

УТВЕРЖДАЮ

Директор Федерального
государственного учреждения
«Федеральный исследовательский
центр «Информатика и управление»
Российской академии наук»



М.А. Посыпкин
августа 2025 г.

Заключение

Федерального государственного учреждения
«Федеральный исследовательский центр «Информатика и управление»
Российской академии наук»

Диссертация Дарьиной Анны Николаевны «Методы решения задач оптимального управления с фазовыми ограничениями, возникающими в робототехнике» выполнена в Федеральном государственном учреждении «Федеральный исследовательский центр «Информатика и управление» Российской академии наук» в отделе №55 «Управление робототехническими устройствами», отделения №5 «Информационные, управляющие и телекоммуникационные системы и информационная безопасность».

Дарьина А.Н. получила степень магистра математики Российского университета дружбы народов в 2002 году и поступила в аспирантуру на кафедру Дифференциальных уравнений и функционального анализа РУДН. В 2005 году на диссертационном совете факультета Вычислительной математики и кибернетики МГУ имени М.В. Ломоносова защитила кандидатскую диссертацию на тему «Ньютоновские методы смешанных комплементарных задач» под научным руководством д.ф.-м.н. профессора А.Ф. Измаилова. В 2004 году поступила на работу в Вычислительный центр им. А.А. Дородницына Российской академии наук (ныне в составе Федерального исследовательского центра «Информатика и управление» Российской академии наук), где работала до июля 2023 года штатным сотрудником в должности математика, научного сотрудника, ведущего научного сотрудника, а с июля 2023 продолжает работу в ФИЦ ИУ РАН по совместительству (0,4 ставки, в должности ведущего научного сотрудника с июля 2023 года по июль 2024 года и старшего научного сотрудника с сентября 2024 года по настоящее время). С июля 2023 года по настоящее время работает штатным сотрудником кафедры исследования операций факультета вычислительной математики и кибернетики МГУ имени М.В. Ломоносова в должности доцента. Дарьина А.Н. подготовила 2 студентов магистратуры (защита магистерских диссертаций в 2024 и 2025 годах) и 3 студентов бакалавриата (защита ВКР в 2025 году), а в настоящее время

является научным руководителем 2 студентов бакалавриата, 3 студентов магистратуры и 3 аспирантов (1 - третьего г.о., 2 - второго г.о.) кафедры ИО ВМиК МГУ, ежегодно участвует с докладами на международных и всероссийских конференциях.

В период подготовки диссертации Дарьина Анна Николаевна работала в ФИЦ ИУ РАН в должности ведущего и старшего научного сотрудника, участвовала в качестве исполнителя в работах по гранту Министерства науки и высшего образования Российской Федерации, проект № 075-15-2024-544.

Научный консультант – д.ф.-м.н. Карамзин Дмитрий Юрьевич – работает в Федеральном исследовательском центре «Информатика и управление» Российской академии наук в должности ведущего научного сотрудника отдела №55.

Диссертация Дарьиной А.Н. «Методы решения задач оптимального управления с фазовыми ограничениями, возникающими в робототехнике» была рассмотрена на расширенном заседании отдела №55 ФИЦ ИУ РАН 27 мая 2025 года. По результатам рассмотрения диссертации принято следующее заключение:

1. Диссертационная работа Дарьиной А.Н. «Методы решения задач оптимального управления с фазовыми ограничениями, возникающими в робототехнике» соответствует специальности 1.2.3. – «Теоретическая информатика, кибернетика» по п. 6 «Математическая теория оптимального управления, включая оптимального управления в условиях конфликта» и п. 9 «Математическая теория исследования операций» паспорта специальности и удовлетворяет требованиям, предъявляемым к диссертационным работам, выдвигаемым на соискание степени доктора физико-математических наук.
2. Диссертационная работа посвящена решению актуальной научной проблемы – получение точного решения задачи оптимального управления с фазовыми ограничениями, применительно к мобильному роботу, для последующего использования этого решения при управлении роботом в режиме реального времени.
3. Представленная диссертация является самостоятельно выполненной законченной научно-исследовательской работой.
4. Научные результаты, выносимые на защиту, получены автором самостоятельно, являются новыми и представляют научный и практический интерес. Проведенные автором исследования выполнены на высоком научном уровне. Научные положения и выводы подтверждены большим количеством экспериментов.
5. В диссертации получены следующие новые научные результаты:
 - 1) проведен теоретический анализ метода регуляризации для задачи оптимального управления с фазовыми ограничениями для мобильных роботов. На основе анализа получены аналитические выражения для меры множителя Лагранжа и разработан алгоритм решения задачи управления мобильным роботом. Данный подход

позволил получать точные решения задачи оптимального управления мобильным роботом при наличии фазовых ограничений. Точные решения использовались при построении управления в режиме реального времени как «ядро» управления, а методы машинного обучения - как слой адаптации и устойчивости к неопределённостям;

2) разработан, теоретически обоснован и численно проверен метод стрельбы для нахождения решения задачи о перемещении мобильного робота при фазовых ограничениях глубины 2. Метод применялся к задаче с динамикой управления ньютоновского типа. Предложенный метод позволил находить точные решения, которые впоследствии использовались для улучшения структуры пропорционально-интегрально-дифференцирующего регулятора, применяемого при нахождении траекторий мобильного робота в режиме реального времени;

3) разработан метод поиска касательных, которые используются в принципе разделения траекторий на прямолинейные участки и движение по границе фазового ограничения для поиска моментов переключения между разными видами траекторий. Идея заключалась в построении графа вершинами, которого были точки переключения, а ребрами - траектории. Метод позволил находить оптимальную траекторию при наличии большого количества препятствий. Проведено теоретическое исследование и обоснование метода;

4) разработаны подходы к решению задачи оптимального управления с фазовыми ограничениями для нелинейных робототехнических систем, включающих новые методы формирования допустимых траекторий движения, учитывающих ограничения на обобщенные координаты, скорости, ускорения и управляющие воздействия. В отличие от существующих решений, предложенные методы обеспечивают высокую точность управления и устойчивость при снижении вычислительной сложности за счёт использования адаптивных стратегий прогнозирования и коррекции траектории;

5) разработаны новые методы интеграции управления с технологиями машинного обучения и восприятия окружающей среды, что позволило реализовать адаптивное поведение робота в условиях частичной информации о состоянии объекта и внешней среды: новый метод идентификации модели мобильного робота, метод генерации траекторий с помощью нейронных сетей и метод определения функции выбора интегрального управления на основе сгенерированной траектории с помощью модели с использованием адаптивного функционала. Это дало возможность повысить автономность и устойчивость робототехнических систем при выполнении задач в неструктурированных условиях;

6) разработан гибридный алгоритм, который с помощью модифицированного метода модели предиктивного управления, предлагает новую структуру функции выбора для учета оптимального управления, а с помощью метода одновременной локализации и картографии использует навигационную информацию. Этот метод ориентирован на реальное время и ограниченные вычислительные ресурсы бортовых контроллеров роботов, но позволяют учитывать фазовые ограничения, обеспечивая при этом гладкость переходных процессов и минимизацию энергетических затрат;

7) представлены новые комплексы программ, реализующие разработанные в диссертационной работе методы.

6. Практическая значимость результатов диссертационной работы подтверждается тем, что разработанные в рамках диссертационного исследования методы решения задачи управления с ограничениями используются в исследованиях, проводимых в Робототехническом центре ФИЦ ИУ РАН, а также внедрены в учебный процесс.
7. Достоверность результатов диссертации подтверждается экспериментами, проводимыми как на математических моделях, так и на опытных образцах Робототехнического центра ФИЦ ИУ РАН, а также экспертизой научных статей, опубликованных в ведущих научных изданиях, основана на апробации и обсуждении результатов на международных и российских научных конференциях и семинарах.
8. Основное содержание диссертации опубликовано автором в 29 научных публикациях в рецензируемых изданиях, из них 7 публикаций в рецензируемых научных изданиях, отнесенных к категориям К-1 или К-2 из Перечня ВАК, 10 публикаций в изданиях, индексируемых в БД Scopus и Web of Science.

Наиболее значимые публикации:

- Дарьина А.Н., Прокопьев И.В. Синтез живучих робототехнических систем управления с переменной структурой // Научное обеспечение технологий. 2016. Т. 17. № 6. С. 16-20. (К-3)
- Дарьина А.Н., Прокопьев И.В. Метод нейросетевого управления в реальном времени на основе синтеза функции выбора // Надежность и качество сложных систем. 2019. Т. 28. № 4. С. 41-50. (К-2)
- Дарьина А.Н., Прокопьев И.В. Метод оптимизации параметров контроллера беспилотного транспортного средства на основе оптимизации роя частиц // Надежность и качество сложных систем. 2020. № 3 (31). С. 80-87. (К-2)
- Дарьина А.Н., Прокопьев И.В. Метод активной одновременной локализации и картографирования на основе модели прогнозирующего

интегрального пути для мобильных роботов // Нейрокомпьютеры: разработка, применение. 2021. Т. 23. № 6. С. 12-23. (К-2)

- Дарьина А.Н., Дивеев А.И., Карамзин Д.Ю., Перейра Ф.Л., Софронова Е.А., Чертовских Р.А. Регулярные аппроксимации наибо́льшего движения мобильного робота при ограниченных фазовых координатах// Журнал вычислительной математики и математической физики. 2022. Т. 62. № 9. С. 1564-584. (К-2, RSCI)
- Дарьина А.Н., Прокопьев И.В. Отказоустойчивые системы управления динамическими объектами специального назначения // Надежность и качество сложных систем. 2022. №4. С. 82-88. (К-2)
- Белотелов В.Н., Дарьина А.Н. Метод поиска касательных в задаче быстрогодействия для колесного мобильного робота // Компьютерные исследования и моделирование. 2025. Т. 17. № 3. С. 401-421. (К-1)
- Chertovskih R., Daryina A., Diveev A., Karamzin D., Pereira F.L., Sofronova E. Regular perturbations to the motion of a three-wheeled mobile robot with the front-wheel drive under restricted state variables // European Control Conference 2020, ECC 2020, 2020, pp. 1210-1215. (Scopus, WoS)
- Chertovskih R., Daryina A., Diveev A., Karamzin D., Pereira F.L., Sofronova E. Investigation of a perturbation method to solve essentially non-regular time-optimal control problems with state constraints // European Control Conference 2020, ECC 2020, 2020, pp. 849-854. (Scopus, WoS)
- Daryina A., Prokopiev I. Unmanned vehicle's optimal control based on the selection function and network operators // 7th International Conference on Control, Decision and Information Technologies, CoDIT 2020, 2020, pp. 300-305. (Scopus, WoS)
- Pereira F.L., Chertovskih R., Daryina A., Diveev A., Karamzin D., Sofronova E. A Regularization Approach to Analyze the Time-Optimal Motion of a Mobile Robot under State Constraints using Pontryagin's Maximum Principle // Procedia Computer Science, 2021, 186, pp. 11-20. (Scopus, WoS)
- Chertovskih R.A., Daryina A.N., Karamzin D.Yu., Pereira F.L. On some regularization of the control problem for a tracked mobile robot in a steady flow field under state constraints. IFAC-Papers OnLine, 2022, 55(16), pp. 226-230. (Scopus, WoS, Q3)
- Daryina A.N., Prokopiev I.V. Unmanned vehicle's control real-time method based on neural network and selection function // Procedia Computer Science, 2021, 186, pp. 217-226. (Scopus, WoS)
- Daryina A.N., Prokopiev I.V. Active Simultaneous Localization and Mapping Method Based on Model Prediction // Engineering Proceedings. 2023, 33(1), 16. (Scopus, WoS, Q3)
- Daryina A.N. The principle of trajectories separation for the optimal control problem in a feedback system // 16-th International conference "Intellectual Systems" (INTELS-2024), 2024. (Scopus)

- Belotelov V.N., Daryina A.N. Finding Time-Optimal Path through a Forest of Circles by Graph Search // 11th International Conference on Control, Decision and Information Technologies, CoDIT 2025, 2025. (Scopus, WoS)
- Дарьина А.Н., Дивеев А.И., Карамзин Д.Ю., Перейра Ф.Л., Софронова Е.А., Чертовских Р.А. Исследование метода возмущений для решения нерегулярных задач оптимального управления с фазовыми ограничениями // Вопросы теории безопасности и устойчивости систем. 2020. № 22. С. 25-51. (РИНЦ)
- Дарьина А.Н., Дивеев А.И., Карамзин Д.Ю., Перейра Ф.Л., Софронова Е.А., Чертовских Р.А. Регулярные возмущения оптимального движения трехколесного мобильного робота с передним приводом при ограниченных фазовых переменных // Вопросы теории безопасности и устойчивости систем. 2020. № 22. С. 52-77. (РИНЦ)
- Дарьина А.Н., Прокопьев И.В. О методах синтеза функционала для оптимального управления мобильным роботом // Вопросы теории безопасности и устойчивости систем. 2020. № 22. С. 84-98. (РИНЦ)
- Дарьина А.Н., Дивеев А.И., Константинов С.В., Прокопьев И.В. Задача оптимального управления для точной нейросетевой модели объекта управления // Труды международного симпозиума «Надежность и качество», 2022, т.1, с. 89-91. (РИНЦ)
- Дарьина А.Н., Прокопьев И.В. Пример использования метода ASLAM-MPPI для мобильных роботов // Вопросы теории безопасности и устойчивости систем. 2021. № 23. С. 56-65. (РИНЦ)
- Дарьина А.Н., Прокопьев И.В. Отказоустойчивость системы автономной навигации для управления мобильными роботами // Всероссийская научно-практическая конференция «Прикладная физика и инжиниринг: актуальные проблемы». Елецкий государственный университет им. И.А. Бунина, 2024. С. 56-59. (РИНЦ)
- Белотелов В.Н., Дарьина А.Н. Сведение задачи оптимального управления мобильным роботом к выбору кратчайшего пути на графе // Труды международного симпозиума «Надежность и качество», 2025, Т. 2, с. 268-272. (РИНЦ)

Диссертация Дарьиной Анны Николаевны «Методы решения задач оптимального управления с фазовыми ограничениями, возникающими в робототехнике» по специальности 1.2.3. – «Теоретическая информатика, кибернетика» представляет собой завершённую научно-исследовательскую работу, представляющую решение актуальной современной научной проблемы – получение точного решения задачи оптимального управления с фазовыми ограничениями, применительно к мобильному роботу, для последующего использования этого решения при управлении роботом в режиме реального времени. Она выполнена автором самостоятельно и имеет большое теоретическое и практическое значение. Она полностью соответствует критериям Положения о порядке присуждения ученых степеней, предъявляемым к докторским диссертациям, и рекомендуется к

защите на соискание автором степени доктора физико-математических наук в диссертационном совете 24.1.224.03 при Федеральном государственном учреждении «Федеральный исследовательский центр «Информатика и управление» Российской академии наук».

Заключение принято единогласно на расширенном заседании отдела №55 ФИЦ ИУ РАН. Присутствовало на заседании 12 человек. Результаты голосования: «за» - 12 чел., «против» - 0 чел., «воздержались» - 0 чел., протокол №1 от 27 мая 2025 года.

Председательствующий на заседании
г.н.с., отдел № 55,
д.т.н., профессор



А.И. Дивеев

Секретарь заседания
с.н.с., отдел № 55,
к. т. н., доцент



Е.А. Софронова