

**УДК 656.13**

*Н.А. СЕМЧЕНКО*, ст. преп., ХНАДУ, Харьков

## **МОДЕЛИРОВАНИЕ ДВИЖЕНИЯ ТРАНСПОРТНЫХ ПОТОКОВ НА ПЕРЕКРЕСТКАХ**

Изложены основные положения эмпирико-стохастического подхода к моделированию движения транспортных потоков на перекрестках

**Ключевые слова:** эмпирико-стохастический подход, моделирование, перекресток

Висловлені основні положення емпірико-стохастичного підходу до моделювання руху транспортних потоків на перехрестях

**Ключові слова:** емпірико-стохастичний підхід, моделювання, перехрестя

The main statements of empirical-stochastic approach for modeling of transport flows movement at road junctions

**Keywords:** empirical-stochastic approach, modeling, road junctions

### **1. Введение**

Проблемы оптимизации движения транспорта в мегаполисе остаются одной из ключевых городских проблем, математическое моделирование играет все возрастающую роль в их решении.

При поиске эффективных стратегий управления дискретно-непрерывными транспортными потоками на сети мегаполиса необходимо учитывать широкий спектр характеристик транспортного потока, закономерности влияния внешних и внутренних факторов и динамические свойства. Поведение транспортного потока очень изменчиво и зависит от действия многих факторов и их сочетаний.

### **2. Моделирование движения**

К современным методам исследования транспортных перекрестков городских улиц и дорог можно отнести методы многомерного статистического анализа, а также имитационное моделирование.

Существующий математический аппарат позволяет моделировать разные параметры движения транспортных потоков и подходы к управлению ими. Можно выделить два основных подхода - детерминированный и вероятностный (стохастический).

В основе детерминированных моделей лежит функциональная зависимость между отдельными показателями, например, скоростью и дистанцией между автомобилями в потоке. В стохастических моделях транспортный поток рассматривается как вероятностный процесс с применением соответствующего математического аппарата.

Все модели транспортных потоков принято разбивать на три класса: модели-аналоги, модели прохождения за лидером и вероятностные модели.

Пропускная способность городской сети главным образом ограничена пересечениями в сети. Это происходит ввиду необходимости разделения конфликтующих потоков движения на таких пересечениях. Поэтому оценка

уровня обслуживания улично-дорожной сети обычно сужается до анализа движения на пересечениях.

Основная цель этой работы заключается в исследовании характеристик потоков транспортных средств после проезда перекрестка и оценке прогнозных интенсивностей движения автомобилей на основании полученных характеристик.

Учитывая особенности транспортных потоков, наиболее подходящими для наших целей являются стохастические (вероятностные) модели.

Существуют различные типы пересечений и различные типы управления движением, использующиеся на пересечениях.

Перекрестки можно разделить по типу регулирования: регулируемые и нерегулируемые. Нерегулируемые перекрестки делятся на равнозначные и неравнозначные, т.е. с главной и второстепенной дорогами.

Другой вариант классификации – по конфигурации перекрестка: крестообразные, Т-образные, перекрестки с круговым движением, Y-образные и т.д. Вне зависимости от формы перекрестка, правила их проезда одинаковые.

Проезд нерегулируемого перекрестка является одним из самых сложных элементов на дороге.

Транспортные средства двигаются по перегону к перекрестку (регулируемому или не регулируемому).

Далее автомобили, в случае нерегулируемого перекрестка, движущиеся по приоритетному направлению, в основном, проезжают без задержек, а автомобили с второстепенного направления останавливаются у стоп-линии, тем самым образуя очереди, и ожидают приемлемого интервала между автомобилями приоритетного направления для дальнейшего пересечения перекрестка.

Образование очередей - вероятностный процесс, и для создания модели проезда перекрестка необходимо определить наиболее подходящий вероятностный закон, с помощью которого можно описать движение транспортных потоков по городским магистральным улицам. Одним из основных законов в теории транспортных потоков является пуассоновский. В городских условиях при плотных транспортных потоках и влиянии регулируемых пересечений транспортный поток будет распределяться по закону отличному от пуассоновского. В работах Бабкова В.Ф., Дрю Д. рекомендовано описывать распределение скоростей движения и интервалов между автомобилями в потоках в городах с интенсивностью более 600 авт./ч. на полосу нормальным распределением случайной величины. Это обусловлено влиянием на исходную характеристику множества случайных малозначащих факторов [1]. По нашему мнению, такое утверждение не всегда справедливо.

Каждый перекресток с определенным типом управления генерирует потоки по-разному. Рассмотрим варианты прибытия транспортных средств к рассматриваемому перекрестку (регулируемому или нерегулируемому). Прибытие транспортных средств зависит от длины перегона, примыкающего к перекрестку, от типа управления перекрестка, от которого движутся транспортные средства к рассматриваемому перекрестку, и от степени насыщенности транспортных потоков. Если транспортные средства уходят с нерегулируемого перекрестка, то прибытие транспортных средств - случайно и

подчинено определенному закону распределения, зависящему от параметров потока и его структуры. Закон распределения зависит и от длины перегона, примыкающего к перекрестку. На перегоне транспортные средства движутся обособленно либо могут образовываться пакеты. Тогда распределение интервалов (временное расстояние) между транспортными средствами подчинено либо закону распределения Пуассона, либо Гаусса [2], либо какому-то еще. Этот вопрос остается открытым.

Если транспортные средства уходят с регулируемого перекрестка, то прибытие транспортных средств в первую очередь зависит от насыщенности транспортных потоков.

В случае насыщенных потоков транспортные средства уходят с регулируемого пересечения к рассматриваемому перекрестку пакетами с определенными промежутками времени, близкими к фиксированным. Фиксированные промежутки времени соответствуют длительности фаз, разрешающих движение. Конечно, это справедливо при условии, что основные потоки движутся к рассматриваемому перекрестку. При этом размеры пачек будут приблизительно одинаковыми. Такая ситуация присуща часам «пик» или коротким перегонам между перекрестками.

В случае ненасыщенных потоков транспортные средства уходят пакетами с регулируемого пересечения с интервалами между пакетами, которые являются случайной величиной и подчинены определенному закону распределения. При этом размеры пачек могут сильно отличаться. Такая ситуация присуща межпиковым периодам или длинным перегонам между перекрестками.

При построении моделей движения транспортных средств через перекресток мы используем эмпирико-стохастический подход [3], т.е. в качестве входных параметров перекрестка (интенсивность, размер пачки автомобилей, интервалы между пачками) используются эмпирические данные замеров выходящих потоков с перекрестка, являющегося входом в сеть мегаполиса или вспомогательным элементом сети внутри нее.

Ввиду сложности вывода расчетных формул для нормального распределения теории массового обслуживания и неравномерного движения, а также неравномерности интенсивности движения в течение дня, для описания очередей и заторов на регулируемых пересечениях хорошо подходит метод статистических испытаний («Монте-Карло»). Он представляет собой математическое моделирование различных ситуаций на ЭВМ путем генерирования случайных чисел на основе известных законов распределения.

В модели генерируется подход автомобилей к стоп-линии и ее пропускная способность, т. к. они являются случайными величинами с соответствующими параметрами - математическим ожиданием -  $a$  и дисперсией -  $\sigma^2$ .

Движение автомобилей рассматривается во временном пространстве. Предполагается, что автомобили движутся пакетами. Минимальное число автомобилей в пакете – 1. Число автомобилей в пакете  $N$  - случайное и описывается либо распределением Пуассона (если расстояние от регулируемого перекрестка до исследуемого пересечения велико и пачка, вышедшая с перекрестка, успевает распасться), либо распределением Гаусса:

$$p(N) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}\sigma_N} \exp\left(-\frac{(N_0 - N)^2}{2\sigma_N^2}\right), \quad (1)$$

где  $N_0$  - среднее число автомобилей в пакете,  $\sigma_N$  - среднеквадратическое отклонение числа автомобилей в пакете.

Интервал времени между двумя ближайшими автомобилями в пакете не изменяется при движении автомобилей.

Интервал (временное расстояние) между двумя пакетами фиксирован в случае движения насыщенных потоков и короткого перегона после выхода с регулируемого пересечения, в случае движения ненасыщенных потоков после выхода с регулируемого пересечения и движения между нерегулируемыми пересечениями - является случайной величиной и может быть описан распределением Гаусса:

$$p(L) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}\sigma_L} \exp\left(-\frac{(L_0 - L)^2}{2\sigma_L^2}\right), \quad (2)$$

где  $L_0$  - среднее временное расстояние между пакетами,  $\sigma_L$  - среднеквадратическое отклонение расстояния между пакетами.

Предполагается, что распределение времени проезда перекрестка описывается распределением Гаусса

$$p(t) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}\sigma_{ii}} \exp\left(-\frac{(t_{0i} - t)^2}{2\sigma_{ii}^2}\right), \quad (3)$$

где  $t_{0i}$  - среднее время проезда перекрестка в  $i$ -том направлении (прямо, поворот налево, поворот направо),  $\sigma_{ii}$  - среднеквадратичное отклонение времени проезда перекрестка водителем в  $i$ -том направлении.

В результате исследования были проанализированы основные проблемы поставленной задачи, разработаны и реализованы некоторые компьютерные модели нерегулируемого и регулируемого перекрестка.

**Список литературы:** 1. *Андронов Р.В.* Анализ динамики заторов на регулируемых пересечениях улично-дорожной сети методом «Монте-Карло» [Текст] : сб. науч. тр. / Р.В. Андронов, Б.П. Елькин, С.Ф. Ваганов // ТюмГАСУ: – Тюмень, 2006. – С. 12-17. 2. *Gowri A. R. Sivanandan.* Evaluation of Left Turn Channelization at a Signalized Intersection Under Heterogeneous Traffic Conditions [Текст] / Gowri A. R. Sivanandan // Transport. – 2008. – 23(3). – Pp. 221-229. 3. *Гецович Е.М.* Эмпирико-стохастический подход к моделированию транспортных потоков [Текст] : труды / Е.М. Гецович, В.Т. Лазурик, Н.А. Семченко, В.Ю. Король // Компьютерное моделирование в наукоемких технологиях (КМНТ-2010): науч.-техн. конф. с междунар. участием, 18-21 мая 2010 г.: труды. - Х., 2010. – Ч. I. - С. 101-104.

*Поступила в редколлегию 06.12.2011*

**УДК 656.025.2**

**Т.Т.БЕРЕСТОВА**, ст.викл., УкрДАЗТ, Харків  
**Г.С. КРАСОВСЬКА**, студ., УкрДАЗТ, Харків

## **АНАЛІЗ СТАНУ ПАСАЖИРСЬКИХ ПЕРЕВЕЗЕНЬ НА ЗАЛІЗНИЦЯХ УКРАЇНИ**

Проаналізовані основні показники перевезення пасажирів різними видами транспорту. Показане місце залізничного транспорту у загальній транспортній мережі. Намічені шляхи розвитку пасажирських перевезень саме залізничним транспортом.

**Ключові слова:** пасажир, пасажирообіг, тариф на перевезення, види транспорту.