

## **ОТЗЫВ**

**члена диссертационного совета на диссертацию  
Мизинцевой Марии Александровны  
на тему: «Совместная оптимизация гладких и негладких функционалов  
в задачах управления пучками»,  
представленную на соискание учёной степени  
кандидата физико-математических наук  
по специальности 05.13.18 — Математическое моделирование,  
численные методы и комплексы программ.**

Диссертационная работа М. А. Мизинцевой «Совместная оптимизация гладких и негладких функционалов в задачах управления пучками» посвящена разработке математических моделей оптимизации динамических процессов с использованием гладких и негладких функционалов качества. Оптимизация таких процессов в самом общем смысле относится к классу задач теории оптимального управления динамическими системами и находит широкое применение в науке и технике, в том числе применительно к ускорителям заряженных частиц.

Название работы в полной мере отражает её содержание и соответствует целям, сформулированным в вводной части.

Задача отыскания оптимального управления в общем случае формулируется как задача нахождения закона управления, при котором достигается экстремум заданного критерия качества системы. Однако, практические задачи обладают большим разнообразием, что приводит к принципиальным трудностям при формализации целей и критериев оптимальности сложных систем. Среди них встречаются гладкие и негладкие задачи, овражного типа, унимодальные и многоэкстремальные и т.п. Существующий опыт показывает, что эти задачи нельзя ставить и решать, как единую оптимизационную задачу.

В выполненной диссертационной работе исследования касаются разработке новых математических моделей и методов оптимизации, относящихся к классу задач, которые связаны с проблемами оптимизации динамики пучков заряженных частиц - одним из основных вопросов, возникающих при разработке и создании ускорителей. Таким образом, тема исследований является **актуальной**.

Автор использует математический аппарат, обеспечивающий корректность постановки исследуемых задач и строгость математических доказательств. Сопоставление и перекрёстный анализ результатов оптимизации, полученных с помощью различных вычислительных программ, отличающихся использованием различных математических моделей и подходов, позволяют сделать однозначный вывод о **достоверности** результатов, полученных автором.

Предложенный автором новый подход к решению задачи оптимального управления пучками, основанный на совместной оптимизации программного и возмущённого движений частиц с использованием гладких и негладких функционалов качества, разработан применительно к оптимизации динамики заряженных частиц в ускорителях, но может быть применён, в том числе, и для исследования проблем управления и оптимизации в задачах с не полностью определёнными начальными данными и внешними возмущениями. Разработанная математическая модель оптимизации динамики заряженных частиц позволяет учитывать как интегральные характеристики пучка, так и максимальные отклонения частиц от требуемых параметров.

В рамках описанного подхода выполнено численное моделирование динамики частиц в структуре линейного ускорителя с пространственно-однородной квадрупольной фокусировкой (ПОКФ). Реализованный на его основе программный блок оптимизации является частью комплекса программ BDO-RFQ, который допускает использование различных моделей динамики заряженных частиц, а также позволяет в диалоговом режиме

менять параметры ускоряющей структуры и параметры оптимизации. Таким образом, полученные автором результаты позволяют сделать вывод о **теоретической и практической значимости** диссертационной работы.

Совокупность новых математических моделей для решения задач управления и оптимизации на основе функционалов комбинированного типа, полученные необходимые условия оптимальности и аналитические выражения вариации этих функционалов для сформулированных задач оптимизации, а также результаты численного моделирования динамики пучка заряженных частиц с использованием этих моделей в ускорителе с ПОКФ, являющимся примером управляемой сложной установки, однозначно свидетельствуют о **научной новизне** положений, выносимых на защиту.

Диссертация состоит из введения, четырёх глав и заключения, изложена на 94 страницах.

Во введении обосновывается выбранное направление исследований, приведён обзор литературы по тематике, формулируются цели работы.

В первой главе рассмотрена математическая постановка задачи совместной оптимизации программного и возмущённого движения частиц. Для решения задачи управления пучками траекторий разработана новая математическая модель, которая включает в себя комбинацию гладких и негладких функционалов качества. Получены аналитические выражения для вариации комбинированного функционала качества, позволяющие строить численные методы поиска оптимального решения; сформулированы необходимые условия оптимальности управления.

Во второй главе на основе той же математической модели исследуются функционалы качества, учитывающие плотность распределения частиц, интегральные характеристики пучка возмущённых движений, а также максимальные отклонения выходных параметров пучка траекторий от заданных значений. Также получены соответствующие вариации исследуемых функционалов, имеющие прикладное значение, и сформулированы необходимые условия оптимальности.

Третья глава посвящена моделированию и оптимизации динамики заряженных частиц в ускорителе с ПОКФ. На основе подхода, развиваемого в первых главах, предложена математическая модель оптимизации продольного движения, учитывающая интегральные характеристики динамики пучка с учётом изменения плотности распределения частиц в процессе ускорения, а также максимальные отклонения частиц в пучке по фазе и энергии от требуемых значений. Также приведён алгоритм оптимизации на основании полученного выражения для вариации функционала качества комбинированного типа.

В четвёртой главе описывается программный блок, реализующий разработанную математическую модель оптимизации продольного движения заряженных частиц в ускорителях с ПОКФ, входящий в состав комплекса программ BDO-RFQ. Приведены результаты оптимизации динамики заряженных частиц и верификация полученных результатов, выполненная с использованием известного пакета программ LIDOS RFQ Designer.

В заключении формулируются основные положения, выносимые на защиту. Список цитируемой литературы содержит 109 наименований.

Основные результаты диссертационной работы опубликованы в 8 работах.

Диссертация изложена ясным русским литературным научно-техническим языком и хорошо структурирована.

По работе можно сделать следующие **замечания:**

1. Программному блоку оптимизации, реализующему предложенные математические модели и имеющему практическую значимость, приписывается научная новизна, которой он не обладает.

2. Эффективность численных методов характеризуется многими факторами. При отыскании оптимального управления в сложных динамических системах используют многометодовый режим расчётов. Поэтому с практической точки зрения представляет интерес организация

процесса вычислений с использованием разработанных математических моделей, чему в диссертационной работе следовало бы уделить больше внимания.

Отмеченные недостатки не влияют на положительную в целом оценку диссертационной работы, выполненной на высоком научно-техническом уровне.

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 учёных степеней в Санкт-Петербургском государственном университете», соискатель Мизинцева Мария Александровна заслуживает присуждения учёной 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,  
доктор физико-математических наук,  
начальник лаборатории НИВО  
НТЦ "Синтез" АО "НИИЭФА"



**Е. А. Ламзин**

25.04.2020