ОТЗЫВ

официального оппонента Сачкова Юрия Леонидовича на диссертационную работу Печеня Александра Николаевича "Некоторые вопросы динамики и управления квантовыми системами", представленную на соискание ученой степени доктора физико-математических наук по специальности 01.01.03 --- математическая физика

Актуальность темы диссертации

Исследование динамики и управления квантовыми системами является активно развивающейся областью математической физики и математической теории управления. Изучение динамики открытых квантовых систем, т.е. систем, взаимодействующих с окружением, важно для исследования проблемы квантового измерения, проблемы необратимости, стремления к равновесию. Изучение задач управления для таких систем существенно для контроля химических реакций, в квантовой информации и квантовых вычислениях. Актуальность теоретических исследований в области управления квантовыми системами возрастает в связи с новыми возможностями экспериментальных методов для измерения и манипулирования индивидуальными квантовыми системами. В области управления замкнутыми (изолированными от окружения) квантовыми системами важной задачей является исследование ландшафтов управления, то есть графиков целевых функционалов.

Диссертация посвящена решению следующих задач динамики и управления для открытых и замкнутых квантовых систем:

(а) изучение статистики, описывающей квантовый газ, взаимодействующий с квантовой частицей в пределе малой плотности;

(б) анализ экстремумов целевых функционалов в динамическом описании для замкнутых квантовых систем;

(в) анализ экстремумов целевых функционалов в кинематическом описании для открытых квантовых систем;

(г) исследование управляемости открытых квантовых систем с использованием когерентного и некогерентного управлений;

(д) анализ управления квантовыми системами с использованием в качестве управляющего воздействия неселективных квантовых измерений.

Все эти задачи относятся к важным проблемам современной теории квантовых систем, поэтому актуальность диссертационной работы не вызывает сомнений.

Новизна проведенных исследований и полученных результатов

Новизна диссертационной работы заключается в решении ряда актуальных проблем динамики и управления квантовыми системами.

К числу основных результатов диссертации относятся:

1. доказательство возникновения свободной статистики в пределе малой плотности для модели, описывающей квантовую систему, взаимодействующую с Бозе-газом,
2. доказательство существования ловушек второго порядка для широкого класса задач управления квантовыми системами.
3. доказательство возможности приближенного создания произвольных матриц плотности для открытых квантовых систем,
4. определение точного значения максимальной величины переноса населенности в трехуровневой системе с динамической симметрией при использовании когерентного управления и одного неселективного квантового измерения,
5. доказательство отсутствия ловушек в кинематическом и динамическом ландшафтах задачи управления коэффициентом прохождения частицы через потенциальный барьер,
6. определение всех критических точек кинематического ландшафта задачи максимизации среднего значения квантово-механической наблюдаемой для двухуровневых открытых квантовых систем.

Все основные результаты получены лично автором.

Остановлюсь подробнее на результатах двух глав диссертации.

Глава 3 посвящена управлению открытыми квантовыми системами с использованием неселективных квантовых измерений, т.е. измерений, при которых не происходит считывание результатов измерения с измерительного прибора. Получено аналитическое решение задачи максимизации среднего значения наблюдаемой в двухуровневой системе. Решена задача оптимального переноса населенности с помощью любого числа неселективных измерений. Доказано, что при стремлении числа измерений к бесконечности достигается полный перенос населенности, аналогично динамическому эффекту Зенона. Для трехуровневой квантовой системы с динамической симметрией показано, что введение лишь одного неселективного измерения населенности основного состояния позволяет значительно повысить вероятность переноса населенности.

Глава 4 посвящена исследованию критических точек целевых функционалов в типичных задачах квантового управления. Основным вопросом является наличие или отсутствие у таких функционалов ловушек (локальных максимумов, не являющихся глобальными максимумами), и ловушек второго порядка (критических точек с отрицательно полуопределенным гессианом, и значением функционала меньше максимального). Важность этого вопроса связана с применением численных методов: в случае наличия ловушек или ловушек второго порядка использование алгоритмов локального поиска экстремумов может быть неэффективным. Автором получено несколько результатов, из которых следует выделить два основных. Первый основной результат относится к задаче максимизации среднего значения наблюдаемой для систем с числом уровней не менее трех. Для широкого класса таких систем доказано, что постоянное управление является ловушкой второго порядка. В качестве примера рассмотрен трехуровневый Λ-атом, для которого доказано, что нулевое управление является ловушкой второго порядка, но не является локальным экстремумом. Второй основной результат относится к задаче управления коэффициентом прохождения частицы через потенциальный барьер; для этой задачи доказано отсутствие ловушек. Это --- первый результат об отсутствии ловушек в задачах управления квантовыми системами с бесконечномерным гильбертовым пространством. Полученные результаты о критических точках целевых функционалов могут использоваться при выборе алгоритмов локального или глобального поиска оптимальных управлений для квантовых систем.

Степень обоснованности и достоверности научных положений, выводов и заключений

Обоснованность и достоверность научных положений, выводов и заключений, полученных в диссертации, подтверждается корректным использованием современных методов квантовой теории, теории обобщенных функций, методов математической физики, теории открытых квантовых систем, методов управления квантовыми системами, теории квантовой вероятности и квантовых случайных процессов, вариационных, асимптотических, геометрических методов, теории управления и выпуклого анализа.

Достоверность полученных результатов подтверждается также апробацией основных результатов на международных и российских конференциях и симпозиумах, семинарах ведущих мировых и российских научных центров.

Научная значимость результатов, полученных в диссертации

Научная значимость результатов заключается в развитии теории квантовых систем. Полученные результаты могут быть использованы для создания различных смешанных состояний квантовых систем, повышения робастности управления, оценки эффективности и выбора подходящих алгоритмов поиска оптимальных управлений.

Замечания по диссертации

Замечаний по диссертационной работе нет.

В качестве пожелания можно указать на возможность включения в обзор результатов по управляемости и оптимальному управлению квантовыми системами, полученных с применением геометрической теории управления (У.Боскаин, М.Сигалотти, Т.Шамбрион, П.Масон, Ж.-П.Готье).

В тексте диссертации обнаружено небольшое число опечаток, которые следовало бы исправить.

Высказанные пожелания не снижают высокой оценки, которой заслуживает данная работа.

Общая характеристика диссертационной работы

Представленная диссертация выполнена на высоком научном уровне и представляет собой законченную научно-квалификационную работу, выполненную на актуальную тему, связанную с исследованием квантовых систем.

Результаты диссертационной работы, выносимые на защиту, прошли достаточную апробацию на 22 научных конференциях и симпозиумах, в том числе международных, и опубликованы в 22 научных трудах соискателя.

Диссертация и автореферат оформлены в полном соответствии с требованиями ВАК РФ. Диссертация состоит из введения, пяти глав, заключения и списка литературы (249 наименований). Объем диссертации составляет 194 страницы. Автореферат полностью отражает содержание диссертации.

Заключение

Учитывая актуальность выполненных исследований и научную новизну полученных результатов, считаю, что представленная диссертационная работа удовлетворяет всем требованиям пп. 9, 10 «Положения о порядке присуждения ученых степеней» (утвержденного постановлением Правительства РФ от 24.09.2013 No. 842), а ее автор - Печень Александр Николаевич заслуживает присуждения ученой степени доктора физико-математических наук по специальности 01.01.03 --- математическая физика.

Официальный оппонент
д. ф.-м. н., доцент, руководитель
Исследовательского центра
процессов управления ФГБУН
Институт программных систем
им. А.К. Айламазяна Российской
академии наук Ю. Л. Сачков

14 марта 2014 г.

Подпись Ю.Л.Сачкова заверяю
Ученый секретарь института
к.т.н. С.М. Пономарева