

УДК 656.021, 656.11

Гантимурова Юлия Олеговна,
к.т.н., доцент, доцент кафедры «Управление на автомобильном транспорте»,
ФГБОУ ВО «Ангарский государственный технический университет»,
e-mail: juliapoltavskaya@mail.ru

ОЦЕНКА ЗОН ТРАНСПОРТНЫХ ЗАТОРОВ НА ОСНОВЕ ДАННЫХ ОБ УСЛОВИЯХ ДОРОЖНОГО ДВИЖЕНИЯ «ПЛАВАЮЩИХ» АВТОМОБИЛЕЙ

Gantimurova Y.O.

ASSESSMENT TRAFFIC CONGESTION AREAS BASED ON DATA ABOUT TRAFFIC CONDITIONS OF «FLOATING» CARS

Аннотация. Эффективное прогнозирование транспортных заторов на улично-дорожной сети приносит пользу различным участникам дорожного движения. В статье приводится анализ условий дорожного движения на основе данных, которые поступают от «плавающих» автомобилей, с целью оценки зон транспортных заторов.

Ключевые слова: транспортный затор, «плавающий» автомобиль, дорожное движение, профиль скорости, скорость свободного потока.

Abstract. Effective forecasting of traffic congestion on the road network benefits various road users. The article provides an analysis of traffic conditions based on data received from “floating” cars in order to assess traffic congestion zones.

Keywords: traffic congestion, “floating” car, road traffic, speed profile, free flow speed.

Транспортные заторы на дорогах являются одной из основных причин низкой производительности в городской среде. Перегруженность возникает из-за отсутствия инфраструктуры, которая не может соответствовать темпам, с которыми урбанизация и автомобилизация развивается в последние десятилетия. Загрузка улично-дорожной сети (УДС) оказывает прямое влияние на повседневную жизнь людей и транспортную деятельность, поскольку приводит к увеличению времени в пути, дополнительным транспортным расходам, повышенному потреблению топлива, увеличению выбросов углекислого газа [1-3]. Оценка заторов является важной частью транспортных систем, направленная на улучшение стратегий управления в существующих системах дорожного движения. Многие участники дорожного движения могли бы извлечь выгоду из оценки перегрузок. Пассажиры смогут оптимизировать время отправления и выбирать маршруты поездок. Градостроители могут использовать информацию в процессе принятия решений, чтобы уменьшить заторы путем улучшения инфраструктуры, режимов работы светофорных объектов; изменения направления движения (реверсивное движение); применения политики ограничения движения некоторых категорий автомобилей в определенные районы города.

Для оценки загруженности УДС могут быть применены данные, поступающие с автомобилей-лабораторий («плавающий» автомобиль), оснащенных устройствами глобальной навигационной спутниковой системы [4-6].

Мгновенная скорость по траектории движения является точной, когда временной интервал между последовательными данными невелик. Однако с использованием данных «плавающего» автомобиля временной интервал варьируется от пары секунд, когда автомобиль находится в движении, до пяти минут, когда автомобиль неподвижен. Для более точного расчета скорости учитывались данные автомобилей в потоке, аналогично процедуре, предложенной авторами [5]. Также возможно, что две последовательных записи на одной траектории будут находиться на несвязных звеньях перекрестка. В таких случаях вычисленная скорость присваивалась всем звеньям только в том случае, если расстояние по прямой и по кратчайшему пути, определенные по алгоритму Дейкстры, совпадали; в противном случае оно было отклонено.

Профиль скорости на дороге можно определить как ожидаемую скорость транспортного средства на конкретном участке в течение наблюдаемого периода времени. Необходимо учитывать особенности, влияющие на повторяющиеся заторы (время года, дни

недели, утренний, дневной и вечерний периоды суток). Периоды суток разбиваются на несколько временных сегментов с периодом дискретизации от 1 до 60 минут. Пятиминутные временные интервалы выбираются как баланс между качеством оценки и количеством данных [5]. Пусть $V(t_k) = \{v_1(t_k), \dots, v_n(t_k)\}$ – набор всех агрегированных скоростей в пятиминутном интервале времени t_k для некоторого наблюдаемого звена. Затем для каждого интервала времени t_k средняя скорость в пространстве $v(t_k)$ вычисляется по уравнению (1):

$$v(t_k) = \frac{n}{\sum_{i=1}^n v_i(t_k)} \quad (1)$$

Средняя скорость движения используется для усреднения в наблюдаемом временном интервале, но в данном случае целесообразнее применять пространственную скорость, которая определяется как среднее арифметическое скоростей всех транспортных средств, занимающих звено. Кроме того это придает больший вес транспортным средствам с низкой скоростью движения, что подходит для количественной оценки заторов.

Чтобы отразить пространственно-временные закономерности заторов на дорожной сети, абсолютные профили скорости должны быть пересчитаны относительно свободного потока. С целью снижения рез-

ких изменений скорости между последовательными интервалами времени, производится сглаживание профилей с использованием кубического сплайна [7]. Дополнительные веса для сплайн-сглаживания устанавливаются в периоды час-пик, чтобы лучше моделировать временную картину перегрузок.

Использование профилей скорости для дорожной сети приводит к получению большого объема данных. В связи с этим профили скорости могут быть сгруппированы по двум критериям для: наблюдения пространственно-временных моделей перегрузки на участке УДС; сокращения объема данных дорожного движения при маршрутизации. Затем профили скорости кластеризуются с применением k-средних согласно уравнению (2):

$$agr \min_{C-SP} \sum_{i=1}^{N_C} \sum_{SP_k \in C_i} d(SP_k, c_i), \quad (2)$$

где N_C – количество кластеров; $C-SP = \{C_1, \dots, C_{N_C}\}$ – набор кластеризованных профилей скорости; $d(SP_k, c_i)$ – квадрат евклидова расстояния между профилем скорости SP_k и центром кластера c_i .

Блок-схема методологии определения зон транспортных заторов представлена на рисунке 1. Наблюдение пространственно-временных закономерностей заторов на макроуровне начинается с разделения наблюдаемой области на полигоны или сетку.



Рисунок 1 – Блок-схема методики определения зон заторов

Для каждой ячейки индекс перегрузки $c_{ij} \in [0, 1]$ вычисляется как средневзвешенное значение длин участков УДС и минимальных относительных скоростей по уравнению (3):

$$c_{ij} = \frac{\sum_{L \in LC_{ij}} len(L) \cdot \min(SP(L))}{\sum_{L \in LC_{ij}} len(L)}, \quad (3)$$

где LC_{ij} – набор звеньев внутри ячейки (i, j) ; L – одно из звеньев; $len(L)$ – длина звена L ; $\min(SP(L))$ – функция минимизации относительно скорости во всех профилях, закрепленных за звеном L для соответствующего временного периода.

Максимальное значение индекса транспортных заторов ограничено значением 1.

Возникновение заторов определяется, когда скорость падает на 30–40% по сравнению со скоростью свободного потока. Использование значения относительной скорости для обнаружения перегрузки дает лучшие результаты, чем использование глобального порога. Пороговое значение возникновения перегрузки на уровне ячейки может быть установлено равным $c_t = 0,7$, что соот-

ветствует взвешенному падению скорости на 30%. Для обнаружения перегрузки применяется бинарная классификация: каждой ячейке с индексом перегрузки $c_{ij} < c_t$ присваивается значение единицы (1), обозначающее возникновение перегрузки, в то время как каждой ячейке с индексом перегрузки $c_{ij} \geq c_t$ – значение ноль (0), что означает отсутствие заторов. Далее наблюдаемая область представляется в виде изображения, где каждая ячейка соответствует одному пикселю. Черные пиксели указывают на наличие заторов, тогда как белые пиксели – на их отсутствие. Зоны скопления определяются путем применения операции морфологического замыкания, которая в качестве входных данных принимает изображение и элемент структурирования (рисунок 1). Расширение с последующим объединением участков выполняется для увеличения границ темных областей путем удаления небольших пробелов между пикселями. Границы объединяемых объектов определяются в точках, где градиент изобра-

жения максимален. Границы зон скопления выделены путем преобразования изображения обратно в пространственное представление [8].

Таким образом, располагая данными о скорости и времени движения транспортного потока, можно оценивать степень загруженности как на отдельных участках улично-дорожной сети, так и всей сети в целом [9]. Предлагаемый подход оценки зон транспортных заторов может быть использован для выявления пространственно-временных участков УДС на макроуровне, особенно в густонаселенных городских условиях, улучшения оперативного планирования доставки товаров и разработки политики грузовых перевозок и инфраструктуры. Практическая значимость заключается в применении муниципальными органами власти и градостроителями с целью разработки стратегий, которые позволят уменьшить заторы на дорогах и улучшить транспортную мобильность.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. **Лагереv, Р. Ю.** Методика предупреждения сетевых транспортных заторов / Р.Ю. Лагереv, А.Ю. Михайлов, С.В. Лагерева. – Текст: непосредственный // Вестник НЦБЖД. 2010. № 5. С. 82-88.
2. **Poltavskaya, J. O.** Assessment of the impact of the characteristics of the road network on the duration of the route / J.O. Poltavskaya, O.A. Lebedeva // В сборнике: Journal of Physics: Conference Series. 13. Сер. "Computer-Aided Technologies in Applied Mathematics" 2020. С. 012043.
3. **Крипак, М. Н.** Оценка состояния улично-дорожной сети крупного города / М.Н. Крипак, О.А. Лебедева. – Текст: непосредственный // Современные технологии. Системный анализ. Моделирование. 2016. № 3 (51). С. 171-174.
4. **Косолапов, А. В.** Оценка транспортных задержек с помощью «плавающих» автомобилей / А.В. Косолапов. – Текст : непосредственный // В сборнике: Проблемы эксплуатации и обслуживания транспортно-технологических машин. Материалы Международной научно-технической конференции. Ответственный редактор Захаров Н.С., 2009. С. 203-207.
5. **Erdelic, T.** Estimating congestion zones and travel time indexes based on the floating car data / T. Erdelic, T. Caric, M. Erdelic, L. Tisljaric, A. Turkovic, N. Jelusic // Computers, Environment and Urban Systems. Volume 87. 2021. 101604.
6. **Полтавская, Ю. О.** Прогнозирование характеристик маршрута городского общественного пассажирского транспорта на основе данных треков автомобиля-лаборатории / Ю.О. Полтавская. – Текст: непосредственный // Вестник Иркутского государственного технического университета. 2017. Т. 21. № 2 (121). С. 190-198.
7. **Корягин, М. Е.** Реконструкция параметров «плавающих» автомобилей кубическими функциями / М.Е. Корягин, А.В. Косолапов. – Текст: непосредственный // Вестник Московского автомобильно-дорожного института (государственного технического университета). 2009. № 1 (16). С. 39-43.
8. **Лебедева, О. А.** Анализ проектирования транспортных зон на основе моделирования сети / О.А. Лебедева. – Текст: непосредственный // Вестник Ангарского государственного технического университета. 2019. № 13. С. 172-177.
9. **Пиров, Ж. Т.** Оценка скорости движения в свободных условиях для определения уровня обслуживания транспортных потоков на сегментах городских улиц и дорог /