



**МОСКОВСКИЙ
ГОСУДАРСТВЕННЫЙ
УНИВЕРСИТЕТ
имени
М.В.ЛОМОНОСОВА
(МГУ)**

Ленинские горы, Москва,
ГСП-1, 119991
Телефон: 8-495-939-10-00
Факс: 8-495-939-01-26

«Утверждаю»

Проректор — начальник Управления
научной политики ФГБОУ ВО
«Московский государственный
университет имени М.В.Ломоносова»



чл.-корр. РАН, д.ф.-м.н. А.А. Федянин

«16» 06 2026 г.

17.06.2026 № 25-26/013-03

На № 46-7/1253 от 28.04.2026 г.

Отзыв

ведущей организации ФГБОУ ВО «Московский государственный университет имени М.В. Ломоносова» на диссертационную работу Тормагова Тимофея Алексеевича на тему «Задачи полуопределенного программирования в спутниковой навигации и планировании путей колесных роботов», предоставленную соискание ученой степени кандидата физико-математических наук по специальности 2.3.1. «Системный анализ, управление и обработка информации, статистика».

Актуальность темы исследования

Развитие систем навигации и мобильной робототехники требует совершенствования существующих методов и алгоритмов в этих областях. Современные навигационные приемники способны одновременно обрабатывать сигналы от нескольких десятков спутников различных глобальных навигационных спутниковых систем (ГНСС), таких как ГЛОНАСС, GPS, Бэйдоу и Galileo. Однако совместное использование всех сигналов часто избыточно и приводит к неоправданному росту вычислительной нагрузки на навигационный приемник. Поэтому возникает задача поиска оптимального рабочего созвездия спутников, обеспечивающего наилучшую точность позиционирования по заранее выбранному критерию. Технология кинематики реального времени (RTK) обеспечивает позиционирование сантиметровой точности. Это позволяет использовать такие системы как автономные колесные роботы. Одной из актуальных задач в этой области является планирование траекторий для покрытия заданного ландшафта.

Решение указанных задач приводит к трудоемким вычислениям. Существующие эвристические подходы не гарантируют оптимальность решений, а методы полного перебора часто вообще неприменимы в реальном времени. Использование математической формализации и выпуклой релаксации (ослабления) ограничений позволяет получать эффективные оценки решений данных задач, в частности, на основе класса задач полуопределенного программирования, чему и посвящена диссертационная работа Т.А. Тормагова.

Структура диссертационной работы

Диссертационная работа изложена на 123 страницах, содержит 39 иллюстраций и две таблицы. Список литературы насчитывает 119 наименований. Работа состоит из введения, четырех глав и заключения.

Во введении автором обоснована актуальность темы, сформулированы объект, предмет и цель исследования, а также положения, выносимые на защиту. Кроме того, приведены сведения о заслушивании работы на профильных научных семинарах и конференциях, а также о публикациях соискателя по теме работы.

В первой главе представлены общие формулировки задач полуопределенного программирования и их частных случаев. Обсуждены вопросы выпуклой релаксации вариационных задач и приведены сведения о численных методах их решения.

Во второй главе рассмотрена задача выбора навигационным приемником оптимального рабочего созвездия по критерию GDOP. Приведена ее постановка и даны оценки вычислительной сложности комбинаторного решения. Представлен обзор литературы по существующим эвристическим методам. Изложен предлагаемый автором метод, основанный на выпуклой релаксации и сведении исходных вариационных проблем к задачам полуопределенного программирования. Сформулирован алгоритм выбора спутников для двух ГНСС. Построена двусторонняя оценка его точности по критерию GDOP. Приведены результаты экспериментов в двенадцатичасовом тесте со спутниками из двух ГНСС.

Третья глава посвящена задаче определения оптимальной конфигурации базовых линий при определении относительной ориентации твердого тела в пространстве. Приведена ее постановка и даны оценки вычислительной сложности решения методом перебора. Применен предлагаемый автором метод выпуклой релаксации и сведения к задачам полуопределенного программирования. Изложен алгоритм, реализующий данный метод. Приведены результаты численных экспериментов.

В четвертой главе обсуждается задача планирования траекторий ограниченной кривизны для колесных роботов, обеспечивающих покрытие заданного ландшафта с препятствиями. Сформулированы требования к организуемому покрытию. Описаны существующие методы построения траекторий, покрывающих плоские и пологие поверхности, а также способы учета препятствий. Применен предлагаемый метод решения задачи, основанный на формализации условий на кривизну в виде конусных ограничений и последующем решении набора задач конического программирования второго порядка. Предложен алгоритм деформации путей для учета препятствий, также основанный на решении задачи из класса конического программирования второго порядка. Приведены результаты полевых и модельных экспериментов, иллюстрирующие применение предложенного в диссертации подхода.

В заключении сформулированы основные результаты диссертационной работы.

Соответствие паспорту специальности

Работа соответствует паспорту специальности 2.3.1. «Системный анализ, управление и обработка информации, статистика» по следующим пунктам.

П.2. Формализация и постановка задач системного анализа, оптимизации, управления, принятия решений, обработки информации и искусственного интеллекта.

П.4. Разработка методов и алгоритмов решения задач системного анализа, оптимизации, управления, принятия решений, обработки информации и искусственного интеллекта.

Публикации автора по теме исследования и апробация работы

По теме диссертации соискателем опубликовано 17 научных работ. В их числе три статьи в рецензируемых научных журналах категории К1 Перечня ВАК по специальности 2.3.1 по физико-математическим наукам и в приравниваемых к ним научных изданиях, индексируемых международными наукометрическими базами данных. Среди опубликованных работ есть также шесть докладов в сборниках материалов научных конференций, индексируемых системой Scopus.

Результаты работы докладывались и обсуждались на ряде профильных научных конференций и семинаров: на научном семинаре «Автоматическое управление» (Москва, ИПУ РАН), на научном семинаре международной общественной организации «Академия навигации и управления движением» и журнала «Гироскопия и навигация» (Санкт-Петербург), на Международной конференции Optimization and Applications (Черногория), на Международной научной конференции «Устойчивость и колебания нелинейных систем управления (конференция Пятницкого)» (Москва, ИПУ РАН), на Всероссийской научной конференции МФТИ (Долгопрудный, МФТИ) и на 13-ом Всероссийском совещании по проблемам управления (Москва, ИПУ РАН).

Рекомендации по использованию результатов работы

Результаты работы могут быть использованы при проведении научно-исследовательских и опытно-конструкторских работ в спутниковой навигации и в мобильной робототехнике. Предложенный в диссертации алгоритм выбора спутников может быть эффективно применен в устройствах, работающих с большим числом спутниковых навигационных сигналов от разных ГНСС. Алгоритм выбора базовых линий актуален для систем с большим числом навигационных антенн. Приведенный метод планирования путей может быть применен для широкого класса мобильных роботов, в частности, требующих реализации траекторий ограниченной кривизны.

Замечания по диссертационной работе

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.

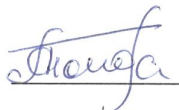
Сделанные замечания не снижают значимости работы, а ее общая оценка является однозначно положительной.

Заключение

Диссертация Тормагова Тимофея Алексеевича на тему «Задачи полуопределенного программирования в спутниковой навигации и планировании путей колесных роботов» является законченной научно-квалификационной работой, в которой разработан ряд методов навигации и траекторного планирования колесных роботов, имеющих важное прикладное значение. Диссертационная работа соответствует паспорту специальности 2.3.1. «Системный анализ, управление и обработка информации, статистика» и отвечает требованиям Положения о присуждении ученых степеней, предъявляемых к кандидатским диссертациям, а ее автор Т.А. Тормагов несомненно заслуживает присуждения ему ученой степени кандидата физико-математических наук.

Отзыв подготовили:

заведующий лабораторией
управления и навигации,
профессор, д.ф.-м.н.

 Голован Андрей Андреевич

ведущий научный сотрудник
лаборатории управления и навигации,
профессор, д.ф.-м.н.

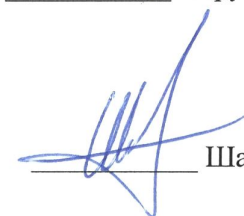
 Матасов Александр Иванович

Отзыв заслушан и утвержден на заседании кафедры прикладной механики и управления механико-математического факультета Московского государственного университета имени М.В. Ломоносова, протокол заседания № 21-2025/26 от «03» июня 2026 г.

Ученый секретарь кафедры
прикладной механики и управления
механико-математического факультета
МГУ имени М.В. Ломоносова,
доцент, к.ф.-м.н.

 Кручинин Павел Анатольевич

Декан механико-математического
факультета МГУ имени М.В. Ломоносова,
чл.-корр. РАН, д.ф.-м.н.

 Шафаревич Андрей Игоревич