

СВЕДЕНИЯ О РЕЗУЛЬТАТАХ ПУБЛИЧНОЙ ЗАЩИТЫ

Диссертационный совет: 24.2.327.02

Соискатель: Урюпин Илья Вадимович

Тема диссертации: «Оптимизация переключений непрерывно-дискретных управляемых процессов»

Специальность: 2.3.1 – «Системный анализ, управление и обработка информации»

Решение диссертационного совета по результатам защиты: На заседании 17 июня 2022 года, протокол № 21, диссертационный совет пришел к выводу о том, что диссертация Урюпина И. В. «Оптимизация переключений непрерывно-дискретных управляемых процессов» представляет собой законченную научно-квалификационную работу, которая соответствует критериям, установленным Положением о присуждении ученых степеней, утвержденным постановлением Правительства Российской Федерации от 24 сентября 2013 года № 842, и принял решение присудить Урюпину Илье Вадимовичу ученую степень кандидата физико-математических наук.

Присутствовали: Наумов А. В. – *председатель*, Кибзун А. И. – *зам. председателя*, Рассказова В. А. – *ученый секретарь*, а также члены диссертационного совета: Битюков Ю. И., Борисов А. В., Бортаковский А. С., Босов А. В., Кан Ю. С., Колесник С. А., Короткова Т. И., Котельников М. В., Красильников П. С., Красинский А. Я., Кузнецов Е. Б., Кузнецова Е. Л., Кулагин Н. Е., Пантелеев А. В., Ревизников Д. Л., Синицин В. И., Формалев В. Ф., Хрусталева М. М., Ципенко А. В.

Ученый секретарь диссертационного
совета 24.2.327.02, к.ф.-м.н.

Рассказова В. А. Рассказова



ЗАКЛЮЧЕНИЕ ДИССЕРТАЦИОННОГО СОВЕТА 24.2.327.02,
СОЗДАННОГО НА БАЗЕ ФЕДЕРАЛЬНОГО ГОСУДАРСТВЕННОГО
БЮДЖЕТНОГО ОБРАЗОВАТЕЛЬНОГО УЧРЕЖДЕНИЯ ВЫСШЕГО
ОБРАЗОВАНИЯ «МОСКОВСКИЙ АВИАЦИОННЫЙ ИНСТИТУТ
(НАЦИОНАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ)»
ПО ДИССЕРТАЦИИ
НА СОИСКАНИЕ УЧЕНОЙ СТЕПЕНИ КАНДИДАТА НАУК

аттестационное дело № _____

решение диссертационного совета от 17.06.2022 № 21

О присуждении Урюпину Илье Вадимовичу, гражданину РФ, ученой степени кандидата физико-математических наук.

Диссертация «Оптимизация переключений непрерывно-дискретных управляемых процессов» по специальности 2.3.1 – «Системный анализ, управление и обработка информации» принята к защите «13» апреля 2022 года (протокол заседания № 20) диссертационным советом 24.2.327.02, созданным на базе Федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Московский авиационный институт (национальный исследовательский университет)», Министерство науки и высшего образования РФ, 125993, г. Москва, А-80, ГСП-3, Волоколамское шоссе, 4, приказы Минобрнауки РФ: о создании диссертационного совета № 714/нк от 02.11.2012, об изменении состава диссертационного совета № 628/нк от 07.10.2013, 574/нк от 15.10.2014, № 1339/нк от 29.10.2015, № 710/нк от 21.06.2016, № 1403/нк от 01.11.2016, № 1017/нк от 20.10.2017, № 272/нк от 27.03.2019.

Соискатель Урюпин Илья Вадимович, 15 июня 1993 года рождения. В 2017 году соискатель окончил Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Московский авиационный институт (национальный исследовательский университет)» по специальности «Прикладная математика». В период подготовки диссертации Урюпин И.В. обучался в аспирантуре Федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Московский авиационный институт (национальный исследовательский университет)» по программе подготовки научно-педагогических кадров в системе послевузовского

профессионального образования по научной специальности 09.06.01 «Информатика и вычислительная техника». Соискатель с марта 2018 по июль 2019 года работал младшим научным сотрудником ООО «Межотраслевой аналитический центр». Затем, с августа 2019 по февраль 2022 года работал научным сотрудником ООО «Межотраслевой аналитический центр». С марта 2022 года по настоящее время работает в Федеральном государственном учреждении «Федеральный исследовательский центр «Информатика и управление» Российской академии наук» в отделе «Информационные технологии управления и моделирования информационных систем» в должности математика 1 категории.

Диссертация выполнена на кафедре 805 «Математическая кибернетика» Федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Московский авиационный институт (национальный исследовательский университет)», Министерство науки и высшего образования РФ.

Научный руководитель – Бортакровский Александр Сергеевич, доктор физико-математических наук, доцент, профессор кафедры 805 «Математическая кибернетика» Федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Московский авиационный институт (национальный исследовательский университет)», профессор по внешнему совместительству кафедры «Математика» Федерального государственного автономного образовательного учреждения высшего образования «Национальный исследовательский технологический университет «МИСиС».

Официальные оппоненты:

1. Канатников Анатолий Николаевич, доктор физико-математических наук, доцент, профессор кафедры «Математическое моделирование» Федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Московский государственный технический университет имени Н.Э. Баумана (национальный исследовательский университет)»,
2. Румянцев Дмитрий Станиславович, кандидат физико-математических наук, старший научный сотрудник лаборатории 45 «Оптимальных

управляемых систем имени В.Ф. Кротова» Федерального государственного бюджетного учреждения науки Институт проблем управления им. В.А. Трапезникова Российской академии наук.

дали положительные отзывы на диссертацию.

Ведущая организация – Федеральное государственное бюджетное учреждение науки Институт программных систем имени А.К. Айламазяна Российской академии наук в своем положительном отзыве, подписанном руководителем Исследовательского центра процессов управления, доктором физико-математических наук Сачковым Юрием Леонидовичем указала, что диссертационная работа представляет собой законченное научное высококвалифицированное математическое исследование, внесшее значительный вклад в теорию оптимального управления гибридными системами. Полученные в работе основные результаты являются новыми и строго обоснованными.

Диссертационная работа удовлетворяет всем требованиям ВАК РФ, предъявляемым к диссертациям на соискание ученой степени кандидата физико-математических наук, а ее автор, Урюпин И.В., заслуживает присуждения ученой степени кандидата физико-математических наук по специальности 2.3.1 – «Системный анализ, управление и обработка информации».

Соискатель имеет 16 опубликованных научных работ по теме диссертации, из которых 6 работ опубликованы в изданиях из Перечня ведущих рецензируемых научных журналов и изданий (в том числе 2 работы опубликованы в журналах, реферируемых в международных базах Scopus и Web of Science). Зарегистрированы 2 программы для ЭВМ.

Содержание данных работ в полной мере отражает содержание диссертационной работы, в которой отсутствуют некорректные и недостоверные ссылки, соискателем в данных работах получены основные практические и теоретические результаты.

Наиболее значимые научные работы соискателя по теме диссертации:

1. Урюпин И.В. Синтез оптимальных кусочно-гладких аппроксимаций траекторий движения летательных аппаратов // "Труды МАИ", 2018. № 100. – 15 с. URL: trudymai.ru/published.php?ID=93440. (ВАК).

2. Бортаковский А.С., Урюпин И.В. Компьютерная технология синтеза оптимальных линейных переключаемых систем // Вестник компьютерных и информационных технологий, 2019. №11. С.13-22. (ВАК).
3. Бортаковский А.С., Урюпин И.В. Минимизация количества переключений оптимальных непрерывно-дискретных управляемых процессов // Изв. РАН, ТиСУ. 2019. №4. С. 29-46. (ВАК, Scopus, WoS).
4. Бортаковский А.С., Урюпин И.В. Синтез траектории летательного аппарата с многокритериальным планированием промежуточных условий // "Труды МАИ", 2020. №113. – 20 с. URL: <http://trudymai.ru/published.php?ID=118185>. (ВАК).
5. Бортаковский А.С., Урюпин И.В. Оптимизация траекторий переключаемых систем // Изв. РАН. ТиСУ. 2021. № 5. С. 33-51. (ВАК, Scopus, WoS).
6. Урюпин И.В. Оптимизация непрерывных систем в классе кусочно-постоянных управлений // "Труды МАИ", 2021. № 121. – 23 с. URL: <http://trudymai.ru/published.php?ID=162666>. (ВАК).
7. Бортаковский А.С., Урюпин И.В. Синтез оптимальной переключаемой системы с обменом каналов управления. // Федеральная служба по интеллект. собственности. Св-во о гос. регистрации программы для ЭВМ № 2019614061. 2019. (ВАК).
8. Бортаковский А.С., Урюпин И.В. Оптимизация маршрута непрерывно-дискретного движения управляемого объекта при наличии препятствий. // Федеральная служба по интеллект. собственности. Св-во о гос. регистрации программы для ЭВМ № 2021619328. 2021. (ВАК).

На диссертацию и автореферат поступили отзывы.

Отзыв на диссертацию официального оппонента, д.ф.-м.н., проф. Канатникова Анатолия Николаевича.

Отзыв положительный. Замечания по диссертационной работе:

- 1) На мой взгляд, введение несколько затянуто. Было бы более разумным во введении уделить больше внимания системам с переключениями и, главное, возможным приложениям, в которых они были бы полезны. В то же время обзор по современному состоянию гибридных систем,

соответствия различных интерпретаций в их теории — довольно сложная задача, которая далеко выходит за рамки данной работы.

- 2) Обозначение $D(t_0, x_0)$, введенное на с. 26, противопоставляется обозначению $D(t, x)$, которое, по существу, то же самое.
- 3) Пример в разд. 1.6 не имеет каких-либо мотивировочных данных. Следовало бы подчеркнуть цель этого примера и сформулировать его на содержательном уровне, преобразовав затем в чисто математическую задачу. Кроме того, поставлена задача минимизации количества переключений при допустимом уровне $\varepsilon = 10^{-3}$, которая, очевидно, решения не имеет (такого уровня функционал качества не достигает ни при каких условиях). Следовало задать уровень в виде $J_{min} + \varepsilon$ (превышение минимального значения не более чем на ε). Разумеется, это проверять сложно, поскольку J_{min} не известно. Поэтому следовало оговорить о замене критерия аналогично тому, как это происходит в задачах минимизации (расхождение между последовательными значениями минимизирующей последовательности не выше заданного уровня).
- 4) В линейно-квадратичной задаче есть двусмысленность при формировании функционала качества. Обозначения C_{t_i} , D_{t_i} можно рассматривать как объекты, зависящие от времени (и тогда не ясно, чем они отличаются от $C(t)$, $D(t)$), а можно считать, что они зависят от порядка переключения, т.е. от i .
- 5) В работе используется понятие фиктивного переключения, однако это понятие нигде не разъяснено, хотя и не является тривиальным.
- 6) Есть немало замечаний редакционного и стилистического характера.

Отзыв на диссертацию официального оппонента, к.ф.-м.н., с.н.с., Румянцева Дмитрия Станиславовича.

Отзыв положительный. Замечания по диссертационной работе:

- 1) Теоремы и утверждения доказаны в статьях автора, но не представлены в тексте диссертации, что затрудняет целостное восприятие работы.
- 2) В таблице приближенных вычислений (в примере во второй главе) приведены невязки, полученные при численном решении системы

уравнений с разными количествами переключений, однако анализ немонотонного убывания невязок в диссертационной работе отсутствует.

- 3) Автор не приводит оценку вычислительных ресурсов, требуемых для выполнения расчётов, не указывает путей ускорения процессов вычислений.
- 4) В задаче оптимизации траектории Маркова-Дубинса с промежуточными условиями возможен случай прохождения полученной оптимальной траектории через недопустимые узлы сетки, например при больших значениях линейной скорости. Такая ситуация в работе не исследуется.

Отзыв на диссертацию ведущей организации Федерального государственного бюджетного учреждения науки Институт программных систем имени А.К. Айламазяна Российской академии наук.

Замечания по диссертации:

- 1) В алгоритмах синтеза оптимального "управляющего комплекса" не приводятся оценки точности, а также скорости сходимости применяемых методов оптимизации моментов переключений.
- 2) При реализации алгоритмов синтеза оптимального управления переключаемой системы не исследуются вопросы, связанные с распараллеливанием вычислений. Использование такой технологии позволило бы существенно сократить затрачиваемое время вычислений в предлагаемых алгоритмах и программных комплексах.
- 3) В разделе 3 диссертационной работы, в алгоритмах планирования маршрутов плоского движения объекта на сетке с препятствиями, не описана ситуация, для случая не единственного оптимального управления, хотя по решению задачи видно, что эта не единственность учитывается.
- 4) Не рассмотрены модификации машины Маркова – Дубинса, имеющие более прикладной характер. Например, пространственные траектории Маркова – Дубинса.

На автореферат диссертации поступили 4 отзыва.

1. **Федеральное государственное бюджетное учреждение науки «Институт проблем передачи информации имени А.А. Харкевича Российской академии наук».**

Отзыв подписан кандидатом технических наук, научным сотрудником, лаборатории № 2 «Методы анализа и цифровой обработки изображений», Миллером Александром Борисовичем. Отзыв положительный. Замечания к автореферату:

- 1) В формуле (1) на стр. 6 в цепочке неравенств объект t_{N+1} является лишним. Принципиальным для исследуемых задач, на мой взгляд, является то, что число скачков конечно.
- 2) В квадратичном критерии (7) на стр. 7 возникают величины. Назначение этих величин не указано. Сказано только, что величина неотрицательная при всех t .
- 3) Не исследована сходимость алгоритма синтеза оптимального управления линейной гибридной системой с квадратичным критерием качества (стр. 10), а также влияние погрешностей оптимальных моментов переключений на точность определения непрерывного и дискретного оптимальных позиционных управлений.
- 4) В формуле (33) на стр. 13 при описании постановки задачи линейная скорость записана как функция времени, а при описании метода решения в формуле (34) на стр. 14 и в модели Маркова-Дубинса (37) на стр. 15 линейная скорость движения становится постоянной. Как именно она выбирается в автореферате не указано.

2. Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Владимирский государственный университет имени Александра Григорьевича и Николая Григорьевича Столетовых» (ВлГУ)

Отзыв подписан доктором физико-математических наук, доцентом, профессором кафедры функционального анализа и его приложений, Родиной Людмилой Ивановной. Отзыв положительный. Замечания к автореферату:

- 1) Не исследованы вопросы существования и единственности решения уравнения движения при неограниченном количестве мгновенных многократных переключений.
- 2) Полученные в разделе 2 теоретические результаты не иллюстрируются примерами.

3. Федеральное автономное учреждение «Государственный научно-исследовательский институт авиационных систем» (ГосНИИАС).

Отзыв подписан доктором физико-математических наук, профессором Российской академии наук, начальником подразделения, Визильтером Юрием Валентиновичем. Отзыв положительный. Замечания к автореферату:

- 1) Для моделирования движения летательных аппаратов используемая модель Маркова-Дубинса является тривиальной. Такая модель, как правило, используется в академических примерах, а не в прикладных задачах.
- 2) Техническая реализация мгновенных многократных переключений гибридных систем не обоснована.

4. Московская школа экономики Московского государственного университета имени М.В. Ломоносова.

Отзыв подписан кандидатом физико-математических наук, доцентом кафедры общей экономической теории, Беляковым Антоном Олеговичем. Отзыв положительный. Замечания к автореферату:

- 1) Алгоритм синтеза оптимального «управлявшего комплекса», описанный на стр. 9-10, представляется труднореализуемым, так как моментные функции цены для нелинейной переключаемой системы фактически являются функционалами.
- 2) В работе не рассматриваются задачи на бесконечном времени и со счетным числом переключений.

Выбор официальных оппонентов и ведущей организации обосновывается их компетентностью в области тем, затрагиваемых в диссертационном исследовании.

Официальный оппонент, д.ф.-м.н., Канатников Анатолий Николаевич работает профессором кафедры «Математическое моделирование» ФГБОУ ВО «Московский государственный технический университет имени Н.Э. Баумана (национальный исследовательский университет)». Область научных интересов – качественный анализ динамических систем различных типов (задачи, локализации, анализ поведения траекторий динамических систем), управление

нелинейными системами, в том числе управление летательными аппаратами, управление в среде с препятствиями. Автор более 50 научных трудов.

Официальный оппонент, к. ф.-м. н., Румянцев Дмитрий Станиславович – старший научный сотрудник лаборатории 45 «Оптимальных управляемых систем имени В.Ф. Кротова» ФГБУН Институт проблем управления имени В.А. Трапезникова РАН. Область научных интересов – оптимальное управление стохастическими системами. Автор более 20 научных работ.

Ведущая организация – Федеральное государственное бюджетное учреждение науки Институт программных систем имени А.К. Айламазяна Российской академии наук имеет широкий круг проводимых фундаментальных, поисковых и прикладных научных исследований в области искусственного интеллекта, оптимального управления, параллельных вычислений, технологий построения региональных телекоммуникационных сетей, распределенных интеллектуальных систем.

Диссертационный совет отмечает, что на основании выполненных соискателем исследований получены следующие научные результаты:

- поставлена и исследована задача минимизации количества переключений непрерывно-дискретных управляемых процессов функционирования гибридных систем;
- разработаны численно-аналитический метод решения линейно-квадратичной задачи синтеза оптимального управления гибридными системами с мгновенными многократными переключениями и реализующий его программный комплекс;
- доказаны необходимые условия оптимальности кусочно-постоянного управления непрерывными системами с учетом затрат на переключения управления; разработан метод применения условий оптимальности кусочно-постоянного управления для приближенного решения задачи оптимального кусочно-непрерывного управления;
- на основе достаточных условий оптимальности решены задачи быстродействия и минимизации количества переключений (поворотов) для разных моделей плоского движения объекта управления по карте с препятствиями;

- доказаны необходимые условия оптимальности траектории Маркова-Дубинса с заданными промежуточными состояниями, на основе которых разработаны алгоритм решения задачи оптимизации траекторий Маркова-Дубинса плоского движения летательного аппарата при наличии препятствий, а также реализующий его программный комплекс.

Теоретическая значимость диссертации заключается в исследовании и решении новой задачи – минимизации количества переключений непрерывно-дискретных управляемых процессов функционирования гибридных систем, в доказательстве необходимых условий оптимальности кусочно-постоянного управления непрерывными системами с учетом затрат на переключения управления, а также в доказательстве необходимых условий оптимальности траектории Маркова-Дубинса с заданными промежуточными состояниями.

Значение полученных соискателем результатов исследования для практики подтверждается тем, что в диссертации разработаны алгоритмы решения задач анализа и синтеза оптимального управления гибридными системами с учетом минимизации количества переключений, которые могут быть применимы в авиационной и космической областях, а также в робототехнике. Разработаны два комплекса программ для решения прикладных задач: синтеза оптимальной переключаемой системы с обменом каналов управления и оптимизации маршрута непрерывно-дискретного движения управляемого объекта при наличии препятствий.

Оценка достоверности результатов исследования обеспечивается строгим математическим обоснованием разработанных алгоритмов. Приближенные решения академических примеров, полученные предложенными алгоритмами, совпадают с аналитическими решениями.

Личный вклад соискателя является определяющим на всех этапах исследований и заключается в:

- разработке алгоритма решения линейно-квадратичной задачи синтеза оптимальной гибридной системы;
- доказательстве необходимых условий оптимальности кусочно-постоянного управления непрерывными системами;

- разработке алгоритма приближенного решения задачи оптимального кусочно-непрерывного управления в классе кусочно-постоянных функций;
- решении задач быстродействия и минимизации количества переключений (поворотов) для разных моделей плоского движения объекта управления;
- доказательстве необходимых условий оптимальности траектории Маркова-Дубинса с заданными промежуточными состояниями; разработке алгоритма оптимизации траекторий Маркова-Дубинса плоского движения летательного аппарата при наличии препятствий;
- написании программного кода, проектировании интерфейса, отладке и тестировании программных комплексов, реализующих разработанные алгоритмы.

Научному руководителю принадлежат постановки исследуемых задач и условия оптимальности переключаемых систем.

В ходе защиты диссертации **не было высказано критических замечаний**, которые ставили бы под сомнение обоснованность научных положений, выводов, и рекомендаций, сформулированных в диссертации, их достоверность и новизну.

Соискатель Урюпин И.В. ответил обстоятельно и аргументированно на все задаваемые ему в ходе заседания вопросы.

Диссертационный совет считает, что диссертационная работа Урюпина Ильи Вадимовича является самостоятельно выполненной, завершенной научно-квалификационной работой, в которой получены важные результаты по оптимизации гибридных систем, разработке методов, алгоритмов и программных комплексов синтеза оптимальных гибридных систем. Диссертация удовлетворяет пункту 9 постановления Правительства РФ №842 от 24.09.2013 «О порядке присуждения ученых степеней».

На заседании 17 июня 2022 года диссертационный совет принял решение присудить Урюпину И.В. ученую степень кандидата физико-математических наук.

При проведении тайного голосования диссертационный совет в количестве 22 человек, из них 6 докторов наук по специальности 2.3.1 «Системный анализ, управление и обработка информации», участвовавших в заседании, из 30

человек, входящих в состав совета, проголосовали: за 22, против 0,
недействительных бюллетеней 0.

Председатель диссертационного совета

24.2.327.02, д.ф.-м.н., доцент

А. В. Наумов

Ученый секретарь диссертационного

совета 24.2.327.02, к.ф.-м.н.

В. А. Рассказова

17 июня 2022 г.

Начальник отдела АПС МАИ

Т.А. Ашуткина

