

DOI: 10.15593/2409-5125/2020.01.01

УДК 656.13

**М.Р. Якимов**

Московский автомобильно-дорожный государственный  
технический университет

## **АНАЛИЗ ДАННЫХ О ДНЕВНОЙ НЕРАВНОМЕРНОСТИ ИНТЕНСИВНОСТИ ТРАНСПОРТНЫХ ПОТОКОВ НА УЛИЧНО-ДОРОЖНОЙ СЕТИ ГОРОДА ПЕРМИ**

Статья посвящена анализу большого массива данных по дневной неравномерности транспортных потоков на улично-дорожной сети города Перми с целью определения максимальной интенсивности в утренние и вечерние часы, а также определения изменения временных интервалов наступления утреннего и вечернего часа пик. Объектом исследования выбран город Пермь. В статье анализировались данные за продолжительный период времени проведения натурных наблюдений. Для анализа неравномерности распределения транспортных потоков город Пермь был разделен на отдельные территории: Центральное городское ядро (ограничено улицами: Комсомольский проспект, ул. Пушкина, Островского и Окулова), Центрально-планировочный район (ограничен дамбами, реками и железнодорожными путями, проходит по границам улиц: Окулова, Пушкина, Куйбышева, Белинского, Островского), периферийные районы (оставшаяся часть города Перми). Для каждой территории был проведен анализ дневных неравномерностей транспортных потоков, сформулировано понятие «час пик», предложен алгоритм поиска часа пик на основе максимизации разности двух определенных интегралов при неизвестных пределах интегрирования. С целью определения подынтегральной функции была проведена аппроксимация собранных данных полиномиальными линиями тренда четвертой степени в различные временные периоды на различных территориях города. В итоге были получены точные значения начала и конца часа пик в различные временные интервалы суток, как на отдельных территориях города, так и в разные периоды времени в течение последних 19 лет.

**Ключевые слова:** интенсивность, неравномерность движения, час пик, транспортный поток, сбор информации.

**Введение.** В городе Перми на протяжении 19 последних лет ведется регулярная работа по сбору, обработке и анализу данных об интенсивности и иных параметрах движения транспортных потоков на улично-дорожной сети. В октябре 2001 г. были проведены первые масштабные обследования интенсивности транспортных потоков на улично-дорожной сети города Перми в течение дня и построена первая картограмма наблюдаемой интенсивности движения с использованием геоинформационных систем.

В настоящее время проводятся ежегодные обследования параметров движения транспортных потоков, поддерживается актуальная база данных о текущих параметрах функционирования транспортной системы, а также хранятся данные о дневной неравномерности интенсивности транспортных потоков на улично-дорожной сети города Перми за последние 19 лет.

**Теоретические основы расчета времени максимальной часовой интенсивности транспортных потоков (час пик).** Исходными данными для определения времени максимальной часовой интенсивности транспортных потоков (часа пик) являются данные об интенсивности транспортных потоков, следующих по рассматриваемому участку улично-дорожной сети города в течение всего дня (с 07:00 до 20:00). Сбор и фиксация исходных данных осуществляется в каждый получасовой интервал в течение дня [1, с. 5–9].

Для последующего анализа получаемых исходных данных строится функция дневной неравномерности, которая аппроксимируется полиномиальной линией тренда  $y = f(x)$ . При этом в полученном уравнении  $x$  принимает значения в интервале от 7 до 20, что соответствует моменту времени в часах, в который оценивается интенсивность транспортных потоков. Данные об интенсивности транспортных потоков фиксируются по оси  $y$  и измеряются в получасовых интервалах.

Для анализа степени загрузки участков сети используется понятие «час пик». Час пик – это часовой интервал времени буднего дня, в течение которого наблюдается максимальная интенсивность транспортных потоков на исследуемом перегоне улично-дорожной сети (группе перегонов) [2, с. 57–63].

Начало часа пик –  $t$  (в часах) для функции  $y = f(x)$  находится из соотношения

$$p(t) = \max_t \int_t^{t+1} f(x) dx = \max \left[ \int_0^{t+1} f(x) dx - \int_0^t f(x) dx \right], \quad (1)$$

где  $t$  – время начала часа пик, ч;  $t + 1$  – время конца часа пик, ч;  $p(t)$  – максимальное значение часовой интенсивности в дневном интервале, ТС (транспортных средств);  $x$  – переменная, по которой проводится интегрирование полиномиальной функции  $y = f(x)$ , соответствует временному параметру, ч (от 7 до 20);  $f(x)$  – полиномиальная линия тренда, полученная в результате аппроксимации исходных данных об интенсивности транспортных потоков, ТС.

Первым шагом вычисляется интеграл  $\int_t^{t+1} f(x) dx$ .

Далее необходимо продифференцировать полученное выражение по  $t$  (верхнему пределу):

$$f(t+1) - f(t) = 0. \quad (2)$$

После этого необходимо найти нули функции и знаки производной в каждом интервале. В точках, где производная сначала возрастала, а потом начала убывать, определяется максимум функции – эти точки и будут являться началом часа пик [3, с. 101–102].

Описанные теоретические подходы будут применяться для расчета часов пик для различных районов города Перми для 2001, 2006, 2013, 2014, 2015, 2017, 2019 гг. наблюдений.

**Структура анализа неравномерности характеристик движения транспортных потоков по отдельным территориям города.** Выявление закономерностей и распределения интенсивности транспортных потоков на улично-дорожной сети города в течение дня в различных районах города необходимо для разработки схем организации и регулирования дорожного движения, моделирования ситуаций с движением транспорта в различные часы суток и прогнозирования условий дорожного движения [4–7]. С целью изучения данных характеристик город поделен на три территории:

1. Центральное городское ядро – ограничено улицами: Комсомольский проспект, ул. Пушкина, Островского и Окулова.
2. Центральнo-планировочный район – ограничен дамбами, реками и железнодорожными путями, проходит по границам улиц: Окулова, Пушкина, Куйбышева, Белинского, Островского.
3. Периферийные районы – оставшаяся часть города.

Графически разделение территории города приведено на рис. 1.

Выполнен анализ дневных неравномерностей отдельно для каждой территории.

**Центральное городское ядро.** На рис. 2 приведены усредненные по всем перегонам дневные колебания интенсивности транспортных потоков в Центральном городском ядре [8, с. 702–703].

На рис. 2 график «2001 год – 2019 год» – наблюдаемые интенсивности транспортных потоков, «Линия тренда (2001 год) – Линия тренда (2019 год)» – полиномиальные линии тренда четвертой степени в различные временные периоды.

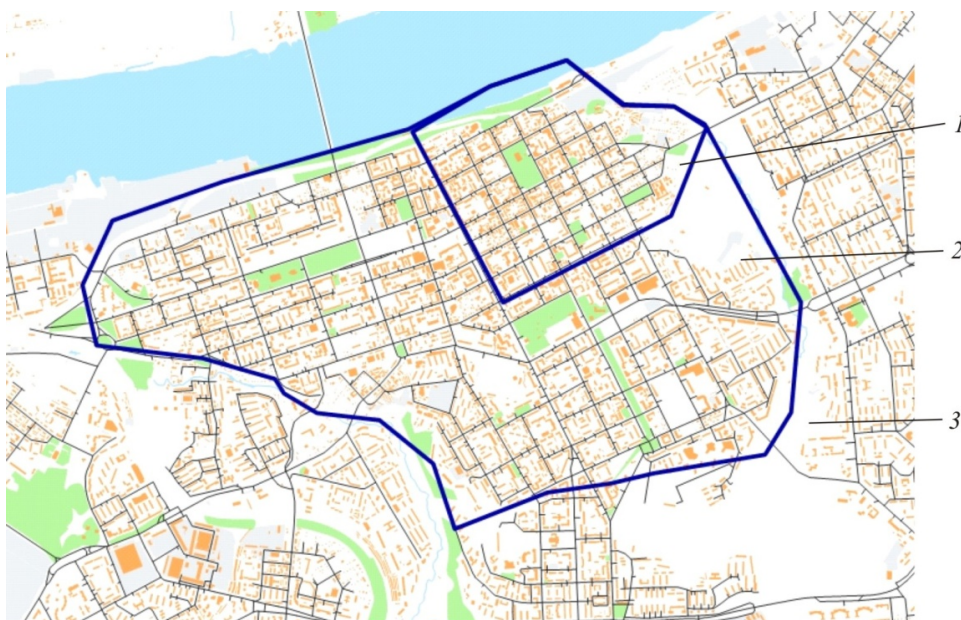


Рис. 1. Картограмма территориального разделения г. Перми: 1 – центральное городское ядро; 2 – центрально-планировочный район; 3 – периферийные районы

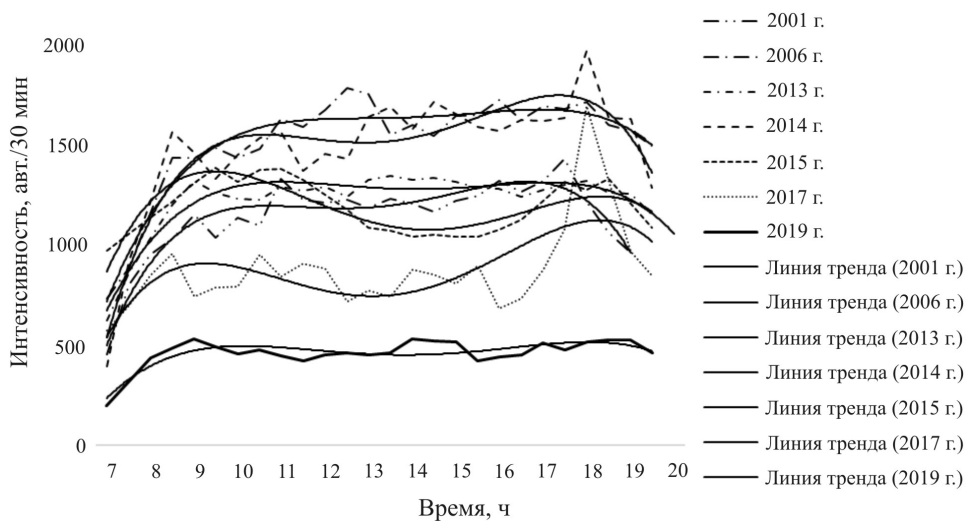


Рис. 2. Дневные колебания интенсивности транспортных потоков в центральном городском ядре в 2001–2019 гг.

Интервалы времени, в течение которого наблюдается максимальная интенсивность транспортных потоков в центральном городском ядре в утреннее и вечернее время, для обследований в 2001–2019 гг. приведены в табл. 1.

Таблица 1

## Часы пик для центрального городского ядра

Показатель	Годы						
	2001	2006	2013	2014	2015	2017	2019
Утренний час пик	10:41–11:41	12:21–13:21	10:33–11:33	10:10–11:10	9:01–10:01	8:49–9:49	9:41–10:41
Вечерний час пик	16:36–17:36	16:26–17:26	16:34–17:34	16:50–17:50	17:48–18:48	17:46–18:46	17:30–18:30

Установлено, что в утреннее время в последние несколько лет час пик в центральном городском ядре возникает все в более ранние сроки. Интенсивность движения в центральном городском ядре в течение дня не имеет явно выраженных пиковых нагрузок. Так, пиковыми часами в 2001–2013 гг. являются дневные часы с 10:33 до 12:21 в первой половине дня и с 16:26 до 16:36 во второй половине дня. С 2014 по 2019 г. пиковые часы в центральном городском ядре стали более выраженными в утренний период с 8:49 до 9:41, а вечерний час пик – с 16:50 до 17:48.

**Центрально-планировочный район.** На рис. 3 приведены усредненные по всем перегонам дневные колебания интенсивности транспортных потоков в центрально-планировочном районе.

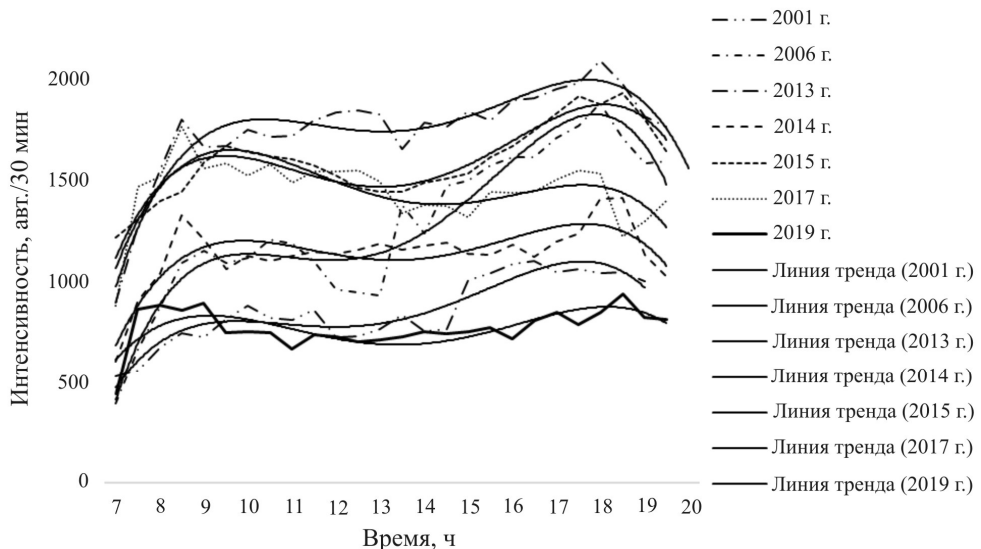


Рис. 3. Дневные колебания интенсивности транспортных потоков в центрально-планировочном районе в 2001–2019 гг.

На рис. 3 графики «2001 г. – 2019 г.» – наблюдаемые интенсивности транспортных потоков, «Линия тренда (2001 г.) – Линия тренда (2019 г.)» –

полиномиальные линии тренда четвертой степени в различные временные периоды.

Данные о часах пик для 2001–2019 гг. приведены в табл. 2.

Таблица 2

Часы пик для Центрально-планировочного района

Показатель	Годы						
	2001	2006	2013	2014	2015	2017	2019
Утренний час пик	9:48–10:48	9:34–10:34	9:55–10:55	9:26–10:26	9:01–10:01	9:08–10:08	8:40–9:40
Вечерний час пик	17:33–18:33	17:21–18:21	17:11–18:11	17:07–18:07	17:34–18:34	17:02–18:02	17:37–18:37

За последние четыре года в утреннее время час пик в центрально-планировочном районе наступает в более ранний срок, чем в центральном городском ядре (исключение составили 2013 и 2017 г.). В вечернее время час пик в центрально-планировочном районе начинается позже, чем в центральном городском ядре. Можно отметить, что активность в центрально-планировочном районе в 2019 г. начинается в 8:40 и заканчивается в 18:37, что связано с деловой активностью населения.

**Периферийная часть города.** На рис. 4 приведены усредненные по всем перегонам дневные колебания интенсивности транспортных потоков в периферийной части г. Перми.

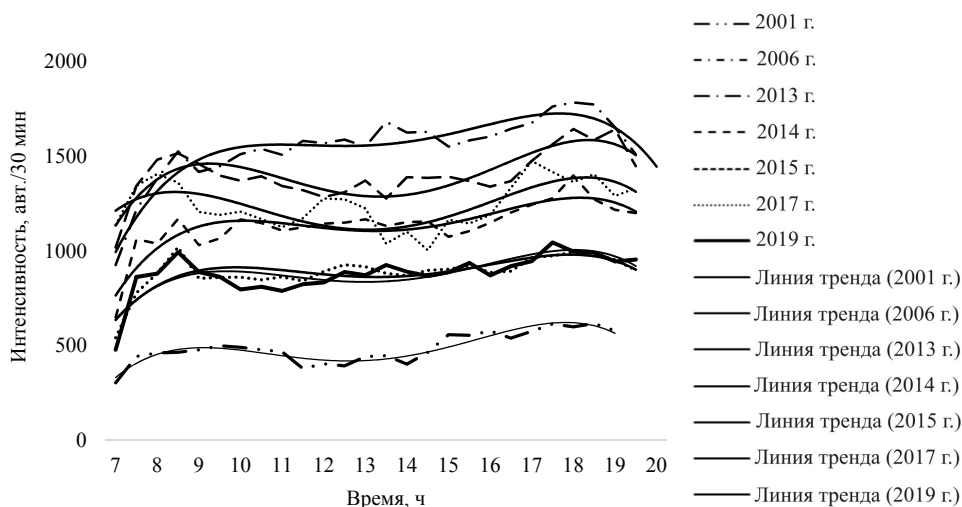


Рис. 4. Дневные колебания интенсивности транспортных потоков в периферийной части города Перми в 2001–2019 гг.

На рис. 4 графики «2001 г. – 2019 г.» – наблюдаемые интенсивности транспортных потоков, «Линия тренда (2001 г.) – Линия тренда (2019 г.)» – полиномиальные линии тренда четвертой степени в различные временные периоды

Данные о часах пик для 2001–2019 гг. приведены в табл. 3.

Таблица 3

Часы пик для периферийной части города

Показатель	Годы						
	2001	2006	2013	2014	2015	2017	2019
Утренний час пик	9:09–10:09	9:26–10:26	10:31–11:31	9:37–10:37	8:47–9:47	7:58–8:58	9:12–10:12
Вечерний час пик	17:47–18:47	17:24–18:24	17:07–18:07	17:38–18:38	17:50–18:50	17:46–18:46	17:29–18:29

Для периферийной части города явно выраженной тенденции к смещению часа пик в период с 2001 по 2019 г. не выявлено. В утреннее время в среднем начало часа пик наблюдается в период с 7:58 до 10:31, в вечернее время – в период с 17:07 до 18:50 [9–13].

Усредненные по всем перегонам дневные колебания интенсивности транспортных потоков в целом по городу Перми представлены на рис. 5.

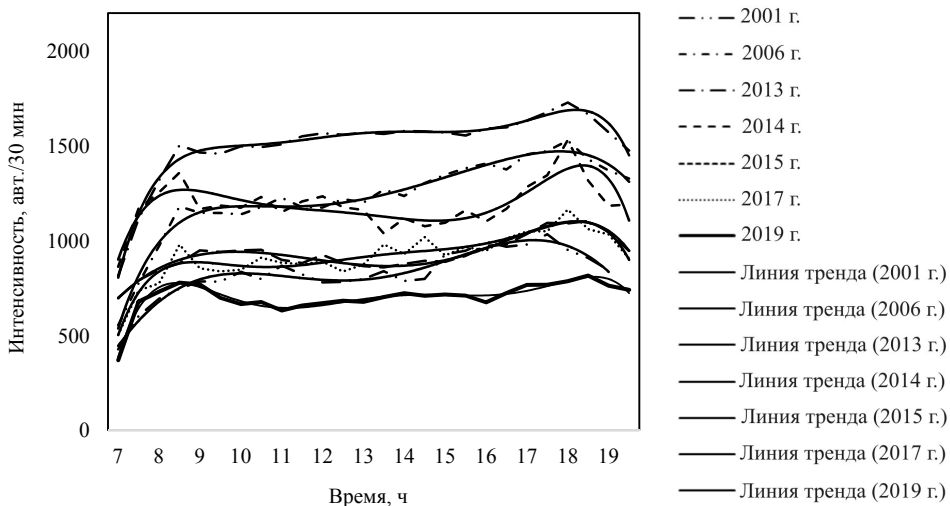


Рис. 5. Дневные колебания интенсивности транспортных потоков в целом по городу Перми в 2001–2019 гг.

На рис. 5 графики «2001 г. – 2019 г.» – наблюдаемые интенсивности транспортных потоков, «Линия тренда (2001 г.) – Линия тренда (2019 г.)» –

полиномиальные линии тренда четвертой степени в различные временные периоды

Данные о часах пик для 2001–2019 гг. приведены в табл. 4 и рис. 6. За последние четыре года утренний час пик наступает все раньше; вечерний час пик за последние четыре года с каждым годом сдвигается на более позднее время.

Таблица 4

Часы пик для города в целом

Показатель	Годы						
	2001	2006	2013	2014	2015	2017	2019
Утренний час пик	10:02–11:02	10:22–11:22	10:17–11:17	9:37–10:37	9:01–10:01	8:46–9:46	9:06–10:06
Вечерний час пик	17:14–18:14	17:13–18:13	17:03–18:03	17:12–18:12	17:35–18:35	17:32–18:32	17:33–18:33

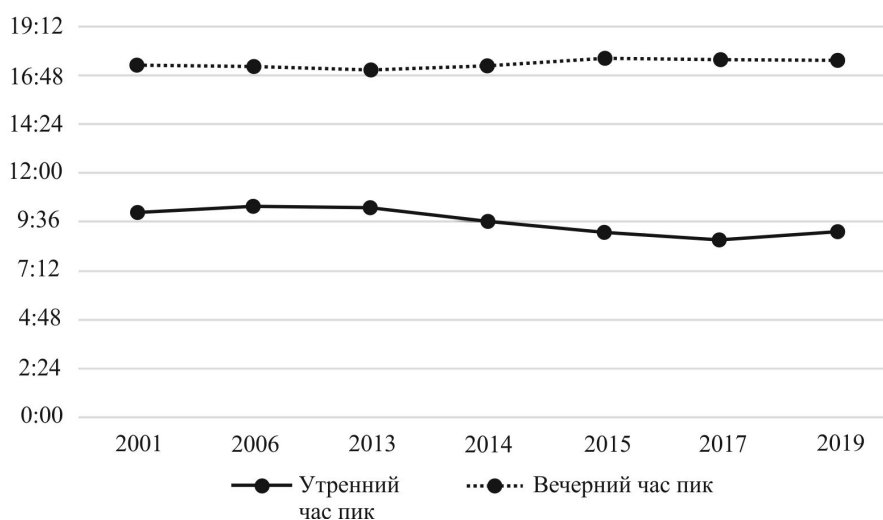


Рис. 6. График изменения начала часов пик в целом по городу Перми в 2001–2019 гг.

**Заключение.** С каждым годом все больше увеличивается промежуток времени, в течение которого люди заняты активной деятельностью, вовлечены в трудовые отношения и в полной мере реализуют с помощью транспорта свои объективно обусловленные транспортные потребности [14, 15]. С точки зрения функционирования городской транспортной системы это означает, что с каждым годом повышается эффективность функционирования улично-дорожной сети, так как промежуток времени, в течение которого она максимально используется, постоянно увеличива-



ется. Это соответствует общемировым тенденциям изменения структуры экономики, роста производительности труда и вовлечения все большего количества людей из сферы материального производства в сферу обработки информации, которая нагружает транспортную систему все в более длительный промежуток времени между утренним и вечерним часом пик. Для города Перми, как для индустриального миллионного города, следует ожидать продолжения подобных тенденций при планировании транспортной системы.

#### Список литературы

1. Якимов М.Р., Трофименко Ю.В. Транспортное планирование: формирование эффективных транспортных систем крупных городов. – М.: Логос, 2013. – 447 с.
2. Якимов М.Р. Транспортные системы крупных городов. Анализ режимов работы на примере города Перми. – Пермь: Изд-во Перм. гос. техн. ун-та, 2008. – 169 с.
3. Якимов М.Р. Концепция транспортного планирования и организации движения в крупных городах. – Пермь: Изд-во Перм. гос. техн. ун-та, 2011. – 175 с.
4. Desaulniers G., Hickman M. Public transit // *Handbooks in Operation Research and Management Science*. – 2017. – P. 69–120.
5. Fan W., Machemehl R. Optimal transit route network design problem: algorithms, implementations, and numerical results // *Tech. Rep. SWUTC/04/ 167244-1*, Center for Transportation Research, University of Texas. – 2004.
6. Zhao F., Gan A. Optimization of transit network to minimize transfers // *Tech. Rep. BD015-02 / Florida Department of Transportation, Center for Transportation Research*. – Florida International University, 2003.
7. Baaj M.H., Mahmassani H.S. Hybrid route generation heuristic algorithm for the design of transit networks // *Transportation Research Part*. – 1995. – P. 31–50.
8. Yakimov M. Optimal Models used to provide urban transport systems efficiency and safety // *Transportation Research Procedia*. Vol. 20: 12th International Conference Organization and Traffic Safety Management in large cities, SPbOTSIC-2016, 28–30 September 2016. – St. Petersburg, Russia, 2017. – P. 702–708.
9. Murray A.T. A coverage model for improving public transit system accessibility and expanding access // *Annals of Operations Research*. – 2003. – P. 123, 143–156.
10. Benn H.P. Bus route evaluation standards // *Tech. Rep.*, Transportation Research Board. – Washington, 1995.
11. Bunte S., Kliwer N., Suhl L. An overview on vehicle scheduling models in public transport // *Proceedings of the 10th International Conference on Computer-Aided Scheduling of Public Transport*, Leeds, UK. – Springer-Verlag, 2006.
12. Borndörfer R., Grötschel, M., Pfetsch, M.E. A path-based model for line planning in public transport // *Tech. Rep. Report 05-18*, ZIB. – 2005.
13. Guan J.F., Yang H., Wirasinghe S.C. Simultaneous optimization of transit line configuration and passenger line assignment // *Transportation Research Part B* 40 (10). – 2003. – P. 885–902.
14. Zhao F., Ubaka I. Transit network optimization – minimizing transfers and optimizing route directness // *Journal of Public Transportation* 7(1). – 2004. – P. 67–82.
15. Zhao F., Zeng X. Simulated annealing-genetic algorithm for transit network optimization // *Journal of Computing in Civil Engineering* 20 (1). – 2006. – P. 57–68.

### References

1. Yakimov M.R., Trofimenko Yu.V. Transportnoe planirovanie: formirovanie effektivnih transportnih sistem krupnih gorodov [Transport planning: the formation of efficient transport systems in large cities]. M.: Logos, 2013, 447 p.
2. Yakimov M.R. Transportnie sistemi krupnih gorodov. Analiz rejimov raboti na primere goroda Permi. [Transport systems of large cities. Analysis of operating modes on the example of the city of Perm]. // Perm. gos. tech. univer., Perm: Izdatelstvo PGTU, 2008, 169 p.
3. Yakimov M.R. Konceptsiya transportnogo planirivaniya i organizacii dvizheniya v krupnih gorodah [The concept of transport planning and traffic management in large cities] // Perm. gos. tech. univer., Perm: Izdatelstvo PGTU, 2011, 175 p.
4. Desaulniers, G., Hickman, M. Public transit // Handbooks in Operation Research and Management Science. – 2017. – P. 69-120.
5. Fan, W., Machemehl, R. Optimal transit route network design problem: algorithms, implementations, and numerical results // Tech. Rep. SWUTC/04/ 167244-1, Center for Transportation Research, University of Texas. – 2004.
6. Zhao, F., Gan, A. Optimization of transit network to minimize transfers // Tech. Rep. BD015-02, Florida Department of Transportation, Center for Transportation Research, Florida International University. – 2003.
7. Baaj, M.H., Mahmassani, H.S. Hybrid route generation heuristic algorithm for the design of transit networks // Transportation Research Part. – 1995. – P. 31-50.
8. Yakimov, M. Optimal Models used to Provide Urban Transport Systems Efficiency and Safety // Transportation Research Procedia. – Vol. 20: 12th International Conference Organization and Traffic Safety Management in large cities, SPbOTSIC-2016, 28-30 September 2016, St. Petersburg, Russia, 2017, pp. 702-708.
9. Murray, A.T. A coverage model for improving public transit system accessibility and expanding access // Annals of Operations Research. – 2003. – P. 123,143-156.
10. Benn, H.P. Bus route evaluation standards // Tech. Rep., Transportation Research Board, Washington. – 1995.
11. Bunte, S., Kliewer, N., Suhl, L. An overview on vehicle scheduling models in public transport // In: Proceedings of the 10th International Conference on Computer-Aided Scheduling of Public Transport, Leeds, UK. Springer-Verlag. – 2006.
12. Borndörfer, R., Grötschel, M., Pfetsch, M.E. A path-based model for line planning in public transport // Tech. Rep. Report 05-18, ZIB. – 2005.
13. Guan, J.F., Yang, H., Wirasinghe, S.C. Simultaneous optimization of transit line configuration and passenger line assignment // Transportation Research Part B 40 (10). – 2003. – P. 885-902.
14. Zhao, F., Ubaka, I. Transit network optimization – minimizing transfers and optimizing route directness // Journal of Public Transportation 7(1). – 2004. – P. 67-82.
15. Zhao, F., Zeng, X. Simulated annealing-genetic algorithm for transit network optimization // Journal of Computing in Civil Engineering 20 (1). – 2006. – P. 57-68.

Получено 20.12.2019

**M. Yakimov**

**ANALYSIS OF HISTORICAL DATA ON THE DAY DIFFERENCE  
OF THE INTENSITY OF TRANSPORT FLOWS ON THE STREET-ROAD  
NETWORK OF THE CITY OF PERM**

The article is devoted to the analysis of a large body of data on the daily unevenness of traffic flows on the street road network of the city of Perm in order to determine the maximum intensity in the morning and evening hours, as well as to determine the change in time intervals of the onset of morning and evening "rush hour". The city of Perm was chosen as the object of study. The article analyzed data for a long period of time for field observations. To analyze the uneven distribution of traffic flows, the city of Perm was divided into separate territories: the Central city core (limited by the streets: Komsomolsky prospekt, Pushkin St., Ostrovsky St. and Okulov St.), the Central planning district (limited by dams, rivers and railways, passes along the borders of the streets: Okulova, Pushkin, Kuibyshev, Belinsky, Ostrovsky), Peripheral areas (the rest of the city of Perm). For each territory, an analysis of daily irregularities in traffic flows was carried out, the concept of "rush hour" was formulated, and an algorithm for searching "rush hour" was proposed based on maximizing the difference of two defined integrals with unknown integration limits. In order to determine the integrand, the data collected were approximated by polynomial trend lines of the fourth degree at different time periods in different areas of the city. As a result, the exact values of the beginning and end of the "rush hour" were obtained at different time intervals of the day, both in certain areas of the city and at different time periods over the past 19 years.

**Keywords:** intensity; uneven movement; peak hour; traffic flow; collection of information.

**Якимов Михаил Ростиславович** (Москва, Россия) – д-р техн. наук, профессор кафедры «Организация и безопасность движения», Московский автомобильно-дорожный государственный технический университет (МАДИ) (125319, г. Москва, Ленинградский пр., 64, e-mail: yakimov@rosacademtrans.ru).

**Yakimov Mikhail** (Moscow, Russian Federation) – Doctor of Technical Sciences, Professor, Moscow Automobile and Road Construction State Technical University (MADI) (125319, Moscow, Leningradskiy av., 64, e-mail: yakimov@rosacademtrans.ru).