

**ЗАКЛЮЧЕНИЕ ДИССЕРТАЦИОННОГО СОВЕТА**  
МГУ.012.1 по диссертации на соискание учёной степени  
кандидата физико-математических наук

Решение диссертационного совета от 21 февраля 2024 г. №15

О присуждении Бузикову Максиму Эмонайевичу, гражданину Российской Федерации, учёной степени кандидата физико-математических наук.

Диссертация «Построение траектории наискорейшего перехвата движущейся цели» по специальности 1.2.2 «Математическое моделирование, численные методы и комплексы программ» принята к защите диссертационным советом 13 декабря 2023 г., протокол №10.

Соискатель Бузиков Максим Эмонайевич, 1995 года рождения, в 2017 году окончил с отличием бакалавриат физического факультета Московского государственного университета имени М.В. Ломоносова по направлению «Физика» (кафедра физико-математических методов управления), в 2019 г. окончил с отличием магистратуру физического факультета Московского государственного университета имени М.В. Ломоносова по направлению «Физика» (кафедра физико-математических методов управления). С 2019 по 2023 год соискатель обучался в аспирантуре физического факультета Московского государственного университета имени М.В. Ломоносова на кафедре физико-математических методов управления. С 01.08.2017 г. по настоящее время соискатель работает в лаборатории №38 «Управление по неполным данным» Института проблем управления им. В.А. Трапезникова Российской академии наук. На данный момент занимает должность научного сотрудника.

Диссертация выполнена в лаборатории №38 Института проблем управления им. В.А. Трапезникова Российской академии наук.

Научный руководитель – доктор технических наук, член-корреспондент РАН, Галяев Андрей Алексеевич, главный научный сотрудник Института проблем управления им. В.А. Трапезникова Российской академии наук, лаборатория №38 «Управление по неполным данным».

Официальные оппоненты:

Афанасьев Валерий Николаевич, доктор технических наук, профессор (уч.зв.), ординарный профессор департамента прикладной математики Московского института электроники и математики им. А.Н. Тихонова «Федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего образования «Национальный исследовательский университет «Высшая школа экономики»,

Пацко Валерий Семенович, кандидат физико-математических наук, старший научный сотрудник (уч.зв.), ведущий научный сотрудник отдела динамических систем «Федеральное государственное бюджетное учреждение науки «Институт математики и механики им. Н.Н. Красовского Уральского отделения Российской академии наук»,

Семенихин Константин Владимирович, доктор физико-математических наук, доцент (уч.зв.), профессор кафедры «Теория вероятностей и компьютерное моделирование», «Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Московский авиационный институт (национальный исследовательский университет)»

дали положительные отзывы на диссертацию.

Выбор официальных оппонентов обосновывается тем, что оппоненты являются ведущими специалистами по теме диссертации, компетентны в области математического моделирования, численных методов и разработки комплексов программ, результаты их исследований, полученные за последние годы, опубликованы в ведущих зарубежных и отечественных журналах и близки по теме исследованиям соискателя, что позволяет оппонентам дать всестороннюю глубокую оценку результатам, представленным в диссертационной работе.

Соискатель имеет 23 опубликованные работы, в том числе по теме диссертации 3 работы, из них 3 статьи, опубликованные в рецензируемых научных изданиях, рекомендованных для защиты в диссертационном совете МГУ по специальности 1.2.2 «Математическое моделирование, численные методы и комплексы программ»:

1. Buzikov M., Galyaev A. A. The game of two identical cars: An analytical description of the barrier // *Journal of Optimization Theory and Applications*. — 2023. — Vol. 198. — P. 988–1018. (1.9375 п. л.) [WoS Q2: Impact Factor — 1.9, Scopus Q1] — Вклад: 95%.
2. Buzikov M. E., Galyaev A. A. Minimum-time lateral interception of a moving target by a Dubins car // *Automatica*. — 2022. — Jan. — Vol. 135. — 109968. (0.5 п. л.) [WoS Q1: Impact Factor — 6.4, Scopus Q1] — Вклад: 90%.
3. Buzikov M. E., Galyaev A. A. Time-optimal interception of a moving target by a Dubins car // *Automation and Remote Control* — 2021. — Vol. 82, no. 5. — P. 745–758. (0.875 п. л.) [WoS Q3: Impact Factor — 0.538, Scopus Q2, RSCI Q1] — Вклад: 90%.

Все основные результаты, приведенные в вышеуказанных статьях и использованные в диссертации, получены автором лично под научным руководством д.т.н., чл.-корр. РАН А.А. Галеева. Каждый из используемых в ходе исследований численных алгоритмов был реализован автором в виде программного комплекса, проведено компьютерное моделирование, визуализация и описание результатов

численных экспериментов. Анализ полученных результатов, в частности, сравнения с аналитическими решениями и другими численными методами, проводился автором лично. Соавтор помогал автору с редактурой текста. В работе [1] автором был предложен метод вычисления синтезирующих управлений в силу полупроницаемости для дифференциальной игры двух идентичных автомобилей, устойчивый к ошибкам округления входных данных. Также в этой работе на основании численного моделирования и трехмерной визуализации получено и математически обосновано исчерпывающее описание барьерной поверхности соответствующей задачи, с полной классификацией всех возможных случаев значений параметров задачи. В статье [2] предложена математическая модель учета желаемого значения угла вектора скорости в финальный момент времени для задачи наискорейшего бокового перехвата движущейся цели машиной Дубинса для класса задач перехвата с непрерывной траекторией движения цели, а также описан метод и алгоритм вычисления наименьшего времени перехвата и всех параметров оптимального управления. В работе [3] решен класс задач перехвата машиной Дубинса с нефиксированным углом перехвата: получен алгоритм вычисления времени быстрогодействия и всех параметров оптимального управления, приведена классификация возможных случаев, описана модель эволюции плоского множества достижимости.

На диссертацию и автореферат поступило 4 дополнительных отзыва, все положительные:

1. Отзыв на автореферат д.ф.-м.н., чл.-корр. РАН Решмина Сергея Александровича, главного научного сотрудника лаборатории механики систем Института проблем механики им. А.Ю. Ишлинского Российской академии наук содержит следующие замечания.

- Из текста автореферата не совсем ясно, что имеется ввиду под канонической формой и соответствующим преобразованием к ней, которые упоминаются в блок-схеме, изображенной на рисунке 1 (по тексту автореферата упоминаний про соответствующее преобразование нет).
- На вход блока «Преобразование из канонической формы» (рисунок 1) подается вектор-функция  $x(\cdot)$ , описывающая оптимальную траекторию перехвата в некоторой преобразованной системе отсчета (нет тильды). Зачем на вход этого блока подается вектор, задающий начальные условия  $\tilde{x}_0$ , записанный в исходной системе отсчета (отмечен тильдой), а не в преобразованной?

2. Отзыв на автореферат д.т.н., профессора Гурьева Юрия Владимировича, заведующего кафедрой механики и гидромеханики Военно-морского политехнического института ВУНЦ ВМФ «Военно-морская академия» содержит следующие замечания.
  - Из недостатков можно отметить, что в предложенном численном методе важную роль играет возможность аналитического вычисления функции расстояния до множества достижимости. Это существенно ограничивает спектр задач, для которых можно было бы без дополнительных трудностей применить предложенный алгоритм. Однако, разобранные содержательные примеры показывают перспективность предложенного алгоритма.
  - Также в автореферате имеется некоторое количество опечаток. Например, на стр. 15 в предпоследнем предложении явно пропущено слово «плоскости».
3. Отзыв на автореферат д.ф.-м.н., профессора Загребинной Софьи Александровны, заведующей кафедрой математического и компьютерного моделирования Южно-Уральского государственного университета (НИУ) замечаний не содержит.
4. Отзыв на автореферат к.ф.-м.н., Моржина Олега Васильевича, старшего научного сотрудника отдела математических методов квантовых технологий Математического института им. В.А. Стеклова Российской академии наук (МИАН) замечаний не содержит.

Диссертационный совет отмечает, что представленная на соискание учёной степени кандидата физико-математических наук диссертация является научно-квалификационной работой, в которой на основании выполненных автором исследований разработаны и реализованы различные численные методы решения задач перехвата движущейся цели. Разработанный автором программный комплекс может быть использован для построения опорных траекторий для подвижных объектов управления, а также для систем предупреждения о возможном столкновении.

Диссертация представляет собой самостоятельное законченное исследование, обладающее внутренним единством. Положения, выносимые на защиту, содержат новые научные результаты и свидетельствуют о личном вкладе автора в науку:

1. метод и алгоритмы, вычисляющие наименьшее время перехвата для класса задач оптимального управления с критерием быстродействия и изменяющимся во времени терминальным условием (движущейся целью), доказательство сходимости этих алгоритмов, а также оптимальности в своём классе по скорости сходимости алгоритма, основанного на лучшей из функций универсального оценивания снизу;

2. численные методы и алгоритмы, реализованные в виде комплекса проблемно-ориентированных программ для построения траектории в задаче наискорейшего перехвата движущейся цели машиной Дубинса;
3. математическая модель учёта желаемого значения угла вектора скорости в финальный момент времени для задачи наискорейшего бокового перехвата движущейся цели машиной Дубинса, алгоритм и его реализация для построения траектории бокового перехвата;
4. метод вычисления оптимальных синтезирующих управлений на барьере, определяющих оптимальные траектории преследования-уклонения игроков, для игры двух идентичных автомобилей, доказательство наличия геометрических различий в построении барьера для различных значений радиуса захвата.

На заседании 21 февраля 2024 года диссертационный совет принял решение присудить Бузикову М.Э. учёную степень кандидата физико-математических наук.

При проведении тайного голосования диссертационный совет в количестве 18 человек, из них 12 докторов наук по специальности 1.2.2, участвовавших в заседании, из 27 человек, входящих в состав совета, дополнительно введены на разовую защиту 0 человек, проголосовали: за - 18, против - 0, недействительных голосов - 0.

Председатель диссертационного совета,  
академик РАН

**Тыртышников Е.Е.**

Учёный секретарь диссертационного совета,  
член-корреспондент РАН

**Ильин А.В.**

Декан факультета ВМК

**Соколов И.А.**

«21» февраля 2024 г.