

**ЗАКЛЮЧЕНИЕ ДИССЕРТАЦИОННОГО СОВЕТА 24.1.107.02,
СОЗДАННОГО НА БАЗЕ ФЕДЕРАЛЬНОГО ГОСУДАРСТВЕННОГО
БЮДЖЕТНОГО УЧРЕЖДЕНИЯ НАУКИ ИНСТИТУТА ПРОБЛЕМ
УПРАВЛЕНИЯ ИМ. В.А. ТРАПЕЗНИКОВА РОССИЙСКОЙ АКАДЕМИИ
НАУК ПО ДИССЕРТАЦИИ НА СОИСКАНИЕ УЧЕНОЙ СТЕПЕНИ
КАНДИДАТА НАУК**

аттестационное дело № _____
решение диссертационного совета от 1 октября 2026 г., № 13

О присуждении **Тормагову Тимофею Алексеевичу**, гражданину Российской Федерации, ученой степени кандидата физико-математических наук.

Диссертация «Задачи полуопределенного программирования в спутниковой навигации и планировании путей колесных роботов» по специальности 2.3.1 «Системный анализ, управление и обработка информации, статистика» принята к защите 21 мая 2026 г. (протокол заседания № 9) диссертационным советом 24.1.107.02 на базе Федерального государственного бюджетного учреждения науки Института проблем управления им. В.А. Трапезникова Российской академии наук (ИПУ РАН, 117342, г. Москва, вн. тер. г. муниципальный округ Коньково, ул. Профсоюзная, д. 65, стр. 2, приказ Минобрнауки России о выдаче разрешения на создание диссертационного совета № 1173/нк от 12.10.2022 г., приказ Минобрнауки России о внесении изменений в составы диссертационных советов № 1112/нк от 19.11.2024 г.).

Соискатель Тормагов Тимофей Алексеевич, 24 апреля 1995 года рождения, в 2019 году с отличием окончил магистратуру Федерального государственного автономного образовательного учреждения высшего образования «Московский физико-технический институт (национальный исследовательский университет)» по направлению подготовки 03.04.01 «Прикладные математика и физика». В 2023 году окончил очную аспирантуру МФТИ по направлению подготовки 09.06.01 «Информатика и вычислительная техника». В настоящее время работает старшим преподавателем Центра образовательных программ ФРКТ Федерального государственного автономного образовательного учреждения высшего образования «Московский физико-технический институт (национальный исследовательский университет)».

Диссертация выполнена на кафедре интегрированных киберсистем Федерального государственного автономного образовательного учреждения высшего образования «Московский физико-технический институт (национальный исследовательский университет)».

Научный руководитель – доктор физико-математических наук, профессор Рапопорт Лев Борисович.

Официальные оппоненты:

Канатников Анатолий Николаевич, доктор физико-математических наук, доцент, Федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего образования «Московский государственный технический университет имени Н.Э. Баумана (национальный исследовательский университет)», профессор кафедры «Математическое моделирование»,

Седова Наталья Олеговна, доктор физико-математических наук, доцент, Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Ульяновский государственный университет», профессор кафедры информационных технологий,

дали **положительные** отзывы на диссертацию.

Ведущая организация – Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Московский государственный университет имени М.В.Ломоносова» в своем положительном отзыве, подписанном заведующим лабораторией управления и навигации, профессором, доктором физико-математических наук **Голованом Андреем Андреевичем**, ведущим научным сотрудником лаборатории управления и навигации, профессором, доктором физико-математических наук **Матасовым Александром Ивановичем**, ученым секретарем кафедры прикладной механики и управления механико-математического факультета МГУ имени М.В. Ломоносова, доцентом, кандидатом физико-математических наук **Кручининим Павлом Анатольевичем**, деканом механико-математического факультета МГУ имени М.В. Ломоносова, членом-корреспондентом РАН, доктором физико-математических наук **Шафаревичем Андреем Игоревичем** и утвержденным проректором — начальником Управления научной политики ФГБОУ ВО «Московский государственный университет имени М.В. Ломоносова», членом-корреспондентом РАН, доктором физико-математических наук **Федяниным Андреем Анатольевичем**, указала, что результаты, полученные в диссертации, могут быть использованы при проведении научно-исследовательских и опытно-конструкторских работ в спутниковой навигации и в мобильной робототехнике. Также было отмечено, что предложенный в диссертации алгоритм выбора спутников может быть эффективно применен в устройствах, работающих с большим числом сигналов от разных глобальных навигационных спутниковых систем, алгоритм выбора базовых линий актуален для систем с большим числом навигационных антенн, а приведенный метод планирования путей может быть применен для широкого класса мобильных роботов, в частности для роботов с ограничениями на кривизну траектории движения.

Выбор официальных оппонентов и ведущей организации обоснован профилем их научной деятельности и профессиональных интересов, подтвержденные публикациями в рецензируемых изданиях.

Заключение ведущей организации имеет следующие замечания.

1. В главе 2 выбрана неудачная последовательность изложения. Сначала приводится оптимизационная задача выбора спутников. Эта задача может решаться только при выборе хотя бы одного спутника из каждой ГНСС. При этом необходимо рассмотреть отдельно случаи выбора спутников только из одной ГНСС, а значит решить уже другую математическую задачу. Автором эта последовательность действий указана в алгоритме, который приведен уже в конце изложения предлагаемого метода.

2. Неотрицательная определенность матрицы в лемме 2.3 следует из ее структуры, а не из каких-либо ограничений. Доказательство леммы 2.3 может быть упрощено.

3. Из изложения не очевидно, почему условие (2.18) в задаче 2.1 необходимо для невырожденности матрицы, используемой в определении GDOP.

Отмечено, что сделанные замечания не снижают значимости работы, а ее общая оценка является положительной.

В отзывах оппонентов имеются следующие замечания.

В отзыве А.Н. Канатникова.

1. Описание решения задачи навигации по заданному набору спутников на с. 25-26 недостаточно аккуратно. Фактически это описание метода Гаусса — Ньютона в методе наименьших квадратов. Это итерационный метод, на каждом шаге которого решается система линейных уравнений (2.10). Со статистическими свойствами невязок уравнений это никак не связано. Следовало бы быть ближе к источнику (Гилл, Мюррей, Райт. Практическая оптимизация).
2. В разделе 2.5.2 система координат, названная полярной, на самом деле является сферической. Кроме того, применять к сферической (как и полярной) системе координат терминологию декартовой некорректно.
3. Ортогональную матрицу действительно можно записать через два угловых параметра. Но такое представление в разд. 3 (с. 55) на самом деле излишнее, поскольку не имеет какой-либо связи с дальнейшим.
4. Термин «достаточно пологий» на с. 67 неясен, его следовало уточнить.
5. Список работ автора по теме диссертации включен в общий список литературы. Однако следовало бы его сформировать отдельно, поскольку он играет важную роль в оценке диссертации.
6. Есть мелкие погрешности по тексту и опечатки (например, неудачное обозначение p на с. 27, ранее уже использованное для обозначения псевдодальности; двоякое написание китайской спутниковой системы и др.).

Отмечено, что указанные замечания связаны с оформлением диссертации, а замечаний по существу полученных результатов и их обоснованию нет.

В отзыве Н.О. Седовой.

1. Невырожденность матрицы $H^T \text{diag}(x) H$ на множестве допустимых значений, требуемая для корректной постановки задачи 2.2 и используемая в доказательствах лемм 2.1, 2.3 и 2.4, описывающих основополагающие свойства задач 2.2, 2.3 и 2.4, обосновывается автором «спецификой задачи». Следуя общему уровню строгости изложения, уместно было привести доказательство этого свойства.
2. В задачах главы 3 для гарантии того, что выбранные базовые линии образуют остовное дерево, используются ограничения (3.13) или (3.14), число которых растет экспоненциально с ростом n . В экспериментах (раздел 3.4) рассматриваются только случаи $n = 4$ и $n = 5$. Как предложенный метод масштабируется на практические случаи с большим числом антенн и рассматривалась ли возможность использования методов отсечения, когда ограничения добавляются в задачу SDP динамически?
3. В разделе 4.3.6 (с. 89) сказано: «Алгоритм 4.1 на каждом этапе своей работы предполагает выбор изменения кривизны Δ . От того, как этот выбор произведен, зависит, сколько итераций алгоритма потребуется выполнить, прежде чем решение задачи будет найдено.» Однако случай, когда физически реализуемый путь (с кривизной, не превосходящей u_{max}) в заданных границах не существует, и критерий останова алгоритма в этом случае в работе не обсуждаются. В разделе 4.5.3 автор демонстрирует успешное применение Алгоритма 4.1 и приводит эвристическую формулу для задания шага Δ . Неясно, каково поведение алгоритма, если на некоторой итерации t выражение $u_{max}^{-1} - 0.09t$ в формуле (4.63) станет неположительным. В работе нет комментариев, какое среднее число итераций требуется для построения траектории в полевых экспериментах. Если необходимо значительное число итераций (каждая из которых включает решение задачи конического программирования), это может поставить под вопрос вычислительную эффективность метода в системах реального времени. Если же сходимость в типичных случаях достигается за 1–2 итерации, этот результат заслуживает отдельного акцента в тексте диссертации.

Отмеченные недостатки не снижают значимости работы и не влияют на общую положительную оценку проведенного исследования.

По теме диссертации опубликовано 17 работ. В их числе три статьи в рецензируемых научных изданиях категории К1 Перечня ВАК по специальности 2.3.1 (физ.-мат.) и в приравниваемых к ним научных изданиях, индексируемых международными наукометрическими базами данных, шесть публикаций в сборниках материалов научных конференций, индексируемых Scopus, а также восемь публикаций в иных сборниках материалов научных конференций. Недостоверные сведения об опубликованных соискателем работах отсутствуют.

Наиболее значимые публикации из числа рецензируемых изданий.

1. Рапопорт Л.Б., **Тормагов Т.А.** Применение методов выпуклой релаксации для оптимизации множества навигационных спутников // Проблемы управления. 2019. № 4. С. 65-71.
2. **Тормагов Т.А.**, Генералов А.А., Шавин М.Ю., Рапопорт Л.Б. Задачи управления движением автономных колесных роботов в точном земледелии // Гироскопия и навигация. 2022. Т. 30, 1 (116). С. 39-60.
3. **Тормагов Т.А.** Метод деформации путей ограниченной кривизны для колесных роботов в точном земледелии на основе конического программирования второго порядка // Автоматика и телемеханика. 2024. № 2. С. 46-59.

На диссертацию и автореферат поступили шесть отзывов, все отзывы **положительные.**

1. Отзыв на автореферат доктора физико-математических наук, профессора, профессора ФГАОУ ВО «Московский авиационный институт (национальный исследовательский университет)» **Бортаковского Александра Сергеевича** содержит следующие замечания:
 1. Для задач, предполагающих решение в режиме реального времени, следовало бы привести оценку размерности ограничений в форме линейных матричных неравенств, что позволило бы более точно определить вычислительную сложность и применимость предлагаемых методов на практике.
 2. В работе желательно более четко обозначить различия между предложенным автором методом планирования путей и построением траекторий Маркова-Дубинса или их модификаций.
2. Отзыв на автореферат доктора физико-математических наук, старшего преподавателя АНОО ВО «Сколковский институт науки и технологий» **Грязиной Елены Николаевны** содержит следующие замечания:
 1. В случае использования двух навигационных систем оценка гарантированной точности (16), по-видимому, относится не к алгоритму 2.1 в целом, а к каждой из трех задач оптимизации, решаемых в процессе его выполнения. Данное обстоятельство целесообразно было бы дополнительно пояснить в тексте автореферата.
 2. В тексте автореферата указано, что существующие методы приближенного решения задачи 2.1, как правило, не позволяют получать приемлемые оценки гарантированной точности. При этом следовало бы более явно отметить, что предложенный подход на основе выпуклой релаксации позволяет получать такие оценки не только для решения, построенного алгоритмом 2.1, но и для любого допустимого приближенного решения задачи. В этом смысле двусторонняя оценка (16) имеет более общий характер, чем это следует из текста автореферата.
3. Отзыв на автореферат доктора физико-математических наук, доцента, профессора кафедры математического моделирования, компьютерных

технологий и информационной безопасности ФГБОУ ВО «Елецкий государственный университет им. И.А. Бунина» **Масиной Ольги Николаевны** содержит следующие замечания:

1. В задачах 2.3 и 2.4 для полноты проведенного анализа следовало бы привести сравнение размерностей ограничений, в частности, линейных матричных неравенств. Обе задачи приводят к одному и тому же оптимальному решению. Это означает, что сопоставление размерностей позволило бы выявить вычислительные преимущества или недостатки каждой из данных задач полуопределенного программирования при получении оценки решения.
 2. В описании третьей главы в тексте автореферата указано, что матрица Y заполняется построчно координатами базовых линий. Аналогичное уточнение требуется и для матрицы X_0 .
4. Отзыв на автореферат кандидата технических наук, доцента ФГАОУ ВО «Национальный исследовательский университет ИТМО» **Моторина Андрея Владимировича** содержит следующие замечания:
1. Условие (3) о том, чтобы искать решение для множества спутников в количестве от p до m , выглядит излишним, так как представляется, что уменьшение числа спутников не может снизить геометрический фактор.
 2. Задача выбора рабочих базовых линий не требует решения в реальном времени, а количество антенн в многоантенных системах в настоящее время, как правило, не настолько велико, чтобы исключать решение перебором.
 3. В автореферате не приводится численная оценка выигрыша предложенных алгоритмов во времени выполнения или вычислительных затратах по сравнению с другими известными приближенными методами.
 4. В автореферате не приводится описание конкретной аппаратуры, на которой была проведена апробация предлагаемых алгоритмов.
5. Отзыв на автореферат доктора технических наук, старшего научного сотрудника отдела 55 «Управление робототехническими устройствами» ФГУ «Федеральный исследовательский центр «Информатика и управление» Российской академии наук» **Шмалько Елизаветы Юрьевны** содержит следующие замечания:
1. В задаче прокладки параллельных маршрутов не учтено возможное боковое проскальзывание мобильного робота, которое может иметь место в реальных условиях на неровной скользкой поверхности.
 2. Для реальных колесных роботов из-за их динамики приводов неблагоприятны скачки кривизны траектории движения. Учитывается ли это при построении путей предложенным в работе методом?
6. Отзыв на автореферат доктора физико-математических наук, доцента, профессора кафедры анализа данных и искусственного интеллекта ФГБОУ ВО «Национальный исследовательский Мордовский государственный университет им. Н.П. Огарёва» **Щенниковой Елены Владимировны** содержит следующие замечания:

1. В тексте автореферата не указано, рассматривалась ли в рамках исследования задача оптимального выбора начальной кривой при построении покрытия путями колесных роботов. Если рассматривалась, то какие критерии оптимальности использовались и имеются ли результаты сравнительного анализа или эксперименты, демонстрирующие влияние начальной кривой на качество покрытия.
2. Следует уточнить, влияет ли затенение высокими зданиями на возможность применения предложенного метода выбора спутников.

Диссертационный совет отмечает, что на основании выполненных соискателем исследований:

- формализована задача выбора подмножества видимых спутников ограниченного размера по критерию параметра геометрического снижения точности по местоположению и времени в виде полуопределенного программирования;
- разработаны метод и алгоритм выбора спутников, используемых при вычислении позиции и предложена двусторонняя оценка их точности;
- предложены метод и алгоритм выбора базовых линий для определения относительной ориентации твердого тела в пространстве на основе спутниковой навигации;
- получены формализации задач построения покрытия заданного трехмерного ландшафта путями и деформации путей для обхода препятствий колесным роботом с ограничением на кривизну траектории в виде задач конического программирования второго порядка;
- разработан метод построения покрытия трехмерного ландшафта путями колесных роботов с механизмом руления поворотом передних колес.

Теоретическая значимость исследования обоснована тем, что:

- рассматриваемые в диссертации задачи спутниковой навигации и траекторного планирования формализованы в виде задач полуопределенного программирования;
- получены и математически обоснованы двусторонние оценки точности решения задачи выбора рабочего созвездия навигационных спутников на стороне приемника;
- доказаны леммы, устанавливающие необходимые и достаточные условия ограниченности нормальной кривизны траектории при ее построении относительно начальной траектории.

Значение полученных соискателем результатов исследования для практики подтверждается тем, что:

- предложены методы и алгоритмы решения ряда задач спутниковой навигации и траекторного планирования, которые могут быть непосредственно использованы на практике;
- вычислительная эффективность предложенных методов и алгоритмов достигается за счет использования выпуклого программирования;

- предложенные методы были апробированы в полевых условиях, а результаты работы прошли обсуждение на профильных научных конференциях и семинарах.

Оценка достоверности результатов исследования выявила:

- предложенные методы основываются на непротиворечивых выводах, полученных с использованием строгого математического аппарата;
- полученные в диссертации выводы основаны на общепринятых методах теории оптимизации, управления мобильными роботами и навигации;
- применимость научных результатов подтверждена полевыми экспериментами и компьютерным моделированием.

Все исследования, представленные в диссертационной работе, проведены лично соискателем в процессе научной деятельности. Из совместных публикаций в диссертацию включены только результаты, полученные лично соискателем.

Диссертация Тормагова Тимофея Алексеевича на соискание ученой степени кандидата физико-математических наук является научной квалификационной работой, имеющей теоретическое и прикладное значение. Таким образом, диссертационная работа Тормагова Т. А. «Задачи полуопределенного программирования в спутниковой навигации и планировании путей колесных роботов» соответствует пункту 9 Положения о порядке присуждения ученых степеней и отвечает требованиям, предъявляемым к кандидатским диссертациям.

На заседании 1 октября 2026 г. диссертационный совет принял решение: за решение актуальной научной задачи, состоящей в формализации и решении задач позиционирования и траекторного планирования колесных роботов, имеющей значение для развития навигации и робототехники, присудить Тормагову Тимофею Алексеевичу ученую степень кандидата физико-математических наук.

При проведении тайного голосования по вопросу о присуждении Тормагову Тимофею Алексеевичу ученой степени кандидата физико-математических наук диссертационный совет в количестве 12 человек, из них 7 докторов наук (по научной специальности рассматриваемой диссертации), участвовавших в заседании, из 17 человек, входящих в состав совета, проголосовали: за – 11, против – 0, недействительных бюллетеней – 0.

Зам. директора ИПУ РАН
по научной работе, к.ф.-м.н.

Председатель диссертационного
совета 24.1.107.02, д.ф.-м.н.

Ученый секретарь диссертационного
совета 24.1.107.02, к.ф.-м.н.



И.Н. Барабанов

М.В. Хлебников

А.А. Тремба

1 октября 2026 года