

ОТЗЫВ ОФИЦИАЛЬНОГО ОППОНЕНТА

доктора физико-математических наук, профессора

Киселева Алексея Борисовича

на диссертационную работу Чечиной Антонины Александровны
«Математическое моделирование транспортных потоков на основе теории
клеточных автоматов», представленную на соискание учёной степени
кандидата физико-математических наук
по специальности 1.2.2 – «Математическое моделирование, численные
методы и комплексы программ»

Диссертационная работа Чечиной Антонины Александровны посвящена созданию математической модели, алгоритмов и комплекса программ для детального описания потоков автомобильного транспорта на многополосных магистралях с учётом особенностей поведения водителей, для чего выбран подход на основе клеточных автоматов. Разработанные алгоритмы и программные средства ориентированы на современные высокопроизводительные вычислительные системы, которые позволяют за разумное время (вплоть до режима реального времени) проводить масштабные расчёты для улично-дорожной сети (УДС) мегаполиса.

Актуальность работы не вызывает сомнения, поскольку очевидна несомненная роль предсказательного моделирования при решении проблем организации дорожного движения и управления транспортными потоками в условиях сверхвысокой загруженности автомобильных дорог. Основой для интеллектуальных транспортных систем должны служить адекватные и гибкие модели, не только точно воспроизводящие закономерности транспортных потоков, но также учитывающие «человеческий фактор» и допускающие настройку под конкретные дорожные ситуации. Сокращение времени численной реализации моделей за счёт эффективного использования

суперкомпьютеров также способствует решению насущных транспортных задач. При этом, как справедливо замечает автор диссертации, невзирая на большое разнообразие существующих подходов, применяемых в транспортном моделировании, а также большое разнообразие задач, которые необходимо решать, данная область науки по-прежнему остаётся недостаточно исследованной.

Работа состоит из введения, четырех глав, заключения, списка литературы и двух приложений.

Во введении обсуждаются актуальность темы исследований, цели и задачи работы, её научная новизна, теоретическая и практическая значимость, достоверность полученных результатов.

Приведены положения, выносимые на защиту:

- двумерная многополосная микроскопическая модель транспортных потоков на основе теории клеточных автоматов;
- алгоритмы расчёта движения на различных элементах улично-дорожной сети для созданной модели;
- различные поведенческие алгоритмы водителей для созданной модели;
- комплекс программ САМ-2D для моделирования движения автотранспорта на городской улично-дорожной сети, адаптированный для высокопроизводительных вычислительных систем, интегрированный с модулем пользовательского интерфейса и визуализации результатов;
- результаты вычислительных экспериментов, полученные с помощью разработанного комплекса программ.

Также приведены обширные списки конференций и проектов, подтверждающие апробацию и внедрение результатов.

Первая глава посвящена истории моделирования транспортных потоков и содержит обзор не только основополагающих работ, но и современной периодики. Обсуждаются достоинства и недостатки различных

подходов к транспортному моделированию. Вполне естественно, что в первую очередь освещены макроскопические модели, основанные на приближении механики сплошной среды. Среди них выделяется двумерная квазигазодинамическая модель транспортных потоков, разработанная в коллективе ИПМ имени М.В. Келдыша РАН, к которому принадлежит автор диссертации. Но основное внимание уделено микроскопическим моделям, а именно их особому подклассу – моделям клеточных автоматов, на развитие которых нацелена представленная работа. Отмечено, что одной из важнейших моделей данного класса до сих пор остается модель Нагеля-Шрекенберга, о чем свидетельствуют многочисленные публикации.

Во второй главе представлена разработанная автором многополосная модель транспортных потоков, являющаяся расширением модели Нагеля-Шрекенберга. Общий алгоритм движения на основе новой модели включает алгоритм смены полосы и алгоритм движения вперед. Для различных элементов УДС эти алгоритмы имеют особенности, обеспечивающие достижение автомобилем цели. Все разработанные алгоритмы детально описаны, некоторые представлены в виде блок-схем. В алгоритмах реализованы две стратегии поведения водителей («осторожные» или «агрессивные»), соответствующее количество водителей можно менять. Также предложены алгоритмы «вежливый водитель». Расчёты подтверждают эффект от наличия «вежливых водителей» в системе. Для большей реалистичности модели реализован алгоритм «медленный старт».

Третья глава посвящена разработке программного комплекса САМ-2D, реализующего предложенные выше модель и алгоритмы. Сильной стороной комплекса является модульная структура, позволяющая, как из элементов конструктора, собирать сети из различных элементов УДС. Также существенной является возможность отладочной визуализации результатов в процессе счёта. Кроме того, имеется отдельный модуль пользовательского веб-интерфейса и визуализации, позволяющий отображать результаты расчётов, выполненных на суперкомпьютере. Параллельная версия комплекса,

ориентированная на многопроцессорные системы с распределённой памятью, основана на принципе геометрического параллелизма. При реализации обменов данными между процессорами на внутренних границах расчётных подобластей учтена специфика клеточных автоматов.

Четвёртая глава диссертации посвящена верификации модели. Проводится сравнение с коммерческим пакетом Aimsun TSS на примере решения задачи о пропускной способности регулируемого четырёхстороннего перекрёстка, обнаружено качественное соответствие результатов. Проведено сравнение результатов моделирования с экспериментальными данными, представленными в литературе. Также проведено сравнение с результатами, полученными при помощи макроскопических моделей Кернера-Конхойзера и газокINETической модели. Анализ пространственно-временных диаграмм позволил автору диссертации сделать вывод об адекватности разработанной модели, большом сходстве с реальными данными и воспроизведению характерных свойств транспортного потока. Наблюдаются: последовательные переходы между фазами транспортного потока от свободного потока к синхронизованному и лишь затем от синхронизованного потока к широкому движущемуся кластеру, фиксация переднего фронта пробки вблизи так называемого «бутылочного горла», типичные скорости распространения возмущений в транспортном потоке.

В заключении подведены итоги работы и обозначены планы на будущее.

Разработанная в диссертации модель и входящие в неё алгоритмы являются новыми. Достоверность результатов работы обусловлена тем, что модель, алгоритмы и комплекс программ тщательно апробированы в численных экспериментах на широком круге задач, проведено сравнение как с экспериментальными данными, так и с результатами других авторов. Результаты отражены в очень большом количестве публикаций в изданиях, рекомендуемых ВАК и индексируемых в международных системах цитирования.

Практическая значимость диссертационной работы состоит в том, что созданные модель и программный комплекс могут служить базой для интеллектуальных транспортных систем городов. Созданный программный комплекс САМ-2D внедрен в платформу поддержки принятия решений в ходе выполнения ПНИ в рамках ФЦП «Исследования и разработки по приоритетным направлениям развития научно-технологического комплекса России на 2014-2020 годы».

Автореферат правильно отражает содержание диссертации.

Замечания по диссертационной работе:

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 экспериментами и/или работами других авторов на перекрестках и системах перекрестков со светофорным регулированием и приоритетом проезда.

Есть также некоторые **замечания редакционного характера**: цветные рисунки, иллюстрирующие как отладочную реализацию, так и реализацию в пакете САМ-2D, а также пространственно-временные диаграммы в цвете сделали бы результаты диссертации более наглядными.

Высказанные замечания не умаляют достоинств работы. Диссертация написана хорошим языком, построена очень логично, также положительной чертой является наличие выводов в конце каждой главы, что облегчает анализ полученных результатов.

Диссертационная работа А.А. Чечиной на соискание ученой степени кандидата наук является научно-квалификационной работой, имеющей несомненную научную значимость. Считаю, что диссертация «Математическое моделирование транспортных потоков на основе теории клеточных автоматов» удовлетворяет требованиям п. 9 Постановления

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

Официальный оппонент,
профессор кафедры газовой и волновой динамики
механико-математического факультета
МГУ имени М.В. Ломоносова,
д.ф.-м.н., профессор



А.Б. Киселев

Подпись Киселева А.Б. заверяю:
Декан механико-математического
факультета МГУ имени М.В. Ломоносова,
член-корреспондент РАН, профессор



А.И. Шафаревич

29.11.2021

119992 Москва, ГСП-2, Ленинские горы, ГЗ МГУ, механико-математического факультет, кафедра газовой и волновой динамики
Телефон: +7 (495) 939-37-54
E-mail: akis2006@yandex.ru