

## ОТЗЫВ

члена диссертационного совета на диссертацию

**Мизинцевой Марии Александровны**

на тему: «Совместная оптимизация гладких и негладких функционалов в задачах управления пучками»,  
представленную на соискание ученой степени кандидата физико-математических наук по специальности 05.13.18 — Математическое моделирование, численные методы и комплексы программ.

Диссертация М.А. Мизинцевой посвящена исследованию и разработке математических моделей оптимизации динамических систем на основании функционала качества, который представляет из себя комбинацию гладких и негладких функционалов. Ставится задача совместной оптимизации программного и возмущенных движений с использованием функционала комбинированного типа. Использование связки гладких и негладких функционалов представляет большой интерес для многих прикладных задач, так как позволяет отразить физические особенности моделируемого процесса. В рамках диссертационной работы предложенный подход был применен к моделированию заряженных частиц в ускорителе с пространственно-однородной квадрупольной фокусировкой (ПОКФ), разработанные методы оптимизации и математический аппарат были реализованы в рамках программного пакета BDO RFQ.

Проблематика оптимального управления пучком траекторий с использованием гладких и негладких функционалов по отдельности широко представлена в работах как отечественных, так и зарубежных авторов. Подход к моделированию сложных динамических систем, в рамках которого рассматривается совместная оптимизация некоторого выделенного (или программного) движения и ансамбля/пучка траекторий (или возмущенных движений), хорошо зарекомендовал себя применительно к различным прикладным задачам.

В частности, задача управления пучком траекторий возникает при моделировании динамики заряженных частиц в ускорителях. Здесь роль программной частицы выполняет синхронная частица, а динамика всех остальных частиц пучка записывается в отклонениях от движения синхронной частицы. Эта тематика хорошо изучена и продолжает развиваться на Кафедре теории систем управления электрофизической аппаратурой Санкт-Петербургского государственного университета.

В данной диссертации впервые сформулирована и решена задача совместной оптимизации динамики программного движения и ансамбля возмущенных движений с использованием комбинации гладких и негладких функционалов качества. Это определяет актуальность темы и теоретическую значимость работы. Ее практическая направленность обусловлена тем, что предложенный подход к оптимизации успешно применен к моделированию динамики заряженных частиц в ускорителе с ПОКФ.

Диссертационная работа состоит из введения, четырех глав, заключения и списка литературы. Текст диссертации представлен на русском и английском языках. Список литературы насчитывает 109 источников и включает в себя труды из различных облас-

тей знаний – от теории управления до физики ускорителей.

Во введении приводится обзор литературы, обсуждается актуальность исследования, сформулированы его основные цели и задачи, обозначены результаты диссертационной работы, указаны их теоретическая и практическая значимость.

Первая и вторая главы посвящены различным постановкам оптимизационной задачи с использованием комбинации гладких и негладких функционалов. Здесь изложены основные теоретические результаты диссертационной работы.

В первой главе исследуется комбинация функционала Больца, рассматриваемого на программном движении, и функционала максимума, взятого на терминальном сечении пучка траекторий.

Постановка задачи совместной оптимизации во второй главе диссертации учитывает плотность распределения частиц в пучке. Рассматриваются различные комбинации гладких и негладких функционалов, с учетом, в том числе, и интегральных характеристик пучка возмущенных движений.

В двух первых главах сформированы новые математические модели совместной оптимизации программного движения и пучка возмущенных движений с использованием комбинации гладких и негладких функционалов. Получены условия оптимальности и аналитические представления для вариаций исследуемых комбинированных функционалов качества в предложенных новых математических моделях оптимизации. Продемонстрировано явное влияние динамики «наихудших» частиц на динамику программного движения, возникающее в ходе оптимизации с использованием функционала комбинированного типа.

Третья и четвертая глава носят прикладной характер и посвящены задаче оптимизации продольной динамики заряженных частиц в ускорителе с пространственно-однородной квадрупольной фокусировкой (ПОКФ) с использованием математического аппарата оптимизации, разработанного в двух первых главах.

В третьей главе исследована математическая модель оптимизации динамики заряженных частиц в структуре с ПОКФ. Предложенные функционалы учитывают как интегральные характеристики программного и возмущенных движений, так и характеристики наиболее отклоняющихся от целевых параметров на выходе ускоряющей структуры частиц, что позволяет наиболее полно оценить «качество» процесса ускорения.

Комбинированный функционал предложенного типа был использован для доработки программного комплекса BDO RFQ для моделирования и оптимизации динамики частиц в ускорителе с ПОКФ.

В четвертой главе описывается структура разработанного модуля оптимизации, и приводятся результаты его работы. Верификация указанных результатов была проведена с использованием программного комплекса LIDOS RFQ Designer, который содержит более сложные модели динамики частиц в ускорителе с ПОКФ.

В заключении приводятся основные результаты работы, которые состоят в построении новых математических моделей оптимизации с использованием комбинации гладких и негладких функционалов, а также в успешном применении предложенного оптимизационного подхода к моделированию заряженных частиц в ускорителе с ПОКФ.

Достоверность полученных результатов подтверждается корректностью математической постановки решаемых задач, строгостью математических доказательств, апробацией разработанного математического аппарата при решении практической задачи оптимизации продольной динамики заряженных частиц в ускорителе с ПОКФ с по-

следующей верификацией результатов оптимизации с использованием программного комплекса LIDOS RFQ Designer.

Основные результаты по теме исследования изложены автором в 8 публикациях, 2 из которых изданы в журналах, рекомендованных ВАК, 4 проиндексированы в наукометрических базах Scopus и Web of Science. Результаты успешно доложены на 5 российских и международных конференциях, связанных с вопросами негладкой оптимизации и ускорительной тематики.

Наряду с указанием очевидных достоинств работы необходимо сделать и следующие замечания:

1. Формула (2.79) второй главы читается плохо, возможно, ее стоило разбить на несколько выражений.

2. Следовало бы дать пояснения по поводу использования в выражениях (3.43) – (3.45) вариации  $\delta cl$ .

3. Четвертую главу могло бы значительно обогатить сравнение результатов оптимизации с использованием комбинации гладких и негладких функционалов с ранее полученными результатами.

Тем не менее, сделанные замечания не умаляют теоретической и практической значимости исследования и не снижают общей положительной оценки диссертационной работы.

Диссертация Мизинцевой Марии Александровны на тему: «Совместная оптимизация гладких и негладких функционалов в задачах управления пучками» соответствует основным требованиям, установленным Приказом от 01.09.2016 № 6821/1 «О порядке присуждения ученых степеней в Санкт-Петербургском государственном университете», соискатель Мизинцева Мария Александровна заслуживает присуждения ученой степени кандидата физико-математических наук по специальности 05.13.18 — Математическое моделирование, численные методы и комплексы программ. Пункт 11 указанного Порядка диссертантом не нарушен.

Член диссертационного совета,  
д. ф. м. н., профессор,  
зав. Кафедрой компьютерных технологий и систем



Веремей Е. И.

22 апреля 2020 г.