

ОТЗЫВ ОФИЦИАЛЬНОГО ОППОНЕНТА

на диссертационную работу Лутошкина Игоря Викторовича

"Разработка, анализ и применение оптимизационных динамических моделей экономических систем с запаздыванием", представленную на соискание ученой степени доктора физико-математических наук по специальности 1.2.2.

Математическое моделирование, численные методы и комплексы программ

Актуальность диссертационного исследования И.В. Лутошкина определяется проблемами, возникающими при математическом моделировании управляемых процессов в современных реальных производственных и экономических системах. Так, показатели многих производственных и экономических процессов при изменении управляющих воздействий реагируют изменением своих характеристик с задержкой. При принятии решения необходимы значения показателей процесса на некотором временном отрезке, а также кумулятивные значения его показателей. Для моделирования таких процессов в диссертации разрабатываются новые модели теории оптимального управления (ОУ), когда динамика процесса описывается обыкновенными дифференциальными уравнениями, интегральными и интегро-дифференциальными уравнениями. При этом, решение соответствующих задач оптимального управления требует развития существующих численных методов и создания новых эффективных методов.

В диссертации предлагается единый подход к численному решению задач оптимального управления, в частности задач, содержащих точечное и распределенное запаздывания. В настоящее время, общие методы решения задач оптимального управления сводятся к использованию необходимых условий экстремума (принцип максимума) или к дискретизации фазовых и управляющих переменных с последующим решением задач нелинейного программирования большой размерности. Также существует ряд специализированных методов решения задач оптимального управления, ориентированных на специфику задач. Существующие методы, наряду с преимуществами, имеют недостатки. Так, в методах, использующих принцип максимума, возникают существенные

сложности в случаях промежуточных фазовых ограничений, вырождения принципа максимума, запаздывания в переменных. В методах, связанных с дискретизацией, получаемые задачи нелинейного программирования (НП) имеют большую размерность, которая существенно возрастает при уменьшении шага дискретизации. Также при уменьшении шага дискретизации происходит накопление вычислительной ошибки. В диссертации И.В. Лутошкина предлагается и развивается новое научное направление, в котором управление рассматривается в некотором классе функций и определяется конечным числом параметров. При этом фазовые переменные определяются решением соответствующих задач Коши с учетом введенного класса управлений. В рамках этого направления появляется возможность формирования постановок задач нелинейного программирования относительно небольшой размерности и создания новых численных методов решения этих задач. Сложность решения таких задач нелинейного программирования определяется неявной зависимостью целевой функции от параметров управления, следовательно, возникает проблема вычисления производных первого и второго порядка для применения эффективных методов нелинейного программирования. Аналогичный подход ранее предложен в работах профессора В.К. Горбунова для задач оптимального управления, содержащих описание динамики процессов системами обыкновенных дифференциальных уравнений, и назван методом параметризации. В диссертации этот подход получает значительное развитие, расширяется область его применения

В рамках диссертационного исследования метод параметризации успешно применяется к моделям, разработанным И.В. Лутошкиным для нескольких экономических систем. Предлагаемые модели описываются в терминах теории оптимального управления с учетом запаздывания в фазовых и/или управляющих переменных. Развитие моделей такого вида стимулируется созданием и внедрением сложных информационных систем, в том числе систем искусственного интеллекта. И.В. Лутошкиным разработаны модели управления экономической системой (в рамках страны или региона), учитывающих условия массового заболевания, а также модели управления инвестициями, модели управления рекламными затратами, модели управления производственным предприятием с учетом принципов менеджмента.

Научная новизна диссертации состоит в разработке новых численных методов решения задач ОУ, которые формируют единый подход при решении задач ОУ с точечным и распределенным запаздываниями. Научной новизной также обладают представленные новые модели: модели формализации принципов менеджмента на производственном предприятии, инвестиционные модели, модели рекламных воздействий, модели управления экономической системой в условиях массового заболевания. Предлагаемые модели являются оптимизационными динамическими моделями, учитывающими точечное и/или распределенное запаздывание.

Объем диссертации составляет 320 страниц, содержание диссертации состоит из введения, пяти глав, заключения, списка литературы и пяти приложений. Основные результаты диссертационного исследования опубликованы в 25 работах в журналах, рекомендованных ВАК для публикации основных результатов докторских диссертаций, включая 17 в изданиях, входящих в WoS и Scopus. Также по результатам исследования опубликованы 3 монографии, получены 5 свидетельств о государственной регистрации программ для ЭВМ.

Во введении проводится обоснование актуальности темы исследования, формулируются цель и задачи, обозначены объект и предмет исследования. Также во введении содержится обзор литературы по численным методам решения задач ОУ, по моделированию экономических процессов, рассматриваемых в исследовании, обосновывается новизна темы диссертации. Сформулированы решаемые в диссертации задачи, а также положения, выносимые на защиту, приводятся сведения об апробации работы и личном вкладе диссертанта.

Первая глава посвящена развитию метода параметризации. Здесь формулируется метод сведения задачи ОУ к задаче нелинейного программирования, приводятся алгоритмы вычисления производных задачи НП для случаев, когда исходная задача ОУ имеет точечное запаздывание, распределенное запаздывание, не имеет запаздывания. В первой главе обосновывается сходимость метода параметризации для рассматриваемых задач ОУ.

Во второй главе сформулированы авторские математические модели экономической динамики, описываемые в терминах задач ОУ с запаздыванием.

Так, для производственных предприятий в диссертации предложены модели управления предприятием, формализующие принципы менеджмента. Также для производственных предприятий разработана модель управления инвестициями, учитывающая кумулятивный эффект от инвестиций. Предложены одноканальная и многоканальная модели рекламных инвестиций для компаний, реализующих продукцию на рынке. В этих моделях учитываются кумулятивный эффект рекламных воздействий и кумулятивный эффект продаж. Для управления экономическими системами на макроуровне предложено развитие двухсекторной модели экономики за счет введения запаздывания как в управлении, так и в фазовых переменных. Также создана модель управления на макроуровне экономической системой в условиях массового заболевания.

В третьей главе проводится качественный анализ некоторых предложенных моделей. На основе принципа максимума Понтрягина исследуется инвестиционная модель двухсекторной экономики без запаздывания. Для моделей управления инвестициями фирмы и управления рекламными расходами доказаны теоремы существования соответствующих решений, на основе принципа максимума выявлена структура оптимального управления для этих моделей. Для модели управления экономической системой в условиях массового заболевания рассматриваются варианты одновременного учета социального и экономического показателей.

Четвертая глава посвящена описанию программного комплекса, реализующего единый подход к решению задач оптимального управления без запаздывания, с точечным запаздыванием, с распределенным запаздыванием. В данной главе представлена концепция построения программного комплекса, описаны основные вычислительные алгоритмы.

В пятой главе приводятся результаты вычислительных экспериментов с применением некоторых моделей, предложенных во второй главе. Численный анализ проводится методом параметризации. Для модели двухсекторной экономики с запаздыванием рассмотрены варианты оптимального управления с оценкой параметров по условным данным. Найдено оптимальное управление на основе оценки параметров по данным ПАО «Объединенная авиастроительная корпорация» с применением модели управления инвестициями фирмы. С использованием моделей управления рекламными затратами найдено оптимальное управление при оценке параметров по данным ОАО «Мегафон»; а

также фирмы по производству и продаже одежды. В рамках управления экономической системой в условиях массового заболевания оптимальное решение найдено для случаев, когда параметры модели оценивались по данным о пандемии COVID-19 в 2020 году в РФ и Ульяновской области.

В Заключение сформулированы основные результаты диссертации и положения, выносимые на защиту.

Основными результатами диссертации являются:

1. Развитие метода параметризации для решения задач ОУ, содержащих дифференциальные связи с точечным запаздыванием.

2. Развитие метода параметризации для решения задач ОУ, содержащих интегро-дифференциальные связи.

3. Разработка новых моделей экономических систем с запаздыванием: модели управления организационно-техническими системами; двухсекторная модель управления производственными инвестициями в экономике с запаздыванием; модели управления экономической системой в условиях массового заболевания с учетом социальных и экономических показателей; инвестиционная модель производственной компании; обобщенная модель построения рекламных стратегий.

4. Концепция построения программных средств реализации метода параметризации, ориентированного на решение задач ОУ как с запаздыванием, так и без запаздывания. Проблемно-ориентированный комплекс, предназначенный для решения задач ОУ с точечным и распределенным запаздываниями как в фазовых, так и в управляющих переменных.

Диссертация Лутошкина Игоря Викторовича представляет собой законченное исследование, в котором разработаны новые математические модели, численные методы их анализа, комплекс программ для численного решения задач оптимального управления процессами, представляемыми системами дифференциальных и интегро-дифференциальных уравнений. Диссертация представляет существенный интерес для специалистов в области математического моделирования и вычислительной математики, вносит значительный вклад в развитие методов математического моделирования и исследования моделей. В диссертации решена крупная научная проблема, связанная с моделированием динамических оптимизационных проблем, имеющих важное социально-экономическое и хозяйственное значение для РФ и

Ульяновской области в области управления производственными предприятиями авиастроения и др., в области управления экономическими системами в условиях массовых заболеваний.

Замечания по диссертации:

1. В теореме 2 (стр. 38-39) приводятся формулы (1.22)-(1.24) для вычисления производных второго порядка. При этом в доказательстве теоремы 2 дается альтернативный способ вычисления вторых вариаций по формулам (1.28)-(1.31) и на этой основе – частных производных второго порядка. На стр. 41 диссертации делается вывод о том, что альтернативный способ имеет повышенную трудоемкость. Однако, если использовать технологию параллельных вычислений, то алгоритм нахождения производных на основе формул (1.28)-(1.31), по-видимому, может быть существенно более рациональным.
2. В доказательстве теоремы 4 при формировании итогового выражения для $\partial \varphi(w^1, \dots, w^N) / \partial t_k$ интеграл от суммы двух скалярных произведений полагается равным нулю без обоснования. Также рекомендуется показать основные шаги преобразований при получении формулы (1.86) с использованием соотношений (1.74), (1.84).
3. В автореферате диссертации не раскрываются аббревиатуры ОУ, НП. В Заключении диссертации использован термин “постоянное запаздывание”, по-видимому, вместо термина “точечное запаздывание”.

Заключение.

Основные положения диссертации опубликованы в ведущих российских и зарубежных журналах, проведена их апробация на научных конференциях и семинарах в известных российских и международных научных центрах. Автореферат диссертации и опубликованные работы достаточно полно отражают основные результаты диссертации и характеризуют выполненные исследования.

Личный вклад диссертанта определяется самостоятельным выполнением всех этапов исследования и руководством коллективными исследованиями, в том числе в рамках нескольких российских и международных программ: гранта РФФИ № 01-01-00731 «Вариационные методы регуляризации и решения вырожденных уравнений и неравенств», гранта РФФИ № 07-01-90000 Вьет/а «Разработка качественной теории и методов приближенного решения

дифференциально-алгебраических уравнений (ДАУ)», государственного задания Министерства образования и науки РФ № 2.1816.2017/4.6 по теме «Исследование и разработка интегрированной автоматизированной системы управления производственно-технологическим планированием авиастроительного предприятия на базе цифровых технологий», гранта РФФИ № 24-28-00542 «Разработка информационно-аналитического инструмента моделирования и оптимизации управления социально-экономическими системами в условиях массового заболевания».

Уровень решаемых в диссертации задач соответствует требованиям, предъявляемым к диссертациям на соискание ученой степени доктора физико-математических наук, содержание работы соответствует специальности 1.2.2. Математическое моделирование, численные методы и комплексы программ.

Диссертационная работа Лутошкина Игоря Викторовича отвечает всем требованиям Положения о присуждении ученых степеней, утвержденного постановлением Правительства РФ от 24.09.2013 №842 в действующей редакции, предъявляемым к докторским диссертациям, а ее автор, Лутошкин Игорь Викторович, заслуживает присуждения ученой степени доктора физико-математических наук по специальности 1.2.2. Математическое моделирование, численные методы и комплексы программ.

Я, Леонтьев Виктор Леонтьевич, даю согласие на включение своих персональных данных в документы, связанные с работой диссертационного совета, и их дальнейшую обработку.

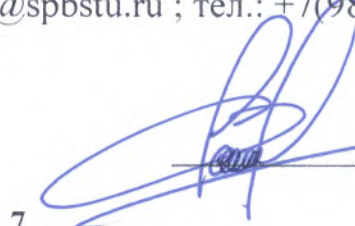
Официальный оппонент, доктор физико-математических наук (05.13.18 – Математическое моделирование, численные методы и комплексы программ), профессор, ФГАОУ ВО «Санкт-Петербургский политехнический университет Петра Великого», Передовая инженерная школа «Цифровой инжиниринг», Высшая школа передовых цифровых технологий, профессор.

18 марта 2025 г.

 В.Л. Леонтьев

Адрес основного места работы: 195251, Политехническая ул., 29, лит. Б, г. Санкт-Петербург; e-mail: leontiev_vl@spbstu.ru ; тел.: +7(981)108-92-48.

Проректор по научной работе
СПбПУ Петра Великого

 Ю.В. Фомин

7

