УДК 656.121.001.57 – 192

М. С. Турпищева, канд. техн. наук, доц.; Е. Р. Нургалиев, канд. техн. наук
ФГОУ ВПО «АСТРАХАНСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ ТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ»
Астрахань, Россия

МАТЕМАТИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ПАССАЖИРОПОТОКОВ НА АВТОМОБИЛЬНОМ ТРАНСПОРТЕ

Современное состояние пассажирских перевозок характеризуется множеством неблагоприятных факторов для всех участников движения. Данные факторы вызывают острую необходимость в реорганизации управления транспортными потоками, в частности, системой муниципальных пассажирских перевозок общественным транспортом. Разработанная комбинированная модель позволяет путем соблюдения условий сохранения информации о параметрах движения на предыдущих участках предложить алгоритм построения модели конкретного маршрута муниципального пассажирского транспорта.

Недостаточно эффективная работа системы муниципального пассажирского транспорта, которая наблюдается сегодня во многих крупных городах, зачастую приводит к негативным социально-экономическим последствиям.

Исследование пассажиропотоков неотделимо от изучения транспортных потоков. Средства муниципального пассажирского транспорта являются такими же участниками дорожного движения, как и прочие транспортные единицы, они обладают теми же эмпирическими показателями, их движение описывается аналогичными зависимостями.

Для изучения транспортных потоков используются математические модели [1],[2]:

– модели-аналоги, в которых транспортные потоки рассматриваются с точки зрения подобия другим природным процессам (гидродинамические и газодинамические модели);

– детерминированные – модели, в основе которых лежат явно выраженные функциональные зависимости между параметрами движения, подобные модели охватывают лишь локальные ситуации;

– стохастические (вероятностные) – модели, в которых транспортные потоки представляются как случайные процессы взаимодействия участников дорожного движения, исследуемые на основе теории массового обслуживания.

В зависимости от объекта исследования модели движения транспорта на магистралях делят на макроскопические, описывающие движение транспортных потоков в целом на основе моделей-аналогов [1], [2] и микроскопические, описывающие движение отдельных транспортных единиц на основе детерминированных и вероятностных моделей.

При необходимости исследования транспортного потока на участках, где он однороден, и транспортные единицы имеют одинаковые кинематические параметры (между перекрестками, переходами, развязками и т.д.), рекомендуется использовать макроскопические модели, которые представляют транспортный поток как стационарное явление, обладающее общими для всего потока характеристиками (средние скорость, плотность потока и интенсивность движения).

При моделировании движения отдельных транспортных средств (в частности, на регулируемых перекрестках) необходимо учитывать вероятностный характер событий и собственные параметры движения каждого транспортного средства, для чего разрабатываются модели, относящиеся к классу микроскопических.

Гидродинамические модели стали первыми моделями-аналогами, описывающими транспортные потоки [1], [2].

Ключевые характеристики гидродинамических моделей:

– υ – средняя скорость транспортного потока;

– ρ – плотность, то есть количество транспортных средств на единицу длины полосы дороги в каждый конкретный момент времени;

– q – интенсивность потока – количество транспортных средств, проходящих через конкретную точку дороги в единицу времени.

При построении наиболее общей гидродинамической модели Гринберга [3] находится взаимосвязь между параметрами ρ и υ путем преобразований так называемого «закона сохранения количества автомобилей» (по аналогии с гидродинамикой при допущении, что скорость υ в точке x будет определяться лишь плотностью потока ρ в данной точке): $\upsilon=\upsilon(\rho\,(x,t))$:

$$\frac{d\rho}{dt}+\frac{dq}{dx}=0\ . \qquad (1)$$

После преобразований выражение (1) примет вид уравнения Эйлера:

$$\frac{d\upsilon}{dt}=-c^2\rho^{-1}\frac{d\rho}{dx}\ , \qquad (2)$$

где c – неотрицательная константа с размерностью скорости.

Явление, при котором транспортному потоку приходится постоянно трогаться с места и останавливаться, описывается теорией так называемых ударных волн в транспортном потоке. Теория ударных волн описывает транспортный поток в целом.

Скорость ударной волны (движущейся границы между соседними участками дороги) [2]:

$$\upsilon=\frac{q_i-q_{i+1}}{\rho_i-\rho_{i+1}}\,, \qquad (3)$$

где ρ_i – плотность движения на участке i.

При положительном значении скорости ударная волна движется вниз относительно дороги, при отрицательном – вверх (восходящий поток).

Возникновение ударных волн не является обязательным при движении транспортного потока. Ударные волны возникают лишь при определенных обстоятельствах (неустойчивость поведения транспортного потока при незатухающем возмущении скорости).

Макроскопические модели могут имитировать следующие случаи:

– участок дороги без пересечений;

– *регулируемый* перекресток (светофор);

– пешеходный переход, оборудованный светофором;

– перекресток, регулирование движения на котором осуществляется сотрудником государственной инспекции.

Микроскопическими моделями описываются следующие ситуации:

– пешеходный переход без светофора;

– *нерегулируемый* перекресток;

– изменение скорости транспортного средства (дорожный знак, ограничивающий скорость, «лежачий полицейский», подъезд к остановке).

Одной из микроскопических моделей, описывающих локальные ситуации, является модель следования за лидером [4],[5].

Линейная теория следования, впервые введенная Чандлером и Херманом [6] описывает движение пары автомобилей i и (i+1) пространственными координатами xi и xi+1:

$$\tilde{o}_{i+1}(t+t_d)=\alpha\left(\dot{x}_i(t)-\dot{x}_{i+1}(t)\right)\ , \qquad (4)$$

где t_d – время реакции водителя, а $\alpha=1/t_d$ – постоянная, характеризующая «чувствительность» водителя.

В случаях, когда возможна остановка движения, время t определяется как сумма времени движения и времени ожидания: $t=t_{дв}+t_{ожид.}$

Прохождение транспортными средствами отдельных участков движения, связанных с их возможными остановками и изменениями кинематических параметров, описывается математическими моделями вероятностного типа, основанными на теории массового обслуживания.

Так, в частности, движение автомобилей через регулируемый перекресток можно описать при помощи одноканальной системы массового обслуживания, в которой автомобили представляются в виде заявок (пересечение перекрестка).

Вероятность наступления событий pk(t) за интервал времени t может быть выражена в форме закона распределения Пуассона [7]:

$$p_k(t)=\frac{(\lambda t)^k}{k!}e^{-\lambda t}\ , \qquad (5)$$

где $p_k(t)$ – вероятность проезда через перекресток k-го количества транспортных средств за время t; λ – основной параметр распределения - интенсивность транспортного потока ($\lambda=q$).

В качестве аналитического метода определения времени задержки пересечения транспортными средствами перекрестка может быть принята непрерывная модель [2].

На рис. 1 представлена схема участка типового маршрута движения муниципального пассажирского транспорта.

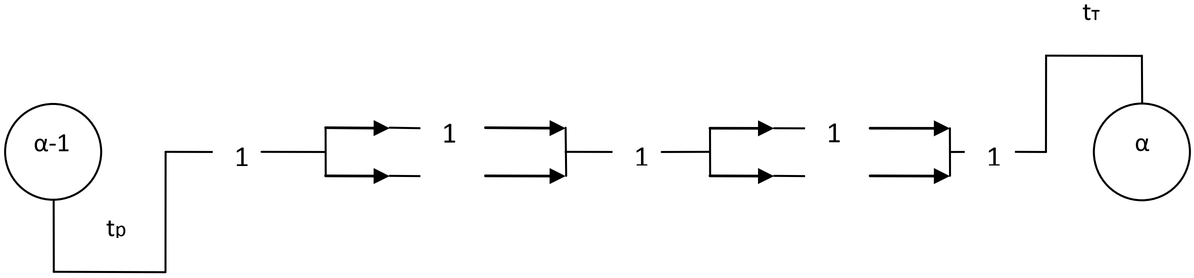

Рис. 1. Схема участка типового маршрута пассажирского транспорта: 1 – участки движения транспортных средств в общем потоке; 2, 3 – пересечения перекрестков, пешеходных переходов в случае изменения скорости и остановки для нерегулируемых и регулируемых участков соответственно; α и (α-1) – остановочные пункты пассажирских транспортных средств; $t_р$ и $t_т$ – время на участках разгона и торможения возле остановок

Наибольшую трудность при моделировании представляют собой границы перехода транспорта между участками, описываемыми разными моделями.

Проблему сохранения единых характеристик движения транспортного средства при переходе между состояниями, которые описываются различными моделями, необходимо решать путем соблюдения условия сохранения информации о параметрах транспортного средства на маршруте.

Задача решается путем комбинирования методов математического моделирования на базе макроскопических и микроскопических моделей.

Алгоритм построения обобщенной модели маршрута следования общественного пассажирского транспорта в отдельно взятом муниципальном образовании представлен на рис. 2.

Общее время прохождения транспортного средства между остановками является суммой расчетных значений t.

Таким образом, даже единственный маршрут при постановке задачи моделирования превращается в сложную дискретно-континуальную систему, для которой основополагающими обстоятельствами является правильный выбор математического аппарата при описании переходов из одного состояния в другое (от континуального, непрерывного транспортного потока к дискретным показателям конкретных транспортных средств и наоборот).

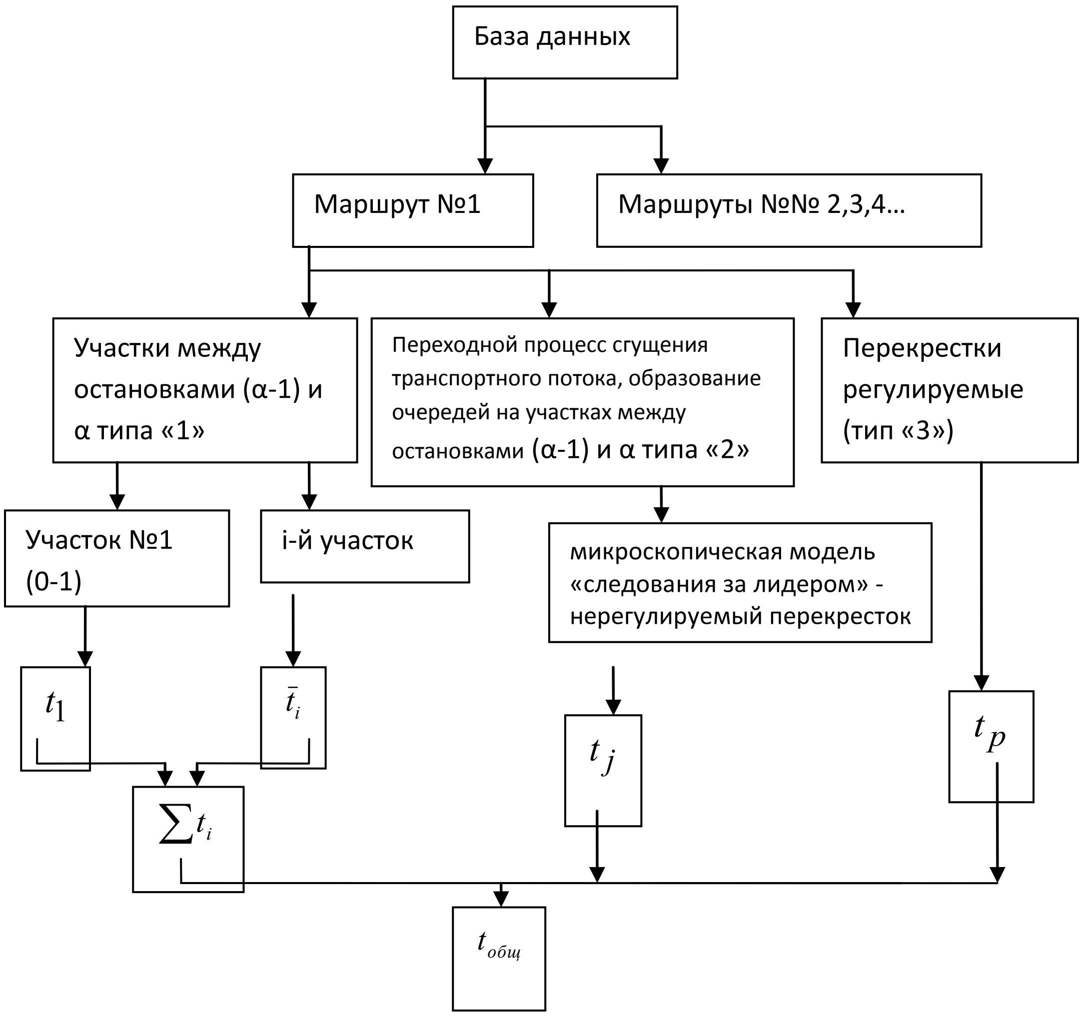

Рис. 2. Алгоритм составления модели маршрута на основе комбинирования макроскопических и микроскопических математических моделей

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. **Семенов, В. В.** Математическое моделирование транспортных потоков мегаполиса. Препринт № 34. / В. В. Семенов. – Институт прикладной математики им. М.В. Келдыша РАН, 2004.

2. **Иносэ, Х.** Управление дорожным движением / Х. Иносэ, Т. Хамада; под ред. М. Я. Блинкина : пер. с англ. М. : Транспорт, 1983. – 248 с.

3. **Greenberg H.** An analysis of traffic flow / Greenberg H. // Operations Research. – 1959. – Vol. 7 . – P. 79–85.

4. **Chandler, R. E.** at al. Traffic dynamics: Studies in car following / R. E. Chandler // Opreations Research. – 1958. – Vol. 6. – P. 165–185.

5. **Prigogine, I. A.** Boltsman-like approach to the statistical theory of traffic flow / I. A. Prigogine // Theory of Traffic Flow. Ed. Herman R. Amsterdam: Elsevier, 1961.

6. **Chandler, R. E.** at al. Traffic dynamics: Studies in car following / R. E. Chandler // Opreations Research. – 1958. – Vol. 6. – P. 165–185.

7. **Клинковштейн, Г. И.** Организация дорожного движения: учеб. для вузов / Г. И. Клинковштейн, М. Б. Афанасьев. – 5-е изд., перераб. и доп. – М. : Транспорт, 2001. – 247 с.