УДК 625.7

© В. Д. Тимоховец, ассистент

© В. Н. Ситников, канд. физ.-мат. наук, доцент

© А. А. Тестешев, канд. техн. наук, доцент

© Д. А. Сысоев, студент

(Тюменский индустриальный университет)

E-mail: verochka1987@mail.ru, sitnikovvn@tyuiu.ru,

alexmt2010@yandex.ru, dmitrij_sysuev@mail.ru

DOI 10.23968/1999-5571-2018-15-2-246-253

© V. D. Timokhovets, assistant lecturer

© V. N. Sitnikov, PhD in Sci. Phys.-Math., Associate Professor

© A. A. Testeshev, PhD in Sci. Tech., Associate Professor

© D. A. Sysuev, student

(Tyumen Industrial University)

E-mail: verochka1987@mail.ru, sitnikovvn@tyuiu.ru,

alexmt2010@yandex.ru, dmitrij_sysuev@mail.ru

ТИПИЗАЦИЯ УЛИЦ И ДОРОГ КРУПНЕЙШИХ ГОРОДОВ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ ДЛЯ ДИСТАНЦИОННОГО СПУТНИКОВОГО МОНИТОРИНГА ТРАНСПОРТНЫХ ПОТОКОВ

TYPE DESIGN OF STREETS AND ROADS OF THE LARGEST CITIES IN THE RUSSIAN FEDERATION FOR REMOTE TRANSPORT STREAM SATELLITE MONITORING

Рассматривается методика дистанционного мониторинга посредством спутникового наблюдения. Данная методика позволяет с дешифрованных онлайн-снимков улиц и дорог получать первичные характеристики транспортных потоков. Рассмотрены аспекты возможности мониторинга и предложена типизация улиц и дорог по критерию изменения интенсивности движения в течение суток.

Ключевые слова: дистанционный мониторинг, спутниковое наблюдение, типизация транспортных потоков, дешифровка онлайн-снимка.

The article deals with possibilities of using the method of remote-sensing monitoring by satellite observation. This technique allows getting the primary characteristics of traffic streams from the deciphered online images of streets and roads. The aspects of monitoring are examined. The street and road type design approach by the traffic intensity changes during the day is suggested.

Keywords: remote-sensing monitoring, satellite monitoring, type design of traffic streams, deciphering of the online image.

Непрерывный и стремительный рост современных мегаполисов должен базироваться на принципах технологичности, интеллектуализации и безопасности функциональных процессов, что требует наличия репрезентативной информации, отражающей объективные условия их работы.

Получение сетевой информации в режиме big data по кластерам городской инфраструктуры сопряжено с большими объемами работ и ресурсными затратами, а также другими сложностями.

В настоящее время одним из прогрессивных методов получения сведений для развития городской (и в частности транспортной) инфраструктуры является использование геоинформационных технологий, в том числе основанных на методике дистанционного спутникового монито-

ринга [1]. Основой метода является дешифровка онлайн-снимка — получение статических данных о дорожной ситуации (плотности движения, дистанции и т. д.) с их последующим преобразованием в характеристики дорожного движения (интенсивность и скорость) на основе закономерностей теории транспортных потоков (ТП).

При дешифровке используются предварительно полученные алгебраические функции, описывающие графическую зависимость зафиксированных значений плотности ТП и интенсивность движения (рис. 1).

Неоспоримым достоинством метода является высокая производительность, дистанционное получение искоемых параметров ТП и возможность автоматизации посредством компьютерного обеспечения.

Рис. 1. Квадратичная аппроксимация на примере ул. Ленина (Екатеринбург)

В настоящее время, согласно действующему СП 42.13330.2016¹, интенсивность движения вынесена за рамки категоричности улиц и городских дорог, что не позволяет детализированно рассчитать важные функциональные характеристики транспортных коммуникаций, такие как уровень загрузки, коэффициент суточной неравномерности движения, коэффициент полосности и ряд других показателей.

Дополнительные сложности возникают при идентификации улиц и дорог в связи с диспро-

порцией характеристик элементов городской инфраструктуры и нормативов документальной параметризации.

Действующая нормативная литература² в зависимости от функционального назначения определяет разделение транспортных коммуникаций по ряду категориальных признаков. По экспертным оценкам в настоящее время всего 9 % улиц и дорог крупнейших городов РФ соответствуют закрепленным категориям и их характеристикам согласно действующему СП.

В связи с этим были идентифицированы структурные связи, определяющие категорию в рамках действующего свода правил, и не учтенные им, но оказывающие существенное влияние на ресурсные затраты в жизненном цикле улиц и дорог (рис. 2).

С учетом оценки влияния регламентированных и неучтенных параметров и характеристик на назначение категорий улиц и дорог был выполнен сравнительный анализ транспортно-эксплуатационных и технико-эксплуатационных параметров с нормативными значениями по 15 крупнейшим городам РФ (табл. 1).

Согласно представленным табличным значениям в 70 % случаев фактические значения

² Там же.

Рис. 2. Структурные связи категорий улиц и их характеристик

Таблица 1

**Сравнение нормативных (по СП 42.13330) и фактических значений параметров улиц
и городских дорог (фрагмент)**

Группы улиц и дорог	Скорость движения, км/ч	Интенсивность движения, тыс. авт./сут	Ширина полосы движения, м	Число полос движения	Наименьший радиус кривых в плане, м	Ширина пешеходной части тротуара, м
Улицы регулируемого значения	70, 60, 50 (60)	$\frac{1-3^*}{(45-60)}$	3,25–3,75 (4,5)	4–6 (6–14)	310, 220, 140 (200–400)	3,0 (3,5)
Улицы транспортно-пешеходные	70, 60, 50 (50)	$\frac{1-3^*}{(25-45)}$	3,25–3,75 (4,0)	2–4 (4–6)	310, 220, 140 (150–250)	2,25 (3,0)
Улицы пешеходно-транспортные	50, 40, 30 (35)	$\frac{0,5-1^*}{(10-25)}$	3,0–3,5 (4,0)	2–4 (2)	140, 80, 40 (80–125)	2,0 (3,0)

Примечание. Приведены значения согласно СП 42.13330.2016. В скобках указаны фактические значения параметра;
* значение согласно СП 42.13330.2011.

параметров не соответствуют требованиям действующего СП, что существенно «огрубляет» результаты проектирования и содержания улиц и дорог в городских условиях.

Выполненная аналитическая оценка применения действующей классификации по категориям для решения задач дистанционного спутникового мониторинга показала невозможность получения достоверных результатов на ее основе, в связи с чем в рамках рассматриваемого метода была предложена локальная типизация улиц и городских дорог — деление на типы согласно значимым факторам.

Для решения задачи по уточнению позиционирования улиц в рамках рассматриваемого метода с 2010 г. было начато формирование банка данных характеристик транспортных потоков — интенсивности движения N и плотности ТП ρ . Для получения достоверных сведений режим сбора данных определялся расчетом выборки n согласно [3]. Суть расчета основана на оценке стабильности значений интенсивности в годовом цикле $\bar{N}$. Для всех крупнейших городов РФ устанавливались значения относительной точности учета Δ и относительной вероятности t_α . Далее определялось среднеквадратическое отклонение σ частного значения интенсивности от осредненного и коэффициент вариации v . Достоверность полученных результатов оценивалась абсолютной ошибкой ξ , величина которой не должна превышать нормативное значение.

Результаты расчета минимального необходимого числа замеров для каждого линейного транспортного объекта на примере восьми улиц различных мегаполисов приведены в табл. 2.

Таким образом, для возможности получения информации в доверительном интервале точности и надежности измерения проводились в режиме 3 замера в месяц для каждого из 15 крупнейших городов. В настоящее время в рамках выполняемой работы исследовано 6526 улиц из 26 105.

Невозможность выполнения натурного исследования транспортных условий на улично-дорожной сети (УДС) каждого населенного пункта предопределила необходимость сбора данных посредством удаленного учета при помощи видеокамер наружного наблюдения: D-LinkDCS-6510, PROvisionPVMD-IR412PA и других с различных интернет-ресурсов в режиме онлайн³.

С учетом региональных особенностей мониторинг выполнялся во время повышенной подвижности населения. Также было учтено расположение крупнейших городов в различных часовых поясах, что позволило выявить интервалы учета по времени (табл. 3).

При обработке полученного массива экспериментальных данных строились и выявлялись характерные истинно отличимые графические

³ Онлайн-web-камеры России. URL: <https://www.geocam.ru/in/russia/> (дата обращения: 19.11.2016).

Таблица 2

Минимальное количество замеров для достоверного результата (фрагмент)

Количество улиц	Москва		Санкт-Петербург		Новосибирск		Екатеринбург	
	3651		4323		1723		1061	
Количество исследованных улиц	390		528		382		254	
Фрагмент исследуемой улицы	Волгоградский пр.	Онежская ул.	Невский пр.	Литейный пр.	Пр. Ленина	Танковая ул.	Пр. Ленина	Ул. 8 Марта
Δ	0,11							
ξ	9892,1	9765,2	4892,1	4845,99	6475,3	5785,2	7652,2	2782,1
σ	31 245,7	29 012,2	14 987,1	14 592,1	16 287,2	15 378,2	24 235,2	8976,2
v	0,262	0,255	0,256	0,256	0,258	0,257	0,254	0,248
α	0,9							
t_{α}	1,66							
$\bar{N}$	95 426	88 345	45 234	44 123	56 782	48 276	76 524	28 453
n	16	18	15	15	11	14	15	12

зависимости $N = f(t)$ с использованием различных математических аппаратов. Для обработки использовались методы математического ожидания и линейной регрессии [4].

Для описания закономерностей, определяемых отклонением математического ожидания $\bar{N}$ от частных, использовался закон Гаусса:

$$\bar{N} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n N_i = \frac{1}{n} (N_1 + \dots + N_n), \quad (1)$$

Таблица 3

Интервалы учета транспортных условий для крупнейших городов Российской Федерации (фрагмент)

Часовой пояс	Город	Интервалы учета	Время пиковых интенсивностей
UTC+3	Москва, Ярославль, Волгоград, Нижний Новгород, Казань, Ростов-на-Дону, Самара, Воронеж	8:00–2:00	6:00–10:00 14:00–20:00
UTC+5	Пермь, Челябинск, Екатеринбург, Уфа	6:00–24:00	
UTC+6	Омск	5:00–23:00	
UTC+7	Новосибирск, Красноярск	4:00–22:00	
UTC+3	Москва, Ярославль, Волгоград, Нижний Новгород, Казань, Ростов-на-Дону, Самара, Воронеж	8:00–2:00	6:00–10:00 12:00–14:00 16:00–20:00
UTC+5	Пермь, Челябинск, Екатеринбург, Уфа	6:00–24:00	
UTC+6	Омск	5:00–23:00	
UTC+7	Новосибирск, Красноярск	4:00–22:00	
UTC+3	Москва, Ярославль, Волгоград, Нижний Новгород, Казань, Ростов-на-Дону, Самара, Воронеж	8:00–2:00	Убывающая интенсивность с 6:00 до 24:00
UTC+5	Пермь, Челябинск, Екатеринбург, Уфа	6:00–24:00	
UTC+6	Омск	5:00–23:00	
UTC+7	Новосибирск, Красноярск	4:00–22:00	
UTC+3	Москва, Ярославль, Волгоград, Нижний Новгород, Казань, Ростов-на-Дону, Самара, Воронеж	8:00–2:00	Равномерная интенсивность с 6:00 до 24:00
UTC+5	Пермь, Челябинск, Екатеринбург, Уфа	6:00–24:00	
UTC+6	Омск	5:00–23:00	
UTC+7	Новосибирск, Красноярск	4:00–22:00	

где $\bar{N}$ — случайная переменная часовой интенсивности движения, имеющая распределение вероятностей на выборке; N_i — интенсивность движения i -го часа; n — количество наблюдаемых значений с 6:00 до 24:00, $n = 19$.

Представленные графические зависимости наглядно демонстрируют полученные отклонения фиксируемых значений по часам (рис. 3).

Критерием выделения в самостоятельный тип улицы или городской дороги явилось превышение максимального значения над средним в 1,2–2,5 раза [2]. Выполненный расчет позволил определить отклонение среднего размера максимального значения от частного (табл. 4).

Для зависимостей, представленных линейной функцией $N = f(t)$, определялась парная регрес-

сия по методу Ф. Гальтона, оптимально описывающая соотношение между рассматриваемыми показателями (N и t) по следующей формуле:

$$N = a \cdot t + b, \quad (2)$$

где a и b — коэффициенты регрессии оцененной линии.

Описания беспиковых убывающих графических зависимостей выполнялись построением линии регрессии через облако точек: пример убывающей функции представлен на рис. 4, а, а график с равномерной интенсивностью — на рис. 4, б.

При построении линейной регрессии использовалось правило трех сигм [4], в связи с чем утренние значения интенсивности (6 и 7 часов) в исследовании не учитывались.

Рис. 3. Графическое изображение определения математического ожидания:
а — бимодальная модель; б — полимодальная модель

Таблица 4

Математическое ожидание (фрагмент)

Город	Улица	Значение пика			Среднее значение пика	Отклонение от среднего значения пика
		Утро	Обед	Вечер		
Москва	Волгоградский пр.	1,34	1,05	1,27	1,31	–0,30
Санкт-Петербург	Невский пр.	1,77	1,02	1,55	1,66	+0,05
Екатеринбург	Ул. 8 Марта	2,5	1,07	1,58	1,75	+0,14
Красноярск	Свободный пр.	2,05	1,01	1,76	1,91	+0,3
Пермь	Уральская-Вагановых ул.	1,54	1,04	1,25	1,4	–0,21
	Ул. Куйбышева-Соловьева	1,21	1,04	1,54	1,38	–0,23
Воронеж	Солнечная ул.	1,89	1,03	1,52	1,71	+0,1
Волгоград	Ул. Хиросимы	1,8	1,06	1,55	1,68	+0,07
Санкт-Петербург	Литейный пр.	1,31	1,24	1,39	1,31	–0,15
Новосибирск	Пл. Ленина	1,27	1,2	1,21	1,23	–0,23
Уфа	Ул. Менделеева	2,1	1,83	1,31	1,75	+0,29
Красноярск	Ул. Metallургов	1,71	1,45	1,68	1,61	+0,15

Рис. 4. Линейная регрессия интенсивности движения во времени: а — Танковая ул. (Новосибирск); б — пр. Ленина (Екатеринбург)

Расчеты для указанных типов улиц, выполненных по методу линейной регрессии, представлены в табл. 5.

В результате статистической обработки банка данных интенсивности движения были установлены следующие типы улиц и дорог с характерными особенностями:

I тип — наивысшая интенсивность в утренние и в вечерние часы (рис. 5, а);

II тип — наивысшая интенсивность в утренние, дневные и вечерние часы (рис. 5, б);

III тип — равномерное изменение интенсивности с трендом на убывание от утренних часов к вечерним (рис. 5, в);

IV тип — равномерная интенсивность в течение дня (рис. 5, г).

В целом по результатам проведенного исследования была выполнена типизация улиц и дорог в крупнейших городах РФ (табл. 6), позволившая разработать для каждого типа функциональные зависимости вида $N = f(p)$ в используемых для дешифровки материалах дистанционного спутникового мониторинга.

В развитие предлагаемой методики в дальнейшем планируется расширение банка данных интенсивности движения для охвата как можно большего количества улиц и дорог (в том числе за счет зарубежных стран) с их последующей типизацией, что позволит расширить области применения метода сетевого спутникового наблюдения.

Библиографический список

1. Testeshev A., Timohovetz V. Methodology of traffic flows remote monitoring in the Ural Federal District largest cities using satellite monitoring data. URL: <http://aip.scitation.org/toc/apc/1800/1?expanded=1800>
2. Маркуц В. М. Транспортные потоки автомобильных дорог и городских улиц (практические приложения). Тюмень, 2008. 108 с.
3. Хомяк Я. В. Организация дорожного движения. Киев: Высшая школа, 1986. 271 с.
4. Новиков Ф. А. Дискретная математика. 3-е изд. СПб.: Питер, 2017. 496 с.

Таблица 5

Значения линейной регрессии (фрагмент)

t	Линейная регрессия N	
	Новосибирск (Танковая ул.)	Екатеринбург (пр. Ленина)
6	5387,89	—
7	5156,49	—
8	4925,09	2554,90
9	4693,68	2555,02
10	4462,28	2555,15
11	4230,88	2555,27
12	3999,47	2555,39
13	3768,07	2555,51
14	3536,67	2555,64
15	3305,26	2555,76
16	3073,86	2555,88
17	2842,46	2556,00
18	2611,05	2556,13
19	2379,65	2556,25
20	2148,25	2556,37
21	1916,84	2556,50
22	1685,44	2556,62
23	1454,04	2556,74
24	1222,63	2556,86

Рис. 5. Диаграммы изменения часовой интенсивности (пример):
 а — I тип, Невский пр. (Санкт-Петербург); б — II тип, ул. Metallургов (Красноярск);
 в — III тип, ул. Энгельса (Челябинск); з — IV тип, пр. Ленина (Екатеринбург)

Таблица 6

Типизация улиц и городских дорог крупнейших городов РФ (фрагмент)

Наименование города	Тип дорог и улиц			
	I	II	III	IV
Москва	Енисейская Бакинская Летняя Плеханова	Волгоградский пр. Поварская Большая Бронная Олонецкая	Пречистенка Онежская Газгольдерная Горчакова	Дмитровское шоссе Гжельский переулок Пр. Апакова Джанкойская
Новосибирск	Никитина Академическая Баженова Волховская	Пл. Ленина Восточный проезд Житомирская Истринская	Танковая Кавказский переулок Пл. Кирова Левитана	Большевицкая Ленская Азовский переулок Кометная
Челябинск	Харлова Белозерская Широкая Прокатная	Пл. Революции Репина Ташкентская Троицкий тракт	Дзержинского Ульяновская Фабричная Ачинская	Ленина Карла Маркса Белорусская Комсомольский пр.
Омск	Ватутина Аврорская Бакинская Аптечный переулок	Волгоградская Комкова Крылова Марченко	Омская Молодежная Разина Рижская	Воровского Никитина Энгельса 8 Марта
Пермь	Стахановская Арзамасская Башкова Планерная	Уральская-Вагановых Куйбышева-Соловьева Новая Переулок Стрелочников	Ягодная Усольская Тракторная Горная	Старцева Туркина Шадринская Моторная
Волгоград	Ангарская Бажова Бульвар Энгельса Докучаева	Автотранспортная Деповская Гайдара Нижнедонская	Куприна Орошаемая Советская Аджарская	Константина Симонова 30 Лет Победы Гоголя Чембарская

References

1. Testeshev A., Timokhovets V. *Methodology of traffic flows remote monitoring in the Ural Federal District largest cities using satellite monitoring data*. Available at: <http://aip.scitation.org/toc/apc/1800/1?expanded=1800>
2. Markuts V. M. *Transportnye potoki avtomobil'nykh dorog i gorodskikh ulits (prakticheskie prilozheniya)* [Traffic flows on highways and city streets (practical application)]. Tyumen, 2008, 108 p.
3. Khomyak Ya. V. *Organizatsiya dorozhnogo dvizheniya* [Traffic organization]. Kaliningrad, Vysshaya shkola Publ., 1986, 271 p.
4. Novikov F. A. *Diskretnaya matematika* [Discrete mathematics]. 3-rd edition. St. Petersburg, Piter Publ., 2017, 496 p.