

ЗАКЛЮЧЕНИЕ ДИССЕРТАЦИОННОГО СОВЕТА 24.1.237.01,
СОЗДАННОГО НА БАЗЕ
ФЕДЕРАЛЬНОГО ГОСУДАРСТВЕННОГО УЧРЕЖДЕНИЯ
«ФЕДЕРАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ ЦЕНТР ИНСТИТУТ
ПРИКЛАДНОЙ МАТЕМАТИКИ ИМ. М.В. КЕЛДЫША РАН»
МИНИСТЕРСТВА НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ
РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ
ПО ДИССЕРТАЦИИ НА СОИСКАНИЕ
УЧЕНОЙ СТЕПЕНИ КАНДИДАТА НАУК

аттестационное дело № _____

решение диссертационного совета от 16.12.2021 № 7

О присуждении Чечиной Антонине Александровне ученой степени кандидата физико-математических наук.

Диссертация «Математическое моделирование транспортных потоков на основе теории клеточных автоматов» по специальности 1.2.2 - Математическое моделирование, численные методы и комплексы программ принята к защите 05 октября 2021 (протокол №7/пз) диссертационным советом 24.1.237.01, созданным на базе Федерального исследовательского центра Институт прикладной математики им. М.В. Келдыша Российской академии наук, 125047, г. Москва, Миусская пл., д.4. Диссертационный совет утвержден приказом Минобрнауки России №105/нк от 11 апреля 2012 года.

Соискатель Чечина Антонина Александровна 19 августа 1983 года рождения, в 2007 году окончила магистратуру государственного образовательного учреждения высшего образования «Московский инженерно-физический институт (государственный университет)» по специальности «Прикладная математика и физика».

В 2015 году соискатель окончила заочную аспирантуру Федерального исследовательского центра Институт прикладной математики им. М.В. Келдыша Российской академии наук по направлению подготовки 05.13.18 – Математическое моделирование, численные методы и комплексы программ. Работает в должности младшего научного сотрудника в ФГУ ФИЦ «ИПМ им. М.В. Келдыша РАН».

Диссертация выполнена в ФГУ ФИЦ «ИПМ им. М.В. Келдыша РАН».

Научный руководитель – Чурбанова Наталья Геннадьевна, кандидат физико-математических наук, старший научный сотрудник ФГУ ФИЦ «ИПМ им. М.В. Келдыша РАН».

Официальные оппоненты:

Кленов Сергей Львович, доктор физико-математических наук, доцент кафедры общей физики в ФГАОУ ВО «Московский физико-технический институт (национальный исследовательский университет)» (МФТИ),

Киселев Алексей Борисович, доктор физико-математических наук, профессор кафедры газовой и волновой динамики механико-математического факультета ФГБОУ ВО «Московский государственный университет имени М.В. Ломоносова»,

дали **положительные** отзывы на диссертацию.

Ведущая организация ФГБОУ ВО «Московский автомобильно-дорожный государственный технический университет (МАДИ)» в своем **положительном** отзыве, подписанном Таташевым Александром Геннадьевичем, доктором физико-математических наук, профессором кафедры «Высшая математика» ФГБОУ ВО «Московский автомобильно-дорожный государственный технический университет (МАДИ)» указала, что работа выполнена на высоком уровне, получены существенные результаты. Созданная модель может служить основой для создания более сложных и подробных моделей транспортного потока в рамках теории клеточных автоматов. Разработанные алгоритмы для параллельных вычислительных систем представляют интерес как основа для создания новых подходов к

моделированию автотранспорта. Созданная модель и программный комплекс могут служить базой для интеллектуальных транспортных систем (ИТС) городов. Работа отвечает требованиям, предъявляемым к кандидатским диссертациям, согласно пп. 9-14 «Положения о присуждении ученых степеней», утвержденного постановлением Правительства РФ от 24 сентября 2013 г. №842, а её автор, Чечина А.А., заслуживает присуждения ученой степени кандидата физико-математических наук.

Соискатель имеет 34 опубликованные работы, в том числе по теме диссертации опубликовано 27 работ, из них в рецензируемых научных изданиях опубликовано 17 работ. Из 17 вышеуказанных публикаций 12 – в изданиях, входящих в базы данных WoS и Scopus, остальные 5 – в изданиях из перечня ВАК. Программный комплекс, представленный в диссертационной работе, зарегистрирован, получено свидетельство о государственной регистрации. Сведения о публикациях в диссертации достоверны, а приводимые в диссертации результаты полностью опубликованы в работах соискателя.

Публикации в изданиях, входящих в базы данных WoS, Scopus

1. Churbanova N., Chechina A., Trapeznikova M., Sokolov P. Simulation of traffic flows on road segments using cellular automata theory and quasigasdynamic approach // *Mathematica Montisnigri*. – 2019. – V. XLVI – P. 72-90.
<https://doi.org/10.20948/mathmon-2019-46-7>
2. Чечина А.А. Алгоритмы поведения водителей на нерегулируемых перекрестках с приоритетом и при объезде препятствий // *Математическое моделирование*. – 2021. – т. 33(9) – С. 47-59.
<https://doi.org/10.20948/mm-2021-09-04>
3. Чечина А.А., Чурбанова Н.Г., Трапезникова М.А.. Сравнение воспроизведения пространственно-временных структур транспортных потоков при использовании различных способов осреднения данных // *Математическое моделирование*. – 2021. – т. 33(1) – С. 25-31.

<https://doi.org/10.20948/mm-2021-01-02>

4. Трапезникова М.А., Чечина А.А., Чурбанова Н.Г. Двумерная модель клеточных автоматов для описания динамики транспортных потоков на элементах улично-дорожной сети // Математическое моделирование. – 2017. – т. 19 № 9 – С. 110-120.

<https://elibrary.ru/item.asp?id=29972284>

5. Chechina A., Churbanova N., Trapeznikova M. Different Approaches to the Multilane Traffic Simulation // Traffic and Granular Flow '13. – 2015. – No. 19 – P. 361-368.

https://doi.org/10.1007/978-3-319-10629-8_41

6. Churbanova N.G., Chechina A.A., Furmanov I. R., Trapeznikova M.A. Microscopic Model for Simulation of Traffic Flows on Multilane Highways and Crossroads // ECCOMAS 2012 - European Congress on Computational Methods in Applied Sciences and Engineering, e-Book Full Papers. – 2012. – P. 11 - 17.

<http://eccomas.cimne.com/cvdata/cntr1/spc7/dtos/img/mdia/ECCOMAS-2012-e-book-Title-Content.pdf>

7. Chechina A., Churbanova N., Trapeznikova M. Multilane Traffic Flow Modeling Using Cellular Automata Theory // EPJ Web of Conferences. – 2018. – V. 173 – P. 06003.

<https://doi.org/10.1051/epjconf/201817306003>

8. Chechina A., Churbanova N., Trapeznikova M., Ermakov A., German M. Traffic flow modelling on road networks using cellular automata theory // Int. J. of Eng. & Techn. – 2018. – V. 7 N. 2.28 – P. 225-227.

<https://doi.org/10.14419/ijet.v7i2.28.12930>

9. Chechina A., Churbanova N., Trapeznikova M. Reproduction of experimental spatio-temporal structures in traffic flows using mathematical model based on cellular automata theory // Periodicals of Engineering and Natural Sciences. – 2019. – V.7 No. 1 – P. 76-81.

<https://doi.org/10.21533/pen.v7i1.395>

10. Churbanova N., Chechina A., Trapeznikova M., Ermakov A., German M., Sokolov P., Bozorov O. CMMSE-2019: Simulation and visualization of vehicular traffic on road networks using high performance computing systems // Computational and Mathematical Methods. – 2020 - V. 2 No. 3 - e1082.
<https://doi.org/10.1002/cmm4.1082>
11. Chechina A., Churbanova N., Trapeznikova M. Modelling traffic on road junctions on parallel computing systems using cellular automata approach // International Journal of Interactive Mobile Technologies (IJIM). – 2020. – V. 14 No. 10 – P. 178-185.
<https://doi.org/10.3991/ijim.v14i10.14549>
12. Trapeznikova M.A., Churbanova N. G., Chechina A.A., Ermakov A.V., German M.S. Supercomputer Technology for Traffic Simulation in a Metropolis // 2020 International Conference on Engineering Management of Communication and Technology (EMCTECH, Vienna, Austria, 2020) IEEE. – 2020. – P. 1-4. <https://doi.org/10.1109/EMCTECH49634.2020.9261532>

Публикации в изданиях, входящих в перечень ВАК:

13. Трапезникова М.А., Чечина А.А., Чурбанова Н.Г., Поляков Д.Б. Математическое моделирование потоков автотранспорта на основе макро- и микроскопических подходов // Вестник АГТУ Сер.: Управление, вычислительная техника и информатика. – 2014. - №1 - С. 130-139.
<http://mi.mathnet.ru/rus/vagtu/y2014/i1/p130>
14. Чечина А.А. Новые алгоритмы перестроения автомобилей для микроскопической модели транспортных потоков на основе теории клеточных автоматов // Препринты ИПМ им. М.В. Келдыша. – 2017. – №136 – 14с.
<https://doi.org/10.20948/prepr-2017-136>
15. Чечина А.А. Воспроизведение экспериментальных пространственно-временных структур в транспортных потоках при помощи

математической модели на основе теории клеточных автоматов // Препринты ИПМ им. М.В.Келдыша. – 2018. – № 236 – 16 с.

<https://doi.org/10.20948/prepr-2018-236>

16. Трапезникова М.А., Чечина А.А., Чурбанова Н.Г. Описание динамики транспортных потоков на элементах улично-дорожной сети с использованием двумерных математических моделей // Препринты ИПМ им. М.В. Келдыша. – 2016. – №93 – 20 с.

<https://doi.org/10.20948/prepr-2016-93>

17. Чечина А.А., Герман М.С., Ермаков А.В., Трапезникова М.А., Чурбанова Н.Г. Моделирование и визуализация потоков автотранспорта на элементах улично-дорожной сети с использованием комплекса программ САМ-2D // Препринты ИПМ им. М.В.Келдыша. – 2016. – № 124 – 17 с.

<https://doi.org/10.20948/prepr-2016-124>

Свидетельства:

Свидетельство о регистрации программы для ЭВМ «Программа микроскопического моделирования транспортных потоков САМ-2D»
Правообладатель: ФГУ ФИЦ «ИПМ им. М.В. Келдыша РАН». Автор:
Чечина А.А. Свидетельство о государственной регистрации № 2016662572 от 15.11.2016.

Работы [1, 5, 13, 16] посвящены как микро-, так и макромоделям транспортных потоков. В этих работах вклад автора состоит в части, посвященной микроскопической модели транспортных потоков на основе теории клеточных автоматов САМ-2D. Работы [2, 14, 15], посвященные алгоритмам поведения водителей и верификации созданной модели, содержат результаты, полученные лично автором диссертации. В работах [8, 10, 12, 17], описывается развитие и усложнение модели САМ-2D в части вычислительного модуля, разработанного и доведенного до рабочего состояния автором диссертации, детали разработки модуля пользовательского интерфейса и визуализации данных, а также методика его интеграции в программный комплекс, сделанные совместно с соавторами.

Остальные публикации представляют различные аспекты работы над созданной моделью и программным комплексом и включают как обзор модели и алгоритмов, обсуждаемых в диссертации, так и их верификацию. Работы в большей степени написаны лично автором диссертации, результаты получены также лично автором, соавторы участвовали как постановщики задач и участники обсуждения результатов. Имеются три персональные публикации. Общий объем публикаций – 18,5 печ. л., авторский вклад соискателя 11,1 печ. л.

На диссертацию и автореферат поступили отзывы: отзыв ведущей организации, два отзыва от оппонентов и два отзыва на автореферат. Все отзывы положительные. Они содержат ряд замечаний.

В отзыве ведущей организации ФГБОУ ВО «Московский автомобильно-дорожный государственный технический университет (МАДИ)» (г. Москва):

1. В основу модели, созданной автором диссертационной работы, положена модель Нагеля-Шрекенберга, представленная в терминах клеточных автоматов. В диссертационной работе упоминается простой вариант этой модели, формулируемый в терминах элементарного клеточного автомата 184 в терминологии С. Вольфрама. Для этого варианта, его вероятностной разновидности и некоторых обобщений получены аналитические результаты, например, в работах М.Л. Бланка. Но в диссертационной работе об этих результатах не упоминается.

2. По тематике моделирования движения автотранспорта на перекрестках разработан подход и получены значительные результаты М.А. Федоткиным и его коллективом. Этот подход предусматривает моделирование движения на пересечении дорог с помощью системы массового обслуживания с конфликтными потоками. Об этом направлении не упоминается в диссертационной работе.

В отзыве официального оппонента Кленова С.Л.:

1. В последние годы на основе большого объема эмпирических данных, полученных от автомобилей, оборудованных современными навигационными системами, а также благодаря измерениям трафика, сделанным с помощью беспилотников, было установлено, что на дорогах городов часто образуется фаза синхронизованного транспортного потока. Однако классическая модель Нагеля и Шрекенберга не описывает фазу синхронизованного потока, который можно описать только в математических моделях в рамках теории трех фаз Кернера. Поэтому представляется перспективным, если бы в дальнейшем используемая автором модель в программном комплексе была модифицирована так, чтобы отвечать положениям теории трех фаз и моделировать синхронизованный поток.

2. В работе недостаточно четко описана валидация модели на основе эмпирических данных. В частности, не было объяснено, каким образом подбирались параметры модели, чтобы, например, получить эмпирически наблюдаемые значения скорости фронтов повышенной плотности в транспортном потоке, в частности, скорость заднего фронта движущегося затора около 15 км/ч.

3. Выбор ячейки клеточных автоматов размером 7.5м, как было сделано в классической модели Нагеля и Шрекенберга, позволяет быстрый расчет крупных транспортных сетей. Однако последнее время в работах группы проф. Шрекенберга использована модель с шагом 1.5м, которая также позволяет быстрое вычисление сетей и в то же время дает более реалистичные ускорения автомобилей. Это особенно важно для моделей городских перекрестков, чтобы правильно описывать динамику трафика на этих перекрестках.

В отзыве официального оппонента Киселева А.Б.:

1. Во введении слишком много внимания уделено истории развития теории клеточных автоматов безотносительно применения к транспортным потокам, что выходит за рамки тематики диссертации.

2. Верификация модели выполнена на задачах с относительно простой конфигурацией расчетной области (въезд/выезд). Хотелось бы видеть сравнение с экспериментом или работами других авторов на перекрестках и системах перекрестков со светофорным регулированием и приоритетом проезда.

3. Замечание редакционного характера: цветные рисунки, иллюстрирующие как отладочную реализацию, так и реализацию в пакете SAM-2D, а также пространственно-временные диаграммы в цвете сделали бы результаты диссертации более наглядными.

Отзывы на автореферат дали:

Осипов Владимир Петрович, кандидат технических наук, доцент, ведущий научный сотрудник ФГУ ФИЦ «ИПМ им. М.В. Келдыша РАН. Отзыв на автореферат положительный с замечаниями:

- Автор недостаточно внимания уделил описанию других дискретных методов моделирования транспортных процессов на микроуровне, например, мультиагентного подхода.
- Кроме того, не описана архитектура и состав программного комплекса, принципы его функционирования. В частности, неясно, насколько эффективна параллельная версия программы SAM-2D.

Курц Валентина Валерьевна, кандидат физико-математических наук, доцент (ФГАОУ ВО «Санкт-Петербургский политехнический университет Петра Великого»). Отзыв на автореферат положительный с замечаниями:

- Предложенная модель является развитием и усложнением модели Нагеля-Шрекенберга. Из автореферата осталось неясным: как это сказалось на производительности; производилось ли сравнение с Aimsun в плане времени расчёта; выполнялись ли расчеты для «больших сетей».
- Разработанный программный комплекс SAM-2D предоставляет интерфейс для задания дорожной сети. Имеется ли возможность импорта данных Aimsun, OpenStreetMap и других программных продуктов для моделирования транспортных потоков?

- На рисунке 7 представлено сравнение экспериментальных данных и результатов моделирования с использованием макромодели Кернера-Конхойзера и САМ-2D. Остается непонятным, почему на первых двух графиках волна обратного распространения затора образуется на расстоянии 16 км, а на третьем графике - на расстоянии 10 км.

Во всех отзывах отмечено, что указанные недостатки не влияют на общую положительную оценку работы. Работа полностью соответствует требованиям ВАК, предъявляемым к кандидатским диссертациям, а ее автор, Чечина А.А., заслуживает присуждения ученой степени кандидата физико-математических наук по специальности 1.2.2 «Математическое моделирование, численные методы и комплексы программ».

Выбор официальных оппонентов и ведущей организации обосновывается их квалификацией и большим опытом в области математического моделирования транспортных потоков, что подтверждается обширным списком публикаций по тематике диссертационной работы у оппонентов и сотрудников ведущей организации.

Диссертационный совет отмечает, что на основании выполненных соискателем исследований разработаны:

- новая математическая модель транспортных потоков на основе теории клеточных автоматов;

- алгоритмы для описания движения по различным элементам улично-дорожной сети: прямолинейный участок УДС; регулируемые перекрестки (включая различные типы и настройки светофоров); участок с расширением/сужением; въезд/выезд с автомагистрали; участок с разворотом; участок с пешеходным светофором, участок с широким неподвижным препятствием - все для произвольного числа полос;

- алгоритмы поведения водителей в возникающих дорожных ситуациях вследствие взаимодействия друг с другом и с дорожной инфраструктурой: «осторожные», «агрессивные» и «вежливые» водители, вариант с «медленным стартом» и без него;

- программный комплекс для высокопроизводительных вычислительных систем, реализующий созданную модель и позволяющий выполнять расчеты для дорожных сетей различной конфигурации.

Теоретическая значимость исследования обоснована тем, что созданные новые алгоритмы, учитывающие разные стратегии поведения водителей в транспортном потоке, а также реализация этих алгоритмов в виде комплекса программ для высокопроизводительных систем, вносят существенный вклад в моделирование транспортных потоков с учетом человеческого фактора.

Значение полученных соискателем результатов исследования для практики подтверждается тем, что созданная модель и программный комплекс могут служить базой для Интеллектуальных транспортных систем городов, позволяя управлять транспортными потоками в режиме реального времени, а также решать прогнозные задачи при планировании новой и модификации существующей дорожно-транспортной инфраструктуры.

Оценка достоверности результатов исследования выявила, что при верификации созданных алгоритмов на тестовых задачах полученные результаты согласуются как с экспериментальными данными, так и с данными, полученными другими исследователями, а также с результатами, полученными автором диссертации при помощи коммерческого ПО. При этом, как правило, собственные результаты имеют ряд преимуществ в части детализации воспроизведения закономерностей, наблюдаемых в транспортном потоке.

Личный вклад соискателя состоит в непосредственной разработке созданной модели, алгоритмов и программного комплекса, представленного в диссертационной работе, а также в участии в написании и подготовке всех приведенных публикаций.

В ходе защиты диссертации существенных замечаний высказано не было. Соискатель Чечина А.А. ответила на все заданные ей в ходе заседания вопросы и согласилась с замечаниями.

Диссертация соискателя Чечиной Антонины Александровны представляет собой законченную научно-квалификационную работу, содержащую решение актуальной задачи математического моделирования динамики транспортных потоков на основе теории клеточных автоматов с использованием современных высокопроизводительных вычислительных комплексов, имеющей большое значение для развития транспортной инфраструктуры городов. Результаты диссертационной работы могут служить основой для создания Интеллектуальной транспортной системы крупных городов, включая такой мегаполис, как Москва.

На заседании 16.12.2021г. диссертационный совет принял решение: за новые научно-обоснованные решения и разработки, имеющие существенное значение для развития страны, а именно, за новую математическую модель транспортных потоков и реализующие её алгоритмы и комплекс программ, присудить Чечиной А.А. ученую степень кандидата физико-математических наук.

При проведении тайного голосования диссертационный совет в количестве 20 человек, из них 7 докторов наук, участвовавших в заседании, из 24 человек, входящих в состав совета, проголосовали: за 20, против - нет, недействительных бюллетеней - нет.

Председатель

диссертационного совета

Б.Н. Четверушкин

Ученый секретарь

диссертационного совета

М.А. Корнилина

М.П.

16.11.2021 г.

