

ОТЗЫВ ОФИЦИАЛЬНОГО ОППОНЕНТА

Лобанова Алексея Ивановича

на диссертационную работу Степанцова Михаила Евгеньевича

«Метод замены дифференциальных уравнений клеточными автоматами в задачах социально-экономической динамики»,

представленную к защите в диссертационном совете ПДС 0200.006

при федеральном государственном автономном образовательном учреждении высшего образования «Российский университет дружбы народов»

на соискание ученой степени доктора физико-математических наук

по специальности 1.2.2 — Математическое моделирование, численные методы и комплексы программ

Актуальность темы

Современный этап развития математического моделирования экономических и социальных процессов характеризуется широким использованием аппарата дифференциальных уравнений, заимствованного из естественнонаучных дисциплин. Несмотря на успешное применение таких моделей для моделирования социально-экономических систем, они не в полной мере отражают такой важный аспект этих систем, как дискретность практически всех переменных моделей. Напрашивается использование в этом случае дискретных моделей, в частности – клеточных автоматов, однако это означало бы отказ от всех имеющихся наработок, основанных на моделях с дифференциальными уравнениями. Одним из способов преодоления возникших противоречий видится в создании метода, позволяющего заменять дифференциальные уравнения клеточными автоматами в рамках уже существующих моделей.

Создание такого метода является основным результатом рассматриваемой диссертационной работы. Новизна подхода заключается в сохранении при такой замене макродинамики системы при использовании принципиально иной динамики клеточных автоматов. Такая замена позволяет расширить область применимости исходных моделей, а также повысить эффективность вычислений (при условии использования вычислительных средств с высокой степенью параллельности вычислений). Причиной этому служит то, что дискретная модель – более сложный объект, чем модель дифференциальная, но он гораздо проще алгоритмически реализуется.

Содержание диссертации

Диссертационная работа состоит из введения, восьми глав, заключения и списка литературы.

Введение включает обзор литературы по тематике исследования и характеристику современного состояния математического моделирования социально-экономических процессов, актуальность диссертационного исследования, его цель и задачи, методы исследования, основные результаты, выносимые на защиту с указанием их научной новизны, степени достоверности, теоретической и практической значимости, а также список публикаций автора по теме диссертации.

В **первой главе** излагается метод замены дифференциальных уравнений клеточными автоматами. Доказана теорема о сходимости по вероятности решения, полученного на основе клеточного автомата, к решению соответствующей задачи Коши для обыкновенного дифференциального уравнения. Получено следствие из этой теоремы, позволяющее ограничить число состояний автомата. Поясняется, как более сложные модели могут быть сведены к такой начальной задаче.

Во **второй главе** диссертации рассмотрена модель информационного противоборства. Её дискретная модификация на основе клеточного автомата позволила добавить в рассмотрение такие факторы как влияние малых групп, интериоризация общественного мнения, а также использовать неаналитические зависимости параметров от времени, что не могло быть учтено в рамках дифференциальной модели. На основе модели клеточного автомата был численно решён ряд прикладных задач оптимального управления агитационной либо рекламной кампанией.

В **третьей главе** метод использован в отношении модели «власть—общество». Получен ряд оригинальных результатов, связывающих динамику системы власти с уровнем коррупции, региональными различиями, миграцией и наличием транспортных связей между регионами.

В **четвёртой главе** метод замены дифференциальных уравнений клеточными автоматами был применён в отношении модели движения неорганизованной группы людей при наличии препятствий. При проведении компьютерного моделирования такого движения было исследовано явление «отрицательной вязкости», известное из эмпирических наблюдений. В рамках исследования решена задача об оптимальных конфигурациях препятствий в нескольких частных случаях.

В **пятой главе** при помощи клеточного автомата осуществлено математическое моделирование профессиональной группы учителей средних школ и прогнозирование ее

количественного и качественного состава.

В **шестой главе** при помощи этого же метода построена дискретная динамическая модель транспортной сети. Численные эксперименты с её помощью позволили получить прогноз развития сети железных дорог и влияния её на социально-экономическое развитие стран и регионов для ряда сценариев.

Седьмая глава посвящена моделированию динамики спортивных состязаний на основе того же подхода. Доказан ряд утверждений относительно влияния права первой подачи на результат в играх с дискретным временем, проведен ретроспективный анализ ряда футбольных и волейбольных матчей и введено понятие справедливости турнирной формулы соревнования.

Восьмая глава посвящена обсуждению результатов применения метода замены дифференциальных уравнений клеточными автоматами в математическом моделировании социально-экономических процессов.

В **заключении** диссертационной работы сформулированы ее основные результаты, рассматриваются возможные направления развития предложенной методики, выражены благодарности.

Достоверность и новизна результатов диссертации

Достоверность результатов диссертации подтверждается соответствием результатов, получаемых в ходе вычислительных экспериментов, с дискретными модификациями моделей, аналитическим результатам, полученным при помощи исходных дифференциальных моделей, а также (в ряде задач) с данным наблюдений.

Научная новизна работы заключается в следующем:

- предложен новый оригинальный метод замены дифференциальных уравнений клеточными автоматами;
- построена новая дискретная модификация модели А. П. Михайлова «власть–общество» на основе клеточного автомата, на основе которой создана компьютерная модель, описывающая трехуровневую систему власти, при помощи которой область применимости исходной модели существенно расширена;
- построена дискретная модификация модели информационного противоборства, в рамках которой разработаны алгоритмы, реализующие динамику мнений индивидов под влиянием малых референтных групп и с учетом интериоризации общественного мнения;

- разработан ряд дискретных модификаций математических моделей, описывающие движение неорганизованной группы людей и создана компьютерная модель такого движения в условиях наличия препятствий;
- разработана дискретная модификация модели неперекрывающихся поколений, описывающая динамику численности профессиональной группы при помощи одномерного клеточного автомата и построены компьютерные модели профессиональных групп учителей средних школ и численности студентов вузов;
- построена дискретная модификация математической модели динамического развития транспортной сети, основанная на принципах самоорганизации товарных потоков, обратной связи между динамикой этих потоков и развитием сети, на её основе разработаны и реализованы компьютерные модели сетей железных дорог ряда стран
- разработана методики моделирования хода матчей для спортивных соревнований с дискретным и непрерывным временем.

Все модификации моделей, полученные в рамках данного исследования при помощи этого метода, являются новыми и оригинальными. Они основаны на клеточных автоматах, предложенных автором работы.

Степень обоснованности научных положений, выводов и рекомендаций

Обоснованность научных положений, выводов и рекомендаций в работе обеспечиваются корректным применением математического аппарата дискретной математики, теории клеточных автоматов, теории вероятностей и математической статистики, эконометрики, теории графов, и строгим математическим обоснованием предложенных методов и алгоритмов. Все результаты диссертации являются корректными и обоснованными.

Ценность для науки и практики результатов работы

Ценность работы для науки состоит в предлагаемом методе замены дифференциальных зависимостей клеточными автоматами и родственными им объектами, который может быть применен и применяется для моделирования социально-экономических процессов, позволяя повысить эффективность расчётов и расширить области применимости моделей. Практическая значимость результатов стоит в том, что разработанные на основе метода математические модели могут быть использованы для решения прикладных задач

моделирования и прогнозирования социально-экономической динамики.

Подтверждение опубликования основных результатов диссертации в научной печати

Основные результаты диссертации апробированы на многочисленных всероссийских и международных научных и научно-практических конференциях, а также опубликованы в ведущих российских и международных изданиях. Общее количество публикаций по теме диссертации составляет 60 работ. Наиболее значимыми являются 17 работ, среди которых 7 публикаций, индексируемых в международной базе цитирования Scopus, 9 публикаций, индексируемых в RSCI, и 1 публикация в ведущем рецензируемом издании, рекомендованном ВАК.

Соответствие содержания автореферата основным положениям диссертации

Автореферат полностью и адекватно отражает основное содержание и научные результаты диссертации, в нем отражены все ключевые элементы исследования. Разделы автореферата строго соотносятся с соответствующими разделами и главами диссертации. Основные положения, выносимые на защиту, чётко сформулированы в автореферате, не изменены по смыслу, подкреплены теми же аргументами и данными, что и в тексте самой диссертации.

В автореферате перечислены уникальные результаты, изложенные в диссертации, указана их новизна, подтверждена теоретическая и практическая ценность работы в том же объёме, что и в диссертации. Выводы в реферате логически вытекают из результатов, представленных в диссертации, практические рекомендации и перспективы разработки темы соответствуют заключительным разделам полной работы, нет расхождений между выводами в автореферате и полном тексте диссертации.

В автореферате не содержится информации, которая отсутствовала бы в диссертации. Автореферат не перегружен второстепенными деталями, но при этом передаёт суть исследования. Автореферат является надёжным и лаконичным изложением диссертационной работы, не умаляющим её научной ценности и не искажающим ключевые выводы.

Замечания по работе

В списке публикаций автора одна и та же работа повторяется дважды – номер 4 на стр. 20 и номер 16 на стр. 21.

1. В первой главе сформулирована и доказана теорема о сходимости по вероятности к решению задачи Коши для обыкновенного дифференциального уравнения.

Вопрос сведения других случаев (случаи систем уравнений, уравнения с отклоняющимся аргументом, интегродифференциальных уравнений) не рассмотрен подробно.

Аналогичные теоремы возникают при исследовании свойств сходимости (сильной сходимости, слабой сходимости) численных методов для решения стохастических ОДУ, например, метода Эйлера–Мураямы (см, например, Higham D. J. An algorithmic introduction to numerical simulation of stochastic differential equations //SIAM review. – 2001. – Т. 43. – №. 3. – С. 525-546.) Было бы интересно указать наличие таких связей и провести аналогии с теоремами, доказанными для численных методов.

2. Рецензенту в обзорной части работы не хватает описания связи моделей клеточных автоматов с развивающимися в настоящее время агентными моделями.
3. Автор в обзорной части в основном ограничивается работами, выполненными в ИПМ. Тем не менее, моделирование социально-экономической динамики выполнялось и в других коллективах, отметим, например, исследования под руководством Ю.Н. Павловского в ВЦ им. А. А. Дородницына РАН (ныне – ФИЦ «Информатика и управление» РАН). Было бы интересным сравнить подходы и результаты автора с

Приведенные недостатки не снижают научную ценность результатов диссертационной работы и не влияют на её положительную оценку.

Заключение

Диссертационная работа Степанцова Михаила Евгеньевича «Метод замены дифференциальных уравнений клеточными автоматами в задачах социально-экономической динамики» является законченной научно-квалификационной работой, в которой содержится новое решение научной проблемы, имеющей важное значение для развития методов математического моделирования социально-экономических процессов: создание общего метода замены дифференциальных уравнений клеточными автоматами, позволяющего расширять области применимости моделей и повышать эффективность вычислений.

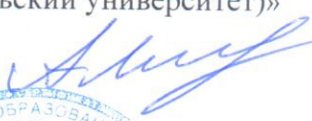
Работа полностью соответствует требованиям п. 2.1 раздела II Положения о присуждении ученых степеней в ФГАУ ВО Российский университет дружбы народов, утвержденного Ученым советом РУДН, протокол № УС-1 от 22 января 2024 г., предъявляемых к диссертациям на соискание ученой степени доктора физико-математических наук по специальности 1.2.2 – Математическое моделирование, численные

методы и комплексы программ, а ее автор — Степанцов Михаил Евгеньевич — заслуживает присуждения ученой степени доктора физико-математических наук.

Официальный оппонент

Лобанов Алексей Иванович, доктор физико-математических наук (05.13.18 — Математическое моделирование, численные методы и комплексы программ), профессор, профессор кафедры вычислительной физики федерального государственного автономного образовательного учреждения высшего образования «Московский физико-технический институт (национальный исследовательский университет)»

д.ф.-м.н., профессор

 Лобанов Алексей Иванович

Подпись Лобанова А.И. удостоверяю
Ученый секретарь ученого совета
Д.э.н., доцент

 Евсеев Евгений Григорьевич

25 августа 2026 г.

Федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего образования «Московский физико-технический институт (национальный исследовательский университет)»

Адрес: 141701, Московская область, г. Долгопрудный, Институтский переулок, д.9

Телефон: +7 (495) 408-42-54

Е-mail: info@mipt.ru Веб-сайт: <http://mipt.ru>