

ОТЗЫВ ОФИЦИАЛЬНОГО ОППОНЕНТА

доктора физико-математических наук, Ибрагимова Даниса Наилевича

на диссертационную работу Берлина Леонида Михайловича на тему
«Скалярное управление системой несинхронных осцилляторов по критерию
быстродействия», представленную на соискание ученой степени
кандидата физико-математических наук по специальности

2.3.1. – Системный анализ, управление и обработка информации, статистика

Актуальность темы исследования. Диссертационная работа закрывает ряд белых пятен в теории задач оптимального быстродействия для системы несинхронных осцилляторов с ограниченным скалярным управлением. Задача актуальна для многомерных колебательных динамических систем с дефицитом ресурса управления в случае, когда размерность вектора управления меньше размерности пространства состояний. Представленный единый подход на основе дополнительных условий невырожденности и условий принципа максимума к исследованию структуры оптимального управления и к классификации решений по количеству переключений для задачи оптимального быстродействия колебательной системы полезен как с теоретической, так и с прикладной точки зрения. Таким образом, тема диссертационного исследования является актуальной.

Содержание и структура работы. Работа состоит из введения, трех глав, заключения. Общий объем диссертации составляет 114 страниц с 19 рисунками. Список литературы включает 80 наименований.

Во введении приведен обзор литературы, показаны актуальность работы и степень разработанности темы, а также теоретическая и практическая значимость полученных результатов.

В первой главе сформулирована задача оптимального управления группой несинхронных осцилляторов по критерию быстродействия. Исследована управляемость: доказаны свойства сильной достижимости и глобальной управляемости. Для линейной задачи быстродействия выписано необходимое условие оптимальности в форме принципа максимума Понтрягина. Отдельно рассмотрены вопросы отсутствия особых режимов управления, а также единственности экстремальных и оптимальных управлений.

Во второй главе выводятся дополнительные необходимые условия экстремума, справедливые для любого заранее заданного количества переключений управления. Исследуется случай управления с двумя переключениями, для которого получены

функциональные зависимости между всеми переменными и параметрами задачи. Описан численный алгоритм Нейштадта–Итона для поиска начального значения сопряженного вектора, который реализует итерационную коррекцию направления сопряженного вектора по величине невязки между требуемым начальным состоянием и состоянием, получаемым при интегрировании системы с управлением, построенным по текущему приближению в задаче остановки. Полученные теоретические результаты проиллюстрированы численным моделированием.

Третья глава посвящена установлению непрерывной зависимости критерия и длительностей интервалов управления от параметров задачи. Основные результаты получены с использованием теоремы о неявной функции, что позволяет также гарантировать гладкость критериальной функции внутри одного класса переключений.

В заключении сформулированы выводы по работе.

Автореферат полностью отражает содержание диссертации.

Научная новизна. В диссертационной работе впервые получены и изложены следующие результаты, обладающие научной новизной:

- 1) Свойства сильной достижимости и глобальной управляемости системы несинхронных осцилляторов с ограниченным скалярным управлением.
- 2) Метод решения задачи быстродействия системой несинхронных осцилляторов, базирующийся на необходимых условиях экстремума для любого заданного количества неизвестных моментов переключения оптимального управления.
- 3) Непрерывная зависимость критерия и длительностей интервалов управления от параметра ограничения на управление и от граничных условий в задаче оптимального по быстродействию управления системой несинхронных осцилляторов.

Данные результаты соответствуют пп. 1, 3 и 4 паспорта заявленной специальности.

Обоснованность и достоверность полученных научных результатов. Достоверность полученных в диссертационной работе результатов подтверждается строгостью доказательств и непротиворечивостью математических выкладок. Результаты теоретических исследований апробированы при помощи компьютерного моделирования. Основные результаты работы опубликованы в высокорейтинговых рецензируемых изданиях и представлены на отечественных и зарубежных конференциях. Это позволяет сделать вывод об обоснованности и достоверности результатов, полученных Берлином Леонидом Михайловичем в своей диссертационной работе.

Теоретическая и практическая значимость работы. Теоретическая значимость работы заключается в развитии теории и методов решения задач оптимального управления линейными системами, содержащими колебательные подсистемы, с ограниченным управлением, размерность которого меньше размерности пространства состояний системы.

Практическая значимость заключается в том, что полученные результаты могут быть использованы для численного синтеза управления в широком классе технических систем со сложной нелинейной динамикой. В окрестности рабочих режимов такие модели после линеаризации часто сводятся к системе осцилляторов с единственным ограниченным входом, что позволяет применять полученные результаты.

Замечания по диссертации. После прочтения полного текста диссертации возникли следующие замечания:

1. В диссертационной работе был бы полезен пример, демонстрирующий, к чему приводит сближение частот осцилляторов.

2. Отсутствует исследование единственности экстремального управления в случаях, отличных от задачи остановки и разгона.

3. По тексту диссертации не дано определение вырожденного класса управления (вырождения), помимо описания частного примера в конце подраздела 2.1.

4. В контексте леммы 10 требуется комментарий о том, чем являются числа z_1, \dots, z_8 с точки зрения оптимального управления. Не указано, любой ли их набор будет порождать оптимальное управление.

5. В диссертационной работе не хватает исследования взаимосвязи непрерывной и дискретной задач быстрогодействия. В частности, нельзя ли свести одну к другой, полагая число шагов в дискретной системе числом переключений в непрерывной системе.

Заключение. Данные замечания не являются критическими и не снижают научную ценность диссертации, а носят рекомендательный характер и скорее отражают направление дальнейших исследований Берлина Леонида Михайловича. Считаю, что данная диссертация является законченной научно-квалификационной работой, выполненной на современном научном уровне, обладает новизной, теоретической и практической значимостью. Все результаты, выносимые на защиту, получены лично соискателем.

Материалы по теме диссертации изложены в 14 научных работах: 1 статья в рецензируемом научном издании по специальности 2.3.1 (физ.-мат.), относящемся к категории К1 Перечня ВАК, 3 работы в журналах, индексируемых в международных базах

данных и приравненных к журналам Перечня ВАК категории К1, 9 работ в материалах международных и всероссийских конференций, 1 публикация в прочих изданиях.

Диссертационная работа Берлина Леонида Михайловича «Скалярное управление системой несинхронных осцилляторов по критерию быстродействия» соответствует специальности 2.3.1. «Системный анализ, управление и обработка информации, статистика», удовлетворяет требованиям Положения о порядке присуждения ученых степеней, предъявляемым к кандидатским диссертациям, а её автор заслуживает присуждения ученой степени кандидата физико-математических наук по указанной специальности.

Официальный оппонент:
профессор кафедры 804 «Теория вероятностей и компьютерное моделирование»
ФГАОУ ВО «Московский авиационный институт
(национальный исследовательский университет)»,
доктор физико-математических наук

Ибрагимов Данис Наилевич



«30» марта 2026 г.

Подпись Ибрагимова Даниса Наилевича удостоверяю
Директор Дирекции Института № 8 «Компьютерные
науки и прикладная математика», к.ф.-м.н., доцент



Крылов Сергей Сергеевич

ФГАОУ ВО «Московский авиационный институт (национальный исследовательский университет)»

125993, Москва, Волоколамское шоссе, д. 4

E-mail: rikk.dan@gmail.com

Телефон: +7-499-158-45-51