

ЗАКЛЮЧЕНИЕ ДИССЕРТАЦИОННОГО СОВЕТА 24.1.224.03,
СОЗДАННОГО НА БАЗЕ ФЕДЕРАЛЬНОГО ГОСУДАРСТВЕННОГО
УЧРЕЖДЕНИЯ

«ФЕДЕРАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ ЦЕНТР
«ИНФОРМАТИКА И УПРАВЛЕНИЕ»
РОССИЙСКОЙ АКАДЕМИИ НАУК»,

ПО ДИССЕРТАЦИИ НА СОИСКАНИЕ УЧЕНОЙ СТЕПЕНИ ДОКТОРА НАУК

Аттестационное дело № _____

Решение диссертационного совета 24.1.224.03 от 25 июня 2026 г. № 14

О присуждении Яковлеву Константину Сергеевичу, гражданину Российской Федерации, учёной степени доктора физико-математических наук.

Диссертация «Методы и алгоритмы эвристического поиска на графах регулярной декомпозиции в задачах планирования траекторий мобильных роботов» по специальности 1.2.1 – «Искусственный интеллект и машинное обучение» принята к защите 19.03.2026 г., протокол №9, диссертационным советом 24.1.224.03, созданным на базе Федерального государственного учреждения «Федеральный исследовательский центр «Информатика и управление» Российской академии наук» (ФИЦ ИУ РАН), 119333, Москва, ул. Вавилова, д. 44, корп. 2, приказ Министерства образования и науки Российской Федерации № 1732/нк от 13.12.2022.

Соискатель Яковлев Константин Сергеевич, дата рождения 14.05.1983 г., в 2004 году закончил бакалавриат, а в 2006 году – магистратуру Российского университета дружбы народов по специальности «Прикладная математика и информатика». Диссертацию на соискание учёной степени кандидата физико-математических наук «Исследование методов и разработка алгоритмов автоматического планирования траектории на плоскости» защитил в 2010 году в диссертационном совете Института программных систем им. А.К. Айламазяна Российской академии наук. В настоящее время работает ведущим научным сотрудником отдела №71 (интеллектуальных динамических систем и когнитивных исследований) ФИЦ ИУ РАН.

Диссертация выполнена в отделе №71 ФИЦ ИУ РАН.

Официальные оппоненты:

1. Скорыходов Владимир Александрович, доктор физико-математических наук, доцент, профессор Института математики, механики и компьютерных наук им. И.И. Воровича Федерального государственного автономного образовательного учреждения высшего образования «Южный федеральный университет»;

2. Жилякова Людмила Юрьевна, доктор физико-математических наук, ведущий научный сотрудник лаборатории №11 «Сетевых моделей в нейроинформатике и многоагентных системах» Федерального государственного бюджетного учреждения науки Институт проблем управления им. В.А. Трапезникова Российской академии наук;

3. Карпов Валерий Эдуардович, доктор технических наук, доцент, главный научный сотрудник лаборатории робототехники Курчатовского комплекса НБИКС-природоподобных технологий Федерального государственного бюджетного учреждения «Национальный исследовательский центр «Курчатовский институт»

дали положительные отзывы на диссертацию.

Ведущая организация – Федеральное государственное бюджетное учреждение науки Институт программных систем им. А.К. Айламазяна Российской академии наук – в своём положительном отзыве, подписанном кандидатом технических наук, старшим научным сотрудником исследовательского центра процессов управления Ардентовым Андреем Андреевичем и доктором физико-математических наук, доцентом, руководителем исследовательского центра процессов управления Сачковым Юрием Леонидовичем, указала:

Работа существенно развивает теоретические основы эвристического поиска при решении задач планирования. Автором предложены и строго обоснованы новые методы элиминации перебора, включая принцип обратного раскрытия состояний, оригинальные техники формирования мульти-ограничений в конфликтно-ориентированном планировании, а также динамическую подстройку параметра дискретизации для учёта геометрических ограничений. Для каждого из разработанных алгоритмов, использующих указанные техники, доказаны свойства полноты, оптимальности или ограниченной субоптимальности. Предложена новая парадигма гибридизации обучаемых (с помощью глубоких нейронных сетей) эвристических функций с классическими алгоритмами систематического поиска,

сохраняющая теоретические гарантии корректности решений вне зависимости от качества аппроксимации. Содержание диссертации соответствует паспорту специальности 1.2.1 – Искусственный интеллект и машинное обучение по пп. 2, 5, 6, 16, т.к. в ней предлагаются новые методы элиминации перебора (п. 16), проводится оценка качества и эффективности алгоритмических и программных решений для систем искусственного интеллекта (п. 2), предлагается совместное применения методов машинного обучения и классического математического моделирования (п. 5), в том числе для задач автоматизации управления роботами (п. 6). Автореферат полностью отражает основное содержание работы. Диссертация представляет собой законченную научно-квалификационную работу, результаты которой можно квалифицировать как научное достижение в области теоретических основ эвристического поиска, методов и алгоритмов автоматического планирования.

Выбор официальных оппонентов и ведущей организации обосновывается их достижениями в области искусственного интеллекта, робототехники, теории графов, дискретной оптимизации, что подтверждается их исследованиями и публикациями.

Соискатель имеет 145 опубликованных научных работ. По теме диссертации соискателем опубликовано 54 работы, из них: 12 публикаций в научных изданиях из Перечня ВАК, отнесенных к категориям К-1 или К-2; 3 публикации в зарубежных журналах, индексируемых в БД Scopus/WebOfScience, имеющих квартиль 1-2 и приравненных к К1 Списка ВАК; 26 публикаций в сборниках трудов конференций, индексируемых в БД Scopus/WebOfScience (в т.ч. 6 – в сборниках трудов конференций, имеющих рейтинг A/A* по CORE); 13 публикаций, индексируемых в РИНЦ.

Недостоверные сведения об опубликованных соискателем работах в диссертации отсутствуют. Диссертация соответствует п. 14 Положения о присуждении учёных степеней.

Наиболее значимые публикации Яковлева К.С. по теме диссертации:

1. Яковлев К.С., Макаров Д.А., Баскин Е.С. Метод автоматического планирования траектории беспилотного летательного аппарата в условиях ограничений на динамику полета // Искусственный интеллект и принятие решений, 4, 2014. С.3-17. (ВАК К1)

2. Макаров Д.А., Панов А.И., Яковлев К.С. Архитектура многоуровневой интеллектуальной системы управления беспилотными летательными аппаратами // Искусственный интеллект и принятие решений, 3, 2015. С.18-32. (ВАК К1)
3. Яковлев К.С., Баскин Е.С., Андрейчук А.А. Метод автоматического планирования совокупности траекторий для навигации беспилотных транспортных средств // Управление большими системами. Выпуск 58. 2015. С. 306-342. (ВАК К1)
4. Андрейчук А.А., Яковлев К.С. Методы планирования траектории на плоскости с учетом геометрических ограничений // Известия РАН. Теория и системы управления, 6, 2017. С. 125-140. (ВАК К1)
5. Яковлев К.С. AA-SIPP: Алгоритм планирования в среде с динамическими препятствиями // Искусственный интеллект и принятие решений, 1, 2020. С. 49-59. (ВАК К1)
6. Яковлев К. С., Белинская Ю. С., Макаров Д. А., Андрейчук А. А. Безопасно-интервальное планирование и метод накрытий для управления движением мобильного робота в среде со статическими и динамическими препятствиями // Автоматика и телемеханика, 6, 2022. С. 96-117. (ВАК К1)
7. Яковлев К.С., Андрейчук А.А., Скрынник А.А., Панов А.И. Методы планирования и обучения в задачах многоагентной навигации // Доклады Российской академии наук. Математика, информатика, процессы управления, Т. 508, № 1, 2022. С. 88-93. (ВАК К1)
8. Kirilenko D., Andreychuk A., Panov A.I., Yakovlev K. Generative Models for Grid-Based and Image-Based Pathfinding // Artificial Intelligence, 338, 2025. pp. 104238. (WoS Q1)
9. Yakovlev, K., Andreychuk, A. Any-Angle Pathfinding for Multiple Agents Based on SIPP Algorithm // Proceedings of the 27th International Conference on Automated Planning and Scheduling (ICAPS 2017). pp. 586-593. (Scopus, Core A*)
10. Yakovlev K., Andreychuk A. Towards Time-Optimal Any-Angle Path Planning With Dynamic Obstacles // Proceedings of the 31st International Conference on Automated Planning and Scheduling (ICAPS 2021). pp. 405-414. (Scopus, Core A*)
11. Yakovlev K., Andreychuk A., Stern R. Optimal and Bounded Suboptimal Any-Angle Multi-agent Pathfinding // In Proceedings of the IEEE/RSJ International

Conference on Intelligent Robotic Systems (IROS 2024). pp. 7996-8001. (Scopus, Core A)

12. Yakovlev K., Andreychuk A., Vorobyev V. Prioritized Multi-Agent Path Finding for Differential Drive Robots // Proceedings of the 2019 European Conference on Mobile Robots (ECMR 2019). pp. 1-6. (Scopus)

На автореферат диссертации поступили 4 положительных отзыва, которые подписали:

1. Кузнецов Сергей Олегович, доктор физико-математических наук, ординарный профессор факультета компьютерных наук Национального исследовательского университета «Высшая школа экономики». Замечания в отзыве носят рекомендательный характер.

2. Визильтер Юрий Валентинович, доктор физико-математических наук, профессор РАН, директор по направлению – руководитель научного комплекса «Искусственный интеллект и техническое зрение» ФАУ «Государственный научно-исследовательский институт авиационных систем». Замечания в отзыве носят рекомендательный и дискуссионный характер.

3. Колубин Сергей Алексеевич, доктор технических наук, доцент, профессор, заведующий лабораторией воплощенного интеллекта Университета ИТМО. Замечания в отзыве носят рекомендательный характер.

4. Райгородский Андрей Михайлович, доктор физико-математических наук, профессор, директор Физтех-школы прикладной математики и информатики Московского физико-технического института. Замечания в отзыве носят рекомендательный и дискуссионный характер.

Диссертационный совет отмечает, что на основании выполненных соискателем исследований:

– **разработан и исследован** новый алгоритм поиска пути на графе, проходимость вершин и ребер которого зависит от времени. Алгоритм основан на принципе безопасно-интервального планирования и оригинальном способе обращения направления поиска. Доказаны теоремы о полноте алгоритма и гарантии отыскания оптимального решения, оценена его вычислительная сложность.

– **разработан** ряд модификаций алгоритма, направленных на эффективный поиск субоптимальных решений.

– **предложены** новые методы и алгоритмы построения совокупности неконфликтных путей (централизованное многоагентное планирование), обеспечивающие построение оптимальных, ограниченно субоптимальных и субоптимальных решений. Указанные методы в отличие от известных допускают возможность перемещения между произвольными вершинами графа.

– **разработаны, теоретически обоснованы и численно проверены** алгоритмы поиска пути, учитывающие геометрические ограничения на максимальный угол отклонения между прямолинейными сегментами. Подобные методы позволяют косвенно учесть кинематические ограничения мобильного робота, для которого осуществляется планирование траектории и тем самым повысить безопасность автономного движения.

– **предложены** новые типы эвристических функций, позволяющих сократить перебор при поиске пути на графе, и успешно аппроксимируемых современными нейросетевыми моделями.

– с использованием указанных функций **разработан** ряд оригинальных алгоритмов поиска, гарантирующих корректность отыскиваемых решений независимо от выходных значений нейросети.

Теоретическая значимость исследования обусловлена полученными в работе новыми техниками устранения перебора и алгоритмами эвристического поиска, их реализующими, а также новыми способами интеграции обучаемых (с помощью современных искусственных нейронных сетей) эвристических функций и алгоритмов классического поиска, гарантирующих построение корректного решения на произвольных входных данных, вне зависимости от выхода нейронной сети.

Практическая значимость заключается в возможности применения разработанных методов и алгоритмов планирования в составе систем управления мобильными роботами, обеспечивающих высокую степень автономности объектов управления, что подтверждается проведенными в работе экспериментальными исследованиями на реальных робототехнических системах.

Достоверность и обоснованность результатов подтверждается корректным применением используемого в работе математического аппарата (математическая логика, дискретная математика, теория графов), совпадением теоретических выводов с полученными результатами экспериментов, публикациями в ведущих

рецензируемых изданиях и апробацией на крупных международных и российских конференциях в области искусственного интеллекта и робототехники.

Личный вклад соискателя в основные результаты работы является определяющим. В диссертацию включены положения и результаты, полученные либо лично автором, либо под его непосредственным руководством и при определяющем участии. В работах, опубликованных в соавторстве, личный вклад соискателя состоит, по меньшей мере, в формулировке задач, методов и подходов к их решению, включая доказательства теоретических свойств, методологию проведения экспериментальных исследований и анализ их результатов.

В ходе защиты диссертации были заданы вопросы, уточняющие главные результаты диссертации и используемые обозначения и термины. Был высказан ряд замечаний, в частности следующие:

1. Во второй главе, посвященной методам и алгоритмам поиска пути на динамическом графе, вводится техника обратного раскрытия. Кажется, что эта техника является достаточно универсальной и может использоваться для сокращения перебора и при решении других задач, рассматриваемых в диссертации, однако этого не происходит. Если имеются какие-то веские причины этого не делать, то целесообразно было бы озвучить их в тексте работы в явном виде.

2. Переход от стандартной топологии ГРД (8-связность) к произвольной связности вершин с помощью введения функции видимости фактически превращает задачу нахождения пути из поиска на разреженном графе в поиск на потенциально плотном (в пределе – полном) графе. Было бы интересно обсудить, при каких условиях на структуру препятствий средний размер множества вершин, видимых из данной вершины, остаётся существенно меньше общего числа вершин графа, и как это влияет на эффективность предложенных алгоритмов.

3. Графы, рассматриваемые в работе, имеют фиксированную топологию, т.е. соответствуют статическим картам. При этом во многих робототехнических приложениях карта постоянно уточняется по сенсорным данным с помощью методов одновременного картирования и локализации. Как предлагаемые методы могут быть распространены на подобные сценарии?

Соискатель Яковлев К.С. ответил на задаваемые ему вопросы и привел собственную аргументацию.

На заседании 25 июня 2026 года диссертационный совет принял решение присудить Яковлеву К.С. учёную степень доктора физико-математических наук за решение научной проблемы создания высокоэффективных алгоритмов поиска на графах, вложенных в метрическое пространство, применимых, в частности, для решения задач планирования траектории отдельных мобильных роботов и их групп.

При проведении тайного голосования диссертационный совет в количестве 24 человек, из них 7 докторов наук по специальности 1.2.1 – «Искусственный интеллект и машинное обучение» (физико-математические науки), участвовавших в заседании, из 29 человек, входящих в состав совета, дополнительно введены на разовую защиту 0 человек, проголосовали: за – 22, против – 2, недействительных бюллетеней – 0.

Председатель

диссертационного совета 24.1.224.03

д.ф.-м.н.



Воронцов К.В.

Ученый секретарь

диссертационного совета 24.1.224.03

к.т.н.

Рейер И.А.

25 июня 2026 г.