

## ОТЗЫВ

официального оппонента д.ф.-м.н. Кленова Сергея Львовича  
на диссертационную работу Чечиной Антонины Александровны  
«Математическое моделирование транспортных потоков на основе теории клеточных автоматов»,  
представленной на соискание ученой степени кандидата физико-математических наук  
по специальности 1.2.2. – «Математическое моделирование, численные методы и комплексы программ»

**Актуальность темы диссертации** обусловлена тем, что по мере роста крупных городских агломераций и увеличения количества транспорта проблема передвижения в городе за разумное время становится все более острой для большинства горожан. Одним из способов улучшить транспортную ситуацию в городах является применение современных методов численного моделирования транспортных потоков и разработанных на их основе высокопроизводительных программных комплексов. Это позволяет как оптимизировать использование существующей транспортной инфраструктуры, так и обеспечивает инструментарий для оценки трафика при проектировании новых транспортных путей и их влияния на транспортную ситуацию в городе в целом. Еще одной важной задачей для численного моделирования является достоверный краткосрочный прогноз развития текущей транспортной ситуации в городе, который нужен для расчета времени в пути в навигационных системах.

В последние годы в результате создания Кернером теории трех фаз был сделан принципиальный шаг в понимании природы образования транспортных заторов в транспортных сетях. Теория трех фаз дала объяснение всех эмпирически наблюдаемых свойств транспортных потоков, а также задала основной тренд в разработках новых моделей транспортных потоков, так как сформулировала требования к моделям, чтобы они правильно описывали эмпирические данные.

С другой стороны, прогресс в создании вычислительных комплексов сверхвысокой производительности обеспечил возможность проводить расчеты трафика в целом городе за короткое время и даже в режиме реального времени. Все это создало основу для разработки новых программных комплексов для достоверного моделирования транспортных потоков в крупных городских сетях.

Диссертационная работа Чечиной А.А. посвящена разработке и численной реализации новой многополосной модели для городских сетей, основанной на подходе клеточных автоматов, основной целью которой является достоверное описание различных



алгоритмов поведения водителей и разработка алгоритмов моделирования трафика на основных элементах транспортной сети и всей сети в целом.

**Общая характеристика работы.** Диссертация состоит из введения, четырех глав, заключения, списка литературы и двух приложений.

Введение содержит необходимые сведения о современном состоянии исследований, а также о диссертации – такие как новизна, актуальность и пр.

В первой главе приводится краткий обзор существующих моделей.

Вторая глава посвящена предложенной автором оригинальной многополосной модели на основе подхода клеточных автоматов для моделирования транспортных потоков Нагеля и Шрекенберга. В рамках этой модели автором разработаны алгоритмы, отвечающие за смену полосы, и алгоритмы, моделирующие движения по основным элементам транспортной сети, таким как перекрестки различных типов, дороги с изменяющейся полосностью, дороги с въездами/съездами, объезд неподвижного препятствия и т.д. Особое внимание во второй главе уделяется описанию оригинальных специальных алгоритмов, позволяющих имитировать различные водительские стратегии, обусловленные характерными особенностями самих водителей, стилем их вождения. Отдельным случаем является также класс «вежливых» водителей, используемых в алгоритмах смены полосы или проезда перекрестков.

Глава третья посвящена численной реализации предложенных алгоритмов, описывается структура программного комплекса, пользовательский интерфейс, возможности визуализации результатов. Большое внимание автор уделяет параллельной реализации с использованием современных вычислительных средств сверхвысокой производительности. Предложен оригинальный параллельный алгоритм, в котором трафик на каждом элементарном участке транспортной сети обрабатывается на отдельном процессоре CPU, а затем по предложенному автором алгоритму процессоры обмениваются данными на приграничных участках.

В четвертой главе описывается верификация созданной модели путем сравнения результатов тестовых расчетов с результатами, полученными на основе пакета Aimsun TSS, которое демонстрирует хорошее согласование результатов. Также приводятся результаты сравнения полученных автором пространственно-временных диаграмм с расчетами других авторов на основе решения нескольких задач о движении на дороге с въездами.

В заключении диссертации приведены основные результаты работы и сформулированы планы по дальнейшему развитию модели и программного комплекса на ее основе.



К достоинствам диссертационной работы несомненно относится детальная проработанность модели применительно к моделированию трафика на элементах инфраструктуры транспортных потоков в крупных городских агломерациях. Автор предложила оригинальные алгоритмы для описания с помощью клеточных автоматов движения на различных элементах улично-дорожной сети, включая въезд/выезд для основной дороги, четырехсторонний перекресток со светофором, Т-образный перекресток со светофором, участки с сужением/расширением, разворотом, пешеходным светофором, объезд препятствия, и др. Все это в совокупности позволяет создать законченную модель транспортной сети крупного города, тем более что в дальнейшем предполагается адаптация модели для описания движения грузового и общественного автотранспорта.

**Обоснованность** научных положений и выводов диссертации подтверждается тем, что автор применяет эффективный подход клеточных автоматов для разработки алгоритмов численного моделирования транспортных потоков в больших транспортных сетях. Автор также использует современные достижения в исследованиях транспортных потоков, проводя верификацию модели на эмпирических данных, полученных Кернером, которые показывают возникновение и распространение пространственно-временных структур в транспортном потоке.

**Новизна** диссертационной работы обусловлена тем, что предложенные в работе алгоритмы моделирования трафика на элементах дорожной сети, на дорогах различной конфигурации, моделирование различных поведенческих стратегий водителей и другие алгоритмы, такие как алгоритм «вежливый водитель», – созданы автором и являются оригинальными.

В разработанном автором комплексе программ САМ-2D модель движения автотранспорта на городской улично-дорожной сети адаптирована для расчетов на суперкомпьютерах, что позволяет собирать из отдельных элементов УДС сети различной конфигурации и делать расчеты на них в параллельном режиме. Программный комплекс получил свидетельство о государственной регистрации.

**Достоверность работы** подтверждается апробацией на более чем пятнадцати международных конференциях и в публикациях, индексируемых в системах цитирования Scopus и Web of Science. Результаты диссертации верифицировались путем тестовых расчетов, сравнения с эмпирическими данными и с расчетами других авторов, а также расчетами на основе пакета Aimsun TSS.



### **Замечания:**

1. В последние годы на основе большого объема эмпирических данных, полученных от автомобилей, оборудованных современными навигационными системами, а также благодаря измерениями 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. Не было объяснено, каким образом подбирались параметры модели, чтобы, например, получить эмпирически наблюдаемые значения скорости фронтов структур 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 Шрекенберга использовалась модель с ячейкой 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.

Вместе с тем, указанные недостатки не влияют на общую высокую оценку диссертационной работы.

**Заключение.** Диссертация Чечиной Антонины Александровны является научно-квалификационной работой, вносящей существенный вклад в разработку новых методов и новых алгоритмов численного моделирования транспортных потоков в городских сетях. Автореферат соответствует содержанию диссертации. Диссертация является законченным научным исследованием, содержание и результаты работы полностью соответствуют



паспорту научной специальности 1.2.2. – «Математическое моделирование, численные методы и комплексы программ» и требованиям п. 9 Постановления Правительства РФ от 24.09.2013 N 842 (ред. от 11.09.2021) "О порядке присуждения ученых степеней", а ее автор, Чечина Антонина Александровна, заслуживает присуждения ученой степени кандидата физико-математических наук по специальности 1.2.2. – «Математическое моделирование, численные методы и комплексы программ».

Официальный оппонент,  
доктор физико-математических наук,  
доцент кафедры общей физики  
МФТИ

**Кленов Сергей Львович**  
24.11.2021

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

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

Официальный сайт организации: <https://mipt.ru>

Телефон: +7 (495) 408-89-55

E-mail: [klenov.sl@mipt.ru](mailto:klenov.sl@mipt.ru)

Подпись Кленова Сергея Львовича удостоверяю:

Ученый секретарь  
Ученого совета МФТИ



**Евсеев Евгений Григорьевич**