

ЗАКЛЮЧЕНИЕ ДИССЕРТАЦИОННОГО СОВЕТА 24.2.415.06,
СОЗДАННОГО НА БАЗЕ ФЕДЕРАЛЬНОГО ГОСУДАРСТВЕННОГО
АВТОНОМНОГО ОБРАЗОВАТЕЛЬНОГО УЧРЕЖДЕНИЯ ВЫСШЕГО
ОБРАЗОВАНИЯ «ТОМСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ
СИСТЕМ УПРАВЛЕНИЯ И РАДИОЭЛЕКТРОНИКИ» (ТУСУР)
МИНИСТЕРСТВА НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ РФ
ПО ДИССЕРТАЦИИ НА СОИСКАНИЕ УЧЕНОЙ СТЕПЕНИ
ДОКТОРА НАУК

аттестационное дело № _____

решение диссертационного совета от 25.12.2025 г. № 3

О присуждении Сарину Константину Сергеевичу, гражданину Российской Федерации, ученой степени доктора технических наук.

Диссертация «Методология построения интерпретируемых нечетких классификаторов, основанных на правилах» по специальности 2.3.8 – «Информатика и информационные процессы» принята к защите 25 сентября 2025 г. (протокол заседания № 2) диссертационным советом 24.2.415.06, созданным на базе ТУСУРа (634050, г. Томск, пр. Ленина, 40, приказ № 827/нк от 20.04.2023 г.).

Соискатель Сарин Константин Сергеевич, 28 марта 1980 года рождения, диссертацию на соискание ученой степени кандидата технических наук «Гибридные алгоритмы анализа данных на основе компактных и точных нечетких систем типа Такаги-Сугено» защитил в 2016 году в диссертационном совете, созданном на базе ТУСУРа. Работает доцентом кафедры компьютерных систем в управлении и проектировании (КСУП) ТУСУРа.

Диссертация выполнена на кафедре КСУП ТУСУРа.

Научный консультант – доктор технических наук профессор Ходашинский Илья Александрович, профессор кафедры КСУП ТУСУРа.

Официальные оппоненты – Курейчик Владимир Викторович, д.т.н., профессор, зав. кафедрой систем автоматизированного проектирования ФГАОУ ВО «Южный федеральный университет», г. Таганрог; Катасёв Алек-

сей Сергеевич, д.т.н., профессор, профессор кафедры систем информационной безопасности ФГБОУ ВО «Казанский национальный исследовательский технический университет им. А.Н. Туполева – КАИ»; Сырякин Владимир Иванович, д.т.н., профессор, профессор кафедры управления качеством ФГАОУ ВО «Национальный исследовательский Томский государственный университет» – дали положительные отзывы на диссертацию.

Ведущая организация ФГБОУ ВО «Воронежский государственный университет» в своем положительном отзыве, составленном Медведевым С.Н., к.т.н., доцентом, доцентом кафедры вычислительной математики и прикладных информационных технологий, утвержденном Костиным Д.В., д.ф.м.н., доцентом, и.о. проректора по науке, инновациям и цифровизации, указала, что содержание диссертации и автореферата свидетельствуют о высоком уровне проведенных исследований, отличающихся глубиной проработки, оригинальностью подходов и убедительностью результатов. Заявленные научные результаты обладают научной новизной и вносят существенный вклад в развитие методологии построения интеллектуальных систем. В исследовании представлены новые решения, совокупность которых можно квалифицировать как научное достижение в области построения систем объяснимого искусственного интеллекта. Диссертация Сарина Константина Сергеевича по содержанию и представленным результатам соответствует паспорту специальности 2.3.8 – «Информатика и информационные процессы». Научные и практические результаты, полученные при проведении диссертационного исследования, и полнота их освещения в публикациях соискателя позволяют считать, что диссертация является завершенной научно-квалификационной работой, удовлетворяет требованиям пп. 9 - 14 «Положения о присуждения ученых степеней», предъявляемым к докторским диссертациям и утвержденным постановлением правительства РФ от 24.09.2013 г. № 842 (в редакции от 16.10.2024 г.), а ее автор Сарин Константин Сергеевич заслуживает присуждения ученой степени доктора технических наук по специальности 2.3.8 – «Информатика и информационные процессы».

Соискатель имеет 88 опубликованных работ, в том числе по теме диссертации 59 работ, из них в рецензируемых научных изданиях из перечня ВАК опубликована 31 работа, 20 работ опубликованы в рецензируемых научных изданиях, индексируемых в международных базах Scopus и Web of Science. Получены восемь свидетельств о государственной регистрации программ для ЭВМ. Публикации отражают проведенное исследование. В диссертации отсутствуют недостоверные сведения об опубликованных соискателем работах. Результаты, составляющие научную новизну, представлены соискателем в рецензируемых научных изданиях без соавторов. Наиболее значимые работы:

1. **Сарин К.С.** Гибридный алгоритм смешанной многокритериальной оптимизации «кукушкин поиск» с генетическим оператором скрещивания / К.С. Сарин // Искусственный интеллект и принятие решений. – 2024. – № 2. – С. 87–105; (уровень 1 в Белом списке, категория 1 в Перечне ВАК, входит в RSCI) (1,35 п.л.);

2. **Сарин К.С.** Дискретный алгоритм оптимизации на основе распределения вероятностей с трансформацией целевых значений / К.С. Сарин // Программирование. – 2024. – № 6. – С. 35–47; (уровень 1 в Белом списке, входит в RSCI) (0,92 п.л.);

3. **Сарин К.С.** Метод баггинга и отбор признаков в построении нечетких классификаторов для распознавания рукописной подписи / К.С. Сарин, И.А. Ходашинский // Компьютерная оптика. – 2019. – Т. 43, № 5. – С. 833–845; (уровень 1 в Белом списке, входит в RSCI) (личный вклад соискателя: построение нечеткого классификатора с отбором признаков с помощью трехэтапного метода, проведение экспериментов и анализ результатов, 0,94 п.л. / 1,38 п.л.);

4. Ходашинский И.А. Отбор классифицирующих признаков с помощью популяционного случайного поиска с памятью / И.А. Ходашинский, **К.С. Сарин** // Автоматика и телемеханика. – 2019. – № 2. – С. 161–172; (уровень 1 в Белом списке, входит в RSCI) (личный вклад соискателя: разработка бинар-

ного метаэвристического алгоритма для отбора признаков в нечетком классификаторе, проведение экспериментов и анализ результатов, 0,42 п.л. / 0,63 п.л.);

5. **Sarin K.** Extracting Knowledge from Images of Meanders and Spirals in the Diagnosis of Patients with Parkinson's Disease / K. Sarin, I. Hodashinsky, M. Svetlakov // Pattern Recognition and Image Analysis. Advances in Mathematical Theory and Applications. – 2022. – Vol. 32, No. 3. – P. 658–664; (уровень 2 в Белом списке, входит в RSCI) (личный вклад соискателя: формулирование цели и задач, построение генетических нечетких классификаторов, графическое представление базы правил для объяснения результатов прогноза, 0,42 п.л. / 0,6 п.л.);

6. **Сарин К.С.** Методика построения интерпретируемых нечетких классификаторов для систем объяснимого искусственного интеллекта / К.С. Сарин // Доклады ТУСУР. – 2025. – Т. 28, № 2. – С. 73–87; (уровень 3 в Белом списке, категория 2 в Перечне ВАК) (1,74 п.л.);

7. **Сарин К.С.** Метод разделения данных для построения прогностических моделей машинного обучения / К.С. Сарин // Доклады ТУСУР. – 2024. – Т. 27, № 4. – С. 88–96; (уровень 3 в Белом списке, категория 2 в Перечне ВАК) (0,95 п.л.);

8. **Сарин К.С.** Нечеткий классификатор типа Min-Max: обзор / К.С. Сарин // Доклады ТУСУР. – 2023. – Т. 26, № 1. – С. 65–75; (уровень 3 в Белом списке, категория 2 в Перечне ВАК) (1,32 п.л.);

9. **Сарин К.С.** Адаптированный алгоритм градиентного спуска для настройки параметров нечеткого классификатора / К.С. Сарин // Информационные и математические технологии в науке и управлении. – 2025. – № 2(38). – С. 18–31; (уровень 4 в Белом списке, категория 2 в Перечне ВАК) (1,05 п.л.);

10. Метод синтеза согласующих цепей на основе смешанной многокритериальной оптимизации / М. В. Черкашин, **К. С. Сарин**, И. А. Ходашинский, М. О. Светлаков // Вестник Рязанского государственного радиотехнического университета. – 2025. – № 93. – С. 3–18; (уровень 3 в Белом списке, ка-

тегория 2 в Перечне ВАК) (личный вклад соискателя: разработка алгоритма смешанной многокритериальной оптимизации, разработка программных средств для синтеза цепей согласования с помощью алгоритма смешанной многокритериальной оптимизации, 0,64 п.л. / 1,27 п.л.).

На диссертацию и автореферат поступило 10 положительных отзывов из следующих организаций: Московский государственный технический университет имени Н.Э. Баумана (**Карпенко А.П.**, д.ф.-м.н., профессор, зав. кафедрой «Системы автоматизированного проектирования»); филиал национального исследовательского университета МЭИ в г. Смоленске (**Дли М.И.**, д.т.н., профессор, зам. директора по научной работе); Иркутский государственный университет путей сообщения (**Аршинский Л.В.**, д.т.н., доцент, профессор кафедры информационных систем и защиты информации); Белгородский государственный технологический университет им. В.Г. Шухова (**Синюк В.Г.**, к.т.н., доцент, профессор кафедры программного обеспечения вычислительной техники и автоматизированных систем); Федеральный исследовательский центр «Информатика и управление» РАН, г. Москва (**Забежайло М.И.**, д.ф.-м.н., старший научный сотрудник, главный научный сотрудник Отдела № 16); Институт проблем управления им. В.А. Трапезникова РАН, г. Москва (**Гергет О.М.**, д.т.н., доцент, ведущий научный сотрудник лаборатории киберфизических систем); Санкт-Петербургский государственный университет аэрокосмического приборостроения (**Колесникова С.И.**, д.т.н., доцент, профессор кафедры компьютерных технологий и программной инженерии института вычислительных систем и программирования); Кузбасский государственный технический университет им. Т.Ф. Горбачёва, г. Кемерово (**Пимонов А.Г.**, д.т.н., профессор, зав. кафедрой прикладных информационных технологий); Институт вычислительного моделирования Сибирского отделения РАН, г. Красноярск (**Исаева О.С.**, д.т.н., ведущий научный сотрудник отдела вычислительной механики деформируемых сред); Институт систем энергетики им. Л.А. Мелентьева Сибирского отделения РАН, г. Иркутск (**Массель Л.В.**, д.т.н., профессор, главный научный сотрудник, заведующий отделом «Системы искусственного интеллекта в энергетике»).

В отзывах на автореферат указаны следующие основные замечания: не описана методика проведения эксперимента по поиску оптимума стандартных тестовых функций разработанными алгоритмами смешанной и дискретной оптимизации; не приведены результаты показателей точности и интерпретируемости построенных нечетких классификаторов, а также их аналогов в ходе проведения экспериментов; неясно, как нечеткий классификатор будет интегрирован в систему объяснимого искусственного интеллекта, либо он сам является реализацией такой системы; не приведены параметры алгоритмов смешанной и дискретной оптимизации в описании результатов экспериментов по поиску оптимума стандартных тестовых функций; не представлены характеристики используемых в экспериментах наборов данных, таких как количество образцов, количество признаков, количество классов; не приведены характеристики выборки (объем, доля положительных случаев и пр.) для построения классификатора прогнозирования эффективности реабилитации пациентов после перенесенной инфекции COVID-19, а также не показаны результаты сравнения с альтернативными моделями; недостаточно детально освещен вопрос выбора метаэвристик «кукушкин поиск» и генетического оператора скрещивания.

Выбор официальных оппонентов д.т.н. профессора **Курейчика В.В.**, д.т.н., профессора **Катасёва А.С.**, д.т.н. профессора **Сырямкина В.И.** обоснован их достижениями в области применения методов распознавания образов, кластерного анализа, нейросетевых и нечетких технологий, решающих правил, мягких вычислений при анализе разнородной информации. **Курейчик В.В.** является признанным специалистом в области создания интеллектуальных систем, моделей и методов метаэвристической оптимизации. **Катасёв А.С.** специализируется на применении нейросетевых и нечетких технологий для создания систем поддержки принятия решений различного назначения. **Сырямкин В.И.** является известным специалистом в области распознавания образов, нейросетевых и нечетких технологий цифровой обработки и анализа информации.

Вышеуказанные специалисты не являются соавторами соискателя в

опубликованных им работах, не являются работниками организации, где выполнялась диссертация или где работает соискатель, его научный консультант, а также где ведутся научно-исследовательские работы, по которым соискатель ученой степени является руководителем или работником организации-заказчика, или исполнителем (соисполнителем). Занимаемые ими должности и выполняемая работа не влечет за собой конфликт интересов, способный повлиять на принимаемые решения по вопросам государственной научной аттестации. Официальные оппоненты являются работниками разных организаций.

Выбор **Воронежского государственного университета** в качестве ведущей организации обоснован тем, что 1) на базе университета действует совет по защите диссертаций на соискание ученой степени кандидата наук, на соискание ученой степени доктора наук по специальности 2.3.8. – «Информатика и информационные процессы» (технические науки); 2) сотрудники университета проводят фундаментальные и прикладные научные исследования высокого уровня, входящие в соответствующую теме диссертации область исследований, и способны определить научную и практическую ценность диссертации. Наиболее близкими к тематике диссертации являются публикации ученых ведущей организации: Леденевой Т.М., Азарновой Т.В., Подвального С.Л., Махортова С.Д. и некоторых других. Отзыв сформирован на кафедре вычислительной математики и прикладных информационных технологий, заведующая кафедрой которой **Леденева Т.М.** является известным специалистом в области нечетких множеств и нечетких систем. Ведущая организация не имеет договорных отношений с соискателем.

Диссертационный совет констатирует, что цель исследования, состоящая в повышении эффективности обнаружения закономерностей в данных с помощью разработки и применения методологии построения интерпретируемых нечетких классификаторов, основанных на правилах, является достигнутой.

Диссертационный совет отмечает, что на основании выполненных

соискателем исследований:

предложено решение проблемы построения интерпретируемых нечетких классификаторов, основанных на правилах;

разработана новая методология построения интерпретируемых нечетких классификаторов, основанных на правилах, отличительной особенностью, которой является совместное применение методов и алгоритмов формирования обучающих и валидационных выборок, смешанной многокритериальной оптимизации и стратегий выбора классификатора из сформированного Парето-множества;

разработан гибридный метаэвристический алгоритм многокритериальной оптимизации для поиска решений в смешанном дискретно-непрерывном пространстве, отличительной особенностью которого является совместное применение метаэвристики «кукушкин поиск» для формирования непрерывных элементов решения и генетического оператора скрещивания для формирования дискретных элементов решения;

разработан метаэвристический алгоритм однокритериальной оптимизации на основе распределения вероятностей значений переменных для поиска в дискретном пространстве. Особенностью алгоритма является построение распределения вероятностей с помощью трансформации целевых значений решений в их весовые коэффициенты;

предложена адаптация алгоритма градиентного спуска для оптимизации параметров нечеткого классификатора, отличительной особенностью которого является представление нечеткого классификатора в виде системы разделяющих функций и нормирование их значений в целевой функции оптимизации;

предложен новый метод разделения данных при построении моделей машинного обучения, основанный на применении бинарного метаэвристического алгоритма для формирования обучающей и валидационной выборок близких по характеристикам к исходным данным;

предложена методика построения нечетких классификаторов с соблю-

дением компромисса «точность – интерпретируемость», отличительной особенностью которой является применение новых методов и алгоритмов смешанной многокритериальной оптимизации, формирования обучающих и валидационных выборок, оптимизации параметров функций принадлежности нечетких классификаторов.

Теоретическая значимость исследования обоснована тем, что

изложены научные положения, направленные на развитие технологии построения интерпретируемых систем интеллектуального анализа данных, а также прикладной результат – создание инструментария, позволяющего решать одну из ключевых проблем разработки информационных систем, основанных на знаниях – проблему оптимизации баз знаний;

применительно к проблематике диссертации эффективно использованы современные методы оптимизации, интеллектуального анализа данных, теории нечетких множеств, теории вероятностей и математической статистики, что обеспечило получение достоверных результатов, подтвержденных экспериментами на общедоступных наборах данных из различных предметных областей и сравнением этих результатов с известными интерпретируемыми моделями машинного обучения;

изложен новый алгоритм многокритериальной оптимизации для поиска решений в смешанном дискретно-непрерывном пространстве, что позволило улучшить результаты поиска по сравнению с широко используемым генетическим алгоритмом с недоминируемой сортировкой NSGAII на общепринятых тестах ZDT и DTLZ;

изложен новый алгоритм дискретной оптимизации, позволивший статистически значимо улучшить эффективность поиска в бинарном пространстве по сравнению с широко используемыми генетическим алгоритмом и алгоритмом роящихся частиц на общепринятых унимодальных и мультимодальных эталонных тестовых функциях;

проведена модернизация алгоритма градиентного спуска в части представления нечеткого классификатора в виде системы разделяющих функций

и нормирование их значений в целевой функции оптимизации, что позволило повысить точность классификаторов, построенных метаэвристическим алгоритмом;

проведена модернизация метода формирования обучающих и валидационных данных, позволившая статистически значимо повысить интерпретируемость и точность классификации.

Значение полученных соискателем результатов исследования для практики подтверждается тем, что

разработанная методика и входящие в неё алгоритмы *внедрены* в виде программного обеспечения, которое используется в отделении терапии Томского НИИ Курортологии и физиотерапии ФФГБУ ФНКЦ МРиК ФМБА России для прогнозирования эффективности реабилитации пациентов после перенесенной коронавирусной инфекции COVID-19; получена база из трех продукционных правил, объясняющая связь между показателями здоровья пациента и эффектом от реабилитации; из 58 исходных признаков в классификаторе используется семь;

программная реализация алгоритма смешанной многокритериальной оптимизации *внедрена* в НИИ МЭС и ООО «Микроэлектронные системы» (г. Томск) для проектирования СВЧ усилителей различного назначения; тестирование на типовых задачах широкополосного согласования показало работоспособность и эффективность синтеза по сравнению с альтернативными методами;

программная реализация дискретного алгоритма оптимизации на основе распределения вероятностей с трансформацией целевых значений *внедрена* в экспериментальную версию интеллектуальной САПР «50ohm Tech Circuit Studio» (ООО «50ом Тех.») (г. Томск) и испытана в рамках опытной эксплуатации для синтеза секции ступенчатого СВЧ аттенюатора;

методика построения нечетких классификаторов и алгоритмы оптимизации *внедрены* в учебный процесс кафедры КСУП ТУСУРа для подготовки студентов, обучающихся по направлению 09.03.01 – «Информатика и вычис-

лительная техника».

Методика и алгоритмы применялись при выполнении следующих проектов: «Методы и алгоритмы построения нечетких адаптивных классификаторов для решения задач кибербезопасности», 2024-2025 гг. РНФ, № 24-21-00168; «Интерпретируемый нечеткий классификатор рукописных данных для диагностики нейродегенеративных заболеваний», 2022-2023 гг. РНФ, № 22-21-00021; «Методы и инструментальные средства построения самообучающихся систем, основанных на нечетких правилах», 2016-2018 гг. РФФИ, № 16-07-00034.

Предложенные соискателем алгоритмы применялись при выполнении следующих НИР: «Создание информационной системы защищенного управления гетерогенными сетями и устройствами, образующими инфраструктуру «интернета вещей», выполненной в рамках государственного задания Министерства образования и науки Российской Федерации на 2017-2019 гг., проект № 2.3583.2017/4.6; «Теоретические основы человеко-машинных интерфейсов», выполненной в рамках государственного задания Министерства образования и науки Российской Федерации на 2017-2019 гг., проект № 8.9628.2017/8.9.

Оценка достоверности результатов исследования выявила, что
теория построена на известных, проверяемых общедоступных данных, согласуется с опубликованными экспериментальными данными по теме диссертации;

идея применения методов метаэвристической оптимизации, нечеткой логики и машинного обучения для повышения эффективности интерпретируемости нечетких классификаторов **базируется** на обобщении передового опыта, изложенного в научных публикациях по теме диссертации;

корректно **использованы** современные математические и статистические методы при проведении вычислительных экспериментов и анализе результатов;

установлено, что полученные соискателем результаты вычислительных экспериментов согласуются с аналогичными экспериментальными данными,

содержащимися в исследованиях, опубликованных по тематике диссертации.

Личный вклад соискателя состоит в: формулировании цели и задач исследования; разработке методологии построения интерпретируемых нечетких классификаторов, основанных на правилах; разработке и программной реализации алгоритмов однокритериальной и многокритериальной оптимизации для поиска решений в смешанном и дискретном пространстве, проведении экспериментов; разработке и программной реализации метода разделения данных, адаптированного алгоритма градиентного спуска для настройки параметров нечетких классификаторов, методики построения интерпретируемых нечетких классификаторов; интерпретации результатов экспериментов. Отдельные результаты получены совместно с соавторами публикаций.

В ходе защиты диссертации были высказаны следующие критические замечания: не раскрыто понятие эффективности, оно должно быть ассоциировано с затратами; методологию следовало бы изложить иначе, возможно, в виде некой иерархии, расписав на каждом уровне принципы, методы, алгоритмы, программные средства; в докладе, автореферате и диссертации отсутствует указание на максимальное и минимальное число правил в базе правил; не ясно, как подобраны значения параметров алгоритмов и почему эти значения не указаны в защищаемых положениях; остался невыясненным вопрос о лучшем методе из трех сравниваемых, почему не проведены сравнения эффективности двух аналогов CART и FARC-HD между собой.

Соискатель Сарин К.С. ответил на задаваемые ему в ходе заседания вопросы, частично согласился с высказанными замечаниями и привел собственную аргументацию: в диссертационном исследовании критериями эффективности нечетких классификаторов являются точность и интерпретируемость, по каждому из показателей данных критериев нечеткие классификаторы, разработанные в диссертации, сравнивались с аналогами с применением статистических тестов; минимальное число правил равно числу классов в исходном наборе данных, максимальное число ограничено размером вектора решений; значения параметров алгоритмов подобраны экспериментальным

путем и только для указанных в тексте диссертации наборов данных, для других наборов будут другие значения этих параметров; были проведены статистические сравнения между классификаторами, разработанными в диссертационном исследовании, и аналогами, сравнение выявило, что классификаторы, разработанные в диссертационном исследовании, по точности статистически неразличимы, однако по интерпретируемости существенно опережают аналоги, выяснять лучший из аналогов не нужно.

На заседании 25 декабря 2025 г. диссертационный совет принял решение: присудить Сарину К.С. ученую степень доктора технических наук по специальности 2.3.8 – «Информатика и информационные процессы» за разработку теоретических положений, совокупность которых можно квалифицировать как научное достижение в области построения систем объяснимого искусственного интеллекта, и решение научной проблемы построения интерпретируемых нечетких классификаторов.

При проведении тайного голосования диссертационный совет в количестве 11 человек, из них 5 докторов наук по специальности рассматриваемой диссертации, участвовавших в заседании, из 14 человек, входящих в состав совета, проголосовали: за – 11, против – 0, недействительных бюллетеней – 0.

Заместитель председателя
диссертационного совета

Боровской Игорь Георгиевич

Ученый секретарь
диссертационного совета

Костюченко Евгений Юрьевич

25.12.2025 г.



Подпись

УДОСТОВЕРЯЮ

Ученый секретарь

Е.В. Прокопчук