

ОТЗЫВ ОФИЦИАЛЬНОГО ОППОНЕНТА

Кузнецова Александра Владимировича

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

Математическое моделирование широко используется в социальных и экономических науках, при этом унаследовав от наук физико-математического цикла обширный аппарат непрерывных моделей класса дифференциальных уравнений для описания динамических процессов. Несоответствие континуального характера всех переменных и параметров в таких моделях дискретности исследуемых явлений порождает ряд проблем, сужая их область применимости. Дискретные модели, например, основанные на клеточных автоматах, во многих случаях являются более адекватными. Однако отказ от применения существующих наработанных подходов также не является целесообразным.

Эту важную научную проблему и решает данная диссертационная работа. Предлагаемый в ней метод замены задач Коши для обыкновенных дифференциальных уравнений клеточными автоматами позволяет построить модификацию исходной модели, сохраняющую её макродинамику, имея при этом иную (клеточно-автоматную) микродинамику, что позволяет не уходить от дискретного характера моделируемой реальности, значительно расширить область применимости и гибкость исходной модели и повысить эффективность

вычислений при использовании специализированных компьютеров с высокой степенью параллельности вычислений.

Содержание диссертации

Диссертация объемом 208 страниц состоит из введения, восьми глав, заключения и списка литературы.

Введение включает краткий очерк истории математического моделирования социально-экономических процессов, обзор литературы по теме диссертации, характеристику современного состояния научных исследований в этой области, обоснование актуальности диссертационного исследования, его цель, задачи, методы, основные результаты, выносимые на защиту. Обоснована их научная новизна, степень достоверности, теоретическая и практическая значимость, и приведён список публикаций автора по теме диссертации.

В главе 1 изложен и обоснован метод замены дифференциальных уравнений клеточными автоматами. Доказана теорема о сходимости решения, получаемого при помощи клеточного автомата, к решению соответствующей задачи Коши для обыкновенного дифференциального уравнения и следствие из этой теоремы, позволяющее ограничить число состояний автомата. Обсуждается вопрос о сведении более сложных моделей к такой задаче Коши.

В главе 2 с точки зрения этого метода 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 классической модели. На основе этого при помощи компьютерного моделирования был решён ряд прикладных задач оптимального управления агитационной либо рекламной кампанией.

Глава 3 посвящена использованию предлагаемого метода в отношении модели А.П. Михайлова «власть-общество». Полученный при этом дискретный вариант модели позволил рассмотреть в её рамках такие факторы как экономическое развитие, коррупцию, миграцию, товарообмен между регионами. При исследовании нескольких сценариев в построенной на ее основе имитационной системе, был получен ряд оригинальных результатов.

В главе 4 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 главе 5 на основе предлагаемого метода модель численности профессиональной группы сводится к одномерному клеточному автомату, при помощи которого осуществляется математическое моделирование профессиональной группы учителей средних школ двух регионов России и прогнозирование ее количественного и качественного состава.

В главе 6 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.

В главе 7 на основе этого подхода создан ряд моделей динамики спортивных соревнований. Для различных игр как с дискретным, так и с непрерывным временем получен ряд оригинальных результатов и исследован вопрос о справедливости турнирной формулы соревнования.

Глава 8 посвящена обсуждению результатов применения метода замены дифференциальных уравнений клеточными автоматами в математическом моделировании социально-экономических процессов.

В заключении диссертации перечислены ее результаты и рассмотрены возможные направления дальнейшего развития этой тематики, а также 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 моделей, а также, в ряде задач, наблюдаемым данным. Адекватность построенных моделей подтверждается соответствием результатов, получаемых при помощи компьютерного моделирования, теоретически полученным результатам и 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, поскольку основаны на клеточных автоматах, построенных 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 моделировании социально-экономических процессов, позволяя повысить эффективность

расчётов и расширить области применимости моделей. Практическая значимость результатов стоит в том, что разработанные на основе данного метода модели могут быть использованы для решения прикладных задач моделирования и прогнозирования социально-экономической динамики в различных научно-исследовательских институтах.

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, что существенно превышает установленные требования. Наиболее значимыми являются 18 работ, среди которых 7 публикаций, индексируемых в международной базе цитирования Scopus, 10 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

1. Над многими моделями, судя по авторству публикаций, работали коллективы соавторов. Недостаточно подробно прописан личный вклад автора в каждом случае.
2. В главе 1 за пределами теоремы о сходимости теория изложена недостаточно строго. Более того, значительная часть интересных проблем, например, движение агента с обходом препятствий, такими линейными дифференциальными уравнениями вообще не описывается, и для них необходима куда более сложная методика замены уравнения клеточным автоматом.
3. Автор ограничивается рассмотрением социально-экономических моделей, не обсуждая вопрос об универсальности подхода. Более того, автор игнорирует целый пласт работ по клеточным автоматам Andrew Pachinski без всякой видимой причины, хотя там, например, описывается самоорганизация тактики агентов при моделировании противостояния клеточным автоматом.
4. Можно было бы лучше увязать главы диссертации между собой. Ясно,

что применен один и тот же подход, но следовало бы стандартизировать обозначения, начиная с первой главы и явно демонстрировать единство методов.

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

Кузнецов Александр Владимирович, доктор физико-математических наук (специальность 05.13.01 — Системный анализ, управление и обработка

информации (радиотехника, информатика, связь) (физико-математические науки)), доцент, заведующий лабораторией 90 Федерального государственного бюджетного учреждения науки Института проблем управления им. В.А. Трапезникова Российской академии наук

д.ф.-м.н., доцент



Кузнецов А.В.

Подпись *Кузнецов А.В.*
ЗАВЕРЯЮ
ВЕД. ИНЖЕНЕР
ТРАПЕЗНИКОВА Л.А.



Дата: 20 августа 2026 г.

Федеральное государственное бюджетное учреждение науки Институт проблем управления им. В.А. Трапезникова Российской академии наук

Адрес: 117342, г. Москва, вн. тер. г. муниципальный округ Коньково, ул. Профсоюзная, д. 65, стр. 2

Телефон: +7 495 334-89-10 E-mail: dan@ipu.ru Веб-сайт: <http://ipu.ru>