



Международный журнал информационных технологий и энергоэффективности

Сайт журнала:

<http://www.openaccessscience.ru/index.php/ijcse/>



УДК 004.85; 004.627

АНАЛИЗ ТРАНСПОРТНЫХ ПОТОКОВ НА ПЕРЕКРЕСТКАХ УЛИЧНО-ДОРОЖНОЙ СЕТИ ЦЕНТРАЛЬНОГО РАЙОНА ГОРОДА МОСКВЫ

Заводов М.Д.,¹ Киселев Е.С.

ФГАОУ ВО "МОСКОВСКИЙ ПОЛИТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ", Москва, Россия (107023, город Москва, Большая Семёновская ул., д. 38), e-mail: ¹ kiselev_zhora@bk.ru

В работе рассматривается анализ автотранспортного потока на городских перекрёстках на основе агрегированных данных сервиса TomTom. Исследование выполнено на примере улично-дорожной сети Тверского района г. Москвы по данным с 1 по 30 августа 2024 года. В качестве исходной информации использованы статистические показатели скорости движения и времени проезда транспортных средств по сегментам улично-дорожной сети, агрегированные по временным интервалам суток. В рамках исследования выполнен анализ суточной динамики транспортных характеристик на отдельных улицах района, включая 1-ю Тверскую-Ямскую улицу, Никитский бульвар, Цветной бульвар и Краснопролетарскую улицу. Показано, что транспортные условия в пределах одного района существенно различаются в зависимости от типа улицы и временного интервала суток. Выявлены улицы с критическим снижением средней скорости движения в вечерний период, а также сегменты с повышенной вариативностью транспортного потока.

Ключевые слова: Автотранспортный поток, перекрёсток, улично-дорожная сеть, TomTom, средняя скорость, транспортные задержки, организация движения.

TRAFFIC FLOW ANALYSIS AT INTERSECTIONS IN THE CENTRAL DISTRICT OF MOSCOW

Zavodov M.D.¹ Kiselev E.S.

MOSCOW POLYTECHNIC UNIVERSITY, Moscow, Russia (107023, Moscow, Bolshaya Semenovskaya ul., 38), e-mail: ¹ kiselev_zhora@bk.ru

This paper analyzes traffic flow at urban intersections using aggregated data from the TomTom service. The study was conducted using the street and road network of the Tverskoy District of Moscow as a case study, using data from August 1 to 30, 2024. The initial data used included statistical indicators of vehicle speed and travel time across segments of the street and road network, aggregated by time intervals. The study analyzed the daily dynamics of transport characteristics on individual streets in the district, including 1st Tverskaya-Yamskaya Street, Nikitsky Boulevard, Tsvetnoy Boulevard, and Krasnoproletarskaya Street. It was shown that transport conditions within a single district vary significantly depending on the street type and time interval. Streets with a critical decrease in average travel speed in the evening, as well as segments with increased variability in traffic flow, were identified.

Keywords: Traffic flow, intersection, street and road network, TomTom, average speed, traffic delays, traffic management.

Введение

Центральные районы крупных городов характеризуются высокой плотностью перекрёстков, интенсивным транспортным движением и ограниченными возможностями для расширения улично-дорожной сети. В таких условиях эффективность функционирования

транспортной системы во многом определяется качеством организации движения на перекрестках и способностью адаптации к суточным колебаниям транспортных потоков.

Тверской район г. Москвы является одним из наиболее показательных с точки зрения транспортной нагрузки. На его территории сосредоточены магистральные улицы общегородского значения, бульварные зоны, площади и локальные улицы, формирующие сложную и неоднородную транспортную структуру. Суточная неравномерность движения приводит к формированию устойчивых часов пик, сопровождающихся снижением средней скорости и ростом времени проезда.

В условиях цифровизации городского управления всё большую роль играют агрегированные данные о фактическом движении транспортных средств, получаемые от навигационных сервисов. Использование таких данных позволяет анализировать реальные условия движения и выявлять проблемные участки улично-дорожной сети.

1. Основы анализа транспортных потоков.

Транспортный поток представляет собой совокупность транспортных средств, движущихся по улично-дорожной сети в заданный момент времени. Основными параметрами, используемыми для его описания, являются скорость движения, интенсивность и плотность [1].

Анализ движения на перекрестках может рассматриваться как процесс оценки указанных параметров с целью определения эффективности функционирования транспортной системы. В современных подходах основное внимание уделяется не только пропускной способности, но и устойчивости движения, вариативности транспортного потока и времени проезда [6].

Особое значение имеет временной аспект управления движением. Суточная динамика транспортных потоков требует применения различных режимов организации движения в зависимости от временного интервала. Универсальные решения, не учитывающие временные колебания, как правило, оказываются неэффективными в часы пик.

2. Исходные данные.

Для проведения анализа использованы агрегированные данные сервиса TomTom с 1 по 30 августа 2024 года, представленные в формате JSON [2]. Данные охватывают сегменты улично-дорожной сети Тверского района г. Москвы и содержат статистику движения транспортных средств.

Каждый сегмент описывается следующими параметрами:

- название улицы;
- геометрия сегмента;
- допустимая скорость;
- функциональный класс дороги;
- средняя, медианная и гармоническая скорость движения;
- стандартное отклонение скорости;
- среднее и медианное время проезда;
- отношение фактического времени проезда к эталонному;
- объём выборки наблюдений.

Анализ выполнялся по шести временным интервалам суток:

- 06:00–09:00;
- 09:00–12:00;
- 12:00–15:00;
- 15:00–17:00;
- 17:00–20:00;
- 20:00–23:00.

Ночной период не рассматривался из-за низкой интенсивности движения и ограниченной значимости для задач анализа перекрёстков.

Фактическое движение транспортных средств носит неравномерный характер и сопровождается остановками, рывками и резкими изменениями скорости, наиболее заметными в зоне перекрёстков. В таких условиях информативность средних значений скорости и времени проезда ограничена, поэтому важную роль приобретают показатели вариативности движения, включая стандартное отклонение скорости, характеризующее устойчивость транспортного потока и процесс разряда очередей [7].

Перекрёстки в рамках исследования рассматриваются не как отдельные физические объекты, а как совокупности смежных сегментов улично-дорожной сети, сходящихся в узловых точках.

3. Анализ транспортных характеристик по отдельным улицам.

В анализируемую выборку вошли сегменты улично-дорожной сети следующих улиц и площадей Тверского района:

- 1-я Тверская-Ямская улица;
- Краснопролетарская улица;
- Цветной бульвар;
- Никитский бульвар;
- Садовая-Кудринская улица;
- Проспект Академика Сахарова;
- Большая Бронная улица;
- Смоленская площадь.

Указанные улицы формируют разнотипные перекрёстки — от магистральных транспортных узлов до локальных бульварных пересечений, что позволяет рассматривать различные режимы движения в пределах одного городского района.

3.1. 1-я Тверская-Ямская улица.

1-я Тверская-Ямская улица относится к числу магистральных улиц с высокой интенсивностью движения. В утренний период (06:00–09:00) средняя скорость движения близка к нормативным значениям и превышает 40 км/ч, что свидетельствует о достаточной пропускной способности перекрёстков в этот временной интервал.

В вечерний период (17:00–20:00) наблюдается снижение средней скорости до 35–40 км/ч и увеличение времени проезда на 40–60% по сравнению с эталонным. Это указывает на формирование перегрузки перекрёстков и рост транспортных задержек, однако движение сохраняет относительную устойчивость.

3.2. Никитский бульвар.

Никитский бульвар демонстрирует наиболее неблагоприятные условия движения среди рассмотренных улиц. В вечерний период средняя скорость движения снижается до 5–15 км/ч, а отношение фактического времени проезда к эталонному достигает значений 4–7.

Такая динамика свидетельствует о критическом снижении пропускной способности перекрёстков, что может быть обусловлено сочетанием высокой плотности пешеходных потоков, ограниченной ширины проезжей части и высокой чувствительности движения к локальным помехам.

3.3. Цветной бульвар.

Для Цветного бульвара характерна относительно стабильная транспортная ситуация в первой половине дня, когда средняя скорость движения превышает 40 км/ч. В вечерний период наблюдается рост вариативности скоростей и увеличение времени проезда, что указывает на нестабильность транспортного потока и формирование локальных заторов на перекрёстках.

3.4. Краснопролетарская улица.

Краснопролетарская улица характеризуется умеренной транспортной нагрузкой в утренние часы и существенным ухудшением условий движения в вечерний пик. Средняя скорость в интервале 17:00–20:00 снижается до 25–30 км/ч, а рост времени проезда превышает 80% по сравнению с эталонным.

3.5. Другие улицы района.

Садовая-Кудринская улица относится к числу магистральных улиц с устойчиво высокой транспортной нагрузкой. В течение большей части дня средняя скорость движения сохраняется на уровне 35–45 км/ч. В вечерний период (17:00–20:00) фиксируется рост времени проезда и снижение скорости, что указывает на перегрузку перекрёстков, однако характер движения остаётся относительно стабильным без резких колебаний скоростных параметров.

Проспект Академика Сахарова характеризуется сравнительно равномерным режимом движения в утренние и дневные часы. Средняя скорость движения в интервалах 06:00–15:00 превышает 40 км/ч. В вечерний период наблюдается снижение скорости и увеличение времени проезда, что связано с перераспределением транспортных потоков в центральной части города.

Большая Бронная улица относится к улицам локального значения с высокой чувствительностью к изменению транспортной нагрузки. В вечерний период фиксируется значительный рост времени проезда и увеличение вариативности скорости движения, что свидетельствует о нестабильности транспортного потока и высокой зависимости условий движения от локальных факторов.

Смоленская площадь представляет собой сложный транспортный узел, формируемый пересечением нескольких направлений движения. Анализ показывает, что в часы пик наблюдается снижение средней скорости и рост времени проезда, что указывает на высокую концентрацию транспортных потоков и повышенную нагрузку на перекрёстки, расположенные в пределах площади.

В Таблице 1 представлены усреднённые характеристики движения на отдельных улицах Тверского района в вечерний период.

Таблица 1 — Показатели движения в интервале 17:00–20:00

Улица	Средняя скорость, км/ч	Рост времени проезда	Характеристика движения
1-я Тверская-Ямская	35–40	+40–60%	Перегруженный, но устойчивый поток
Никитский бульвар	5–15	+300-600%	Критическая перегрузка
Цветной бульвар	40–45	+30–50%	Нестабильный поток
Краснопролетарская	25–30	+80–90%	Снижение пропускной способности

4. Факторы, определяющие пропускную способность перекрёстков и условия движения.

Анализ транспортных характеристик показал, что снижение средней скорости движения в пределах Тверского района обусловлено совокупным влиянием нескольких факторов, формирующих фактическую пропускную способность перекрёстков. Ограничения носят как регуляторный, так и геометрический и эксплуатационный характер.

Пропускная способность в рассматриваемых условиях определяется не только режимами светофорного регулирования, но и параметрами улично-дорожной сети, структурой транспортных потоков и поведением участников движения. Централизованные схемы управления, ориентированные на перекрёсток в целом, недостаточно эффективно учитывают индивидуальные параметры транспортных подпотоков, такие как интенсивность, скорость и наличие конфликтных точек [8].

4.1. Геометрические ограничения перекрёстков.

На ряде улиц (Никитский бульвар, Большая Бронная улица) пропускная способность ограничена геометрией проезжей части [4]:

- ограниченное количество полос движения;
- отсутствие выделенных полос для поворотов;
- малая длина накопительных карманов перед перекрёстками.

В таких условиях даже при достаточной длительности зелёного сигнала пропускная способность перекрёстка остаётся низкой, поскольку транспортные средства не успевают сформировать устойчивый поток.

Следствие: формирование очередей, рост времени проезда и резкое снижение средней скорости до 5–15 км/ч.

4.2. Влияние конфликтных манёвров.

Существенное снижение пропускной способности наблюдается на перекрёстках с высокой долей конфликтных манёвров [5]:

- левые повороты без отдельной фазы;
- пересечение встречных потоков;
- интенсивное пешеходное движение.

На Краснопролетарской улице и Цветном бульваре конфликтность приводит к неравномерному разряду очередей, что подтверждается ростом стандартного отклонения скорости и увеличением времени проезда на 80–90%.

Следствие: пропускная способность снижается не из-за интенсивности потока, а из-за невозможности его устойчивого пропуска.

4.3. Роль режимов светофорного регулирования.

Светофорное регулирование оказывает значительное влияние на пропускную способность, однако анализ показывает, что проблема заключается не в самом наличии регулирования, а в несоответствии распределения времени фаз фактической структуре потоков [3].

В вечерний период (17:00–20:00) на всех рассмотренных улицах фиксируется:

- рост времени ожидания;
- увеличение доли времени простоя в общем времени проезда;
- снижение эффективности каждого цикла светофора.

Это особенно заметно на магистральных улицах (1-я Тверская-Ямская, Садовая-Кудринская), где геометрия позволяет пропускать большой объём транспорта, но режимы регулирования не обеспечивают полного использования потенциала перекрёстков.

4.4 Эксплуатационные факторы.

Дополнительное влияние на пропускную способность оказывают эксплуатационные факторы:

- остановки общественного транспорта вблизи перекрёстков;
- парковка и остановка транспортных средств в зоне примыкания;
- снижение дисциплины движения в условиях перегрузки.

Эти факторы особенно заметны на улицах локального значения и в узловых зонах (Смоленская площадь), где даже кратковременное препятствие приводит к каскадному росту задержек.

Заключение.

В результате проведённого исследования выполнен анализ автотранспортного потока на регулируемых перекрёстках улично-дорожной сети Тверского района г. Москвы на основе агрегированных данных сервиса TomTom за период с 1 по 30 августа 2024 года. Использование статистических показателей скорости движения и времени проезда позволило охарактеризовать реальные условия функционирования транспортной сети в различные временные интервалы суток.

Анализ показал, что транспортные условия в пределах одного городского района существенно различаются в зависимости от типа улицы, структуры перекрёстков и временного интервала. На магистральных улицах (1-я Тверская-Ямская улица, Садовая-Кудринская улица, Проспект Академика Сахарова) в дневные часы сохраняется относительно высокая средняя скорость движения, однако в вечерний период фиксируется рост времени проезда, связанный с перегрузкой перекрёстков. Для улиц бульварного и локального значения (Никитский бульвар, Цветной бульвар, Большая Бронная улица) характерны более выраженные колебания скоростных параметров и резкое снижение пропускной способности в часы пик.

Ключевыми факторами, определяющими снижение средней скорости движения и рост транспортных задержек, являются геометрические ограничения перекрёстков, высокая доля конфликтных манёвров, несоответствие режимов светофорного регулирования фактической

структуре транспортных потоков, а также эксплуатационные помехи в зоне перекрёстков. При этом снижение эффективности движения в большинстве случаев связано не с недостаточной пропускной способностью улично-дорожной сети в целом, а с ограничениями на уровне отдельных узлов.

Проведённый анализ подтверждает, что наибольшие потери времени проезда формируются в вечерний период (17:00–20:00), когда интенсивность движения достигает максимальных значений и существующие схемы организации движения перестают обеспечивать устойчивый пропуск транспортных потоков. Особенно уязвимыми оказываются перекрёстки с высокой конфликтностью и ограниченной геометрией, где даже незначительные помехи приводят к резкому росту задержек.

Полученные результаты показывают, что повышение эффективности функционирования транспортной сети центрального городского района возможно за счёт комплексного учёта геометрических, регуляторных и эксплуатационных факторов, определяющих фактическую пропускную способность перекрёстков.

Список литературы

1. Highway Capacity Manual (HCM 6th Edition). URL: <https://nap.nationalacademies.org/read/24798/pdf/0309460190.pdf> (дата обращения: 03.01.2026).
2. TomTom traffic index URL: <https://www.tomtom.com/traffic-index/ranking/> (дата обращения 03.01.2026).
3. Методические рекомендации. ФГБУ «РосдорНИИ», Москва, 2018. URL: https://russianhighways.ru/upload/iblock/a80/STO_10_3_2018-_1_.pdf (дата обращения 03.01.2026).
4. Воробьёв А.В., Иванов И.И. Транспортные системы и моделирование движения. Москва: Наука, 2019.
5. Gartner N., Messer C., Rathi A. Traffic Flow Theory: A State-of-the-Art Report. U.S. Department of Transportation, FHWA, 2001.
6. Kerner B.S. The Physics of Traffic: Empirical Freeway Pattern Features, Engineering Applications, and Theory. Springer, 2004.
7. Елькин Д.М. Метод построения распределенных систем управления транспортными потоками на основе событийно связанных автоматных моделей: автореф. дис. канд. техн. наук. — Т., 2022.
8. Бочаров Д.А. Робастные алгоритмы локализации траекторий движения транспортных средств в видеопотоке: автореф. дис. ... канд. техн. наук. — М. 2022.

References

1. Highway Capacity Manual (HCM 6th Edition). URL: <https://nap.nationalacademies.org/read/24798/pdf/0309460190.pdf> (accessed on January 3, 2026).
2. TomTom Traffic Index URL: <https://www.tomtom.com/traffic-index/ranking/> (accessed on January 3, 2026).

3. Methodological Recommendations. RosdorNII, Moscow, 2018. URL: https://russianhighways.ru/upload/iblock/a80/STO_10_3_2018-_1_.pdf (accessed on January 3, 2026).
 4. Vorobyov A.V., Ivanov I.I. Transport Systems and Traffic Modeling. Moscow: Nauka, 2019.
 5. Gartner N., Messer C., Rathi A. Traffic Flow Theory: A State-of-the-Art Report. U.S. Department of Transportation, FHWA, 2001.
 6. Kerner B.S. The Physics of Traffic: Empirical Freeway Pattern Features, Engineering Applications, and Theory. Springer, 2004.
 7. Elkin D.M. A Method for Constructing Distributed Traffic Flow Management Systems Based on Event-Driven Automata Models: Abstract of a Cand. Sci. (Eng.) Dissertation. — Т., 2022.
 8. Bocharov D.A. Robust Algorithms for Localizing Vehicle Trajectories in a Video Stream: Abstract of a Cand. Sci. (Eng.) Dissertation. — М., 2022.
-