



Минобрнауки России
Федеральное государственное учреждение
«Федеральный исследовательский центр
Институт прикладной математики им. М.В. Келдыша
Российской академии наук»
(ИПМ им. М.В. Келдыша РАН)

125047, Москва, Миусская пл., 4 Тел. 8 (499) 220-72-33 Факс 8 (499) 972-07-37
http://keldysh.ru e-mail: office@keldysh.ru
ОКПО 02699381 ОГРН 1037739115787 ИНН/КПП 7710063939/771001001

06.05.2025 № 11103-0422/420

На № _____

УТВЕРЖДАЮ

И. о. директора Федерального государственного учреждения
«Федеральный исследовательский центр
Институт прикладной математики им. М.В.
Келдыша Российской академии наук»
доктор физико-математических наук,
профессор, член-корреспондент РАН
М.В. Якововский



2025 г.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

федерального государственного учреждения
«Федеральный исследовательский центр Институт прикладной математики
им. М.В. Келдыша Российской академии наук»

Диссертация «Метод замены дифференциальных уравнений клеточными автоматами в задачах социально-экономической динамики» выполнена в федеральном государственном учреждении «Федеральный исследовательский центр Институт прикладной математики им. М.В. Келдыша Российской академии наук». В период подготовки диссертации соискатель Степанцов Михаил Евгеньевич работал в указанном учреждении в отделе № 3 в должности старшего научного сотрудника.

В 1995 году соискатель окончил физический факультет Московского государственного университета имени М.В. Ломоносова по специальности «Физика». Ученая степень кандидата физико-математических наук по специальности 01.01.03 (математическая физика) присуждена решением диссертационного совета К053.05.18 при Московском Государственном Университете им. М.В. Ломоносова от 16 апреля 1998 года, диплом КТ № 050917.

Учёное звание доцента по кафедре прикладной математики присвоено 20 июля 2005 года, аттестат ДЦ № 037781.

Тема диссертации утверждена Учёным советом ИПМ им. М.В. Келдыша РАН 12 декабря 2024 года, протокол № 24-24

Научный консультант – доктор физико-математических наук, профессор Малинецкий Георгий Геннадьевич работает в указанном учреждении в должности главного научного сотрудника, и/о заведующего отделом № 3.

По итогам обсуждения принято следующее заключение.

Актуальность рассматриваемой темы связана с тем, что математика, долгие годы бывшая инструментом в основном естественных наук, всё более активно используется в областях знаний, традиционно относимых к гуманитарным. В задачах социально-экономической динамики моделируемая реальность существенно дискретна, начиная с любого множества людей, равно как и отношений на этом множестве. Таким образом, достаточно адекватным является использование и дискретного времени при анализе подобных процессов. Поэтому моделирование таких процессов уместно осуществлять при помощи дискретных моделей, которые могут быть успешно применены вместо непрерывных. Одним из классов таких моделей являются клеточные автоматы.

В то же время при моделировании социально-экономических процессов широко используются созданные по аналогии с физикой модели на основе дифференциальных уравнений. С их помощью получено значительное количество результатов, так что нет причин отказываться от этих моделей и строить их дискретные аналоги «с нуля». С другой стороны, модели на основе дифференциальных уравнений имеют свои ограничения. Клеточные автоматы лишены ряда их недостатков, они широко используются в математическом моделировании в различных областях науки, этот класс моделей подробно теоретически изучен. Кроме того, клеточные автоматы позволяют значительно повысить скорость вычислений при моделировании с использованием специализированных компьютеров с высокой степенью параллельности вычислений. Поэтому их использование позволяет расширить область применимости математических моделей и повысить эффективность вычислений при решении прикладных задач.

Целью рассматриваемого диссертационного исследования является разработка метода замены дифференциальных уравнений клеточными автоматами в задачах социально-экономической динамики, сводимых к задачам для обыкновенных дифференциальных уравнений, и апробация этого метода на ряде математических моделей социально-экономической динамики путём осуществления такой замены и решения прикладных задач на основе такого подхода.

На защиту выносятся следующие результаты работы.

1. Разработан общий метод построения клеточного автомата, заменяющего дифференциальное уравнение с сохранением макродинамики модели. Доказана сходимость решения, полученного при помощи построенного таким образом клеточного автомата к решению исходной задачи Коши.

2. Построен ряд дискретных модификаций математических моделей движения неорганизованной группы людей на основе клеточных автоматов. На их основе исследовано явление «отрицательной вязкости» и рассчитаны

оптимальные конфигурации препятствий для ряда случаев движения по узкому проходу.

3. Построена основанная на клеточном автомате дискретная модификация модели А.П. Михайлова «власть-общество». Доказано, что ее динамика согласуется с динамикой непрерывной модели. Получен ряд результатов, связывающих динамику политической системы с уровнем коррупции, региональными демографическими различиями, а также социально-экономическую динамику такой системы с уровнем транспортных связей между регионами.

4. Построена дискретная модификация модели информационного противоборства, основанная на клеточном автомате. Доказано, что ее макродинамика совпадает с макродинамикой аналогичной непрерывной модели в области применимости последней, при этом в дискретную модель введены факторы, которые невозможно учесть в рамках непрерывной модели, такие как влияние малых групп и интериоризация общественного мнения индивидами. На основе этой дискретной модели решены задачи оптимального управления пропагандистской кампанией для ряда сценариев.

5. Разработана методика моделирования динамики численности профессиональной группы, при помощи которой построены модели численности учителей средних школ и студентов вузов. Получен прогноз социальной динамики профессиональной группы учителей средних школ Москвы и Ярославской области.

6. Создана дискретная модификация математической модели динамического развития транспортной сети. На ее основе получен прогноз развития сетей железных дорог России для ряда сценариев будущего.

7. Разработана методика моделирования хода спортивных соревнований. С ее помощью доказан ряд утверждений относительно влияния права первой подачи на результат в играх с дискретным временем, проведен ретроспективный анализ ряда футбольных и волейбольных матчей, введено понятие справедливости турнирной формулы соревнования.

Все модели, методы, алгоритмы и полученные на их основе результаты, представленные в диссертации, являются **новыми и оригинальными**. Метод замены дифференциальных уравнений клеточными автоматами является новым, разработан автором и обоснован им же путём доказательства сходимости решения, полученного при помощи клеточного автомата, к решению исходной задачи Коши. Все модификации моделей, полученные в рамках данного исследования при помощи этого метода, являются новыми и оригинальными, поскольку основаны на клеточных автоматах, построенных автором работы.

Достоверность и обоснованность теоретических результатов, полученных в диссертации, обеспечиваются корректным применением математического аппарата, теории клеточных автоматов, теории вероятностей и математической статистики, эконометрики, теории графов и строгим математическим обоснованием предложенных методов и алгоритмов. Адекватность построенных

моделей подтверждается соответствием результатов, полученных компьютерным моделированием, теоретически полученным результатам и данным наблюдений.

Практическая значимость результатов. Разработанные модели могут быть использованы для решения прикладных задач моделирования и прогнозирования социально-экономической динамики в Институте прикладной математики им. М.В. Келдыша РАН, в ФИЦ «Информатика и управление» РАН, на факультете вычислительной математики и кибернетики Московского государственного университета им. М.В. Ломоносова, во Всероссийском НИИ железнодорожного транспорта.

Материалы диссертации полно представлены в 60 **работах, опубликованных соискателем.** Все опубликованные результаты по теме диссертационной работы получены **автором лично.** В работах, опубликованных в соавторстве, вклад автора является определяющим.

Среди этих работ 6 публикаций индексируются в международной базе цитирования Scopus:

1. Malinetskii G.G., Stepanov M.Ye. Cellular automata for some gas dynamic processes // Computational Mathematics and Mathematical Physics. – 1996. – 36(5). – P. 669–675.

2. Malinetskii G.G., Stepanov M.E. Application of cellular automata for modeling the motion of a group of people // Computational Mathematics and Mathematical Physics. – 2004. – 44(11). – P. 1992–1996.

3. Malinetskii G.G., Stepanov M.E. A discrete mathematical model of the dynamic evolution of a transportation network // Computational Mathematics and Mathematical Physics. 2009. 49 (9). P. 1493–1498.

4. Priadein R.B., Stepanov M.Ye. On a possible approach to a sport game with discrete time simulation // Computer Research and Modeling. 2017. 9(2). P. 271–279.

5. Stepanov M.E. Simulation of the “Power–Society–Economics” System with Elements of Corruption Based on Cellular Automata // Mathematical Models and Computer Simulations. – 2018. – 10(2). – P. 249–254.

6. Stepanov M.E. Cellular automaton based model of information warfare. Mathematical Models and Computer Simulations. 2021. – 13 (2). – P. 210–217.

Среди публикаций также имеются 13 работ, опубликованных в рецензируемых научных журналах и изданиях из Перечня ВАК:

7. Малинецкий Г. Г., Степанов М. Е. Моделирование движения толпы при помощи клеточных автоматов. // Известия Высших учебных заведений. Прикладная нелинейная динамика. 1997. Т.5, № 5. С. 75–79.

8. Малинецкий Г. Г., Степанов М. Е. Моделирование диффузионных процессов с помощью клеточных автоматов с окрестностью Марголуса // Журнал вычислительной математики и математической физики. 1998. Т. 38, № 6. С. 1017–1020.

9. Степанов М.Е. Моделирование движения группы людей на основе решеточного газа с нелокальными взаимодействиями // Известия Высших учебных заведений. Прикладная нелинейная динамика. 1999. Т. 7, № 5. С.44–46.

10. Степанцов М.Е. Математическая модель направленного движения группы людей // Математическое моделирование. 2004. Т. 16, № 3. С. 43–49.
 11. Степанцов М.Е. Дискретная модель возрастной структуры учителей средней школы // Математическое моделирование. 2005. Т. 17, № 3. С. 61–66.
 12. Степанцов М.Е. О возможной модификации дискретной математической модели динамического развития транспортной сети // Компьютерные исследования и моделирование. 2013. Т.5, № 3. С. 395–401.
 13. Прядеин Р.Б., Степанцов М.Е. Об одном подходе к имитационному моделированию спортивной игры с непрерывным временем // Компьютерные исследования и моделирование. 2014. Т.6, № 3. С. 455–460.
 14. Петров А.П., Степанцов М.Е. Дискретная распределенная модификация модели "власть-общество" на основе клеточного автомата. Препринт Института прикладной математики им. М.В. Келдыша РАН. 2014. №100.
 15. Петров А.П., Степанцов М.Е. Моделирование трехуровневой системы "власть-общество" на основе клеточных автоматов // Математическое моделирование. 2016. Т. 28, № 3. С. 119–132.
 16. Прядеин Р.Б., Степанцов М.Е. Об одном подходе к имитационному моделированию спортивной игры с дискретным временем // Компьютерные исследования и моделирование. 2017. Т. 9, № 2. С. 271–279.
 17. Степанцов М.Е. Моделирование некоторых сценариев в системе «власть-общество», включающих миграцию населения и изменение количества регионов // Компьютерные исследования и моделирование. 2024. N. 16, № 6. С. 1499-1512.
 18. Степанцов М.Е. О сходимости решения, получаемого при помощи клеточного автомата, к решению исходной задачи Коши // Математическое моделирование. 2025. Т. 37, № 3. С. 108-117.
 19. Малинецкий Г.Г., Степанцов М. Е. Учет коррупции при моделировании экономических последствий изменения числа регионов в системе «власть - общество» // Искусственные общества. 2024. Т. 19, № 3.
- Текст диссертации был проверен на использование заимствованного материала без ссылки на авторов и источники заимствования. После исключения всех корректных совпадений иных заимствований не обнаружено.
- Диссертационная работа Степанцова Михаила Евгеньевича «Метод замены дифференциальных уравнений клеточными автоматами в задачах социально-экономической динамики» **соответствует следующим разделам паспорта специальности 1.2.2.** – «Математическое моделирование, численные методы и комплексы программ»: **п.1** «Разработка новых математических методов моделирования объектов и явлений»; **п.2** «Разработка, обоснование и тестирование эффективных вычислительных методов с применением современных компьютерных технологий»; **п.3** «Реализация эффективных численных методов и алгоритмов в виде комплексов проблемно-ориентированных программ для проведения вычислительных экспериментов»; а также соответствует критериям, установленным Положением о порядке присуждения ученых степеней,

утвержденным постановлением Правительства Российской Федерации от 24 сентября 2013 г. №842 (ред. от 25.01.2024 № 62) и рекомендуется к защите на соискание ученой степени доктора физико-математических наук по специальности 1.2.2. – «Математическое моделирование, численные методы и комплексы программ».

Заключение принято на заседании семинара «Вычислительные методы и математическое моделирование» им. Ю.П. Попова 21 апреля 2025 года.

На заседании семинара присутствовало 17 чел. Среди них 7 докторов физико – математических наук.

Результаты голосования: «за» - 14 чел., «против» - 0 чел., «воздержались» - 3 чел.

Протокол № 326 от 21 апреля 2025 года.

Руководитель семинара,
гл.н.с., и.о. зав. отд. № 11
ИПМ им. М.В. Келдыша РАН,
профессор, д.ф.-м.н.

М.П. Галанин

Секретарь семинара,
н.с. отд. № 11
ИПМ им. М.В. Келдыша РАН,
к.ф.-м.н.

А.О. Гусев