

ИДЕНТИФИКАЦИЯ ОБЪЕКТОВ ГОРОДСКОЙ ИНФРАСТРУКТУРЫ ПРИ ДИСТАНЦИОННОМ СПУТНИКОВОМ ЗОНДИРОВАНИИ ТРАНСПОРТНЫХ ПОТОКОВ НА УЛИЦАХ С НЕРЕГУЛЯРНЫМ ДВИЖЕНИЕМ

А. А. Тестешев, Т. Г. Бабич
Тюменский индустриальный университет, Тюмень, Россия

IDENTIFICATION OF URBAN INFRASTRUCTURE OBJECTS USING THE REMOTE SATELLITE SENSING OF TRAFFIC FLOWS ON STREETS WITH IRREGULAR TRAFFIC

Alexander A. Testeshev, Tatyana G. Babich
Industrial University of Tyumen, Tyumen, Russia

Аннотация. В статье рассмотрены проблемы определения интенсивности транспортных потоков на улицах и дорогах с нерегулярным трафиком для целей проектирования, капитального ремонта, реконструкции и организации движения. Невозможность применения существующих методов зондирования на децентрализованных транспортных объектах и алгоритмов дешифровки материалов удаленного спутникового наблюдения предопределила необходимость разработки математической модели в рамках многофакторного прогнозирования. При изучении значимых факторов было исследовано влияние изменчивости плотности проживания жителей и вместимости общеобразовательных сооружений. Получены идентификационные признаки общеобразовательных учреждений,

Abstract. The article deals with the problems of determining the intensity of traffic flows on streets and roads with irregular traffic for the purposes of design, heavy repair, reconstruction and traffic management. The impossibility of using existing monitoring methods at decentralized transport facilities and algorithms for decrypting remote satellite surveillance materials predetermined the necessity of developing a mathematical model within the framework of multifactor forecasting. During the studying of significant factors, the influence of variability in the population density and the capacity of general education facilities was investigated. Identification signs of educational institutions used in the interpretation of satellite images were obtained. The polynomial dependences of the traffic intensity on the specified

используемые при интерпретации спутниковых снимков. Разработаны полиномиальные зависимости интенсивности движения от указанных характеристик. Выполненная корреляционная оценка позволяет судить о высокой степени достоверности результатов аналитического определения интенсивности на улицах с нерегулярным движением транспорта.

Ключевые слова: спутниковый мониторинг, нерегулярное движение, транспортный поток, интенсивность движения

characteristics were developed. The carried out correlation assessment allows us to talk about the high degree of reliability of results of analytical determination of intensity on the streets with irregular traffic.

Key words: satellite monitoring, irregular traffic, traffic flow, traffic intensity

Введение

В настоящее время развитие улично-дорожных сетей крупных и крупнейших городов не в полной мере соответствует темпам роста транспортной инфраструктуры городских территорий. Информационной основой решения данной проблемы является обеспеченность сведениями об объемах движения и характеристиках транспортных потоков [1, 2].

Специфические особенности транспортных сетей, заключающиеся в децентрализации их размещения, недостаточная обеспеченность средствами видеонаблюдения и формирование Big Data результатов мониторинга транспортных потоков в значительной мере усложняют, а порой и делают невозможным процесс сбора информации традиционными способами (посредством ручного учета, видеомониторинга).

Исследование характеристик транспортных потоков возможно методом дистанционного спутникового зондирования [3, 4], благодаря которому можно получить искомые данные посредством «одного окна» (монитора компьютера). Суть метода заключается в использовании спутниковых снимков для определения необходимых данных (плотности потока, количества полос движения, состояния покрытия и других) с последующим их математическим преобразованием в первичные параметры транспортного потока (интенсивность движения, скорость потока).

Область применения данного метода локализована исключительно транспортными объек-

тами с регулярным движением, спрос на которые в течение суток постоянен. Для улиц с нерегулярным движением и низкой интенсивностью транспортного потока, занимающих существенный объем в улично-дорожной сети городов, данная методика не может быть применена в силу низкой точности и недопустимости погрешности результатов. Для решения данной проблемы в рамках многофакторного прогнозирования были исследованы значимые параметры, формирующие модель транспортного спроса на улицах с нерегулярным движением [5].

Объект и методы исследования

Объектом исследования определен транспортный поток с малой интенсивностью движения на улицах с нерегулярным транспортным спросом, предметом – характеристики транспортных потоков на данных улицах.

В работе применяются теоретический и расчетно-аналитический методы исследования, также предлагается использовать расчетные аппараты в рамках теории массового обслуживания, теории транспортных потоков и теории статистики.

Основная часть исследования

При изучении улиц с нерегулярным движением ранее авторами было отмечено, что существенное влияние на изменение интенсивности движения на улицах с нерегулярным транспортным спросом оказывают места притяжения го-

ТРАНСПОРТ/TRANSPORT

родского населения (дошкольные, школьные образовательные учреждения, дома культуры, магазины, предприятия сферы услуг, медицинские учреждения и т. д.) и их мощность (местимость, пропускная способность и т. п.) [6]. Также было рассмотрено влияние дошкольных образовательных учреждений на изменение интенсивности движения. Оценка результатов показала высокую степень достоверности разработанных зависимостей [6]. Так как численность населения постоянно растет и возникает необходимость доставки несовершеннолетних в места обучения, было подробно рассмотрено влияние на транспортный спрос характеристик средних образовательных учреждений.

Для изучения брались результаты мониторинга земной поверхности спутником Landsat-8 [7, 8]. Данные спутниковые снимки находятся в открытом доступе и имеют разрешение, достаточное для идентификации объектов городской инфраструктуры с необходимой точностью.

В рамках исследования на примере города Тюмени были типизированы планировочные виды построек образовательных учреждений и установлена возможность их идентификации посредством геоинформационных систем. Были изучены форма, цветовая гамма и другие характеристики, полученные со спутниковых снимков, благодаря которым удалось определить вместимость школьных учреждений (таблица 1).

Таблица 1

Идентификационные признаки образовательных учреждений на спутниковом снимке

Шифр типового проекта	2С-02-9(2С-02-10)	224-1-493.86	224-1-142 и 224-1-358
Спутниковый снимок			
Вместимость, чел.	500	1 000	1 500
Процентное содержание (г. Тюмень)	25,4	18,4	23,8
Шифр типового проекта	221-1-384	2-02-328, 222-1-118 и др.	
Спутниковый снимок			
Вместимость, чел.	2 000	500–3 000	
Процентное содержание (г. Тюмень)	12,7	18,7	

Цветовая гамма крыш образовательных учреждений очень разнообразна. Фиксировались красный (18 %), коричневый (17 %), серый (17 %), синий (16 %), зеленый (8 %), черный (5 %), желтый (4 %), оранжевый и другие (15 %) цвета.

Разнообразие планировочных конфигураций (особенно современных образовательных учреждений) дало предпосылки для дополнительного изучения объектов инфраструктуры, являющихся обязательным атрибутом образовательных учреждений (рис. 1).

Совокупность сведений о форме, размере, цвете и наличии сопутствующих объектов инфраструктуры дает возможность с высокой точностью определить со спутникового снимка принадлежность объекта к образовательному учреждению и его вместимость.

Результаты

Исходя из вместимости образовательного учреждения и плотности населения (полученной по карте плотности населения города Тюмень), была разработана графическая зависимость, позволяющая определять суточную интенсивность движения по плотности проживающего населе-



Рис. 1. Сопутствующие архитектурные элементы: а) стадион; б) парковочное пространство; в) площадка для сбора детей; г) зеленые насаждения; д) искусственные неровности; е) ограждения

ния (рис. 2). Основой для полученных зависимостей послужили данные статистических наблюдений, выполненные с 2017 по 2021 год (всего 2 640 наблюдений). Наблюдения проводились с 5 утра до 24 часов ночи непосредственно на иссле-

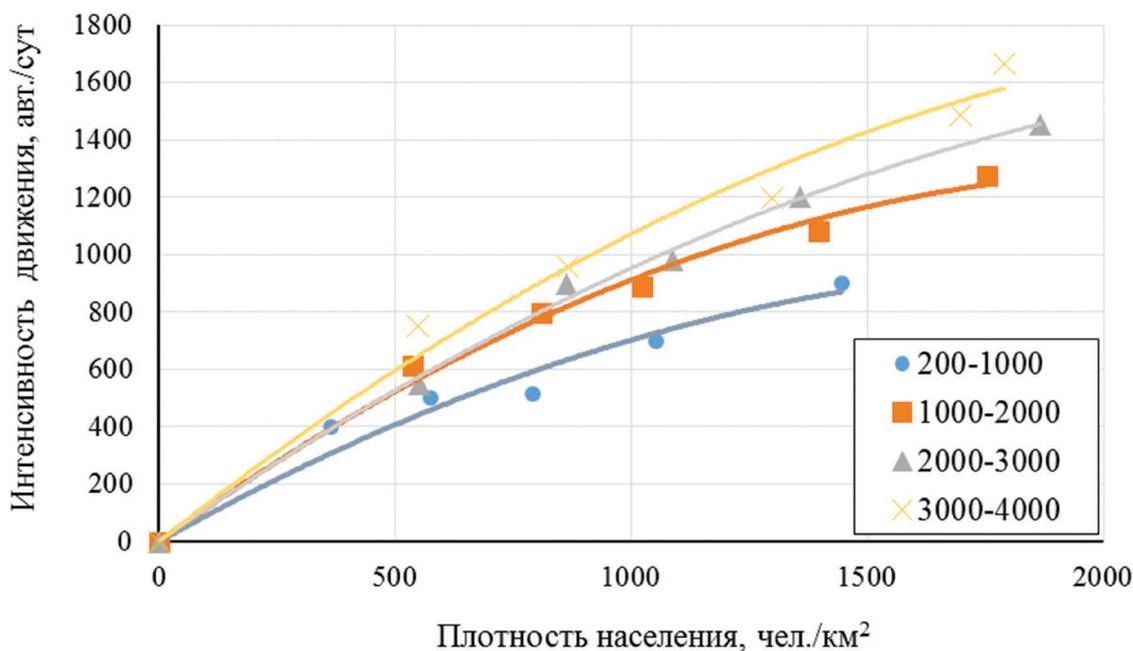


Рис. 2. График зависимости интенсивности движения от плотности населения с учетом вместимости общеобразовательных учреждений

дуемых объектах (улицах). Для получения более точных графических зависимостей учет интенсивности движения осуществлялся вручную.

Авторами отмечено, что на улицах с нерегулярным транспортным спросом преобладают легковые автомобили (92 %). В связи с этим в ходе дальнейшего исследования именно для данной группы автотранспортных средств разрабатывалась зависимость определения интенсивности движения.

При обработке результатов мониторинга было принято использовать суточную интенсивность как наиболее информативную (так как движение на улицах с низкой интенсивностью является нерегулярным и бывают часы с нулевым транспортным спросом).

Математическим описанием полученных графиков послужили разработанные полиномиальные зависимости интенсивности движения от плотности проживающего населения и вместимости общеобразовательных учреждений, представленные в таблице 2.

Корреляционная оценка [9] аналитического определения интенсивности движения на улицах с нерегулярным движением с данными фактических наблюдений показала погрешность, не превышающую 7,2 %, что характеризует достоверность результатов как высокую и делает возможным осуществление прогнозных расчетов двухфакторной модели транспортного спроса [10].

Таблица 2

Изменение интенсивности движения в зависимости от вместимости образовательных учреждений

Вместимость общеобразовательных учреждений, чел.	Вид зависимости
200–1 000	$N_{сут} = -0,0002 \rho_{нс}^2 + 0,9263 \rho_{нс}$
1 000–2 000	$N_{сут} = -0,0002 \rho_{нс}^2 + 1,1091 \rho_{нс}$
2 000–3 000	$N_{сут} = -0,0002 \rho_{нс}^2 + 1,1534 \rho_{нс}$
3 000–4 000	$N_{сут} = -0,0002 \rho_{нс}^2 + 1,3128 \rho_{нс}$

Выводы

Проверка разработанных уравнений показала, что отклонение расчетных значений от фактических не превышает 15 %, что говорит о высокой точности результатов исследования.

Продолжается работа по идентификации других значимых факторов, таких как наличие зданий, наделенных общественной функцией, и разработка мультипараметрического уравнения для определения интенсивности движения на улицах с нерегулярным транспортным спросом.

Библиографический список

1. Сильянов, В. В. Теория транспортных потоков в проектировании дорог и организации движения / В. В. Сильянов. – Москва : Транспорт, 1977. – 303 с. – Текст : непосредственный.
2. Тимоховец, В. Д. Совершенствование методов дистанционного мониторинга транспортных потоков для проектирования улично-дорожной сети крупных городов : специальность 05.23.11 «Проектирование и строительство дорог, аэродромов, метрополитенов, мостов и транспортных тоннелей» : диссертация на соискание ученой степени кандидата технических наук / Тимоховец Вера Дмитриевна ; Тюменский индустриальный университет. – Тюмень, 2020. – 133 с. – Текст : непосредственный.
3. Маркуц, В. М. Транспортные потоки автомобильных дорог и городских улиц : практическое приложение / В. М. Маркуц. – Тюмень, 2008. – 108 с. – Текст : непосредственный.
4. Дрю, Д. Р. Теория транспортных потоков и управление ими / Д. Р. Дрю ; пер. с англ. Е. Г. Коваленко, Г. Д. Шермана. – Москва : Транспорт, 1972. – 424 с. – Текст : непосредственный.

-
5. Тестешев, А. А. Исследование транспортных потоков на улицах с нерегулярным движением методом дистанционного спутникового мониторинга / А. А. Тестешев, Т. Г. Микеладзе. – DOI: 10.15593/24111678/2019.04.06. – Текст : непосредственный // Транспорт. Транспортные сооружения. Экология. – 2019. – № 4. – С. 51–57.
 6. Бабич, Т. Г. Идентификация и оценка влияния объектов притяжения на улицах с нерегулярным движением на характеристики транспортных потоков при дистанционном спутниковом мониторинге / Т. Г. Бабич, А. А. Тестешев. – Текст : непосредственный // Архитектурно-строительный и дорожно-транспортный комплексы : проблемы, перспективы, инновации : Сборник материалов V Международной научно-практической конференции, посвященной 90-летию ФГБОУ ВО «СибАДИ», Омск, 3–4 декабря 2020 года. – Омск : Сибирский государственный автомобильно-дорожный университет (СибАДИ), 2021. – С. 476–479.
 7. Landsat-8 (Ландсат-8) / Геопространственное агентство «ИННОТЕР» : [сайт]. – URL : <https://innoter.com/sputniki/landsat-8/>. – Текст : электронный (дата обращения : 22.03.2019).
 8. Космическая съемка. Совзонд : [сайт]. – URL : <https://sovzond.ru/products/spatial-data/satellites/>. – Текст : электронный (дата обращения : 29.01.2021).
 9. Величина и сила коэффициента корреляции. Математическая статистика для психологов : [сайт]. – URL : <https://statpsy.ru/correlation/velicina/>. – Текст : электронный (дата обращения : 29.01.2021).
 10. Хейт, Ф. Э Математическая теория транспортных потоков / Ф. Э. Хейт ; пер. с англ. Е. Г. Коваленко. – Москва : Мир, 1966. – 286 с. – Текст : непосредственный.

References

1. Sil'yanov, V. V. (1977). *Teoriya transportnykh potokov v proektirovanii dorog i organizatsii dvizheniya*. Moscow, Transport Publ., 303 p. (In Russian).
2. Timokhovets, V. D. (2020). *Sovershenstvovanie metodov distantsionnogo monitoringa transportnykh potokov dlya proektirovaniya ulichno-dorozhnoy seti krupnykh gorodov*. Diss. kand. tekhn. nauk. Tyumen, 133 p. (In Russian).
3. Markuts, V. M. (2008). *Transportnye potoki avtomobil'nykh dorog i gorodskikh ulits*. Tyumen, 108 p. (In Russian).
4. Drew, D. R. (1968). *Traffic Flow Theory and Control*. New York, Publ. McGraw Hill Text, 467 p. (In English).
5. Testeshev, A. A., & Mikeladze, T. G. (2019). Investigation of traffic flows on the streets with irregular traffic by remote satellite monitoring. *Transport. Transport Facilities. Ecology*, (4), pp. 51-57. (In Russian). DOI: 10.15593/24111678/2019.04.06
6. Babich, T. G., & Testeshev, A. A. (2021). Identification and assessment of the influence of objects of attraction on streets with irregular traffic on the characteristics of traffic flows using remote satellite monitoring. *Arkhitekturno-stroitel'nyy i dorozhno-transportnyy kompleksy: problemy, perspektivy, innovatsii*. *Sbornik materialov V Mezhdunarodnoy nauchno-prakticheskoy konferentsii, posvyashchennoy 90-letiyu FGBOU VO «SibADI»*, December 3–4. Omsk, Siberian State Automobile and Highway Academy Publ., pp. 476–479. (In Russian).
7. Landsat-8. *Geoprostranstvennoe agentstvo «INNOTER»*. (In Russian). Available at: <https://innoter.com/sputniki/landsat-8/> (date of the application: 22.03.2019).
8. *Kosmicheskaya s'emka. Sovzond*. (In Russian). Available at: <https://sovzond.ru/products/spatial-data/satellites/> (date of the application: 29.01.2019).
9. *Velichina i sila koeffitsienta korrelyatsii. Matematicheskaya statistika dlya psikhologov*. (In Russian). Available at: <https://statpsy.ru/correlation/velicina/> (date of the application: 29.01.2019).
10. Haight, F. A. (1963). *Mathematical Theories of Traffic Flow*. New York, Publ. Academic Press, 254 p. (In English).

Сведения об авторах

Тестешев Александр Александрович, к. т. н., доцент кафедры автомобильных дорог и аэродромов, Тюменский индустриальный университет, e-mail: testeshevaa@tyuiu.ru

Бабич Татьяна Григорьевна, ассистент кафедры автомобильных дорог и аэродромов, Тюменский индустриальный университет, e-mail: babichtg@tyuiu.ru

Information about the authors

Alexander A. Testeshev, Candidate of Engineering, Associate Professor at the Department of Highways and Airfields, Industrial University of Tyumen, e-mail: testeshevaa@tyuiu.ru

Tatyana G. Babich, Assistant at the Department of Highways and Airfields, Industrial University of Tyumen, e-mail: babichtg@tyuiu.ru

Для цитирования: Тестешев, А. А. Идентификация объектов городской инфраструктуры при дистанционном спутниковом зондировании транспортных потоков на улицах с нерегулярным движением / А. А. Тестешев, Т. Г. Бабич. – DOI: 10.31660/2782-232X-2021-4-60-66. – Текст : непосредственный // Архитектура, строительство, транспорт. – 2021. – № 4. – С. 60–66.

For citation: Testeshev, A. A., & Babich, T. G. (2021). Identification of urban infrastructure objects using the remote satellite sensing of traffic flows on streets with irregular traffic. *Arkhitektura, stroitel'stvo, transport* [Architecture, construction, transport], (4), pp. 60-66. (In Russian). DOI: 10.31660/2782-232X-2021-4-60-66.