

УДК 656.073

НАУЧНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ В ОБЛАСТИ МОДЕЛИРОВАНИЯ ТРАНСПОРТНЫХ ПОТОКОВ



SCIENTIFIC RESEARCH IN THE FIELD OF TRAFFIC FLOW MODELING

Коновалова Т.В.

Кубанский государственный технологический университет
sofi008008@yandex.ru

Надирян С.Л.

Кубанский государственный технологический университет
sofi008008@yandex.ru

Плаксунова В.М.

Кубанский государственный технологический университет
sofi008008@yandex.ru

Аннотация. В статье рассмотрены научные исследования в области моделирования транспортных потоков. Транспортный поток представляет собой сложную систему, точное описание функционирования которой в комплексе аналитическими методами оказывается практически невозможным. Авторами предлагается модель поперечного движения, в которой автомобили перемещаются на полосу с большей скоростью или меньшей плотностью, а также движутся в сторону установленной цели.

Ключевые слова: транспорт, моделирование транспортных потоков, поперечное движение, модель.

Konovalova T.V.

Kuban State Technological University
sofi008008@yandex.ru

Nadiryan S.L.

Kuban State Technological University
sofi008008@yandex.ru

Plaksunova V.M.

Kuban State Technological University
sofi008008@yandex.ru

Annotation. The article discusses scientific research in the field of traffic flow modeling. The traffic flow is a complex system, the exact description of the functioning of which in a complex by analytical methods turns out to be practically impossible. The authors propose a model of transverse movement in which cars move to the lane at a higher speed or lower density, and also move towards the set goal.

Keywords: transport, modeling of traffic flows, transverse movement, model.

Для управления дорожным движением на транспортной сети городов повсеместно используются системы управления, алгоритмы работы которых основаны на моделях транспортных потоков. Требования к точности и сложности моделей чрезвычайно велики. Достаточно сказать, что на простейшем перекрестке, может быть, 12 направлений движения транспортных средств. Для участка улично-дорожной сети с 10 такими пересечениями речь идет уже о 120 направлениях и необходима минимизация задержек по каждому из этих направлений при условии, что интенсивность движения постоянно изменяется во времени и в пространстве [1–2].

Кроме того, без транспортного моделирования невозможно планирование строительства новых и модернизации существующих транспортных объектов, объектов жилищного и делового строительства, схем организации дорожного движения, действий при чрезвычайных ситуациях, решение целого ряда других практических задач.

Проведение натурных экспериментов и исследований характеристик движения транспортного потока в реальных дорожных условиях связано со значительными трудностями: большими затратами труда, времени, средств и сложностью их правильной организации. Часто оказывается невозможным в течение короткого периода наблюдений за отдельными характеристиками транспортных потоков получение устойчивых зависимостей этих характеристик от интенсивности или скорости движения.

Методы математического моделирования транспортных потоков позволяют проводить экспериментальное исследование с помощью ЭВМ, моделируя разные интересные ситуации, комбинации характеристик транспортного потока, наличие разных средств организации дорожного движения и т.д.

Какими бы ни были подходы к моделированию транспортных потоков необходимо учитывать, что они обладают рядом особенностей, усложняющих их формализацию.

Фундаментальная диаграмма для моделей транспортного потока означает, что во всех этих моделях предполагается, что для каждого не зависящего от времени значения скорости автомашины впереди существует только одно желаемое (или оптимальное) расстояние до автомашины впереди, которое автомашина выбирает в гипотетическом случае движения с постоянной скоростью и без флуктуаций. Фундаментальная диаграмма для транспортного потока связана с хорошо известным эмпирическим результатом, чем выше плотность транспортного потока, тем ниже скорость такого потока на автодороге [3–4].

Классические модели транспортного потока могут быть классифицированы в два основных класса: Первый класс моделей относится к классической LWR, Основная идея LWR моделей состоит в том, что максимальная величина потока связана с максимальной точкой на фундаментальной диаграмме и определяет пропускную способность свободного транспортного потока вблизи узкого места. Таким образом, если величина потока через узкое место превышает пропускную способность, происходит возникновение автотранспортного затора, т.е. переход к плотному транспортному потоку.

Второй класс моделей относится к классической GM (General Motors) модели. Основная идея основанного на GM– модели подхода состоит в следующем. Начиная с некоторой критической плотности транспортного потока, имеет место неустойчивость стационарных состояний модели на фундаментальной диаграмме. Эта модельная неустойчивость, которая должна объяснять переход к плотному потоку, связана с конечным временем реакции водителя. Неустойчивость может быть качественно объяснена, если предположить, что в исходно однородном транспортном потоке одна из автомашин неожиданно тормозит, что вызывает локальное уменьшение скорости (возмущение скорости) в потоке. Из-за конечного времени реакции водителя следующая автомашина может тормозить сильнее, чем это необходимо, чтобы избежать столкновения. Этот эффект называется переторможением (или избыточным реагированием). В результате такого избыточного торможения скорость следующей автомашины становится меньше, чем скорость предыдущей. Тот же самый эффект переторможения может произойти для других последующих автомашин, что приведет к росту начального возмущения скорости, т.е. к неустойчивости транспортного потока.

Макроскопические модели транспортных потоков рассматривают поток АТС как единое целое, обычно – как аналог одномерной сжимаемой жидкости.

Модель Лайтхилла-Уизема-Ричардса (LWR). В модели LWR транспортный поток считается подобным потоку сжимаемой жидкости и описывается законом сохранения массы (количества АТС). Модель основана на предположении о существовании функциональной зависимости между интенсивностью потока АТС (скорость плотность) и плотностью [5].

Модель Танака. Один из способов определения зависимости в фундаментальной диаграмме – модель Танака (1963). В этой модели рассматривается поток АТС, состоящий из одной полосы. Положим, что скорость АТС не превышает v_{max} . Плотность рассчитывается по формуле 1:

$$p(v) = \frac{1}{d(v)}, \quad (1)$$

где $d(v)$ – среднее расстояние между АТС для определённой скорости потока, м, рассчитывается по формуле 2:

$$d(v) = L + c_1 v + c_2 v^2, \quad (2)$$

где L – средняя длина АТС, м; c_1 – время реакции водителей, с; c_2 – коэффициент, зависящий от тормозного пути.

В целом, коэффициент c_2 зависит от состояния дорожного покрытия и погодных условий. Из зависимости $d(v)$ можно получить зависимость $V(p)$, удовлетворяющую условиям модели LWR.

Модель Пейна. Следующий шаг, изменяющий модель LWR – создание так называемой модели Пейна (1971). Эту модель можно понимать, как закон сохранения (формула 3),

в котором уже не предполагается зависимость скорости от плотности (уже не предполагается, что желаемая скорость устанавливается мгновенно).

$$\frac{dp}{dt} + \frac{d(pv)}{dx} = 0. \quad (3)$$

Модель Эйва-Раскла. Эйв и Раскл (Aw-Rasclе), учитывая недостатки модели Пэйна-Уизема, разработали новую модель. Вот её основные принципы:

- Система дифференциальных уравнений, описывающая модель, должна быть гиперболического типа.

- Значения скорости и плотности, полученные в результате решения задачи Римана с произвольными неотрицательными граничными условиями, должны оставаться неотрицательными и не должны превышать максимально возможную скорость.

- Собственные значения, полученные при решении задачи Римана с произвольными данными, не должны превосходить скорости потока. Это означает, что едущие сзади АТС не могут воздействовать на едущих впереди.

- Решение должно согласовываться с тем, что водитель может наблюдать каждый день: торможение вызывает волны сжатия, ускорение вызывает волны разрежения. Третье условие должно выполняться.

- При малой плотности потока решение должно проявлять зависимость от начальных данных. При $p = 0$ решение не должно непрерывным образом зависеть от начальных данных.

В этой модели транспортный поток описывается нелинейной системой дифференциальных уравнений гиперболического типа (для плотности и скорости потока) с диффузией. Уравнение состояния при этом входит во второе уравнение и отражает склонность водителей двигаться с определённой скоростью [6–7].

Мезомодели учитывают особенности поведения водителей, при этом рассматривают автотранспортный поток, не прибегая к моделированию отдельно взятых машин. В различной литературе мезомоделями называют различные модели, но, в целом, чаще всего под мезомоделями понимают так называемые «кинетические модели».

Данный метод основан на выводе некоей макроскопической модели из описания процесса микроскопического взаимодействия АТС с использованием кинетического уравнения (Пригожин). Аналогом в статистической физике является вывод уравнений газодинамики из кинетического уравнения для фазовой плотности.

Модель Пригожина-Хермана. Полученная модель газовой динамики Пригожина была обобщена коллективом Пригожин-Херман.

В основном, изменение модели заключается в модификации уравнения Пригожина-Больцмана путём модификации правой его части [8].

Процесс релаксации включает в себя только одиночное время релаксации T . Программа каждого водителя как выражение от распределения желаемых скоростей остаётся независимой от локальной концентрации.

Модель, используемая коллективом ИПМ РАН.

В России коллективом ИПМ РАН под руководством Четверушкина Б.Н. была получена двумерная модель транспортных потоков на основе газодинамических уравнений.

Путём введения параметра цели, в модель газовой динамики были внесены изменения, заключающиеся в том, что было введено ещё и движение поперёк дороги.

Авторами предлагается модель поперечного движения, в которой автомобили перемещаются на полосу с большей скоростью или меньшей плотностью, а также движутся в сторону установленной цели.

Микроскопические модели транспортных потоков. Как уже было сказано ранее, в микроскопических моделях каждое АТС рассматривается как отдельный элемент транспортной системы. Остановимся на некоторых из наиболее используемых моделей поподробнее.

В микроскопических моделях транспортных потоков полагается, что ускорение конкретного АТС зависит от соседних АТС. Наибольшее влияние на поведение водителя оказывает АТС, движущееся впереди, лидирующее АТС, лидер.

Литература

1. Оценка эффективности международных перевозок в транспортно-логистических системах региона : монография / Т.В. Коновалова [и др.]. – Краснодар, 2021. – 180 с.
2. Городская мобильность как фактор устойчивого развития территорий / А.Н. Домбровский [и др.]. – Краснодар : ООО «Издательский Дом – Юг», 2022. – 208 с.
3. Программа интеграции транспортных средств в систему единого логистического оператора. Свидетельство о регистрации программы для ЭВМ 2023613403, 15.02.2023. Заявка № 2023612175 от 09.02.2023 / Т.В. Коновалова, С.Л. Надирян, А.А. Изюмский, Е.А. Лебедев, В.В. Соскова.
4. Влияние элементов системы «водитель-автомобиль-дорога-среда» на экологию. Свидетельство о регистрации программы для ЭВМ 2023610736, 12.01.2023. Заявка № 2022686068 от 28.12.2022 / Т.В. Коновалова, С.Л. Надирян, А.А. Изюмский, Я.А. Мотренко, В.М. Плаксунова.
5. Программа оценки эффективности международных перевозок в транспортно-технологических системах региона. Свидетельство о регистрации программы для ЭВМ 2021664483, 07.09.2021. Заявка № 2021663774 от 07.09.2021 / Т.В. Коновалова, С.Л. Надирян, С.В. Коцурба, А.А. Изюмский, М.П. Миронова.
6. Программа оценки эффективности при проведении массовых мероприятий в городах. Свидетельство о регистрации программы для ЭВМ 2022611153, 20.01.2022. Заявка № 2022610062 от 10.01.2022 / Т.В. Коновалова, С.Л. Надирян, С.В. Коцурба, А.А. Изюмский, М.П. Миронова, И.С. Сенин.
7. Программа по оценке работы по обеспечению безопасности движения на транспорте. Свидетельство о регистрации программы для ЭВМ 2021619527, 10.06.2021. Заявка № 2021618167 от 28.05.2021 / А.А. Изюмский, Т.В. Коновалова, С.Л. Надирян, С.В. Коцурба, М.П. Миронова.
8. Социально-экологические аспекты создания комфортной среды на примере краснодарской агломерации : монография / Н.Л. Сергиенко [и др.]. – Краснодар, КубГТУ. – 2022. – 175 с.

References

1. Evaluation of the effectiveness of international transportation in the transport and logistics systems of the region : monograph / T.V. Konovalova [et al.]. – Krasnodar, 2021. – 180 p.
2. Urban mobility as a factor of sustainable development of territories / A.N. Dombrovsky [et al.]. – Krasnodar : Publishing House – Yug LLC, 2022. – 208 p.
3. The program of integration of vehicles into the system of a single logistics operator. Certificate of registration of the computer program 2023613403, 02/15/2023. Application № 2023612175 dated 09.02.2023 / T.V. Konovalova, S.L. Nadiryan, A.A. Izyumsky, E.A. Lebedev, V.V. Soskova.
4. The influence of elements of the driver-car-road-environment system on ecology. Certificate of registration of the computer program 2023610736, 12.01.2023. Application № 2022686068 dated 12/28/2022 / T.V. Konovalova, S.L. Nadiryan, A.A. Izyumsky, Ya.A. Motrenko, V.M. Plaksunova.
5. Program for assessing the effectiveness of international transportation in the transport and technological systems of the region. Certificate of registration of the computer program 2021664483, 07.09.2021. Application № 2021663774 dated 07.09.2021 / T.V. Konovalova, S.L. Nadiryan, S.V. Kotsurba, A.A. Izyumsky, M.P. Mironova.
6. Program for evaluating the effectiveness of mass events in cities. Certificate of registration of the computer program 2022611153, 20.01.2022. Application № 2022610062 dated 10.01.2022 / T.V. Konovalova, S.L. Nadiryan, S.V. Kotsurba, A.A. Izyumsky, M.P. Mironova, I.S. Senin.
7. Program for assessing the work on ensuring traffic safety in transport. Certificate of registration of the computer program 2021619527, 10.06.2021. Application № 2021618167 dated 05/28/2021 / A.A. Izyumsky, T.V. Konovalova, S.L. Nadiryan, S.V. Kotsurba, M.P. Mironova.
8. Socio-ecological aspects of creating a comfortable environment on the example of the Krasnodar agglomeration : monograph / N.L. Sergienko [et al.]. – Krasnodar, KubSTU, 2022. – 175 p.