УДК 656.02

© Р. Н. Горбунов, аспирант
(Иркутский национальный исследовательский
технический университет)
E-mail: gorbunow@list.ru

DOI 10.23968/1999-5571-2019-16-6-284-289

© R. N. Gorbunov, post-graduate student
(Irkutsk National Research
Technical University)
E-mail: gorbunow@list.ru

РАСЧЕТ БУФЕРНОГО ИНДЕКСА НА ОСНОВЕ ДАННЫХ СЕРВИСА «ЯНДЕКС. ПРОБКИ»

CALCULATION OF BUFFER INDEX BASED ON THE «YANDEX. TRAFFIC JAMS» DATA SERVICE

Приводится описание подходов к организации автоматизированной системы организации дорожного движения. Описан эксперимент по определению значений временного и буферного индекса на отдельных участках улично-дорожной сети в девяти городах России на основании данных сервиса «Яндекс. Пробки». Предложена типология участков улично-дорожной сети по характеру изменения временного и буферного индекса на них и способы экспресс-оценки буферного индекса на основании полученных значений временного индекса.

Ключевые слова: улично-дорожная сеть, временной индекс, буферный индекс, экспресс-оценка, «Яндекс. Пробки».

The article describes approaches to organizing an automated traffic management system. An experiment is described aimed at determining the values of the travel time and buffer index in individual sections of the road network in nine cities of Russia based on the data from «Yandex.Traffic Jams» service. A typology of sections of the road network according to the nature of the change in the travel time and buffer index on them and methods for expressly evaluating the buffer index based on the obtained values of the travel time index are proposed.

Keywords: street-road network, travel time index, buffer index, express rating, «Yandex.Traffic Jams».

Оценка надежности функционирования улично-дорожной сети (далее УДС) является актуальным вопросом [1–4, 6–10, 12, 15]. В соответствии с положениями Постановления Правительства РФ № 1379 от 16 ноября 2018 г. «Об утверждении Правил определения основных параметров дорожного движения и ведения их учета» (далее Правила)¹, вступившего в действие с 30.12.2018 г., оценка основных параметров дорожного движения, с учетом которых должен осуществляться анализ состояния организации дорожного движения, предполагает использование таких показателей, как временной (ТТi) и буферный (Ib) индексы, определяемых в нашей работе согласно [11].

В то же время для эффективного управления процессами ОДД необходимо понимание принципов динамики скорости движения и формирова-

ния заторов на УДС, источником информации для изучения которых могут стать данные геоинформационных систем. Данные, поступающие с навигационного оборудования, используются за рубежом для оценки качества обслуживания, например, TomTom Traffic Index, Inrix Traffic Index [13, 14], в России источником данных может служить информационная система «Яндекс. Пробки» [5].

Для изучения указанных принципов и возможности оптимизации расчетов и сбора данных на основании сервиса «Яндекс. Пробки» была получена информация о суточной динамике скоростей движения автомобилей следующих городов: Москвы, Санкт-Петербурга, Ростова-Дону, Нижнего Новгорода, Набережных Челнов, Сочи, Иркутска, Ангарска, Владивостока.

Для указанных городов случайным образом были выбраны исследуемые пути (табл. 1) протяженностью не менее 10 км, проходящие от окраины города до центральных районов или через

¹ Постановление Правительства РФ от 16 ноября 2018 г. № 1379 «Об утверждении Правил определения основных параметров дорожного движения и ведения их учета».

Таблица 1

Описание исследуемых путей

Город	Исследуемый путь	Протяженность, м
Иркутск	мкр. Солнечный – ул. Байкальская – ул. Тимирязева – ул. Ленина – Сквер им. Кирова – ул. Чкалова – ул. Джамбула – ул. Тракторная – ул. Мира – ул. Новаторов	18 270
	мкр. Синюшина гора – ул. Маяковского – ул. Ст. Разина – ул. Марата – ул. Ленина – ул. Дзержинского – ул. К. Либкнехта – ул. Советская – ул. Урожайная	14 205
Сочи	ул. Донская – ул. Транспортная – пр. Курортный – ул. Горького	13 095
	Ул. Виноградная – ул. Егорова – ул. Несебская – ул. Орджоникидзе – ул. Черноморская – пр. Курортный	15 750
Ангарск	Московский тракт – ул. К. Маркса – ул. О. Кошевого – ул. Иркутская – ул. Октябрьская – ул. Ленина – ул. Ворошилова – ул. Чайковского	11 670
	Московский тракт – ул. Чайковского – Ленинградский пр. – ул. Социалистическая – ул. Энгельса – ул. Алёшина – ул. Горького – ул. К. Маркса – ул. Коминтерна – ул. Социалистическая – ул. Декабристов	24 840
Набережные Челны	пр. М. Джамиля – пр. Набережночелнинский – пр. Мира – пр. Яшьлек – ул. Моторная – ул. Промышленная – ул. Техническая	26 385
	Просп. Казанский – Мензелинский тракт – ул. Металлургическая – ул. Моторная – ул. Машиностроительная	30 770
Владивосток	ул. Маковского – пр. 100 лет Владивостока – пр. Красного Знамени – пр. Партизанский – ул. Октябрьская – ул. Алеутская – ул. Светланская – ул. Лазо – Золотой мост	20 325
	ул. Русская – ул. Бородинская – ул. Луговая – ул. Светланская – ул. Лазо – Золотой мост	11 095
Ростов-на-Дону	ш. Восточное – пр. Ворошиловский – пр. М.Нагибина – пер. Ольховский – пр. Космонавтов – ул. Орбитальная – ул. Обсерваторная	18 340
	пр. Стачки – пр. Сиверса – ул. Красноармейская – пр. Театральный – пр. Шолохова	21 080
Нижний Новгород	Ольгино – пр. Гагарина – пл. М. Горького	11 785
	пр. КИМа – ул. Свободы – ул. Коминтерна – ш. Сормовское – ш. Московское – ул. Советская – Канавинский мост – ул. Черниговская – ул. Нижне-Волжская – Зеленский съезд – ул. Варварская – ул. Горького – пл. Максима Горького	20 745
Санкт-Петербург	ш. Пулковское – пр. Московский – ул. Садовая – пр. Невский – наб. Адмиралтейская	18 775
	ул. Софийская – ул. Салова – ул. Самойловой – ул. Нефтяная – наб. Обводного канала – наб. Синопская – наб. Смольная – наб. Воскресенская – наб. Кутузова – наб. Дворцовая – наб. Адмиралтейская	23 063
Москва	ул. Верхняя Сыромятническая – Садовое кольцо (против часовой стрелки) – ул. Верхняя Сыромятническая	15 555
	МКАД – ш. Варшавское – ул. Большая Тульская – ул. Павловская – ул. Пятницкая – наб. Москворецкая – наб. Кремлевская – ул. Моховая – ул. Охотный ряд – бульв. Театральный – ул. Большая Лубянка – ул. Сретенка – пр. Мира – ш. Ярославское – МКАД	38 875
	МКАД – ш. Энтузиастов – ул. С. Радонежского – ул. Николоямская – ул. Яузская – ул. Солянка – пер. Солянский – Старая Площадь, проезд Китайгородский – наб. Москворецкая – наб. Кремлевская – ул. Моховая – ул. Воздвиженка – ул. Новый Арбат – пр. Кутузовский – ш. Можайское – МКАД	32 670

них, включающие различные типы улиц, и проходящие через различные части города (спальные районы, промзоны и т. п.).

Сбор информации проводился на отдельных отрезках исследуемых путей, границами которых выбирались пересечения с главной дорогой, светофорными объектами и местами, где возможно значительное изменение скорости движения потока. Пример разделения исследуемого пути на отрезки представлен в табл. 2.

Таблица 2

Исследуемый путь, разделенный на отрезки, в Нижнем Новгороде

№ п/п	Отрезок исследуемого пути	Протяженность, м
1	Ольгино – пр. Гагарина – Трасса 22к-0031	540
2	Трасса 22к-0031 – пр. Гагарина – ул. Тропинина	1240
3	ул. Тропинина – пр. Гагарина – ул. Военных комиссаров	610
4	ул. Военных комиссаров – пр. Гагарина – ул. Ларина	1490
5	ул. Ларина – пр. Гагарина – проезд Петровский	260
6	проезд Петровский – пр. Гагарина – ул. Горная	1240
7	ул. Горная – пр. Гагарина – ул. 40 лет октября	540
8	ул. 40 лет октября – пр. Гагарина – ул. Батумская	580
9	ул. Батумская – пр. Гагарина – ул. Сурикова	1300
10	ул. Сурикова – пр. Гагарина – ул. Медицинская	460
11	ул. Медицинская – пр. Гагарина – ул. Бекетова	1060
12	ул. Бекетова – пр. Гагарина – ул. Артельная	820
13	ул. Артельная – пр. Гагарина – ул. Студенческая	500
14	ул. Студенческая – пр. Гагарина – ул. Тимирязева	345
15	ул. Тимирязева – пр. Гагарина – ул. Белинского	190
16	ул. Белинского – пр. Гагарина – ул. Крупской	190
17	ул. Крупской – пр. Гагарина – пл. М. Горького	420

На основании собранных данных были рассчитаны временной и буферный индексы для каждого отрезка исследуемого пути, а также определено изменение индексов по мере прохождения исследуемого пути.

Сравнение значений временного и буферного индексов по отрезкам исследуемого пути показало, что для большинства путей прослеживается линейная зависимость между значениями временного и буферного индексов.

Графики, отражающие изменение временного и буферного индексов по мере прохождения исследуемого пути, описываются полиномиальной функцией одного порядка со сходной точностью (рис. 1 и 2). При этом степень полиномиальной функции определяется как количество значимых локальных минимумов и максимумов значений индексов, увеличенное на 1.

Дальнейшее изучение полученных данных позволило разделить исследуемые пути на от-

Рис. 1. Динамика изменения временного индекса на исследуемом пути Ольгино – пр. Гагарина – пл. М. Горького в Н. Новгороде

Рис. 2. Динамика изменения буферного индекса на исследуемом пути Ольгино – пр. Гагарина – пл. М. Горького в Нижнем Новгороде

дельные участки (включающие три и более отрезков исследуемого пути), на которых изменения значений индексов (y) в зависимости от протяженности участка (x) могли быть описаны с высокой степенью точности. На основании такого разделения было выделено пять типов участков в соответствии с описывающей их функцией (табл. 3).

Также стоит отметить, что первые три типа участков, как правило, описывают участки УДС по мере приближения к местам концентрации заторов ($a > 0$) и по мере отдаления от них ($a < 0$).

Из табл. 4 следует, что измерение буферного индекса с заданной точностью требует значительно большего количества данных по сравнению с временным индексом.

Возможность определения буферного индекса на основании временного индекса позволила бы многократно снизить трудоемкость при сборе и обработке данных, полученных с помощью сервиса «Яндекс. Пробки».

При разделении исследуемых путей на участки было отмечено, что описание динамики временного и буферного индекса возможно одним и тем же типом функции с высокой степенью точности (коэффициент детерминации (R^2) более 85 %).

Сравнение полученных уравнений динамики временного и буферного индексов по 84 участ-

кам 19 исследуемых путей для каждого из типов показало, что присутствует зависимость между коэффициентами уравнений, описывающих изменение временного и буферного индексов (табл. 5).

Поскольку буферный индекс для расчета с высокой точностью требует большего количества данных по сравнению с временным, то выявленная зависимость дает возможность экспресс-оценки буферного индекса на основании временного индекса для отдельных участков УДС в зависимости от характера изменения временного индекса на данном участке. Оценка буферного индекса на основании временного индекса позволит многократно снизить объем необходимых данных для его расчета.

Дальнейшие исследования должны быть направлены на разработку методики оптимального разделения исследуемых путей на участки, определения более точных зависимостей буферного и временного индекса по городам, в том числе в зависимости от численности населения, климатических зон, времени года и прочих параметров.

Библиографический список

1. Головных И. М., Михайлов А. Ю. Современные тенденции проектирования и реконструкции улично-

Таблица 3

Описание типов участков

№ п/п	Наименование участка	Формула	Описание
1	Линейный	$y = ax + b$	Участок, на котором значение индекса линейно возрастает ($a > 0$), убывает ($a < 0$) или не изменяется ($a = 0$)
2	Логарифмический	$y = a \cdot \ln(x) + b$	Участок, на котором значение индекса возрастает ($a > 0$), убывает ($a < 0$)
3	Экспоненциальный	$y = b \cdot e^{ax}$	Участок, на котором значение индекса возрастает ($a > 0$), убывает ($a < 0$)
4	Полиномиальный 2-го порядка	$y = ax^2 + bx + c$	Участок, на котором значение индекса имеет: одно или несколько максимальных значений, остальные значения, находящиеся слева и справа от максимальных, имеют тенденцию к снижению их значений ($a < 0$); одно или несколько минимальных значений, остальные значения, находящиеся слева и справа от минимальных, имеют тенденцию к увеличению их значений ($a > 0$)
5	Полиномиальный 3-го порядка	$y = ax^3 + bx^2 + cx + d$	Участок, на котором значение индекса изменяется: в большую, а затем в меньшую сторону ($a > 0$); в меньшую, а затем в большую сторону ($a < 0$)

Таблица 4

Сравнение необходимого объема данных для расчета временного и буферного индексов

Индекс	Формула [11]	Объем данных
Временной индекс	$TTi = \frac{T_p}{T_{ff}}$	Данные о времени (скорости) движения автомобилей в пиковый период T_p (как правило, утренний или вечерний) и в свободных условиях T_{ff} (как правило, ночью). Для измерения T_p требуется сбор данных в пиковые периоды (1–2 часа), для T_{ff} — сбор данных в свободных условиях (15–30 минут)
Буферный индекс	$I_b = \frac{T_p - \bar{T}}{\bar{T}}$	Данные о времени (скорости) движения автомобилей в пиковый период T_p (как правило, утренний или вечерний) и средней скорости $\bar{T}$ в течение суток. Для измерения T_p требуется сбор данных в пиковые периоды (1–2 часа), для расчёта $\bar{T}$ требуется сбор данных непрерывно в течение суток

Таблица 5

Зависимость значений коэффициентов уравнений динамики буферного индекса (z) от временного

Тип описывающего уравнения	Коэффициенты			
	a	b	c	d
Линейный $y = ax + b$	$0,3543z - 0,0001$, $R^2 = 92,17 \%$	$0,4225z - 0,0528$, $R^2 = 88,15 \%$	x	x
Логарифмический $y = a \cdot \ln(x) + b$	$0,2933z - 0,2969$, $R^2 = 86,05 \%$	$0,3022z + 2,2596$, $R^2 = 86,25 \%$	x	x
Экспоненциальный $y = b \cdot e^{ax}$	$1,0942z + 6 \cdot 10^{-5}$, $R^2 = 91,18 \%$	$0,2244z + 0,3482$, $R^2 = 89,07 \%$	x	x
Полиномиальный 2 порядка $y = ax^2 + bx + c$	$0,3605z + 2 \cdot 10^{-10}$, $R^2 = 89,83 \%$	$0,4623z + 4 \cdot 10^{-5}$, $R^2 = 92,97 \%$	$0,5015z - 0,4115$, $R^2 = 90,93 \%$	x
Полиномиальный 3 порядка $y = ax^3 + bx^2 + cx + d$	$0,2653z + 10^{-10}$, $R^2 = 96,7 \%$	$0,3294z - 5 \cdot 10^{-7}$, $R^2 = 95,81 \%$	$0,3408z + 0,0002$, $R^2 = 93,39 \%$	$0,431z - 0,3262$, $R^2 = 87,81 \%$

дорожных сетей городов. Новосибирск: Наука, 2004. 267 с.

2. Горбунов Р. Н., Горбунова З. В., Колчин В. С., Михайлов А. Ю., Пиров Ж. Т. Анализ влияния периодичности замеров на точность определения временного и буферного индексов // Безопасность колесных транспортных средств в условиях эксплуатации: материалы 106-й Междунар. науч.-техн. конф. Иркутск, ИрНТУ, 2019. С. 667–676.

3. Горбунов Р. Н., Горбунова З. В., Михайлов А. Ю. Уровень обслуживания как показатель надежности улично-дорожной сети // Мир транспорта. 2018. № 4(77). Т. 16. С. 194–203.

4. Горбунов Р. Н., Михайлов А. Ю., Пиров Ж. Т. Оценка уровня обслуживания на основе критериев надежности // Вестник Иркутского государственного технического университета. 2017. № 10. С. 188–194.

5. Как работают Яндекс.Пробки. URL: <https://yandex.ru/company/technologies/yaprobki> (дата обращения: 06.06.2019).

6. Левашев А. Г., Михайлов А. Ю., Шаров М. И. Современные методы оценки качества организации дорожного движения в городах. Иркутск: ИрНТУ, 2015. 218 с.

7. Румянцев Е. А. Об эффективности критериев для оценки условий движения транспортных потоков // Организация безопасности дорожного движения: материалы IX Международной конф. (Санкт-Петербург, сент. 2010 г.) СПб., 2010. С. 121–123.

8. Тебеньков С. Е. Развитие методов мониторинга транспортных потоков для оперативного управления дорожным движением на магистралях: автореф. дис. ... канд. техн. наук: 05.22.10. Иркутск: ИрГТУ, 2013. 20 с.

9. Bennecke A., Friedrich B., Friedrich M., Lohmiller J. Time-dependent Service Quality of Network Sections. Highway Capacity and Quality of Service (June 28 – July 1 of 2011): Proc. of the 6th International Symposium. Stockholm, Sweden, 2011, pp. 364–373.

10. Bertini R. L., Lyman K. Using Travel Time Reliability Measures to Improve Regional Transportation

Planning and Operations. Washington: Transportation Research Record. 2008. Vol. 2046, pp. 1–10.

11. Bureau of Transportation Statistics // United States Department of Transportation. URL: <https://www.bts.gov/content/travel-time-index> (дата обращения: 06.06.2019).

12. Chang J. S. Assessing Travel Time Reliability in Transport Appraisa // *Journal of Transport. Geography*. 2010. Vol. 18, pp. 419–425.

13. INRIX 2018 Global Traffic Scorecard INRIX. URL: <http://inrix.com/scorecard> (дата обращения: 06.06.2019).

14. TomTom Traffic Index // Tom Tom: URL: https://www.tomtom.com/en_gb/traffic-index/ (дата обращения: 06.06.2019).

15. Travel Time Reliability: Making It There On Time, All The Time // United States Department of Transportation. URL: https://ops.fhwa.dot.gov/publications/tt_reliability (дата обращения: 06.06.2019).

References

1. Golovnykh I. M., Mikhaylov A. Yu. *Sovremennye tendentsii proektirovaniya i rekonstruktsii ulichno-dorozhnykh setey gorodov* [Modern tendencies of designing and reconstruction of street and road networks of cities]. Novosibirsk, Nauka Publ., 2004, 267 p.

2. Gorbunov R. N., Gorbunova Z. V., Kolchin V. S., Mikhaylov A. Yu., Pirov Zh. T. *Analiz vliyaniya periodichnosti zamerov na tochnost' opredeleniya vremennogo i bufernogo indeksov* [Analysis of the influence of the frequency of measurements on the accuracy of determining the time and buffer indices]. *Trudy 106-y Mezhdunarodnoy nauchno-tekhnicheskoy konferentsii (Irkutsk, aprel' 2019 g.) «Bezopasnost' kolyosnykh transportnykh sredstv v usloviyakh ehkspluatatsii»* [Proc. of the 106th International scientific and technical conference (Irkutsk, April 2019) "Safety of wheeled vehicles in operation"]. Irkutsk, IrNITU Publ., 2019, pp. 667–676.

3. Gorbunov R. N., Gorbunova Z. V., Mikhaylov A. Yu. *Uroven' obsluzhivaniya kak pokazatel' nadyozhnosti ulichno-dorozhnoy seti* [The level of service as an indicator of reliability of the street-road network]. *Mir transporta – World of transport*, 2018, vol. 16, no. 4(77), pp. 194–203.

4. Gorbunov R. N., Mikhaylov A. Yu., Pirov Zh. T. *Otsenka urovnya obsluzhivaniya na osnove kriteriev nadezhnosti* [Evaluation of level of service based on criteria of safety]. *Vestnik Irkutskogo gosudarstvennogo tekhnicheskogo universiteta – Bulletin of Irkutsk State Technical University*, 2017, no. 10, pp. 188–194.

5. *Kak rabotayut Yandeks.Probki* [How Yandex.Jams works]. Yandeks, 2019. Available at: <https://yandex.ru/company/technologies/yaprobki> (accessed: 06.06.2019).

6. Levashev A. G., Mikhaylov A. Yu., Sharov M. I. *Sovremennye metody otsenki kachestva organizatsii dorozhnogo dvizheniya v gorodakh* [Modern methods of assessing the quality of traffic management in cities]. Irkutsk, IrNITU Publ., 2015, 218 p.

7. Rumyantsev E. A. *Ob ehffektivnosti kriteriev dlya otsenki usloviy dvizheniya transportnykh potokov* [On the effectiveness of criteria for assessing the conditions of traffic flows]. *Trudy IX mezhdunarodnoy konf. Sankt-Peterburg, 2010 «Organizatsiya bezopasnosti dorozhnogo dvizheniya (Sankt-Peterburg, sent. 2010 g.)»* [Proc. of the IX Int. conf. Saint-Petersburg, 2010 "Organization of road safety"]. St. Petersburg, 2010, pp. 121–123.

8. Teben'kov S. E. *Razvitie metodov monitoringa transportnykh potokov dlya operativnogo upravleniya dorozhnym dvizheniem na magistralyakh. Avtor. referat diss. kand. tekhn.nauk* [Development of methods for monitoring traffic flows for operational traffic management on highways. Author's thesis of PhD in Sci. Tech. diss.]. Irkutsk, IrGTU Publ., 2013, 20 p.

9. Bennecke A., Friedrich B., Friedrich M., Lohmiller J. *Time-dependent service quality of network sections. Highway capacity and quality of service (June 28 – July 1 of 2011)*. Proc. of the 6-th International Symposium. Stockholm, Sweden, 2011, pp. 364–373.

10. Bertini R. L., Lyman K. Using travel time reliability measures to improve regional transportation planning and operations. Washington, *Transportation Research Record*, 2008, vol. 2016, pp. 1–10.

11. Bureau of Transportation Statistics. United States Department of Transportation, 2019. Available at: <https://www.bts.gov/content/travel-time-index> (accessed: 06.06.2019).

12. Chang J. S. Assessing travel time reliability in transport. *Journal of Transport. Geography*, 2010, vol. 18, pp. 419–425.

13. INRIX 2018 Global Traffic Scorecard. INRIX, 2019. Available at: <http://inrix.com/scorecard> (accessed: 06.06.2019).

14. TomTom Traffic Index, 2019. Available at: https://www.tomtom.com/en_gb/traffic-index/ (accessed: 06.06.2019).

15. *Travel time reliability: making it there on time, all the time*. United States Department of Transportation, 2019. Available at: https://ops.fhwa.dot.gov/publications/tt_reliability (accessed: 06.06.2019).