

УДК: 625.7/.8

DOI: 10.48612/NewsKSUAE/76.16

EDN: MVBXYW



Оценка воздействия интенсивности движения на скоростной режим на платных автомобильных дорогах

В.И. Брызгалов¹, М.О. Карпушко¹, А.М. Бургунутдинов¹

¹Пермский национальный исследовательский политехнический университет,
г. Пермь, Российская Федерация

Аннотация: *Постановка задачи.* Интенсивность движения определяет эксплуатационную надёжность автомобильных дорог, влияя на накопление деформаций дорожной одежды и пропускную способность. В условиях роста сети платных магистралей, в частности трассы М-12 «Восток», проектные прогнозы не всегда совпадают с реальной загрузкой. Это требует детального анализа фактических параметров движения для повышения достоверности расчётов и обоснования режимов наблюдений.

Цель работы выявление закономерностей изменения скорости и интенсивности транспортного потока на участке платной автомагистрали М-12. Для её достижения решены следующие задачи:

- установление зависимости средней скорости транспортного потока от его интенсивности;
- оценка суточной и недельной динамики интенсивности;
- определение стабильных временных интервалов для натурных наблюдений на основе коэффициентов вариации.

Результаты. Установлены три качественных состояния потока (свободное, переходное, насыщение) с характерными зависимостями «скорость – интенсивность». Наиболее стабильные периоды для замеров – интервал с 8 до 16 часов, репрезентативные дни – вторник, среда и четверг (коэффициент вариации 0,08–0,12). Фактическая среднегодовая суточная интенсивность составила 9360 авт./сут, что существенно ниже проектного показателя 15 119 авт./сут.

Выводы. С ростом плотности потока распределение скоростей трансформируется от асимметричного к симметричному, близкому к нормальному, что указывает на снижение свободы манёвра и усиление взаимозависимости транспортных средств. Пиковые нагрузки приходятся на утренние часы с 9:00 и сохраняются на плато до 18:00. Недельная динамика не имеет ярко выраженной цикличности, кроме небольшого повышения по средам. Оптимальный интервал для наблюдений – с 8 до 16 часов (при часовых замерах – с 10 до 16 часов); наиболее репрезентативны вторник, среда, четверг с коэффициентом вариации 0,08–0,12.

Ключевые слова: платные автомобильные дороги, интенсивность движения, трасса М-12 «Восток», коэффициент вариации, надёжность дороги

Для цитирования: Брызгалов В.И., Карпушко М.О., Бургунутдинов А.М. Оценка воздействия интенсивности движения на скоростной режим на платных автомобильных дорогах // Известия КГАСУ, 2026, № 2 (76), с. 238-248, DOI: 10.48612/NewsKSUAE/76.16, EDN: MVBXYW

Assessing the impact of traffic volume on speed performance on toll roads

V.I. Bryzgalov¹, M.O. Karpushko¹, A.M. Burgonutdinov¹

¹Perm National Research Polytechnic University, Perm, Russian Federation

Abstract: *Problem statement.* Traffic intensity is a determining factor in the operational reliability of roads, affecting the accumulation of road surface deformations and throughput. In the context of the active development of the network of toll highways, in particular the Vostok M-12 route, existing project forecasts do not always correspond to the real load. This necessitates a detailed analysis of actual motion parameters to improve the reliability of calculations and substantiate observation modes.

The purpose of the work is to study the patterns of changes in the speed and intensity of traffic flow on the section of the M-12 toll highway.

To achieve this goal, the following tasks were solved:

- establishing the dependence of the average speed of a traffic flow on its intensity;
- assessment of daily and weekly dynamics of traffic intensity;
- determination of stable time intervals for field observations based on analysis of coefficients of variation (intra-day and intra-week variability).

Results. Three qualitative flow states (free, transient, heavy) with characteristic rate-intensity relationships were established. It was found that the most stable periods for measurements fall on the interval from 8 a.m. to 4 p.m., and representative days are Tuesday, Wednesday and Thursday (coefficient of variation 0.08-0.12). The actual average annual daily intensity in the study area was 9360 vehicles/day, which is significantly lower than the design figure of 15,119 vehicles/day.

Conclusions. As traffic flow density increases, the speed distribution shifts from asymmetric to symmetric—approximating a normal distribution—which indicates reduced freedom of maneuver and greater interdependence among vehicles. Peak loads occur starting at 9:00 AM and remain at a high plateau until 6:00 PM. Weekly patterns show no pronounced cyclicity, aside from a slight increase on Wednesdays. The optimal time frame for observations is between 8:00 AM and 4:00 PM (or 10:00 AM to 4:00 PM when using hourly measurements); Tuesdays, Wednesdays, and Thursdays are the most representative days, with a coefficient of variation ranging from 0.08 to 0.12.

Keywords: toll roads, traffic intensity, Vostok M-12 route, variation coefficient, road reliability

For citation: Bryzgalov V.I., Karpushko M.O., Burgonutdinov A.M. Assessing the impact of traffic volume on the speed performance on toll roads // News of KSUAE, 2026, № 2 (76), p. 238-248, DOI: 10.48612/NewsKSUAE/76.16, EDN: MVBXYW

1. Введение

В современном понимании автомобильная дорога представляет собой комплексную инженерную систему, ключевой характеристикой которой выступает надежность. Данное понятие подразумевает способность дороги поддерживать необходимые транспортно-эксплуатационные параметры на протяжении всего периода эксплуатации, предусмотренного проектом, в заданных условиях [1, 2, 3].

На эксплуатационную надежность дороги как целостной системы влияет множество факторов, и одним из ключевых выступает интенсивность транспортного потока. Регулярные динамические нагрузки от проходящего транспорта служат главным катализатором накопления пластических деформаций в слоях нежесткой дорожной одежды. Если фактическая интенсивность движения превышает перспективную, на которую рассчитана дорога, то такое увеличение может спровоцировать опережающее падение прочностных характеристик [4, 5].

Строительство и совершенствование дорожной сети, включая запуск платных трасс, в совокупности с социально-экономическими и урбанистическими изменениями,

влекут за собой существенную трансформацию структуры транспортного спроса. Под влиянием этих факторов корректируются не только объемы передвижений, но и их цели, расстояния поездок, перераспределяется нагрузка между видами транспорта и изменяются предпочтения водителей при выборе конкретных маршрутов.

Согласно статистике за 2024 год, загрузка платных автомагистралей продолжает увеличиваться. Суммарное количество проездов за указанный период составило 379 млн, что на 33% (или в 1,33 раза) выше уровня 2023 года.

Интенсивность движения можно рассматривать не только как количественный индикатор загруженности трассы, но и как один из ключевых факторов, который во многом определяет вероятностную природу сбоев в функционировании дороги как целостной системы [6]. При этом под «отказами» подразумевается широкий спектр нарушений: от физического износа и разрушения дорожного полотна до падения пропускной способности, формирования заторов и снижения допустимой скорости потока [7, 8].

Ключевым инструментом изучения транспортных потоков служит математическое моделирование, что продиктовано присутствием множества трудно формализуемых факторов, воздействующих на дорожное движение [9]. В рамках этого направления принято разграничивать две основные категории моделей: детерминированные и вероятностные (стохастические). Если первые дают возможность однозначно рассчитать изменение характеристик системы, то вторые принимают во внимание случайную составляющую процессов. Детерминированные модели, которые также называют динамическими, находят применение при описании как микроуровневых взаимодействий между автомобилями, так и макроскопических закономерностей перемещения потока в целом [10, 11, 12].

Несмотря на широкое распространение перечисленных моделей, подавляющее большинство классических подходов были верифицированы на данных, полученных для городских улиц и бесплатных магистралей. При этом ключевая специфика платных автомобильных дорог – эластичность спроса в зависимости от стоимости проезда и экономии во времени.

Кроме того, в научной литературе практически отсутствуют эмпирические исследования, посвящённые количественной оценке внутрисуточной и внутринедельной вариабельности скоростного режима именно на платных трассах в увязке с изменением интенсивности. В частности, остаётся невыясненным, как именно фактические колебания загрузки на платном участке влияют на смену фаз движения (свободной, переходной и насыщения) в условиях, когда водитель сознательно выбирает маршрут на основе соотношения «цена – время», а не только географического кратчайшего пути.

Особую актуальность вопросы надёжности и точного прогнозирования параметров движения приобретают для платных автомобильных дорог, к числу которых относится автомагистраль М-12 «Восток». Специфика эксплуатации платных участков заключается в более жёстких требованиях к уровню сервиса, скорости движения и пропускной способности, поскольку именно эти показатели определяют коммерческую привлекательность маршрута для пользователей. При этом существующие проектные прогнозы интенсивности, закладываемые в технико-экономическое обоснование, рассчитаны на перспективный период, поэтому в первые годы эксплуатации фактическая загрузка дороги ожидаемо ниже этих прогнозных значений. Расхождение может быть вызвано целым рядом факторов: изменением экономической ситуации, корректировкой тарифной политики, появлением альтернативных бесплатных маршрутов, а также сезонными и недельными колебаниями спроса. Игнорирование таких отклонений ведёт к ошибкам при планировании ремонтных работ, переоценке или недооценке требуемой прочности дорожной одежды и, как следствие, к преждевременным отказам конструкции.

Объектом настоящего исследования выбран действующий участок платной автомагистрали М-12 «Восток». Предметом исследования являются закономерности изменения скорости и интенсивности транспортного потока, а также стабильность этих параметров во времени. Для получения достоверных первичных данных применялся метод натурных наблюдений.

Цель работы заключается в выявлении закономерностей изменения скорости и интенсивности транспортного потока на участке платной автомагистрали М-12.

Для достижения поставленной цели были решены следующие задачи:

- исследование характера изменения скорости транспортного потока в зависимости от роста интенсивности движения, включая выделение фаз (зон) свободного, переходного движения и насыщения.
- оценка суточной и недельной динамики интенсивности движения на платном участке автодороги, выявление периодов максимальной и минимальной загрузки;
- определение стабильных временных интервалов для проведения натурных наблюдений на основе анализа коэффициентов вариации (внутрисуточная и внутринедельная изменчивость).

2. Материалы и методы

Характер движения и уровень загрузки на прямых участках трассы зависят главным образом от условий горизонтальной плоскости [10, 13]. Рассмотрение применимости теоретических подходов к описанию интенсивности движения на прямых участках дорог с четырьмя и шестью полосами выявило, что каждая из моделей эффективна лишь в узком спектре значений плотности потока.

Метод прямого подсчёта интенсивности движения – способ учёта, при котором наблюдатель непосредственно регистрирует каждое транспортное средство, проходящее через контрольный створ, с разделением по направлениям, полосам движения и типам транспортных средств. Данный метод относится к ручным (визуальным) методам учёта и регламентирован ГОСТ 32965-2014 «Дороги автомобильные общего пользования. Методы учёта интенсивности движения транспортного потока».

Исследование закономерностей изменения скорости и интенсивности транспортного потока проводилось на действующем участке платной автомагистрали М-12 «Восток». Программа эксперимента включала натурные наблюдения с последующей статистической обработкой данных.

Фактическая часовая интенсивность определялась как сумма отметок о прохождении транспортных средств через контрольный створ за каждый час наблюдения отдельно по полосам и направлениям:

$$N_{\text{ч}} = \sum_{i=1}^k N_i \quad (1)$$

где N_i – количество транспортных средств i -го типа, зарегистрированных за час, авт.; k – число учитываемых типов транспортных средств.

Суточная интенсивность рассчитывалась как сумма часовых интенсивностей за все часы наблюдения в течение суток:

$$N_{\text{сут}} = \sum_{t=1}^T N_{\text{ч},t} \quad (2)$$

где $N_{\text{ч},t}$ – количество транспортных средств i -го типа, зарегистрированных за час, авт.; T – число часов наблюдения в сутках.

Интенсивность движения приводилась к приведённой интенсивности с использованием коэффициентов приведения для различных типов транспортных средств в соответствии с ГОСТ 32965-2014 «Дороги автомобильные общего пользования. Методы учёта интенсивности движения транспортного потока». Приведённая интенсивность транспортного потока определялась по формуле:

$$N_{\text{прив}} = \sum_{i=1}^k N_i \times K_i \quad (3)$$

где N_i – численность транспортных средств, относящихся к i -й группе, авт.; K_i – коэффициент приведения для i -го типа транспортного средства.

Средняя скорость вычислялась как среднее арифметическое зарегистрированных значений по соответствующей полосе и направлению:

$$V_{\text{ср}} = \frac{1}{n} \sum_{j=1}^n V_j \quad (4)$$

где V_j – скорость j -го транспортного средства, км/ч; n – количество зарегистрированных транспортных средств.

Для оценки стабильности режима движения на разных временных отрезках рассчитывался коэффициент вариации скорости и интенсивности. Далее строились графики «скорость – интенсивность» и выделялись характерные зоны: свободное движение (низкая интенсивность, скорость близка к максимально разрешённой), переходное состояние (снижение скорости при росте плотности) и насыщение (интенсивность достигает пропускной способности).

3. Результаты и обсуждение

Анализ натурных замеров, выполненных на отрезке платной магистрали М-12 «Восток» (границы участка: 90–140 км Дюргюли – Ачит), позволил выявить специфику распределения скоростей транспортного потока при варьировании интенсивности движения.

Главным последствием описанных изменений выступает резкое снижение вариабельности скоростей. Дисперсия вместе со стандартным отклонением уменьшаются, что на графике отражается в сжатии и устремлении кривой вверх. В режиме высокой интенсивности плотность потока ограничивает свободу выбора скорости и совершения маневров для каждой отдельной машины. Наступает фаза стабилизации, когда все участники движутся со взаимозависимыми скоростями, что ведет к падению разброса и постепенному формированию распределения, близкого к нормальному (рисунок 1).



Рис. 1. Характер изменения скорости движения в зависимости от интенсивности потока: кривая 1 соответствует интенсивности 600 авт./час, кривая 2 – 500 авт./час, кривая 3 – 400 авт./час, кривая 4 – 300 авт./час (иллюстрация автора)

Fig. 1. The pattern of change in the speed of the traffic depending on the intensity of the flow: curve 1 corresponds to the intensity of 600 auto/hour, curve 2 - 500 auto/hour, curve 3 - 400 auto/hour, curve 4 - 300 auto/hour (illustration by the author)

Анализ полученных данных позволяет проследить динамику изменения скоростного режима при увеличении плотности трафика. В условиях свободного движения, где влияние автомобилей друг на друга незначительно, кривая распределения скоростей отличается асимметрией и высокой вариативностью значений. Подобная картина объясняется разнородностью транспортной среды и отсутствием жестких ограничений при выборе скорости, которая определяется личными предпочтениями водителя и техническими возможностями автомобиля.

С повышением плотности транспортного потока форма распределения скоростей трансформируется, приближаясь к симметричной колоколообразной кривой, которая с высокой степенью достоверности аппроксимируется нормальным законом.

С целью установления характера влияния увеличения загрузки дороги на скоростные показатели была построена зависимость «скорость – интенсивность», имеющая нелинейный (криволинейный) вид. Участки перегиба на построенной кривой позволяют идентифицировать границы смены качественных состояний трафика, что отражено на рисунке 2.

Исследование полученной кривой позволило выделить три качественно различных диапазона, границы которых определяются точками излома графика:

- зона свободного потока: при увеличении загрузки трассы скорость падает незначительно. Взаимное влияние автомобилей практически отсутствует, а скоростной режим диктуется в основном параметрами дороги и установленными лимитами.
- переходная зона. данный интервал характеризуется интенсивным нелинейным падением скорости, что свидетельствует о возрастании взаимовлияния между участниками движения.
- зона насыщения. В этом диапазоне даже малое повышение интенсивности влечет за собой резкое торможение потока. Транспортные средства движутся в режиме сильной связанности, с высокой степенью взаимозависимости.

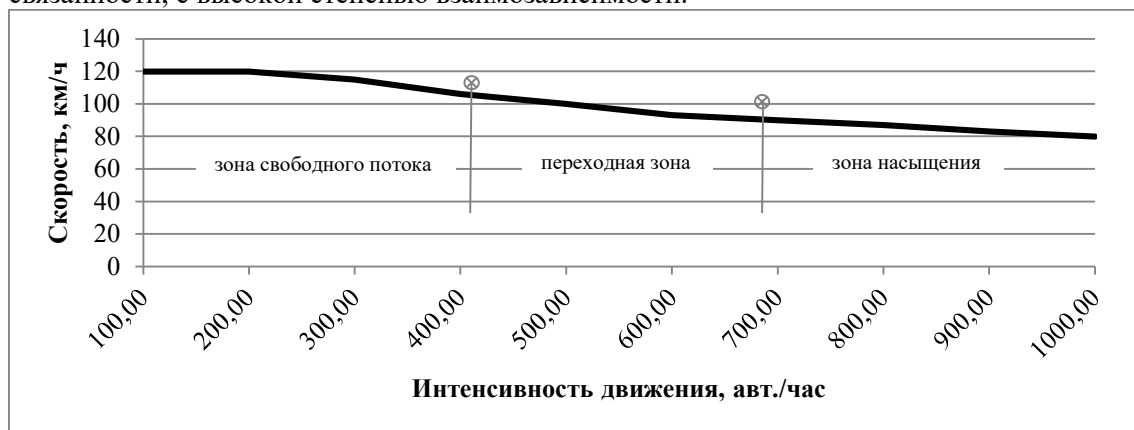


Рис. 2. Взаимосвязь между скоростными параметрами потока и его интенсивностью (иллюстрация автора)

Fig. 2. Relationship between flow rate parameters and its intensity (illustration by the author)

Для повышения надежности (доверительной вероятности) соблюдения нормативного скоростного режима на платных автомагистралях в качестве базового параметра при расчетах использовалась интенсивность транспортного потока.

Анализ суточной динамики интенсивности движения демонстрирует сглаженность пиковых периодов и отсутствие выраженных колебаний загрузки трассы (рисунок 3).

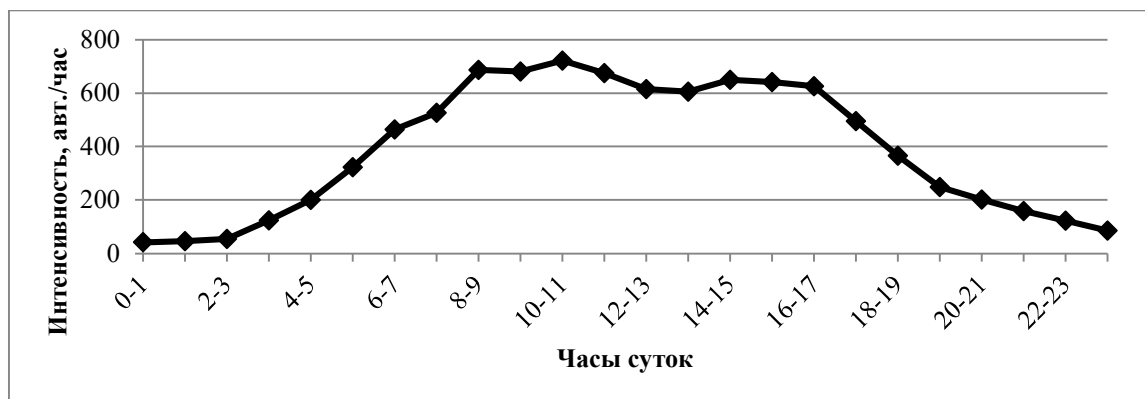


Рис. 3. Суточная динамика транспортного потока (иллюстрация автора)

Fig. 3. Daily dynamics of traffic flow (illustration by the author)

В утренний период фиксируется постепенное увеличение загрузки трассы с выходом на пик к 9:00, что обусловлено началом трудовой активности и массовым выходом автомобилей на линию. Далее, в интервале с 9:00 до 18:00, наблюдается относительно устойчивое состояние потока, после чего интенсивность начинает плавно убывать.

Анализ недельной динамики не выявил ярко выраженной цикличности в изменении загрузки дороги. Исключение составляют данные за среду, когда фиксируется незначительное повышение интенсивности движения (рисунок 4).

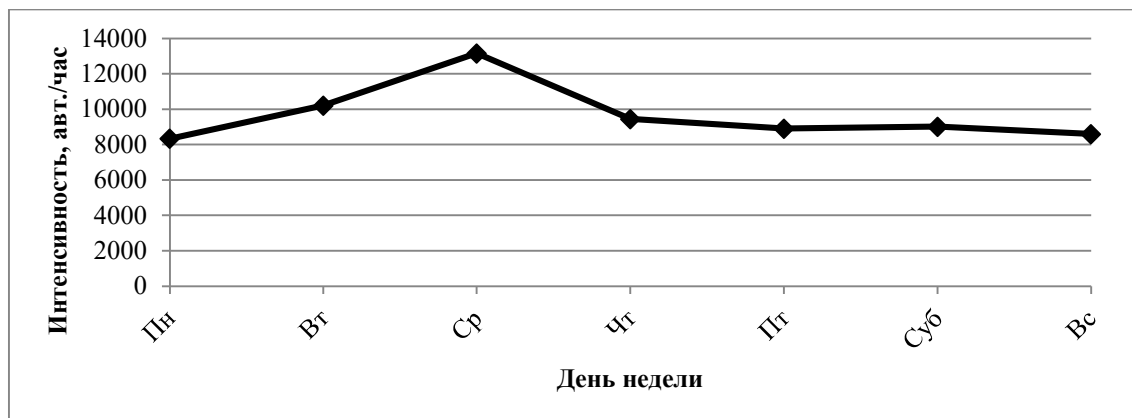


Рис. 4. Недельная динамика интенсивности транспортного потока (иллюстрация автора)

Fig. 4. Weekly dynamics of traffic flow intensity (illustration by the author)

Достоверность результатов краткосрочных измерений интенсивности движения находится в прямой зависимости от степени стабильности транспортного потока в момент сбора данных. С целью определения оптимальной продолжительности замеров были исследованы коэффициенты вариации, характеризующие суточную и недельную изменчивость трафика (рисунки 5 и 6).

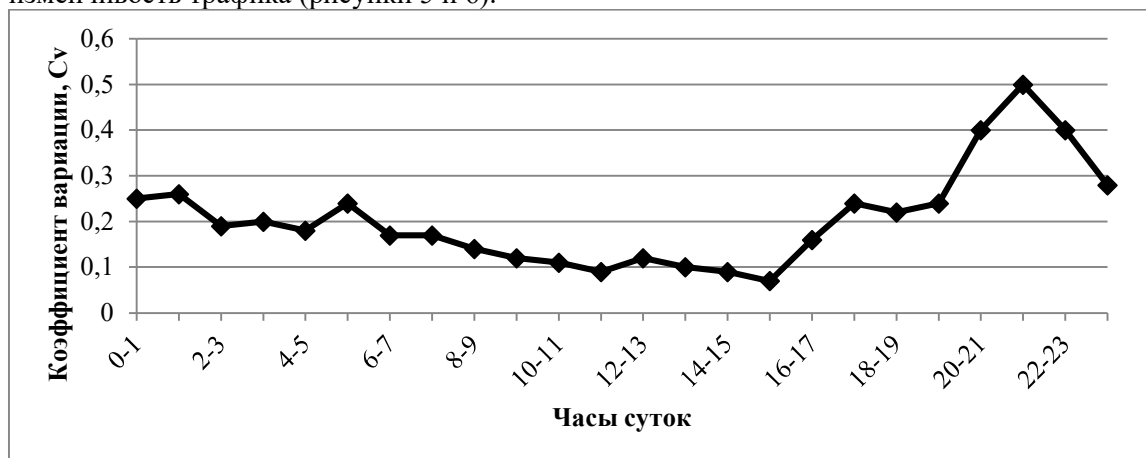


Рис. 5. Суточная динамика коэффициента вариации (иллюстрация автора)

Fig. 5. Daily variation factor dynamics (illustration by the author)

Исследование внутрисуточной изменчивости коэффициента вариации показывает, что интервал с 8 до 16 часов наиболее благоприятен для проведения замеров, так как в этот период фиксируется максимальная устойчивость транспортного потока. При необходимости часовых наблюдений целесообразно ориентироваться на промежуток с 10 до 16 часов.

Изучение вариации соотношений ежедневной интенсивности движения к средненедельным показателям указывает на то, что вторник, среда и четверг являются наиболее репрезентативными днями для замеров. В этот период наблюдается наименьший разброс значений (коэффициент вариации колеблется в пределах 0,08–0,12), подтверждающий максимальную устойчивость параметров трафика.



Рис. 6. Недельная динамика коэффициента вариации (иллюстрация автора)

Fig. 6: Weekly variation factor dynamics (illustration by the author)

С целью вычисления среднесуточного объема трафика были проанализированы данные, зафиксированные в течение шести дней (вторник–четверг) в промежутке с 8:00 до 14:00. Выбор именно этого временного окна позволил выявить устойчивые закономерности движения в часы наиболее типичной дорожной нагрузки. Итоговые вычисления отражены в таблице 1.

Таблица 1

Итоги визуальной фиксации параметров движения (объем и состав транспортных средств)

Период проведения	Ноябрь					
	Вторник	Среда	Четверг	Вторник	Среда	Четверг
	8:00-12:00	8:00-12:00	8:00-12:00	12:00-14:00	12:00-14:00	12:00-14:00
Категория транспортного средства	Количество транспортных средств					
Легковые автомобили	1127	1192	1162	503	508	545
Грузовые автомобили (2 оси)	134	111	105	56	62	64
Грузовые автомобили (3 оси)	42	43	30	26	21	30
Грузовые автомобили (4 оси)	162	190	152	99	17	97
Грузовые автомобили (5 осей)	356	360	384	196	81	176
Приведенная интенсивность, авт./сут	2722	2826	2745	1381	895	1384
Среднегодовая суточная интенсивность движения, авт./сут	9155	9505	8494	11285	7313	10404
Среднее значение интенсивности движения, авт./сут	9360					

Для расчета среднегодового суточного показателя интенсивности движения в разрезе категорий транспорта применялась методика, установленная ГОСТ 32965-2014 «Дороги автомобильные общего пользования. Методы учета интенсивности движения транспортного потока». Использовалась следующая формула из указанного стандарта:

$$N_{cc} = \sum_{i=1}^n N_i \times K_q \times K_d \times K_m \quad (5)$$

где N_i – численность транспортных средств, относящихся к i -й группе, авт.; K_q – поправочный коэффициент для расчетного часа; K_d – корректирующий коэффициент, учитывающий день проведения замера; K_m – коэффициент приведения к месячным показателям; n – общее число выделенных групп транспортных средств.

Сопоставление проектных показателей с результатами натурных наблюдений выявило расхождение в величине транспортной нагрузки. Согласно проектной документации, ожидаемая интенсивность на 1-й год эксплуатации составляла 15119 авт./сут [15], однако фактические замеры дали значение 9360 авт./сут, что свидетельствует о завышении прогнозных данных.

Минимальная продолжительность фиксации параметров потока составляет: 2 часа — для периода с понедельника по четверг; 4 часа — для пятницы и выходных дней. Проведение замеров в утренний временной интервал нецелесообразно.

4. Заключение

В соответствии с поставленными задачами получены следующие результаты.

1. На основе построенного графика «скорость – интенсивность» установлены три качественных состояния транспортного потока: свободное движение (скорость близка к максимально разрешённой), переходное состояние (начинается снижение скорости при росте интенсивности) и фаза насыщения (интенсивность достигает пропускной способности, скорость падает до минимальных значений).

2. Выявлены суточная и недельная динамика интенсивности движения. Пиковые нагрузки приходятся на период с 9:00 до 18:00 с последующим плавным спадом. Недельная динамика характеризуется отсутствием выраженной цикличности, за исключением незначительного повышения интенсивности по средам. Фактическая среднегодовая суточная интенсивность на исследуемом участке составила 9360 авт./сут, что ниже проектного показателя (15 119 авт./сут).

3. На основе анализа коэффициентов вариации определены стабильные временные интервалы для проведения натурных наблюдений. В суточном разрезе оптимальным является промежуток с 8 до 16 часов (при часовых замерах – с 10 до 16 часов). В недельном разрезе наиболее репрезентативными днями признаны вторник, среда и четверг, для которых коэффициент вариации составляет 0,08–0,12.

Список литературы/ References

1. Adam M.A., Singh S.S.K, Abdullah S.A., Jedi M.A.A. Bayesian approach in fatigue reliability characterization for stochastic-induced road load conditions // Result in Engineering. 2025. P. 1-21. – DOI 10.1016/j.rineng.2025.104505.
2. Fei Lu, Wei Si. Reliability risk modeling of asphalt pavement structure performance under the impact of freeze-thaw cycles // Case Studies in Construction Materials. 2024. P. 1-17. – DOI 10.1016/j.cscm.2024.e03054.
3. Горячев М. Г. Повышение надежности автомобильных дорог. М. : Московский автомобильно-дорожный государственный технический университет (МАДИ), 2020. – 158 с.
Goryachev M. G. Improving road reliability. M.: Moscow Automobile and Road Construction State Technical University (MADI), 2020. – p. 158.
4. Somnath Chaudhuri, Marc Saez, Diego Varga, Pablo Juan. Spatiotemporal modeling of traffic risk mapping: A study of urban road networks in Barcelona, Spain // Spatial Statistics. 2023. P. 1-19. – DOI 10.1016/j.spasta.2022.100722.
5. Ларина Т.А., Зубарев Н.Р. Износ асфальтобетонных покрытий под воздействием колес легкового транспорта // Вестник московского автомобильно-дорожного государственного технического университета (МАДИ). 2019. С. 55-61
Larina T.A., Zubarev N.R. Wearing of asphalt-concrete surfaces under exposure to passenger transport wheels // Bulletin of Moscow Automobile and Road Construction State Technical University (MADI). 2019. P. 55-61.

6. Близнакова И.В., Еселёнок Ю.А., Голобова О.И. Анализ интенсивности движения автомобилей на улицах г. Витебска // XVII Машеровские чтения. 2023. С. 75-76
Bliznakova I.V., Eselyonok Yu.A., Golobova O.I. Analysis of car traffic intensity on the streets of Vitebsk // XVII Mashеровskie chteniya. 2023. P. 75-76.
7. Yunhe Tong, Wentao Chen, Nikolai W.F. Bode. Spatial and temporal variations in hourly traffic volumes: A case study of cars, cyclists, and pedestrians in Bristol // Expert Systems with Applications. 2026. Vol. 311 P. 1-17. – DOI 10.1016/j.eswa.2026.131327.
8. Морозов В.В., Карнаухов В.Н., Ярков С.А. Совершенствование модели влияния концентрации транспортного потока на интенсивность движения автомобилей // Интеллект. Инновации. Инвестиции. 2020. С. 98-105.
Morozov V.V., Karnauhov V.N., Yarkov S.A. Improving the model of the influence of traffic flow concentration on the traffic intensity // Intellect. Innovations. Investments. 2020. P. 98-105.
9. Бояршинов М.Г., Вавилин А.С., Васькина Е.В. Применение вейвлет-анализа для исследования интенсивности транспортного потока // Интеллект. Инновации. Инвестиции. 2022. С. 88-103.
Boyarshinov M.G., Vavilin A.S., Vaskina E.V. Application of the wavelet analysis to research the traffic flow intensity // Intellect. Innovations. Investments. 2022. P. 83-103.
10. Moxuan Li, Xiao Li, Dayong Wu, Lei Zou, Xiao Huang. Digitizing and inventorying traffic control infrastructures: A review of practices // Transportation Research Interdisciplinary Perspectives. 2023. P. 1-11. – DOI 10.1016/j.trip.2023.100879.
11. Gregorio Gecchele, Riccardo Ceccato, Riccardo Rossi, Massimiliano Gastaldi. A flexible approach to select road traffic counting locations: System design and application of a fuzzy Delphi analytic hierarchy process // Transportation Engineering. 2023. P. 1-12. – DOI 10.1016/j.treng.2023.100167.
12. Antonio Pascale, Eloisa Macedo, Claudio Guarnaccia, Margarida C. Coelho. Smart mobility procedure for road traffic noise dynamic estimation by video analysis // Applied Acoustics. 2023. P. 1-14. – DOI 10.1016/j.apacoust.2023.109381.
13. Rajesh Kumar Dhanaraj, Maragatharajan Muthusamy, Aanjankumar Sureshkumar, Balakannan sirumolasi Paramasivam, Dragan Pamucar. Adaptive few-shot tiny neural systems for real-time traffic intensity prediction in smart cities // ICT Express. 2025. P. 1-6. – DOI 10.1016/j.ict.2025.08.010.
14. Официальный сайт Государственной компании «Российские автомобильные дороги». URL: <https://russianhighways.ru/press/news/118021> (дата обращения: 30.10.2025)
Official website of the State Company "Russian Highways". URL: <https://russianhighways.ru/press/news/118021> (reference date: 30.10.2025).
15. Официальный сайт ЕИС. URL: <https://zakupki.gov.ru/epz/order/notice/notice223/documents.html?noticeInfoId=14967645> (дата обращения: 30.10.2025)
Official website of the Unified information system: <https://zakupki.gov.ru/epz/order/notice/notice223/documents.html?noticeInfoId=14967645> (reference date: 30.10.2025).

Информация об авторах

Владислав Игоревич Брызгалов, старший преподаватель, Пермский национальный исследовательский политехнический университет, г. Пермь, Российская Федерация
Email: vladislavbryzgalov@mail.ru, ORCID: 0000-0003-0752-4037.

Карпушко Марина Олеговна, канд. техн. наук, доцент, Пермский национальный исследовательский политехнический университет, г. Пермь, Российская Федерация
E-mail: mkarpushko@gmail.com

Бургонутдинов Альберт Масугутович, д-р техн. наук, профессор, Пермский национальный исследовательский политехнический университет, г. Пермь, Российская Федерация

E-mail: burgonutdinov.albert@yandex.ru

Information about the authors

Vladislav I. Bryzgalov, Senior lecturer, Perm National Research Polytechnic University, Perm, Russian Federation

E-mail: vladislavbryzgalov@mail.ru, ORCID: 0000-0003-0752-4037

Marina O. Karpushko, Candidate of Technical Sciences, Associate Professor, Perm National Research Polytechnic University, Perm, Russian Federation

E-mail: mkarpushko@gmail.com

Albert M. Burgonutdinov, Doctor of Technical Sciences, Professor, Perm National Research Polytechnic University, Perm, Russian Federation

E-mail: burgonutdinov.albert@yandex.ru

Дата поступления: 12.03.2026

Дата принятия: 30.09.2026