

АВТОМОБИЛЬНЫЙ ТРАНСПОРТ

УДК 656.13.08

А.В. Косолапов

ПРОГНОЗИРОВАНИЕ ТРАНСПОРТНЫХ ЗАТОРОВ НА ПЕРЕГОНЕ УЛИЦЫ ПРИ ИСПОЛЬЗОВАНИИ СПУТНИКОВЫХ НАВИГАЦИОННЫХ СИСТЕМ

Рассмотрим процесс движения транспортных средств по одному *перегону* длиной $ab=L$ какой-либо регулируемой дороги, соединяющей два смежных *перекрестка* сети (рисунок). При этом в качестве элемента улично-дорожной сети можно

ляющим группу «развалиться», являются перестроения, обгоны и другие маневры транспортных средств в потоке. Таким образом, структура потока в сечении перегона является функцией времени движения пачки автомобилей до заданного сечения.

вают *гистограммой* потока.

Очевидно, наибольший интерес представляют гистограммы в сечениях, находящихся в непосредственной близости от следующих по ходу движения перекрестков, т.к. вид гистограмм именно в этих сечениях говорит о наличии ярко выраженных пачек.

Такой вид гистограмм может иметь совершенно произвольную форму в исследуемых сечениях. Для количественного описания стабильности потока можно ввести меру компактности потока [1], характеризующую возможную неравномерность прибытия транспорта.

Проще описывать состояние пачек в случаях 1 и 3.

Пусть гистограмма потока в произвольном сечении улицы описывается функцией $\bar{q}(t)$ – средняя интенсивность прибытия транспортных средств в данное сечение в момент времени t . Как уже указывалось, эта функция является периодической с периодом, равным (в нашем случае 1) длительности цикла регулирования на перекрестке T_u , т.е.

$$\bar{q}(t + T_u) = \bar{q}(t). \quad (1)$$

Поступающие в сечение a транспортные средства могут быть разделены на w типов, каждый из которых появляется с вероятностью f_w ($w=1, \dots, n$). Значения f_w могут быть различными в различных дорожно-транспортных ситуациях, но

всегда $\sum_{w=1}^n f_w = 1$. Пусть в

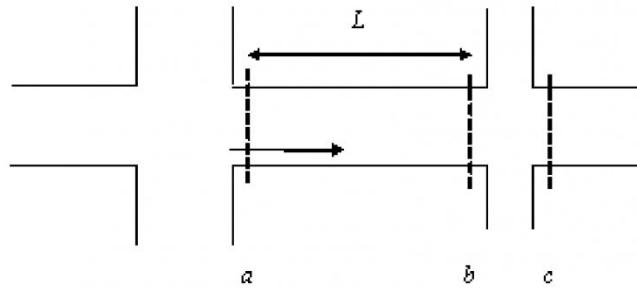


Схема движения по перегону

рассматривать не только собственно перегоны между перекрестками, но и перегоны между *остановочными пунктами* городского общественного транспорта. При въезде на перегон (в сечении a) транспорт движется компактной группой. Внутри транспортного потока могут присутствовать автомобили разных типов. Порядок следования транспортных единиц может не всегда повторять тот самый порядок, в котором они находились в очереди на входном перекрестке, ожидая права проезда.

Используем классический пример [1].

По мере своего движения по перегону ab вследствие различных характеристик транспортных средств, психофизиологических свойств водителей и целей поездок группа рассредоточивается во времени и в пространстве. Механизмом, застав-

ящим группу «развалиться», являются перестроения, обгоны и другие маневры транспортных средств в потоке. Таким образом, структура потока в сечении перегона является функцией времени движения пачки автомобилей до заданного сечения.

На вероятность распадения пачки автомобилей, а значит на возможность совершения маневров, влияют такие факторы как интенсивность транспортного потока, ширина проезжей части, число полос, состав потока и длина перегона. Предлагается за характеристику состава потока в данном сечении улицы считать *усредненное число прибытий транспортных средств* в это сечение по времени [1]:

- по многим циклам регулирования в случае (1) перегона между регулируемыми перекрестками;
- за выбранный интервал времени в случае (2) перегона между нерегулируемыми перекрестками;
- по интервалу следования автобусов в случае (3) перегона между остановочными пунктами.

Эту характеристику назы-

сечении a перегона функция средней интенсивности имеет вид $\bar{q}_a(t)$ – периодическая функция времени t периода T_u . По перегону транспортное средство каждого w -го типа движется со случайной скоростью. Необходимо найти вид периодической функции интенсивности $\bar{q}_b(t)$ в сечении b перегона ab . В данном случае существует только одна трудность – необходимость наличия данных о входящем на перекресток транспортном потоке, полученных без трудоемких натурных экспериментов, но об этом будет сказано позже.

Как уже указывалось, на форму потока $\bar{q}_b(t)$ оказывают влияние практически все параметры транспортного потока и дороги (улицы), т.е. распределение случайных скоростей в потоке, определяющие вид функции $\bar{q}(t)$, зависит от характера взаимодействия транспортных средств на дороге и параметров перегона улицы.

Можно ввести два допущения [1] о случайности характера движения транспортных средств по перегону:

1. Пусть среднее время проезда τ_w и дисперсия времени проезда θ_w транспортным средством w -го типа единицы длины перегона ab зависят не от формы потока $\bar{q}(t)$, а от средней по циклу регулирования интенсивности \bar{q} потока на перегоне:

$$\bar{q} = \int_0^{T_u} q(t) dt / T_u. \quad (2)$$

Кроме того, переменные τ_w и θ_w зависят также от состава потока, динамических характеристик транспортных средств, ширины проезжей части улицы и других факторов.

2. Пусть случайное время τ движения транспортного средства w -го типа по перегону ab

распределено по нормальному закону:

$$\varphi_w(\tau / L) = \frac{1}{\sqrt{2\pi\theta_w}} e^{-\frac{(\tau - \tau_w L)^2}{2\theta_w^2}} \quad (3)$$

Число $q_b(T) dT$ прибывших в сечение b транспортных единиц в интервале времени $[T, T+dT]$ равно числу $q_a(T-\tau) dT$ транспортных единиц, вышедших из сечения a в интервале $[T-\tau, T-\tau+dT]$, умноженному на вероятность $\varphi_w(\tau/L)$ того, что транспортное средство w -го типа прошло расстояние L за время τ .

Учитывая частоту f_w прибытия транспортного средства w -го типа в сечение a и вероятностный характер его движения, можно получить искомую зависимость:

$$q_b(T) = \sum_{w=1}^n f_w \int_{-\infty}^{+\infty} q_a(T-\tau) \varphi_w(\tau/L) d\tau \quad (4)$$

Величина дисперсии определяет характер поступления транспортных средств на перекресток и существенно влияет на значение задержки их в очереди при обслуживании на перекрестке.

Описанный метод требует знания средних времен проезда τ_w и дисперсий времени проезда θ_w участка перегона единичной длины для каждого w -го типа транспортного средства.

Располагая базой данных о частоте прибытия и времени проезда по отдельным перегонам всей транспортной сети, возможно проведение такой операции как прогнозирование транспортных заторов.

Пусть в момент времени t в сети на некотором перегоне (i, j) возникает транспортный затор. Первой задачей будет определение пространственных и временных координат, т.е. номера перегона (i, j) и момента времени t предполагаемого за-

тора. В этом случае на близлежащих перегонах будут изменяться времени проезда по ним, которые будут называться измерениями в контрольных сечениях [1].

Пусть с заданным временным шагом система измерения фиксирует интенсивность движения q_{ab} , так что в момент времени предыдущий $t-\Delta t$ были получены значения $q_{ab}^{t-\Delta t}$ соответствующих интенсивностей. В конечном итоге необходимо знать по установленным величинам $q_{ab}^{t-\Delta t}$ интенсивности q_{ij}^t , которые могут сложиться к моменту времени t на предполагаемых перегонах (i, j) . Предлагается использовать для этого регрессионное уравнение [1]:

$$q_{ij}^t = \sum_{(a,b)} a_{ab} q_{ab}^{t-\Delta t} + a_{ij}, \quad (5)$$

где a_{ij} и a_{ab} – коэффициенты регрессии.

Суммирование в данной формуле ведется по всем перегонам (a, b) сети. Таким образом, для прогнозирования интенсивностей q_{ij}^t в системе измерения необходимо устанавливать значения коэффициентов a_{ij} и a_{ab} , входящих в уравнение регрессии. Если при прогнозировании окажется, что текущее значение $q_{ab}^{t-\Delta t}$ будет превышать q_{ij}^t , то это будет

означать возможность появления заторов на перегоне (i, j) к моменту времени t .

Кроме случайного характера прибытия автомобилей на перекресток нужно учитывать также случайность взаимодействия автомобилей в транспортном потоке при различных дорожно-транспортных ситуациях, различных составах транспортного потока и, в конечном итоге, при различных уровнях удобства движения [2]. Для ха-

рактеристики такого взаимодействия предложен показатель

$$h = \frac{T(\Delta v \Delta y \Delta c)}{L}, \quad (6)$$

где Δv – изменение скорости; Δy – изменение направления движения; Δc – изменение ускорения; L – протяженность перегона улицы; T – продолжительность движения по перегону.

Показатель h позволяет оценить как каждый отдельный перегон улицы для выявления ее степени загрузки, так и эффективность применяемых методов и средств организации движения.

Технические системы, основанные на применении детекторов транспорта, позволяют определять только интенсивность движения, в то время как желательно определять одновременно и интенсивность, и скорость, и плотность [3]. Такую возможность предоставляют автоматизированные радионавигационные системы диспетчерского управления движением городского общественного транспорта. С целью преодоления технических проблем предлагаются использовать такой параметр транспортного потока, называемый занятостью перегона улицы, который может быть аналогичен плотности. Занятость определяется

$$O = \frac{1}{T} \sum_{i=1}^n t_i, \quad (7)$$

где $\sum_{i=1}^n t_i$ – суммарное время движения по перегону в реальных условиях; T – время проезда по перегону в идеальных условиях.

Если принять, что L – длина перегона, на котором расположено n автомобилей, v – скорость движения по перегону «плавающего» автомобиля, d – средняя длина этого автомобиля и k – плотность потока, то тогда [3]:

$$K = O/d. \quad (8)$$

Зная величину O можно определить приближенное значение плотности потока и среднее значение скорости:

$$v = \frac{q}{k} = \frac{n d}{T O}. \quad (9)$$

Наиболее прямым в технологическом смысле слова методом измерения является использование на всем протяжении перегона навигационных отметок о положении и скорости «плавающих» автомобилей, получаемых с помощью вышеупомянутой автоматизированной радионавигационной системы диспетчерского управления движением городского общественного транспорта.

Таким образом, можно говорить о том, что теория транспортных потоков содержит достаточно полные сведения об условиях и методах применения «плавающего» автомобиля для экспериментальных исследований характеристик транспортных потоков. Однако все эти методы ориентированы только на получение научной информации от одиночных дорожно-исследовательских лабораторий, используемых в качестве «плавающих» автомобилей. Объем информации, и оперативность ее обработки не позволяют применять эти методы для управления движением в реальном режиме времени.

Функциональные возможности интеллектуальных транспортных систем (ИТС) позволяют произвести существенные изменения в методах мониторинга характеристик транспортных потоков и повысить качество дорожно-транспортной информации при управлении дорожным движением. До настоящего времени основным путем повышения достоверности информации о дорожном движении являлось насыщение улично-дорожной сети стационарными транспортными детекторами (датчиками), расположенными на определенных участках дорожной сети.

Расстояние между этими

датчиками может значительно изменяться, поэтому собранная информация иногда не может являться основанием для достоверного прогнозирования изменения ситуации. Задача же размещения фиксированных транспортных детекторов с достаточной плотностью является нереальной, прежде всего вследствие высокой стоимости, а также из-за недостаточной полноты информации. Во многих случаях невозможно однозначно интерпретировать информацию. При ухудшении погодных условий детекторы передают данные о низкой скорости, что приводит к заключению о предполагаемом возникновении затора. Но также возможно, что автомобили медленно движутся из-за временного ограничения скорости или дорожно-транспортного происшествия.

В то же время информация, полученная от «плавающих» автомобилей, может включать данные о местоположении автомобиля и его скорости, погодных условиях, характеристиках транспортных потоков, помехах, заторовых ситуациях. После соответствующей обработки и обобщения транспортная информация может быть использована для управления дорожным движением и передачи другим участникам движения. Таким образом, «плавающие» автомобили могут рассматриваться как средство совершенствования информационного обеспечения дорожного движения.

Поэтому одним из актуальных направлений развития функций интеллектуальных транспортных систем является исследование методов мониторинга характеристик транспортных потоков с помощью «плавающих» автомобилей.

Существующие технические возможности уже в настоящее время позволяют в массовом количестве производить автомобили, которые имеют бортовые интегрированные средства передачи и обработки

информации и поэтому могут быть использованы для формирования базы данных о дорожных условиях от «плавающих» автомобилей. Эти средства транспортной телематики имеют чрезвычайно широкий диапазон по своим функциям и техническому уровню исполнения от спутниковых навигационных систем GPS до радио СВ-диапазона и мобильных телефонов. Важно то, что все эти устройства могут использоватьсь «плавающими» автомобилями.

ми.

Решение основных проблем ИТС связано с получением привязанной ко времени информации о движении транспортных средств (координаты, скорость).

Располагая реальными данными о таких параметрах оборудованных автомобилей (например, маршрутных автобусов, которые начинают играть роль «плавающих») на отдельном элементе сети, как время проезда этого элемента, занятость, время задержки на нем, ско-

рость движения и ряда других, можно оценивать степень загрузки как отдельных участков, так и в целом всей сети. Технически такая возможность предоставляется благодаря технологиям спутниковых навигационных систем. В г. Кемерово с 2002 г. разворачивается подобная система, что позволяет надеяться на использование информации, получаемой ею, для задач оценки эффективности интеллектуальных транспортных систем.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Брайловский Н.О., Грановский Б.И. Управление движением транспортных средств. – М.: Транспорт, 1975. – 112 с.
2. Сильянов В.В. Теория транспортных потоков в проектировании дорог и организации движения. – М.: Транспорт, 1977. – 303 с.
3. Иносэ Х., Хамада Т. Управление дорожным движением / Под ред. Блинкина М.Я.: Пер. с англ. – М.: Транспорт, 1983. – 248 с.

□ Автор статьи:

Косолапов

Андрей Валентинович
– канд. техн. наук, доц. каф.
«Автомобильные перевозки»