

ОТЗЫВ

официального оппонента на диссертационную работу Кленова Сергея Львовича «Стохастические математические модели транспортного потока в рамках теории трех фаз», представляемую на соискание ученой степени доктора физико-математических наук по специальности 05.13.18 – «Математическое моделирование, численные методы и комплексы программ»

В диссертации Кленова Сергея Львовича предложены новые математические модели транспортного потока и на их основе разработан комплекс программ, с помощью которого проведен ряд численных экспериментов по моделированию интеллектуальных транспортных технологий.

Актуальность темы исследования. При разработке интеллектуальных транспортных систем, создаваемых для решения транспортных проблем, необходим предварительный анализ эффективности этих систем. Это обуславливает необходимость разработки математических моделей транспортных потоков, таких что на основе этих моделей могут проводиться соответствующие численные эксперименты. Таким образом, исследования, представленные в диссертационной работе С.Л. Кленова, несомненно, являются актуальными.

Достоверность и обоснованность результатов исследований

В диссертационной работе разработаны математические модели, согласующиеся с теорией трех фаз, разработанной в 1996–1999 годах Б.С. Кернером с целью объяснить характер фазовых переходов в транспортном потоке вблизи узких мест на дороге так, чтобы это соответствовало эмпирическим данным, полученным в наблюдениях. В диссертационной работе разработаны также алгоритмы и комплекс программ для моделирования различных интеллектуальных транспортных технологий.

Разработанные математические модели слишком сложны для точного аналитического исследования. В диссертационной работе не получены результаты, формулируемые в виде теорем с математическими доказательствами.

Адекватность математических моделей обосновывается их соответствием с эмпирическими данными, получаемыми в наблюдениях транспортных потоков. Разработанные модели и комплексы программ верифицированы на различных задачах и подтверждаются численными экспериментами. Кроме того надежность результатов диссертации была подтверждена в компании Даймер, в которой результаты диссертации были использованы для проведения численных экспериментов по интеллектуальным транспортным технологиям: для управления потоков машин, выезжающих на скоростную автомобильную дорогу; для управления скоростным режимом; для распределения трафика по транспортной сети; для потребления топлива в транспортных сетях; для оценки системы адаптивного круиз-контроля.

В главе 1 рассмотрено состояние современных исследований в области транспортных потоков. Сначала обсуждаются результаты эмпирических исследований свободных и плотных потоков. Затем проводится краткий обзор ранних моделей транспортных потоков, а также объясняется эмпирическая нестабильная природа перехода к плотному транспортному потоку, которая привела к появлению теории трех фаз Кернера. Отмечается, что теория трех фаз является качественной теорией и, таким образом, возникает задача разработки математических моделей для проведения численных экспериментов по моделированию интеллектуальных транспортных систем, что представляет собой одну из основных целей диссертации.

В главе 2 разработан подход к теории трех фаз, использующий понятие клеточных автоматов. Дано сравнение классического подхода к моделям клеточных автоматов для транспортных потоков (модели Нагеля–Шрекенберга) с разработанной в диссертации модели в рамках трех фаз. Смоделированы спонтанный и индуцированный переходы от свободного потока к плотному. Изучено также возникновение движущихся широких кластеров в модели клеточных автоматов в рамках теории трех фаз. На основе численных экспериментов с помощью трехфазной модели клеточных автоматов найдена функция, которая аппроксимирует зависимость вероятности спонтанного перехода к плотному потоку от интенсивности потока. В результате численного моделирования с помощью разработанной модели были выделены че-

тыре диапазона интенсивности потока, в пределах которых транспортный поток проявляет качественно различные вероятностные свойства фазового перехода к плотному потоку вблизи узкого места на скоростной дороге.

В главе 3 разработана стохастическая микроскопическая модель в рамках теории трех фаз. Показано, что в разработанной стохастической модели в рамках теории трех фаз, благодаря математическому описанию стохастического переускорения со случайной задержкой и эффекта адаптации скорости внутри состояний синхронизированного потока, переход от свободного потока к плотному представляет собой переход от нестабильного свободного потока к синхронизированному, как наблюдается в эмпирических данных.

В главе 4 разработаны алгоритмы и комплекс программ для моделирования пространственно-временных структур транспортного потока. Получена макроскопическая характеристика для фазового перехода от свободного к плотному потоку. Рассчитана диаграмма пространственно-временных структур плотного транспортного потока. Найдены основные типы пространственно-временных структур плотного транспортного потока. Осуществлено моделирование индуцированного образования структур в плотном транспортном потоке. Дан анализ эволюции пространственно-временных структур плотного транспортного потока, возникающего вблизи узких мест на автодороге.

В главе 5 разработаны алгоритмы и комплекс программ для моделирования интеллектуальных транспортных технологий, а также проведены вычислительные элементы по моделированию пространственно-временных характеристик на основе разработанного комплекса программ.

Разработан алгоритм, с помощью которого одновременно моделируется сеть, связанная с коммуникацией между машинами, и движение машин в транспортном потоке.

Разработан алгоритм для численного моделирования взаимодействия между машинами при смене полосы и обгоне медленно движущейся машины в транспортном потоке.

Разработан алгоритм для моделирования взаимодействия между машинами при смене полосы при выезде и въезде машин на скоростную

автодорогу.

Разработан алгоритм для моделирования генерации предупреждения о пробках, в котором используются понятия теории трех фаз.

Разработан алгоритм для моделирования прохождения автомобилями светофора. Этот алгоритм дает прогноз возможности проехать светофор до начала красной фазы и одновременно обеспечивает плавную динамику подъезда к светофору в течение красной фазы.

В заключении сформулированы выводы диссертации.

Значимость для науки и практики выводов и рекомендаций, полученных в диссертации

Теоретическая ценность работы заключается в том, что впервые разработаны стохастические математические модели транспортных потоков, описывающие фазовый переход от свободного к плотному транспортному потоку. На основе разработанных моделей найдены свойства сложных пространственно-временных структур в плотном транспортном потоке и диаграмма этих структур, согласующаяся с реальными данными измерений транспортного потока.

Практическую ценность работы представляют разработанные алгоритмы и комплекс программ для моделирования различных транспортных технологий.

Результаты диссертации и, в частности, комплекс программ для моделирования различных интеллектуальных транспортных технологий использовались в компании Даймлер для проведения численных экспериментов по следующим интеллектуальным технологиям: для управления потоком машин, въезжающих на скоростную автодорогу; для управления скоростным движением; для распределения трафика по транспортной сети; для потребления топлива в транспортных сетях; для оценки системы адаптивного круиз-контроля.

Научная новизна положений, выводов и рекомендаций, полученных в диссертации. Разработаны новые стохастические математические модели транспортных потоков, описывающие фазовый переход свободного транспортного потока к плотному.

На основе разработанных моделей найдены свойства сложных пространственно-временных структур в плотном транспортном потоке. Най-

дена диаграмма этих структур, согласующаяся с данными измерений реальных транспортных потоков.

Разработан новый алгоритм для моделирования стохастического поведения водителей в различных ситуациях в различных ситуациях, возникающих в транспортном потоке.

Проведены вычислительные эксперименты, позволившие определить свойства различных транспортных технологий.

Замечания по содержанию и оформлению диссертации.

1) На стр. 6 автореферата имеется следующий абзац

”В качестве теории трех фаз впервые проведены вычислительные эксперименты, которые позволили определить свойства и качество следующих интеллектуальных транспортных технологий: (i) коммуникации между потоками с целью предотвращения образования пробок; (ii) плотного транспортного потока, возникающего за движущимися машинами; (iii) сложного гетерогенного транспортного потока; (iv) предупреждения водителей о пробках, (v) перехода к перенасыщенному режиму транспортного потока на светофоре”.

Непонятно, имеется ли здесь в виду, что интеллектуальными транспортными технологиями являются ”плотный транспортный поток, возникающий за медленно движущимися машинами”; ”сложный гетерогенный транспортный поток”, ”переход к перенасыщенному режиму транспортного потока на светофоре”. Это же замечание можно отнести к аналогичной речевой конструкции на стр. 7.

2) В диссертации не рассматривается вопрос, насколько модели в диссертации чувствительны к небольшим изменениям параметров модели.

Отмеченные недостатки, впрочем, не влияют на положительную общую оценку диссертационной работы С.Л. Кленова.

Заключение по диссертации

Таким образом, проведенный нами анализ позволяет утверждать, что диссертация Кленова Сергея Львовича является самостоятельной законченной научно-квалификационной работой, которая представляет собой исследование актуальной проблемы, характеризуется научной новизной, теоретической и практической значимостью, отвечает

требованиям Положения о присуждении ученых степеней (утверждено постановлением Правительства РФ от 24 сентября 2013г. N2 842), а её автор Кленов Сергей Львович заслуживает присуждения ему ученой степени доктора физико-математических наук по специальности 05.13.18 «Математическое моделирование, численные методы и комплексы программ».

Официальный оппонент:

Доктор физико-математических наук, профессор кафедры высшей математики

Московского автомобильно-дорожного государственного университета (МАДИ)

Таташев Александр Геннадьевич

24.04.2019

Контактные данные: тел.: +7(905)-786-46-08, e-mail: a-tatashev@yandex.ru
Специальность, по которой официальным оппонентом защищена диссертация: 05.13.01 – Системный анализ, управление и обработка информации (по отраслям)

Адрес места работы:

125319, Москва, Ленинградский проспект, д. 64, Московский автомобильно-дорожный государственный технический университет (МАДИ), кафедра высшей математики

Подпись А.Г. Таташева заверяю:

Ученый секретарь

Ученого совета МАДИ



С.В. Зайцев