка методов рассуждений на основе темпоральных прецедентов для интеллектуальных систем // Открытые семантические технологии проектирования интеллектуальных систем (OSTIS-2016 Open Semantic Technologies for Intelligent Systems). Материалы VI международной научно-технической конференции (Минск, 18-20 февраля 2016 года), БГУИР, 2016, С. 289-294.
43. А.П. Еремеев, Н.В. Чибизова Инструментальный программный комплекс «СИМПР-2015» и его применение при обучении студентов по направлению «Прикладная математика и информатика» // Труды Международной научно-практической конференции «Информатизация инженерного

образования» – ИНФОРИНО-2016. (Москва, 12-13 апреля 2016 г.). – М.: Издательский дом МЭИ, 2016. С. 125-130.

44. Alexander Eremeev, Pavel Varshavskiy, Roman Alekhin Case-Based Reasoning Module for Intelligent Decision Support Systems // Proceedings of the First International Scientific Conference “Intelligent Information Technologies for Industry” (ITI'16), Vol. 1. Part III. Publisher Springer International Publishing, pp. 207-216.

45. Alexander P. Eremeev, Yury I. Korolev. Temporal Coloured Petri Nets as a Tool for Modelling of Complex Dynamic Systems // Proceedings of the First International Scientific Conference “Intelligent Information Technologies for Industry” (ITI'16), Vol. 1. Part V. Publisher Springer International Publishing, pp. 339-348.

46. Eremeev A.P., Kozukhov A.A. Development of an Integrated Environment for Intelligent Decision Support Systems Based on Forecasting and Reinforcement Learning // INTERNATIONAL ACADEMIC FORUM AMO – SPITSE – NESEFF (20–25 June 2016, Moscow – Smolensk): Proceedings of the International Academic Forum AMO – SPITSE – NESEFF. –Smolensk: Publishing «Universum». – 2016. P. 61.

47. Еремеев А.П. Развитие аппарата таблиц решений в контексте создания гибридных интеллектуальных систем семиотического типа // Гибридные и синергетические интеллектуальные системы: материалы III Всероссийской Поспеловской конференции с международным участием / под. ред. Д-ра техн. наук, проф. А.В. Колесникова. – Калининград: Изд-во БФУ им. И. Канта, 2016. С. 121-132.

48. Еремеев А.П., Кожухов А.А. Разработка интегрированной среды на основе методов прогнозирования и обучения с подкреплением для интеллектуальных систем реального времени // Труды Конгресса по интеллектуальным системам и информационным технологиям «IS&IT'16». Научное издание в 3-х томах. – Таганрог: Изд-во ЮФУ, 2016. – Т.1. - С. 140-149.

49. Колосов О.С., Еремеев А.П., Пронин А.Д., Антохин С.Н., Короленкова В.А., Зуева М.В., Цапенко И.В. Оценка частотных свойств динамического объекта импульсной последовательностью фиксированной частоты // Современные технологии в задачах управления, автоматике и обработки информации: Сборник трудов XXV Международной научно-технической конференции, 14-20 сентября 2016 г., Алушта. – М.: Технология, 2016. - С. 55.

50. Еремеев А.П., Кожухов А.А. Анализ и разработка методов обучения с подкреплением на основе темпоральных различий для интеллектуальных систем реального времени // XV национальная конференция по искусственному интеллекту с международным участием КИИ-2016 (3–7 октября 2016 г., г. Смоленск, Россия). Труды конференции. В 3-х томах., Смоленск: Универсум, 2016, Том 1, с. 323-331.

51. Алехин Р.В., Варшавский П.Р., Кожевников А.В. Подсистема анализа и формирования сборника wiki-статей на основе методов аналогий и прецедентов // XV национальная конференция по искусственному интеллекту с международным участием КИИ-2016 (3–7 октября 2016 г., г. Смоленск, Россия). Труды конференции. В 3-х томах., Смоленск: Универсум, 2016, Том 3, с. 5-14.

52. Куриленко И.Е. Применение нечеткой временной логики реального времени при построении подсистемы диагностики и мониторинга для интеллектуальной системы управления крупным парковочным комплексом //XV национальная конференция по искусственному интеллекту с международным участием КИИ-2016 (3–7 октября 2016 г., г. Смоленск, Россия). Труды конференции. В 3-х томах., Смоленск: Универсум, 2016, Том 3, с. 107-115.