

ОТЗЫВ

научного консультанта 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.

Диссертация И.В. Лутошкина решает проблемы математического моделирования оптимизационных управляемых динамических моделей производственных и экономических систем с запаздыванием и/или памятью. Математический аппарат моделирования этого класса проблем – обыкновенные дифференциальные и разностные уравнения, в том числе с отклоняющимся аргументом (дифференциально-разностные), а также интегральные и интегро-дифференциальные системы уравнений. Эти классы уравнений возникли в основном в естественно-научных и технических проблемах, и их применение для моделирования производственных и экономических процессов различных типов, причём на микро, мезо и макро уровнях (независимые предприятия и фирмы, экономика региона, страны) в данной диссертации уже делает её потенциально интересной как для прикладных математиков, так и специалистов-производственников, экономического анализа, рекламщиков, медицинского управления.

Отмечу, основываясь на многолетнем опыте реферирования литературы по математической экономике для журналов "Mathematical Review" (AMS) и "Zentralblatt für Mathematik" (Springer), что моделирование экономической динамики в мировой литературе ограничивается в основном эвристическими макроэкономическими моделями роста и динамического равновесия (DSMGE) и содержательно простыми регрессионными моделями частных задач. Это обстоятельство автор отражает во введении диссертации (с. 6).

Производственно-экономическое направление, часто со структурными подробностями объектов, вносит свою специфику в моделирование, так как процессы здесь управляемые (управление в условиях массового заболевания) и критерии качества управления имеют экономическую специфику. Сложность этих моделей предполагает также решение ряда математических вопросов относительно классов используемых уравнений: существование решений, разработка аналитических и численных методов. Учёт эффекта запаздывания/памяти, требующий привлечения классов динамических уравнений – дифференциально-разностных и интегро-дифференциальных – накладывает повышенные требования к численным методам решения нестандартных задач оптимального управления (ОУ).

Современная вычислительная математика обладает богатым набором численных методов решения уравнений – обыкновенных дифференциальных (ОДУ), в том числе с конечными связями (дифференциально-алгебраическими), интегральных и интегро-дифференциальных (ИДУ). Основной класс численных методов – это разностно-квадратурный, или же сеточный. Однако эти методы сводят исходные функциональные системы уравнений к конечномерным системам, в общем случае нелинейным высокой размерности. Современные компьютеры имеют очень высокую скорость выполнения элементарных компьютерных операций (арифметических и логических). Это во многом снижает временные ограничения численного решения, но очень большое число операций в компьютерной псевдоарифметике может приводить к недопустимому росту вычислительных погрешностей. Альтернативный класс численных методов, позволяющий существенно снизить размерность аппроксимирующих конечномерных задач оптимизации для ОДУ и ИДУ, это функционально-параметрические

(проеекционные, коллокационные) методы, в которых искомое решение ищется в некотором параметрическом классе функций. Эффективный вариант такого представления решения задач ОУ для ОДУ был предложен мною в "Журнале вычислительной математики и математической физики" (1978, № 5; 1979, № 2) и назван "Метод параметризации задач оптимального управления". Этот метод был развит в серии совместных работ Горбунов В.К., Лутошкин И.В. в период 1998-2009 для различных классов сингулярных ОДУ (с участием Мартыненко Ю.В), в частности, в рамках кандидатской диссертации Игоря Викторовича "Метод параметризации и его использование в вырожденных задачах" (2000 г.) под моим руководством. В данной диссертации Игорь Викторович развил метод параметризации для новых, названных выше классов ОДУ с запаздыванием и ИДУ, уже с участием своих учеников. Все методы реализованы как программные комплексы и применены для реальных проблем выше названных классов.

Содержание диссертации. Диссертация состоит из введения, пяти глав, заключения, списка литературы и пяти приложений. Во введении кратко представлен предмет исследования, обоснована актуальность, подтверждаемая рядом грантов РФФИ и госзадания Минобрнауки РФ, приведен обзор литературы по численным методам задач ОУ для систем дифференциальных и интегральных уравнений, а также по моделированию проблем, рассматриваемых в диссертации. Обозначены объект и предмет исследования, перечислены решаемые в диссертации задачи, сформулированы положения, выносимые на защиту.

В первой главе излагаются основные факты метода параметризации (МП) для задач ОУ с классами уравнений: ОДУ (исходный вариант метода), с точечным запаздыванием (дифференциально-разностные), с распределенным запаздыванием (ИДУ). В последнем разделе приведена теорема о сходимости МП для варианта ОДУ, полученная в нашей совместной работе (Горбунов, Лутошкин, 2003) уже после защиты Игорем Викторовичем кандидатской диссертации (2000).

Вторая глава представляет математические модели, в основном новые авторские, исследуемые качественно и решаемые численно в последующих главах. Первая модель – управление предприятием с учетом принципов менеджмента: "точно в срок", "под заданную себестоимость", "с учетом рисков". Вторая – двухсекторная линейная модель экономики, производящая однородные (для секторов) средства производства (производственные фонды) и предметы потребления (блага). В отличие от стандартной модели (Интрилигатор, 1975), здесь введены лаги (задержки) освоения инвестиций, т.е. управляемая (распределением выпускаемых фондов по секторам) система является дифференциально-разностной. Третья модель – оптимизация инвестиционной стратегии фирмы, представляемой интегральным уравнением, представляющим "кумулятивный инвестиционный эффект". Четвёртая и пятая – модели одноканальной и многоканальной рекламы. В первом случае модель определяет выпуск (выручку) фирмы как функцию от кумулятивных воздействия рекламы в текущий момент времени и эффекта от предыдущих продаж. Факторы функции являются интегралами, зависящими в первом случае от инвестиций в рекламу, и во втором – от предыдущих продаж. На основе одноканальной модели представлена подобная по структуре модель многоканальной (различные медиаканалы) рекламы. Последняя, шестая модель – "управление экономической системой в условиях массового заболевания". Эта модель разработана на основе давно известных моделей сдерживания (containment) эпидемий SIR и SEIR с учётом глобального масштаба и обострённого характера прошедшей пандемии COVID-19. Управление заключается во введении ограничительных карантинных мер и распределение финансовых средств на развитие медицинских возможностей, включая строительство госпиталей,

приобретение оборудования, лекарств. Эта модель в диссертации наиболее сложная по структуре и числу соотношений.

В третьей главе решаются аналитически или исследуются задачи оптимизации для представленных выше моделей. Задача для модели двухсекторной экономики без запаздывания решается с использованием принципа максимума Понтрягина. Для моделей оптимальной инвестиционной стратегии фирмы и оптимизации рекламных расходов исследованы соответствующие задачи ОУ. Для всех задач доказаны теоремы существования решения при различных типах ограничений и получены краевые задачи принципа максимума, решаемая далее численно.

Проблема управления экономической системой в условиях массового заболевания имеет два показателя качества. Первый показатель социальный – минимизация количества заболевших на заданном периоде. Второй показатель экономический – максимизация прибыли, получаемой экономикой на данном периоде. Эти показатели заменяются их взвешенной разностью (свёртка критериев).

В четвёртой главе описан программный комплекс и вычислительные алгоритмы поставленных в предыдущих главах (2 и 3) задач ОУ. Здесь обосновывается недостаточность стандартных программных систем типа Matlab, Mathematica для реализации разработанных вариантов метода параметризации задач ОУ, соответственно, необходимость разработки предметно ориентированного программного комплекса. Реализованный комплекс подробно описан в разделе 4.1, и в разделе 4.2 представлены основные вычислительные алгоритмы программного комплекса, в частности, для задачи идентификации модели (оценки её параметров).

Пятая глава посвящена численной реализации разработанных вариантов метода параметризации для модельной задачи двухсекторной экономики (с условными данными) и прикладных задач с реальными данными:

1) оптимальная инвестиционная стратегия фирмы ("Объединенная авиастроительная корпорация");

2) управление рекламными затратами (представление услуг связи – ОАО "Мегафон"; производство и продажа одежды);

3) управление экономической системой в условиях массового заболевания. Последняя задача решена для доступных данных по пандемии в 2020 для РФ и второй вариант – для Ульяновской области.

Основными **новыми результатами** диссертации Лутошкина И.В. считаю:

- Распространение и развитие метода параметризации задач оптимального управления объектами и процессами, представляемыми обыкновенными дифференциальными уравнениями, на более общие объекты и процессы с запаздыванием / памятью, представляемыми обыкновенными дифференциально-разностными уравнениями (точечное запаздывание), и интегро-дифференциальными системами уравнений (распределённое запаздывание).

- Разработка новых математических оптимизационных динамических моделей производственного, экономического и управленческого классов, математический анализ и численное решение которых (определение оптимального управления), затруднено или невозможно стандартными сеточными методами, но эффективно решается модифицированным методом параметризации, представленным в диссертации.

• Реализация модифицированного метода параметризации в виде комплекса программ, апробированного решением ряда сложных реальных проблем.

Заключение. Основные положения диссертационной работы опубликованы в цикле статей в ведущих российских и зарубежных математических журналах, доложены соискателем на ряде научных конференций и семинарах в известных российских и европейских научных центрах. Автореферат диссертации с достаточной полнотой отражает основные результаты диссертации.

Личный вклад соискателя состоит в самостоятельном выполнении практически всех этапов исследования и руководстве коллективными исследованиями в рамках нескольких российских и международных программ.

В целом диссертация Лутошкина Игоря Викторовича представляет собой законченное исследование по теории, методам и приложениям метода параметризации численного решения сложных задач оптимального управления объектами, представляемыми системами дифференциальных, дифференциально-разностных и интегро-дифференциальных уравнений в нетривиальных и актуальных производственных, экономических и управленческих проблемах. Она представляет существенный теоретический и прикладной интерес для специалистов математического моделирования и вычислительной математики, вносит крупный вклад в развитие методов математического моделирования и может быть квалифицирована как научное достижение. Работа в полной мере удовлетворяет требованиям ВАК России, предъявляемым к докторским диссертациям, а ее автор заслуживает присуждения искомой ученой степени доктора физико-математических наук по специальности 1.2.2 – Математическое моделирование, численные методы и комплексы программ.

Я, Горбунов Владимир Константинович, согласен на использование моих персональных данных, представленных в отзыве, в аттестационном деле соискателя, их дальнейшую обработку и на размещении моего отзыва на сайте ФГБОУ ВО "Ульяновский государственный университет" и в ФИС ГНА.

Научный консультант:

Доктор физико-математических наук, профессор,
профессор кафедры цифровой экономики ФГБОУ ВО "Ульяновский государственный университет" (основное место работы)

 В.К. Горбунов

21 января 2025 г.

Горбунов Владимир Константинович, доктор физико-математических наук (1991) по специальности 01.01.07 – Вычислительная математика, профессор (1995) – Прикладная математика.

432017 г. Ульяновск, ул. Л.Толстого, 42

E-m: ykgorbunov@mail.ru тел. +7 902 589 80 89

Подпись В.К. Горбунова заверено



Проректор по ИТ

*Ров Рашид А.Н.
21.01.2025*