

УТВЕРЖДАЮ

Декан факультета ВМК

МГУ имени М.В. Ломоносова

И.А. Соколов



11 2025 г

(сербовая печать)

ОТЗЫВ НА ДИССЕРТАЦИЮ И АВТОРЕФЕРАТ

Дарьиной Анны Николаевны «Методы решения задач оптимального управления с фазовыми ограничениями, возникающими в робототехнике», представленной на соискание ученой степени доктора физико-математических наук по специальности 1.2.3 – «Теоретическая информатика, кибернетика»

Протокол заседания кафедры исследования операций факультета ВМК МГУ им. Ломоносова от «06» ноября 2025 года.

ПРИСУТСТВОВАЛИ:

Председатель: заместитель заведующего кафедрой исследования операций профессор Васин А.А.,

профессор Измаилов А.Ф., профессор Голембиовский Д.Ю., профессор Новикова Н.М., доцент Белянкин Г.А., доцент Давидсон М.Р. доцент Морозов В.В., доцент Пospelова И.И.

СЛУШАЛИ: доклад Дарьиной Анны Николаевны по теме диссертационной работы.

ПОСТАНОВИЛИ:

1. Диссертация А. Н. Дарьиной «Методы решения задач оптимального управления с фазовыми ограничениями, возникающими в робототехнике» соответствует требованиям специальности 1.2.3 – «Теоретическая информатика, кибернетика». Работа соотносится с пунктами 6 («Математическая теория оптимального управления, включая управление в условиях конфликта») и 9 («Математическая теория исследования операций») паспорта специальности и удовлетворяет всем нормативным критериям, предъявляемым к диссертациям на соискание учёной степени доктора физико-математических наук.

2. Исследование посвящено решению важной и востребованной научной проблемы – построению точных решений для задач оптимального управления с фазовыми ограничениями, ориентированных на применение в системах управления мобильными роботами. Полученные решения предназначены для последующего использования в режиме реального времени.

3. Диссертация представляет собой законченное, целостное и самостоятельное научное исследование.

4. Все результаты, выносимые на защиту, получены автором самостоятельно, обладают научной новизной и ценностью, а также практической применимостью. Исследования выполнены на высоком научном уровне, а ключевые научные положения и выводы подтверждены обширной экспериментальной базой.

5. В ходе работы были получены следующие новые научные результаты.

а) Проведено теоретическое исследование регуляризационного подхода к задаче оптимального управления мобильным роботом при наличии фазовых ограничений. На основе этого анализа выведены аналитические формулы для меры-множителя Лагранжа, и предложен вычислительный алгоритм. Полученные точные решения легли в основу «ядра» системы

управления реального времени, тогда как методы машинного обучения использовались как адаптивный компонент, компенсирующий неопределённости внешней среды.

б) Разработан, обоснован и численно протестирован метод стрельбы для решения задачи перемещения робота с фазовыми ограничениями глубины 2 в условиях ньютоновской динамики. Найденные точные траектории позволили улучшить параметры пропорционально-интегрально-дифференциального регулятора, применяемого при построении траекторий в реальном времени.

в) Создан метод определения касательных точек для реализации стратегии, при которой траектория разбивается на прямолинейные участки и участки движения вдоль границы фазового ограничения. Эта стратегия позволяет точно определять моменты переключения между режимами движения. Для систематизации решений построен граф, где вершины – точки переключения, а рёбра – допустимые траектории. Предложенный подход эффективен даже при большом числе препятствий и сопровождается строгим теоретическим обоснованием.

г) Предложены оригинальные методы решения задач оптимального управления для нелинейных робототехнических систем с фазовыми ограничениями. Эти методы обеспечивают формирование траекторий, удовлетворяющих ограничениям на обобщённые координаты, скорости, ускорения и управляющие сигналы. В отличие от существующих подходов, они сочетают высокую точность и устойчивость с пониженной вычислительной нагрузкой за счёт адаптивных механизмов прогнозирования и коррекции траекторий.

д) Разработаны новые подходы к интеграции классических методов управления с технологиями машинного обучения и восприятия окружающей среды. В их числе – новый алгоритм идентификации динамической модели робота, генерация траекторий с использованием нейросетевых ар-

хитектур и построение функции выбора в системе интегрального управления на основе траекторий, сформированных с помощью адаптивного функционала. Эти решения существенно повышают автономность и надёжность роботов в неструктурированных и динамически изменяющихся условиях.

е) Создан гибридный алгоритм, объединяющий модифицированную схему модельно-прогнозирующего управления с новой архитектурой функции выбора, нацеленной на учёт оптимальности, и данные, получаемые от SLAM-системы (одновременной локализации и картографирования). Алгоритм адаптирован под условия реального времени и ограниченные вычислительные возможности бортовых контроллеров, при этом обеспечивает соблюдение фазовых ограничений, плавность управления и снижение энергопотребления.

ж) Реализованы программные комплексы, воплощающие в себе разработанные в диссертации методы и подходы.

6. Практическая значимость работы подтверждена внедрением предложенных методов в научные проекты Робототехнического центра ФИЦ ИУ РАН, а также их использованием в образовательном процессе.

7. Достоверность научных результатов подтверждена многоуровневой экспериментальной проверкой – как на виртуальных моделях, так и на физических прототипах, созданных в Робототехническом центре ФИЦ ИУ РАН.

8. Основные положения диссертации опубликованы в 29 научных работах в рецензируемых журналах и сборниках. Среди них – 7 публикаций в изданиях из Перечня ВАК (категории К-1 и К-2) и 10 статей в журналах, индексируемых в международных базах Scopus и Web of Science.

9. По диссертации и автореферату есть несколько замечаний, которые не снижают достоинств работы.

а) В главе 4 отсутствует чёткая математическая постановка задачи: не указаны пространства состояний и управлений, класс допустимых управлений, условия гладкости, тип ограничений (неравенства, равенства, смешанные).

б) Не всегда ясно, что именно минимизируется: время, энергия, отклонение от траектории? В разных разделах используются разные критерии, но их сравнительный анализ и обоснование выбора отсутствуют.

в) Термины «фазовые ограничения глубины 2», «ограничения на обобщённые координаты», «препятствия», «фазовые переменные» используются как синонимы, хотя в теории оптимального управления они имеют разный смысл.

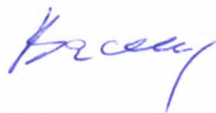
После обсуждения диссертационной работы Дарьиной А.Н. и на основании открытого голосования (результаты голосования: «ЗА» - 8, «ПРОТИВ» - 0, «ВОЗДЕРЖАЛИСЬ» - 0) решено, что диссертация Дарьиной Анны Николаевны «Методы решения задач оптимального управления с фазовыми ограничениями, возникающими в робототехнике» по специальности 1.2.3 – «Теоретическая информатика, кибернетика» представляет собой завершённую научно-исследовательскую работу, посвящённую решению актуальной современной научной проблемы – получению 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, имеет большое теоретическое и практическое значение и внедрена в учебный процесс. Работа полностью соответствует изложенным в пунктах 9-14 «Положения о присуждении ученых степеней» (постановление правительства РФ № 842 от 24.09.2013 г.), предъявляемым к диссертациям на соискание учёной степени доктора наук, а её автор Дарьина Анна Николаевна заслуживает присуждения уче-

ной степени доктора физико-математических наук по специальности 1.2.3
– «Теоретическая информатика, кибернетика».

Заместитель заведующего кафедрой

исследования операций

д.ф.-м.н., профессор



Васин А.А.

Учёный секретарь кафедры

исследования операций

к.ф.-м.н., доцент



Поспелова И.И.