

**Отзыв официального оппонента
кандидата физико-математических наук**

Урюпина Ильи Вадимовича

на диссертационную работу Симкиной Анастасии Вячеславовны на тему «Алгоритмы построения и аппроксимации предельных множеств 0-управляемости и достижимости для линейных дискретных систем с геометрическими ограничениями на управление», представленной на соискание учёной степени кандидата физико-математических наук по специальности 2.3.1. «Системный анализ, управление и обработка информации, статистика».

Актуальность темы диссертационной работы

Диссертационная работа Симкиной А.В. посвящена разработке алгоритмов построения и внешнего оценивания предельных множеств 0-управляемости и достижимости для линейных дискретных систем с геометрическими ограничениями на управление.

Задачи анализа предельных множеств управляемости и достижимости занимают важное место в теории управления. Эти множества описывают долгосрочные возможности системы — какие состояния принципиально достижимы или могут быть приведены к нулю при любых допустимых управлениях. Их знание необходимо при решении широкого круга прикладных задач: от стабилизации летательных аппаратов и управления технологическими процессами до моделирования биологических и экономических систем.

Кроме того, предельные множества могут иметь сложную структуру — быть как полиэдральными, так и неполиэдральными, что требует разработки специализированных алгоритмов аппроксимации.

В диссертации предлагаются новые подходы к решению указанных задач, основанные на методах опорных полупространств и принципе сжимающих отображений. Разработанные алгоритмы позволяют строить внешние оценки предельных множеств с любой наперёд заданной точностью, что подтверждается как строгими математическими доказательствами, так и результатами численных экспериментов. Практическая значимость работы подтверждена решением задач коррекции орбиты спутника, демпфирования высотных сооружений и стабилизации уровня глюкозы в крови человека.

Всё вышесказанное подтверждает актуальность темы диссертационного исследования.

ОТДЕЛ КОРРЕСПОНДЕНЦИИ
И КОНТРОЛЯ ИСПОЛНЕНИЯ
ДОКУМЕНТОВ МАИ
2026

Структура и содержание работы

Диссертация состоит из введения, четырёх глав, заключения и списка литературы. Структура работы логична и подчинена единой цели — разработке алгоритмов построения предельных множеств.

Глава 1 посвящена предельным множествам 0-управляемости. Автор формулирует необходимые и достаточные условия их ограниченности. Ключевым результатом является разработка двух методов внешнего оценивания: (1) метод опорных полупространств, позволяющий строить оценки в направлениях собственных векторов, и (2) метод сжимающих отображений, который гарантирует сходимость последовательности множеств 0-управляемости в метрике Хаусдорфа к предельному множеству 0-управляемости (с точностью до замыкания).

В главе 2 рассматриваются предельные множества достижимости. В отличие от главы 1, где для построения оценок множеств 0-управляемости использовалась обратимость матрицы A , в главе 2 требование невырожденности матрицы системы не является обязательным, что расширяет класс рассматриваемых систем. Доказаны условия ограниченности данных множеств, построены внешние оценки на основе опорных полупространств и снова применён принцип сжимающих отображений.

Глава 3 посвящена почти периодическим системам. Автором предложен метод декомпозиции системы размерности $n = 2m$ на m двумерных подсистем. Для периодических двумерных подсистем получено точное аналитическое представление предельных множеств. Этот результат используется для построения внешних оценок множеств достижимости и 0-управляемости для систем, которые могут быть сколь угодно точно приближены за счёт представления погрешности через метрику Хаусдорфа.

Глава 4 носит прикладной характер. Описана разработанная автором программа для ЭВМ на языке C++, реализующая алгоритмы из глав 1–3. Приведены результаты построения предельных множеств для трёх прикладных задач: управления аэростатом, стабилизации уровня глюкозы в крови и демпфирования высотного сооружения.

Научная новизна диссертационной работы

Научная новизна работы заключается в следующем:

1. Получены необходимые и достаточные условия ограниченности предельных множеств 0-управляемости и достижимости для линейных систем с дискретным временем и геометрическими ограничениями на управление.
2. Разработан алгоритм построения оценок предельных множеств 0-управляемости и достижимости, основанный на аппарате опорных полупространств.

3. Разработан алгоритм построения сходящейся последовательности внешних оценок предельных множеств 0-управляемости и достижимости на основе принципа сжимающих отображений.

4. Разработан алгоритм построения внешней оценки предельных множеств 0-управляемости и достижимости для почти периодических систем.

Теоретическая значимость определяется развитием математического аппарата для анализа предельных множеств дискретных систем.

Практическая значимость подтверждена созданием программы и её применением к прикладным задачам.

Достоверность результатов диссертационного исследования обеспечивается строгостью приведенных доказательств и подтверждается результатами численных экспериментов. Полученные научные результаты четко сформулированы и в достаточной мере апробированы. По теме диссертации опубликовано 7 научных работ, в том числе 3 статьи, индексируемые в Web of Science и Scopus, 4 статьи в изданиях из перечня ВАК, а также получено свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ.

На основе содержания работы и полученных результатов можно сделать вывод, что диссертационная работа Симкиной А.В. **соответствует паспорту специальности 2.3.1. «Системный анализ, управление и обработка информации, статистика».**

Замечания по диссертационной работе:

1. В диссертации получен ряд новых теоретических результатов, в частности условия ограниченности предельных множеств и оценки скорости сходимости метода сжимающих отображений. Вместе с тем желательным было бы более детальное описание алгоритмической стороны предложенных методов. Например, при изложении метода сжимающих отображений было бы полезно для полноты картины привести не только математические выкладки, но и рекомендации по программной реализации: по какому критерию останавливать итерационный процесс, как эффективно реализовать суммирование по Минковскому для множеств 0-управляемости. Включение подобных деталей сделало бы работу ещё более ценной с точки зрения практического применения.
2. Отсутствие анализа вычислительной сложности. В работе не оценивается вычислительная сложность предложенных алгоритмов в зависимости от размерности системы n , выбранного шага квантования M и точности ε . В примере 4.4

(демпфирование 20-мерного сооружения) полезно было бы указать не только результаты, но и затраченное машинное время.

3. Ряд прикладных задач описывается нелинейными дискретными системами. В этой связи возникает вопрос: возможно ли распространение предложенных методов на нелинейные системы и, если да, то при каких предположениях? Автор не обсуждает эту перспективу в диссертации.

4. Наконец, работу заметно бы украсил список используемых обозначений.

В целом диссертационная работа представляет собой законченное научное исследование. Указанные замечания носят частный характер и не снижают общей положительной оценки работы.

Заключение

Диссертация Симкиной Анастасии Вячеславовны является законченной научно-исследовательской работой, выполненной на современном научном уровне. Все намеченные в исследовании задачи решены, а поставленная в диссертационной работе цель достигнута. Работа написана квалифицированно, в научно-техническом стиле, имеет внутреннюю логику и аккуратно оформлена.

Содержание диссертации в полной мере изложено в статьях, опубликованных в журналах из перечня ВАК. Автореферат в полной мере отражает содержание работы. Выполненное диссертационное исследование соответствует требованиям Положения о присуждении учёных степеней, предъявляемых к кандидатским диссертациям, а её автор – **Симкина Анастасия Вячеславовна – заслуживает присуждения ей учёной степени кандидата физико-математических наук по специальности 2.3.1. «Системный анализ, управление и обработка информации, статистика».**

Официальный оппонент:

кандидат физико-математических наук,
младший научный сотрудник отделения 6
отдела 62 Федерального государственного
учреждения «Федеральный
исследовательский центр «Информатика и
управление» Российской академии наук»

Урюпин Илья Вадимович

119333, Москва, Вавилова, д.44, кор.2
тел.: +7 (499) 135-62-60
e-mail: frccsc@frccsc.ru



Подпись к.ф.-м.н., м.н.с. Урюпина И. В. заверяю