

ОТЗЫВ ОФИЦИАЛЬНОГО ОППОНЕНТА

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

Кленов Сергей Львович разработал в диссертации новые математические модели транспортного потока и применил их для численных экспериментов по моделированию интеллектуальных транспортных технологий и сравнению с эмпирическими данными.

Диссертация включает введение, 5 глав, заключение и список литературы.

Во введении обоснована актуальность темы работы, определены основные цели и направления исследований. На защиту выносятся 5 положений.

В главе 1 представлен обзор литературы и обосновывается тема диссертации. Сначала рассмотрены известные эмпирические свойства транспортного потока. Основная цель этого рассмотрения показать, что эмпирический переход от свободного к плотному потоку обладает свойствами метастабильности. Метастабильность перехода от свободного к плотному транспортному потоку привели к появлению теории трех фаз Кернера в конце 90-х годов прошлого века. Метастабильные свойства перехода от свободного потока к плотному объясняют, почему необходимо использовать теорию трех фаз для разработки таких моделей транспортного потока, которые можно надежно применять для математического моделирования интеллектуальных транспортных технологий. Поскольку реальный транспортный поток является сложным стохастическим процессом, для его моделирования стохастические модели в рамках теории трех фаз представляют особый интерес. Это обосновывает тему диссертации. В этой же главе объясняются основные гипотезы трех фаз. Эмпирическое обоснование теории трех фаз, рассмотренное в главе 1, позволяет обосновать принципы построения стохастических моделей в рамках теории трех фаз, рассмотренные в следующих главах диссертации.

В главе 2, разработан подход клеточных автоматов (КА) к теории трех фаз. Автор дает сравнение классического подхода к моделям клеточных автоматов для транспортного потока (Nagel-Schreckenberg КА модель) с

разработанной в диссертации моделью клеточных автоматов в рамках теории трех фаз.

В главе 3 представлена разработанная автором диссертации стохастическая микроскопическая модель транспортного потока в рамках теории трех фаз. Показано, что в этой стохастической микроскопической модели переход от свободного к плотному потоку — это переход от метастабильного свободного потока к синхронизованному потоку, как наблюдается во всех эмпирических данных.

В главе 4 представлены созданы алгоритмы и комплекс программ для моделирования пространственно-временных структур транспортного потока. С этой целью разработан алгоритм, в котором применены специальные правила (в отличие от правил смены полосы) для въезда автомашин на основную дорогу, позволяющие обеспечить минимальные флуктуации скорости при больших потоках въезжающих автомашин.

В главе 5 представлены алгоритмы и комплекс программ для моделирования интеллектуальных транспортных технологий, а также проведены результаты вычислительных экспериментов по моделированию пространственно-временных структур транспортного потока и интеллектуальных транспортных технологий на основе разработанного комплекса программ.

В заключении сформулированы выводы диссертации.

Актуальность. В эмпирических исследованиях транспортных потоков дорожный затор обычно возникает в результате перехода от свободного к плотному транспортному потоку вблизи узкого места (так называемого «бутылочного горлышка») на автодороге. Одна из целей исследований в области транспорта и транспортных потоков заключается в том, чтобы обеспечить понимание природы появления дорожных заторов, что может быть использовано для эффективного регулирования и управления транспортными потоками, организации движения, оптимального распределения трафика по сети и для других интеллектуальных транспортных систем (ИТС), которые должны повысить безопасность движения и обеспечить качественную мобильность. Чтобы показать, что интеллектуальные транспортные системы могут эффективно использоваться для решения транспортных проблем, надежность таких систем должна быть прежде всего доказана в численных экспериментах. Это связано с тем, что разработка реальных интеллектуальных транспортных технологий сопряжена с большими материальными затратами, и поэтому предварительный анализ их эффективного использования в численных экспериментах является необходимым. Следовательно, должны быть разработаны надежные модели математического моделирования транспортных потоков.

Наиболее важным эмпирическим свойством перехода к плотному транспортному потоку является метастабильная природа такого перехода, обнаруженная в реальных наблюдениях. Метастабильная природа означает следующее: в определенном диапазоне потоков через узкое место дороги переход от свободного к плотному потоку происходит только с некоторой вероятностью, т. е. при заданной величине потока такой переход может произойти, но не обязательно должен произойти. В один день переход к плотному потоку происходит, а в другой день при той же самой величине потока такой переход не наблюдается. Кроме того, в эмпирических данных наблюдается так называемый индуцированный переход от свободного к плотному потоку, который может вызываться локальным движущимся по дороге затором (движущимся кластером). Это является доказательством метастабильности свободного потока относительно перехода к плотному потоку. Чтобы объяснить метастабильную природу перехода к плотному транспортному потоку Кернером была создана теория трех фаз.

Однако теория трех фаз является качественной теорией, которая состоит из системы гипотез. В диссертации разработаны математические стохастические модели транспортного потока в рамках теории трех фаз. Показано, что эти модели могут смоделировать известные эмпирические пространственно-временные свойства перехода к плотному потоку и возникающего транспортного затора. Эти модели применяются для численных экспериментов по моделированию различных интеллектуальных транспортных систем.

Новыми научными результатами являются следующие:

Впервые разработаны стохастические математические модели транспортных потоков, описывающие эмпирический фазовый переход от свободного к плотному транспортному потоку.

Впервые на основе разработанных моделей найдены свойства сложных пространственно-временных структур в плотном транспортном потоке и диаграмма этих структур, которые описывают всю известную совокупность пространственно-временных структур, наблюдаемых в реальных данных измерений транспортного потока.

В рамках теории трех фаз впервые разработан алгоритм для моделирования стохастического поведения водителей в различных ситуациях, возникающих в транспортном потоке. Алгоритм позволяет моделировать случайные ускорение и замедление машины со случайными задержками во времени.

В рамках теории трех фаз впервые проведены численные эксперименты, которые позволили определить свойства и качество следующих интеллектуальных транспортных технологий:

- 1) коммуникации между машинами с целью предотвращения образования пробок,
- 2) плотного транспортного потока, возникающего за медленно движущимися машинами,
- 3) сложного гетерогенного транспортного потока,
- 4) предупреждения водителей о пробках,
- 5) перехода к перенасыщенному режиму транспортного потока на светофоре.

Достоверность результатов численного моделирования и основанных на них выводов в представленной диссертации обусловлена тем, что разработанные модели и комплексы программ надежно и тщательно проверены и доказаны в численных экспериментах проведенных на широком круге задач, таких как коммуникация между машинами с целью предотвращения образования пробок, задаче о возникновении плотного транспортного потока за медленно движущимися машинами, моделировании сложного гетерогенного транспортного потока, предупреждения водителей о пробках, перехода к перенасыщенному режиму транспортного потока на светофоре. Надежность результатов работы была подтверждена в компании Даймлер, где используется разработанная в диссертации стохастическая модель транспортных потоков.

Таким образом, можно констатировать, что сформулированные в диссертации выводы и рекомендации приводятся обоснованно.

Практическая ценность представляют разработанные алгоритмы и комплекс программ для моделирования различных интеллектуальных транспортных технологий. На основе разработанного комплекса программ проведены вычислительные эксперименты, которые позволили определить свойства и качество следующих интеллектуальных транспортных технологий: коммуникации между машинами с целью предотвращения образования пробок, плотного транспортного потока, возникающего за медленно движущимися машинами, сложного гетерогенного транспортного потока, предупреждения водителей о пробках, перехода к перенасыщенному режиму транспортного потока на светофоре. Кроме того, результаты диссертации и, в частности, комплекс программ для моделирования различных интеллектуальных транспортных технологий были использованы в компании Даймлер для проведения численных экспериментов по следующим интеллектуальным транспортным технологиям:

- 1) для управления потоком машин, въезжающих на скоростную автодорогу,
- 2) для управления скоростным режимом,
- 3) для распределения трафика по транспортной сети,
- 4) для анализа расхода топлива в транспортных сетях,

5) для оценки системы адаптивного круиз-контроля.

Результаты работы достаточно полно опубликованы в ведущих рецензируемых научных изданиях и представлены на профильных российских и международных научных конференциях. Автореферат правильно отражает содержание диссертации.

Замечания по работе:

1. В модели, представленной в главы 3, автор использует довольно много параметров. Насколько это необходимо? В диссертации я не нашел ответа на этот вопрос.

2. Из эмпирических данных хорошо известно явление гистерезиса в транспортном потоке, когда прямой переход от свободного к плотному транспортному потоку происходит при больших значениях величины потока, в то время как обратный переход к свободному потоку происходит при заметно меньших значениях потока. Почему в диссертации подробно моделируется прямой переход, но почти не уделяется внимание обратному переходу, который был бы важен для задач рассасывания заторов?

3. В главе 5 при моделировании предотвращения перехода к плотному потоку с помощью коммуникации между машинами не совсем ясно, каким именно образом были изменены правила управления движения автомобилями, что позволило им обеспечить плавный въезд на автодорогу и тем самым предотвратить переход к плотному потоку.

Сделанные замечания имеют рекомендательный характер и не снижают ценность и достоверность полученных в работе результатов.

Заключение. Диссертация выполнена на высоком научном уровне и показывает, что её автор провёл серьезное научное исследование, включающее разработку новых математических моделей, построение алгоритмов и численных методов их решения, проведение вычислительных экспериментов, сравнение результатов моделирования с эмпирическими данными. Диссертация представляет собой законченное самостоятельное исследование, в котором приведены научные результаты, позволяющие их квалифицировать как решение крупной научной и практической проблемы в построении методов численного моделирования транспортных потоков.

Анализ диссертации, автореферата и публикаций автора по теме представленного исследования позволяют сделать вывод, что в работе Кленова С.Л. создано новое научное направление: Математическое моделирование транспортных потоков в рамках теории трех фаз.

Диссертационное исследование соответствует всем требованиям, предъявляемым к докторским диссертациям согласно п. 9 действующего Положения о порядке присуждения ученых степеней, утвержденного постановлением Правительства РФ от 24.09.2013 (ред. от 28.08.2017) № 842. Автор диссертации Кленов Сергей Львович безусловно заслуживает

присуждения ему ученой степени доктора физико-математических наук по специальности 05.13.18 «Математическое моделирование, численные методы и комплексы программ».

Официальный оппонент,
профессор кафедры газовой и волновой динамики
механико-математического факультета
МГУ имени М.В. Ломоносова,
доктор физико-математических наук, профессор

11.09.2019

А.Б. Киселев

Подпись Киселева А.Б. заверяю:

И.о. декана механико-математического факультета
МГУ имени М.В. Ломоносова,
Доктор физико-математических наук, профессор



В.Н. Чубариков

119992 Москва, ГСП-2, Ленинские горы, ГЗ МГУ механико-математический факультет, кафедра газовой и волновой динамики
Телефон: +8 (495) 939-37-54
E-mail: akis2006@yandex.ru