

**ОТЗЫВ на автореферат диссертации**  
**на соискание ученой степени кандидата физико-математических наук**  
**Бузикова Максима Эмонайевича**  
**на тему: «Построение траектории наискорейшего перехвата**  
**движущейся цели»**  
**по специальности 1.2.2. – «Математическое моделирование,**  
**численные методы и комплексы программ»**

В настоящее время стремительно возрастает интерес в усовершенствовании систем автоматизации движения автономных устройств, а также в усовершенствовании систем предупреждения о столкновении. Необходимо отметить, что как в военной, так и в гражданской проблемной области возникают задачи наискорейшего перехвата цели, движущейся известным образом. Большинство современных законов наведения, используемых на практике, выводятся с использованием теории оптимального управления для линейно-квадратичных моделей. Такая формализация позволяет получить аналитическое решение в форме управления по обратной связи. Этот подход требует линейной аппроксимации уравнений состояния реальной системы. Более общий способ решения задачи наискорейшего перехвата движущейся цели состоит в упрощении модели системы до такого уровня, что соответствующая задача оптимального управления начинает поддаваться аналитическому решению. В свою очередь, решение упрощённой задачи определяет опорную траекторию для реального объекта управления, поэтому использование такого решения требует применение методов синтеза законов управления для следования по опорной траектории. При этом упрощённая задача должна одновременно удовлетворять двум требованиям. Во-первых, опорная траектория, полученная в результате решения упрощённой задачи, должна быть в определённом смысле как можно более близка к практически реализуемой. Во-вторых, процесс вычисления оптимальной траектории должен быть быстрым по времени и не затратным по дополнительно выделяемой памяти компьютера.

В настоящей работе используется идея построения всегда сходящегося

алгоритма вычисления корня вещественного уравнения. Использование этой идеи осуществлено в рамках задачи оптимального управления с учётом специальных свойств функции расстояния до проекции множества достижимости объекта управления. Также в данной работе приведён исчерпывающий анализ поведения поверхности барьера в игре преследования-уклонения двух идентичных автомобилей и получены явные выражения для оптимальных управлений в форме синтеза для обоих игроков на поверхности барьера.

Всё это свидетельствует об *актуальности вопроса* в создании специального математического обеспечения, обеспечивающего повышение эффективности построения опорных траекторий для динамических объектов управления; тестировании алгоритмов построения наискорейшей траектории перехвата движущейся цели; аналитического исследования некоторых конкретных моделей объектов управления (модели простых движений, модели Дубинса) в рамках поставленной задачи наискорейшего перехвата.

*Научная новизна* полученных в диссертации результатов определяется разработкой математического обеспечения, позволяющего исследовать свойства задачи оптимального управления с критерием быстродействия с изменяющимся во времени терминальным условием (движущейся целью) и выделить такие общие требования к уравнениям состояния динамической системы, чтобы сохранялась возможность конструирования всегда сходящихся универсальных алгоритмов нахождения оптимального значения критерия (наименьшего времени перехвата). Кроме того, разработанные автором алгоритмы, реализованные в виде комплекса программ, позволяют гарантированно и эффективно находить наименьшее время перехвата и строить соответствующую оптимальную траекторию перехвата.

*Теоретическая и значимость* работы заключаются в разработке метода и алгоритмов, вычисляющих наименьшее время перехвата для класса задач оптимального управления с критерием быстродействия и изменяющимся во времени терминальным условием (движущейся целью). Проведено

доказательство сходимости этих алгоритмов, а также оптимальности в своём классе по скорости сходимости алгоритма, основанного на лучшей из функций универсального оценивания снизу. Кроме того, предложен 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.

*Практическая значимость* работы определяется возможностью использования полученных результатов для класса задач оптимального управления, для которых модель движения объекта управления достаточно проста (сохраняется возможность эффективного вычисления функции расстояния от произвольной точки до соответствующей проекции множества достижимости объекта управления). Класс таких задач содержит широкий спектр практически важных моделей (модель простых движений, модель Дубинса, модель изотропных ракет и др.), широко используемых для построения опорных траекторий в различных задачах техники.

Достоверность научных положений и выводов работы обеспечивается внутренней непротиворечивостью и соответствию теоретических выводов результатам численного моделирования в конкретных примерах, подтверждена результатами тестирования разработанного программного обеспечения. Также результаты диссертационного исследования находятся в преимущественном соответствии с результатами, опубликованными другими специалистами математического и компьютерного моделирования данной предметной области.

Отметим, что, исходя из содержания автореферата, всем главам диссертационного исследования присущи *научная новизна, теоретическая и практическая значимость*. Содержание автореферата М.Э. Бузикова полностью отражает основные положения диссертационного исследования. Диссертация выполнена на высоком уровне, результаты являются достоверными и в достаточной степени опубликованными.

Работа отвечает требованиям, установленным Московским государственным университетом имени М.В. Ломоносова к работам подобного рода. Содержание диссертации соответствует специальности 1.2.2. – «Математическое моделирование, численные методы и комплексы программ» и оформлена согласно установленным требованиям Московского государственного университета имени М.В. Ломоносова.

Соискатель Бузиков Максим Эмонаевич заслуживает присуждения ученой степени кандидата физико-математических наук по специальности 1.2.2. – «Математическое моделирование, численные методы и комплексы программ».

Доктор физико-математических наук, профессор  
Заведующий кафедрой математического и компьютерного моделирования,  
ФГАОУ ВО «Южно-Уральский государственный университет (национальный  
исследовательский университет)»,  
ЗАГРЕБИНА Софья Александровна



12 января 2024 г.

Контактные данные:

тел.: +7 (351) 267-90-48; e-mail: zagrebinasa@susu.ru

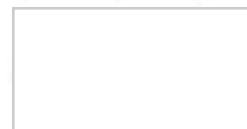
Адрес места работы: 454080, Челябинская обл., г. Челябинск, пр. Ленина, д. 76,  
Федеральное государственное автономное образовательное учреждение  
высшего образования «Южно-Уральский государственный  
университет (национальный исследовательский университет)», кафедра  
математического и компьютерного моделирования.

Тел.: +7 (351) 267-99-00; e-mail: info@susu.ru



Подпись сотрудника ЮУрГУ С.А. Загребиной удостоверяю.

начальник службы делопроизводства ЮУрГУ



Н.Е. Циулина