

Научная статья
 УДК 656.135.2
 DOI: <https://doi.org/10.26518/2071-7296-2023-20-2-218-229>
 EDN: UGSCIG



АНАЛИЗ МЕТОДОВ УЧЕТА ГРУЗОВЫХ АВТОМОБИЛЕЙ В ТРАНСПОРТНОМ ПОТОКЕ РЕГУЛИРУЕМОГО ПЕРЕКРЕСТКА

В. В. Донченко, А. Н. Шумский*

Открытое акционерное общество «Научно-исследовательский институт
 автомобильного транспорта (НИИАТ)»,
 г. Москва, Россия

doncenco@niiat.ru, <http://orcid.org/0000-0002-0544-7608>
shumskiy-msk@bk.ru, <http://orcid.org/0000-0002-4339-5650>

*ответственный автор

АННОТАЦИЯ

Введение. Формирование «грузового каркаса» вокруг крупных городов приводит к изменению состава транспортного потока на объездных путях и увеличению в общем транспортном потоке грузовых автомобилей различных категорий. Помимо этого, активная застройка пригородной территории жилыми комплексами способствует возрастанию трафика. Совокупность отраженных явлений приводит к возникновению определенного рода транспортных проблем, связанных в первую очередь со снижением пропускной способности. Довольно часто такие проблемы наблюдаются на регулируемых перекрестках, что требует оперативного изменения режима управления, для этого необходимым мероприятием является обязательный учет технических и динамических параметров грузовых автомобилей, которые не в полной мере учитываются в существующих коэффициентах приведения. С целью установления степени влияния данных параметров на изменение основных характеристик транспортного потока, таких как среднее время проезда и средняя скорость движения, выполнено данное исследование.

Методы и материалы. При выполнении исследования были применены методы натурного наблюдения, статистического анализа и моделирования. Необходимыми материалами для выполнения исследования являлись устройства автоматического сбора характеристик транспортного потока, такие как видеокамеры и детекторы транспорта, продукт AnyLogic версии 8.0 для выполнения моделирования и пакет описательной статистики в MS Excel.

Результаты. В ходе выполнения исследования и проведения эксперимента было установлено различие основных характеристик транспортного потока при использовании стандартных коэффициентов приведения и без их использования с учетом динамических и технических параметров грузовых автомобилей. На объекте исследования определена разница в значении среднего времени проезда (τ) при различных методах учета грузовых автомобилей, наблюдаемая в диапазоне [-51,5%; 16,8%] и средней скорости движения (v) в диапазоне [-20%; 34%]. В результате математических изысканий определены функциональные зависимости между средней скоростью движения и интенсивностью движения с учетом наличия грузовых автомобилей различных категорий, их технических и динамических параметров. Определены пути дальнейшего исследования.

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА: грузовые автомобили, регулируемые перекрестки, грузоподъемность, моделирование, средняя скорость движения

Статья поступила в редакцию 05.02.2023; одобрена после рецензирования 01.03.2023; принята к публикации 21.04.2023.

Авторы прочитали и одобрили окончательный вариант рукописи.

Прозрачность финансовой деятельности: авторы не имеют финансовой заинтересованности в представленных материалах и методах. Конфликт интересов отсутствует.

Для цитирования: Донченко В. В., Шумский А. Н. Анализ методов учета грузовых автомобилей в транспортном потоке регулируемого перекрестка // Вестник СибАДИ. 2023. Т. 20, № 2 (90). С. 218-229. <https://doi.org/10.26518/2071-7296-2023-20-2-218-229>

© Донченко В. В., Шумский А. Н., 2023



Контент доступен под лицензией
 Creative Commons Attribution 4.0 License.

Origin article
DOI: <https://doi.org/10.26518/2071-7296-2023-20-2-218-229>
EDN: UGSCIG

ANALYSIS OF METHODS FOR ACCOUNTING CARGO VEHICLES IN TRAFFIC FLOW OF A REGULATED CROSSROAD

Vadim V. Donchenko, Aleksandr N. Shumskiy*

OA Scientific and Research Institute of Motor Transport (NIIAT)

Moscow, Russia

doncenko@niiat.ru, <http://orcid.org/0000-0002-0544-7608>

shumskiy-msk@bk.ru, <http://orcid.org/0000-0002-4339-5650>

*corresponding author

ABSTRACT

Introduction. The formation of a 'cargo frame' around large cities leads to a change in the composition of the traffic flow on bypass roads, and an increase in the total traffic flow of trucks of various categories. In addition, the active development of suburban areas with residential complexes contributes to an increase in traffic. The totality of the reflected phenomena leads to the emergence of a certain kind of transport problems, primarily associated with a decrease in throughput. Quite often, such problems are observed at regulated intersections, which requires a prompt change in the control mode; for this, the necessary measure is the mandatory consideration of the technical and dynamic parameters of trucks, which are not fully taken into account in the existing reduction factors. In order to establish the degree of influence of these parameters on the change in the main characteristics of the traffic flow, such as the average travel time and average speed, this study was carried out.

Methods and materials. When performing the study, the methods of natural observation, statistical analysis and modelling were applied. The necessary materials for the study were devices for automatic collection of traffic flow characteristics, such as video cameras and traffic detectors, Any Logic version 8.0 for modelling, and a package of descriptive statistics in MS Excel.

Results. In the course of the study and the experiment, a difference in the main characteristics of the traffic flow when using standard reduction factors and without using them, taking into account the dynamic and technical parameters of trucks was established. At the object of the study, the difference in the value of the average travel time (t) for various methods of accounting for trucks, observed in the range [-51.5%; 16.8%] and average speed (v) in the range [-20%; 34%] was determined. As a result of mathematical research, functional relationships between the average speed and traffic intensity are determined, taking into account the presence of trucks of various categories, their technical and dynamic parameters. The ways of further research are determined.

KEYWORDS: trucks, regulated intersections, carrying capacity, simulation, average speed

The article was submitted 05.02.2023; approved after reviewing 01.03.2023; accepted for publication 21.04.2023.

The authors have read and approved the final manuscript.

Financial transparency: the authors have no financial interest in the presented materials or methods. There is no conflict of interest.

For citation. Donchenko V. V., Shumskiy A. N. Analysis of methods for accounting cargo vehicles in traffic flow of a regulated crossroad. *The Russian Automobile and Highway Industry Journal*. 2023; 20 (2): 218-229. <https://doi.org/10.26518/2071-7296-2023-20-2-218-229>

© Donchenko V. V., Shumskiy A. N., 2023



Content is available under the license
Creative Commons Attribution 4.0 License.

ВВЕДЕНИЕ

В современных городских условиях особое внимание уделяется вопросу обеспечения пропускной способности городских дорог и участков, например перекресткам, способам поддержания требуемого уровня и мероприятиям, направленным на ее повышение [1, 2]. Активная застройка городской и пригородной территории жилыми комплексами изменяет показатели спроса на определенные участки дорожной сети, что в большинстве случаев приводит к возникновению заторов. Схожая ситуация наблюдается и в условиях проектирования и организации транспортно-логистических комплексов (ТЛК) [3, 4]. Формирование крупных логистических парков вблизи крупнейших городов и городских агломераций для перераспределения грузовых потоков, обеспечения транзитности и осуществления междугородных и международных перевозок приводит к изменению состава транспортного потока. С учетом того, что сегодня в большинстве городов России, особенно крупнейших, например, таких как Москва, приняты меры по регулированию движения грузовых транспортных средств повышенной грузоподъемности, заключающиеся в специализированной организации движения по магистральным улицам городов, например, определенный временной режим для движения, движение по разрешенным полосам, движение по специализированным пропускам. В большинстве случаев движение грузовых автомобилей, особенно транзитных, осуществляется в объезд крупных городов, что приводит к изменению состава транспортного потока, в котором довольно часто преобладают грузовые автомобили различной грузоподъемности. В комплексе отраженные изменения – застройка пригородной территории – увеличение количества легковых автомобилей и превалирование грузовых автомобилей – изменение состава транспортного потока приводит к возникновению заторов на используемых участках для движения, особенно на регулируемых перекрестках [5, 6]. В таких случаях одним из альтернативных и быстрых способов изменения транспортной ситуации является оперативное изменение режима управления с соответствующим перерасчетом длительностей фаз регулирования [5, 6, 7, 8, 9, 10]. Необходимое изменение требует решения ряда задач, связанных в первую очередь с оценкой изменения основных показателей транспортного потока в зоне регулируемого перекрестка при наличии определенного количества грузовых автомобилей различной грузоподъемности.

С учетом вышесказанного, основной целью данного исследования является установление зависимости между временем движения и интенсивностью с учетом изменения состава транспортного потока. Основные задачи: 1. Анализ объекта исследования. 2. Моделирование объекта исследования. 3. Определение условий эксперимента. 4. Проведение эксперимента и интерпретация результатов.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

Сформированные во введении условия стали критериями при выборе объекта исследования – регулируемого перекрестка, также в виду наличия определенных устройств, обеспечивающих постоянный мониторинг транспортной ситуации в качестве исследуемого, определен регулируемый перекресток Проектируемый пр-д № 5108 – ул. Подольских курсантов, расположенный в г. Москве (рисунок 1).



Рисунок 1 – Спутниковый снимок исследуемого участка – Проектируемый пр-д № 5108 – ул. Подольских курсантов
Источник: Составлено авторами.

Figure 1 – Satellite image of the study area - Projected pr-d No. 5108 - st. Podolsk cadets
Source: compiled by the authors.

Объект исследования расположен в промышленной зоне на юге Москвы, имеется большое количество логистических распределительных центров и вблизи осуществляется активная застройка жилыми комплексами. В соответствии с официальным запросом в Государственное казенное учреждение г. Москвы – Центр организации дорожного движения (ЦОДД) Правительства Москвы от 13.04.2022 г. № 0132-04/163 были получены данные оточной интенсивности и составе транспортного потока на объекте исследования за период 01.02.2022–26.04.2022.

В соответствии с нормативным документом ТР ТС 018/2011 в рамках исследования определены три категории грузовых автомобилей, различных по грузоподъемности (таблица 1).

Таблица 1
Категории грузовых автомобилей
Источник: Составлено авторами.

Table 1
Categories of trucks
Source: compiled by the authors.

№ п/п	Обозначение категории	Описание категории
1	№ 1	Автомобили, предназначенные для перевозки грузов, имеющие технически допустимую максимальную массу не более 3,5 т
2	№ 2	Автомобили, предназначенные для перевозки грузов, имеющие технически допустимую максимальную массу свыше 3,5 т, но не более 12 т
3	№ 3	Автомобили, предназначенные для перевозки грузов, имеющие технически допустимую максимальную массу более 12 т

Анализ данных ЦОДД за рассматриваемый период позволил установить долю каждой категории в общем транспортном потоке в зависимости от времени суток, для наглядности результаты анализа для среды (16.02.2022) представлены на рисунке 2. В составе транспортного потока наблюдаются легковые, грузовые и пассажирские автомобили, основной поток представлен легковыми автомобилями (>70%), пассажирский является не многочисленным видом транспорта на рассматриваемом участке и составляет менее 5% от общего количества автомобилей, представленных в

транспортном потоке. В связи с тем, что основная цель исследования связана с грузовыми автомобилями, при анализе транспортного потока легковые автомобили и пассажирские отнесены к группе иных автомобилей (рисунок 2, а). Исследуемый тип автомобилей – грузовой – в некоторых случаях представлен в достаточно большом количестве (50%) (см. рисунок 2, а), анализ по категориям в соответствии с таблицей 1 позволил установить, что свыше 10% приходится на грузовые автомобили, относящиеся к категории № 2 (рисунок 2, б).

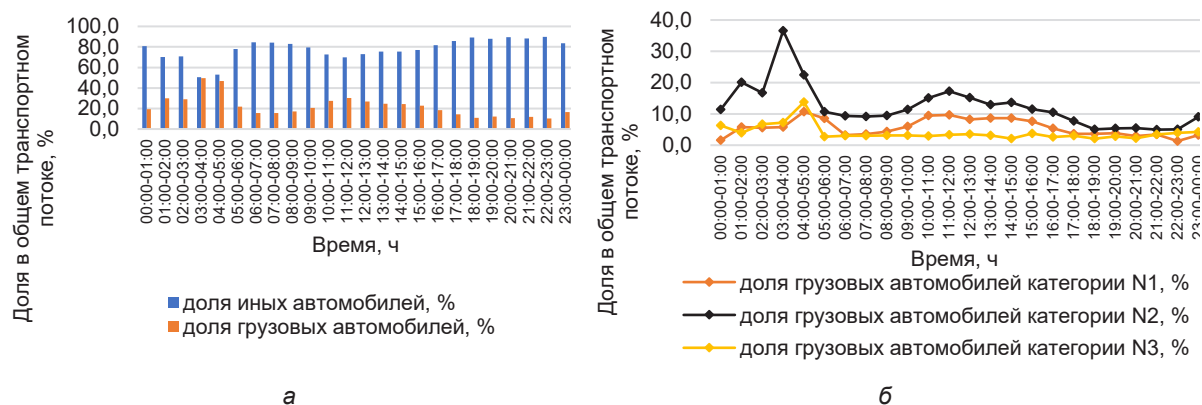


Рисунок 2 – Результаты анализа количества автомобилей на объекте исследования:
а – доля грузовых и иных автомобилей в общем транспортном потоке;
б – доля категорий грузовых автомобилей в общем транспортном потоке
Источник: составлено авторами.

Figure 2 - The results of the analysis for the number of cars at the object of study
a) the share of trucks and other vehicles in the total traffic flow
b) the share of truck categories in the total traffic flow
Source: compiled by the authors.

Полученные результаты позволяют выполнить процедуру моделирования в программной среде AnyLogic 8, которая сегодня довольно активно применяется для моделирования процессов, связанных с дорожным движением [11, 12, 13, 14, 15, 16]. С использованием специализированных блоков была задана логика процесса движения на объекте исследования и осуществлена процедура валидации и верификации данных, адекватность моделирования по количеству въезжающих и выезжающих автомобилей составила 97% [17, 18, 19, 20], что позволяет использовать результаты моделирования для выполнения дальнейших расчетов.

ЭКСПЕРИМЕНТ

Для выполнения эксперимента дано два сценария: при первом сценарии в качестве задаваемых параметров определено значение приведенной интенсивности движения (эксперимент № 1), при втором сценарии – значение интенсивности с детализированным составом грузовых автомобилей различной грузоподъёмности (эксперимент № 2).

Для наглядности вид заданной логики процесса на примере одного направления рассматриваемого объекта исследования в моделируемой программной среде представлен на рисунке 3.

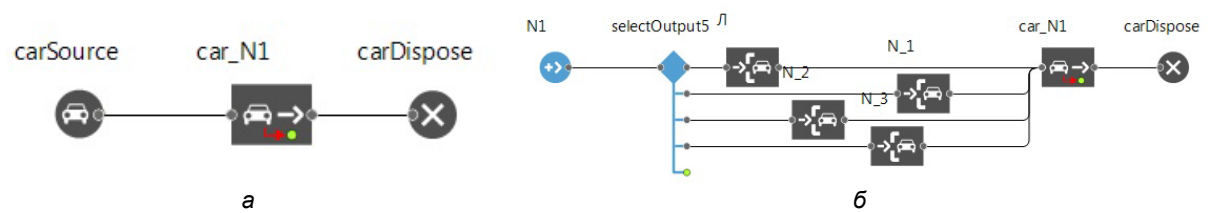


Рисунок 3 – Пример логики процесса движения по одному направлению:
а – эксперимент № 1;
б – эксперимент № 2
Источник: составлено авторами.

Figure 3 – An example of the logic in the process of movement in one direction:
a) experiment No. 1;
b) experiment No. 2
Source: compiled by the authors.

Таблица 2
Технические и динамические параметры грузовых автомобилей различных категорий
Источник: составлено авторами.

Table 2
Technical and dynamic parameters for trucks of various categories
Source: compiled by the authors.

Категория грузового автомобиля	Параметры автомобилей		
	Технические	Динамические	
	Габаритная длина, м	Максимальное ускорение, м/с ²	Максимальное замедление, м/с ²
№ 1	6	1,2	4,8
№ 2	7	0,8	5,0
№ 3	9	0,4	5,5

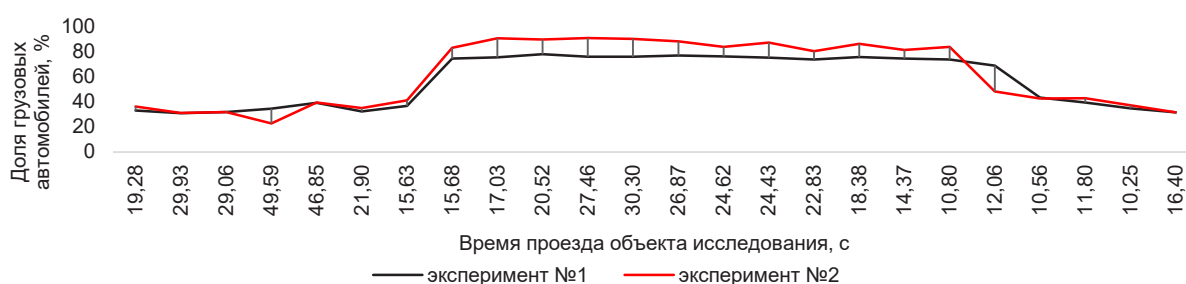


Рисунок 3 – Линейные графики изменения среднего времени проезда на объекте исследования при изменении доли наличия грузовых автомобилей и применении различных методов учета их категорий (эксперимент № 1, эксперимент № 2)

Источник: составлено авторами.

Figure 3 – Linear graphs of changes in the average travel time at the object of study with a change in the share of the presence of trucks and the use of various methods for accounting for their categories (experiment No. 1, experiment No. 2)

Source: compiled by the authors.

Следует отметить, что при выполнении эксперимента № 1 для приведения интенсивности были использованы общепринятые коэффициенты приведения, отраженные в нормативном документе СП 34.13330.2012, а также в научных источниках [21, 22, 23, 24]. Таким образом, при выполнении эксперимента № 1 в логику процесса была задана величина приведенной интенсивности без учета различных категорий грузовых автомобилей и их подробного описания – технических и динамических показателей. При выполнении эксперимента № 2 в блоки описания автомобилей были заданы соответствующие динамические и технические параметры рассматриваемых категорий грузовых автомобилей, представленных в таблице 2. Продолжительность выполнения эксперимента составляла 10 мин, соответствующее повторению работы 60 циклов на объекте исследования, что с учетом условий, определенных в источнике [25], соответствует достаточному количеству опытов.

Во всех случаях определяемым параметром является среднее время проезда, которое с использованием классических формул, предложенных в теории транспортных потоков В. В. Сильянова¹, позволяет осуществить расчет средней скорости движения.

РЕЗУЛЬТАТЫ

По результату проведения эксперимента при одинаковом составе транспортного потока, но различных методах учета категорий грузовых автомобилей был получен набор данных, представленный в таблице 3, который позволяет оценить изменение наблюдаемых характеристик транспортного потока, таких как средняя скорость движения ($\bar{v}$) и среднее время проезда ($\bar{t}$) (см. рисунок 3), коридор колебания в данном случае находится в диапазоне [- 20%; 34%].

При анализе рисунка 3 видно, что одинаковые доли наличия грузовых автомобилей, но различные методы их учета, приводят к изменению времени проезда исследуемого участка.

¹ Сильянов В. В. Теория транспортных потоков в проектировании дорог и организации движения. М.: Транспорт, 1977. 303 с.

Таблица 3
Результаты проведения экспериментов
Источник: составлено авторами.

Table 3
Results of the experiments
Source: compiled by the authors.

№ п/п	Время	Доля грузовых автомобилей, %	Эксперимент № 1			Эксперимент № 2		
			N пр, ед/ч	$\bar{t}$, с	$\bar{\vartheta}$, км/ч	N, авт/ч	$\bar{t}$, с	$\bar{\vartheta}$, км/ч
1	00:00-01:00	19,3	252	32,9	36,1	192	36,2	32,8
2	01:00-02:00	29,9	197	30,9	38,5	140	30,9	38,4
3	02:00-03:00	29,1	127	31,7	37,5	89	31,8	37,4
4	03:00-04:00	49,6	144	34,4	34,5	85	22,7	52,3
5	04:00-05:00	46,9	172	39,0	30,5	102	39,4	30,1
6	05:00-06:00	21,9	231	32,4	36,7	183	34,9	34,0
7	06:00-07:00	15,6	619	36,6	32,5	512	40,9	29,0
8	07:00-08:00	15,7	1355	74,2	16,0	1116	82,8	14,3
9	08:00-09:00	17,0	1739	75,3	15,8	1415	90,5	13,1
10	09:00-10:00	20,5	1873	77,7	15,3	1482	89,4	13,3
11	10:00-11:00	27,5	1926	75,8	15,7	1449	90,6	13,1
12	11:00-12:00	30,3	1832	75,7	15,7	1337	89,9	13,2
13	12:00-13:00	26,9	1885	76,6	15,5	1410	87,9	13,5
14	13:00-14:00	24,6	1694	76,0	15,6	1300	83,7	14,2
15	14:00-15:00	24,4	1427	75,1	15,8	1109	86,9	13,7
16	15:00-16:00	22,8	1426	73,5	16,2	1108	80,1	14,8
17	16:00-17:00	18,4	1618	75,5	15,7	1311	86,1	13,8
18	17:00-18:00	14,4	1551	74,4	16,0	1294	81,2	14,6
19	18:00-19:00	10,8	1213	73,4	16,2	1065	83,5	14,2
20	19:00-20:00	12,1	1110	68,6	17,3	954	48,0	24,7
21	20:00-21:00	10,6	921	43,3	27,5	805	42,6	27,9
22	21:00-22:00	11,8	822	39,3	30,3	704	42,7	27,8
23	22:00-23:00	10,2	536	34,6	34,3	459	37,2	31,9
24	23:00-00:00	16,4	347	31,6	37,5	280	31,6	37,6

Следуя основной цели исследования, необходимо оценить изменение средней скорости проезда. Построенные точечные графики (рисунок 4) наглядно отражают изменение средней скорости движения.

Видно, что характер распределения при различных методах учета грузовых автомобилей оказывает влияние на скоростной режим,

в частности на среднюю скорость движения. Таким образом, экспериментально определено, что при одинаковых долях наличия грузовых автомобилей, но разных методах учета их в общем транспортном потоке, средняя скорость проезда участка различна, что, безусловно, должно учитываться при управлении.

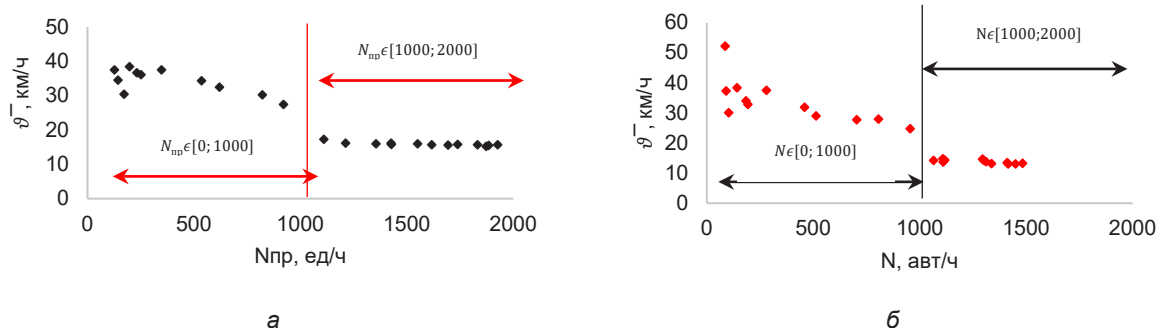


Рисунок 4 – Точечные графики «средняя скорость движения – интенсивность»:
а – эксперимент № 1; б – эксперимент № 2
Источник: составлено авторами.

Figure 4 – “Average speed of movement – intensity” point diagrams:
a) experiment No. 1; b) experiment No. 2
Source: compiled by the authors.

Из представленных точных графиков (см. рисунок 4) наглядно видно, что в диапазоне интенсивности дорожного движения $[0; 1000]$ характер распределения более хаотичный, что можно объяснить относительно свободными условиями для движения, но при повышении интенсивности $[1000; 2000]$ распределение приобретает относительно прямолинейный характер, свидетельствующий о том, что средняя скорость движения в таких условиях изменяется незначительно. Такая особенность распределения наблюдалась при всех экспериментах (см. рисунок 4).

ОБСУЖДЕНИЕ

Интерпретируя результаты, можно сказать, что наиболее существенная разница ($>10\%$) между средними скоростями движения наблюдается при интенсивности выше 1000 авт/ч и доли грузовых автомобилей более 20% (см. таблицу 2). С целью определения вида функциональной зависимости между скоростью и интенсивностью с учетом категорий грузовых автомобилей был выполнен анализ значений в диапазоне интенсивности до 1000 авт/ч и выше (рисунок 5).

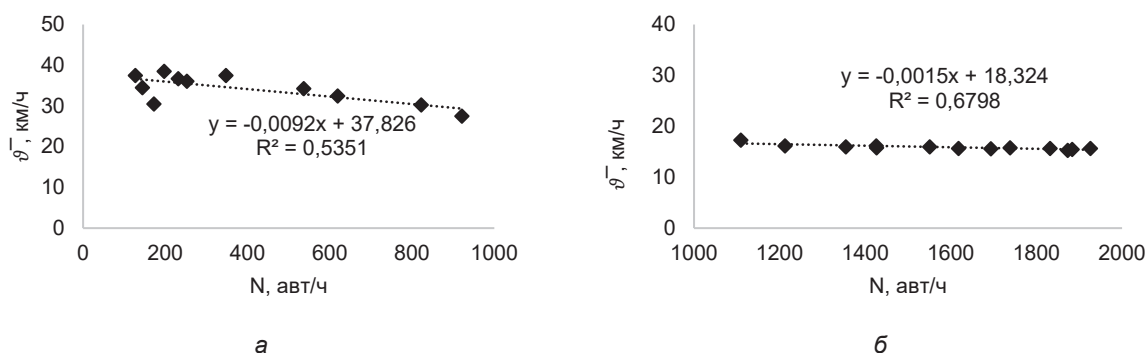


Рисунок 5 – Точечные графики «скорость – интенсивность» при различных диапазонах:
а – при интенсивности ниже 1000 авт/ч; б – при интенсивности выше 1000 авт/ч
Источник: составлено авторами

Figure 5 – “Speed-intensity point diagrams for different ranges:
a) at an intensity below 1000 avt / h; b) at an intensity of more than 1000 avt / h
Source: compiled by the authors.

Таким образом, в результате выполненных исследований были установлены зависимости между средней скоростью движения и интенсивностью движения, с учетом присутствия в общем транспортном потоке грузовых автомобилей различных категорий:

- при $N \in [0; 1000]$, ед/ч, наиболее точно из основных функций ($R^2 = 0,54$) описываемая линейной функцией:

$$y = -0,0092 \cdot x + 37,826, \quad (1)$$

где y – интенсивность, авт/ч, x – средняя скорость движения, км/ч;

- при $N \in [1000; 2000]$, ед/ч, наиболее точно из основных функций ($R^2 = 0,68$) описываемая линейной функцией:

$$y = -0,0015 \cdot x + 18,324, \quad (2)$$

где y – интенсивность, авт/ч, x – средняя скорость движения, км/ч.

Полученные зависимости (1) и (2) могут быть применены для аналогичных объектов исследования, расположенных вблизи транспортно-логистических комплексов, которые на основании изменения средней скорости движения и величины интенсивности позволят оценить долю наличия грузовых автомобилей, что является важным показателем при установлении режимов управления.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Изменение транспортно-логистического сообщения и формирование определенного «грузового каркаса» вблизи крупных городов вносит свои коррективы в движение транспортных потоков, в котором преобладают грузовые автомобили. Изменение состава транспортного потока обязательно должно быть учтено при реализации организационных мероприятий, в том числе и при управлении. С целью отражения влияния грузовых автомобилей различных категорий в рамках выполненного исследования был определен участок – регулируемый перекресток, состав транспортного потока которого представлен грузовыми автомобилями в диапазоне от 10 до 50%. Мониторинг движения на участке позволил определить распределение интенсивности транспортного потока в зависимости от времени суток и долю присутствия основных категорий грузовых автомобилей – № 1, № 2 и № 3. Моделирование в программной среде AnyLogic позволило установить значение средней скорости движения на участке для приведенной интенсивно-

сти движения и для интенсивности движения с учетом категорий грузовых, с отражением динамических и технических показателей. В результате выполненных процедур была установлена разница между наблюдаемыми показателями скорости от 1 до 30% и установлено, что наибольшая разница в результатах наблюдалась при интенсивности свыше 1000 авт/ч и доли присутствия грузовых автомобилей более 20%, что требует обязательного учета при установлении режимов управления.

СПИСОК ИСТОЧНИКОВ

1. Анализ сложности городской транспортной сети / А. П. Кирпичников, И. С. Ризаев, Д. И. Мифтахутдинов, Е. Л. Буйнова // Вестник Технологического университета. 2019. Т. 22, № 3. С. 123 – 127.
2. Басков В. Н., Исаева Е. И., Игнатов А. В. Оценка улично-дорожной сети по помехонасыщенности // Мир транспорта и технологических машин. 2019. № 4 (67). С. 66 – 72.
3. Павлов В. В. Транспортно-логистические комплексы: современное состояние, особенности, перспективы развития // Экономика и предпринимательство. 2016. № 11-3 (76). С. 946 – 951.
4. Головцова И. Г., Довгенко И. А. Методы повышения конкурентоспособности транспортно-логистических комплексов // Теория и практика общественного развития. 2016. № 4. С. 59 – 61.
5. Исаков К., Стасенко Л. Н., Алтыбаев А. Ш., Дайырбекова Д. Влияние параметров цикла светофорного регулирования на пропускную способность регулируемых пересечений // Вестник СибАДИ. 2019; 16 (2): 146 – 155. <https://doi.org/10.26518/2071-7296-2019-2-146-155>
6. Novikov A., Novikov I., Shevtsova A. Modeling of traffic-light signalization depending on the quality of traffic flow in the cit. Journal of Applied Engineering Science. 2019. Vol. 17. No 2. P. 175 - 181. DOI 10.5937/jaes17-18117.
7. Novikov A., Katunin A., Novikov I., Shevtsova A. Research of Influence of Dynamic Characteristics for Options Controlled Intersection // Procedia Engineering. 2017. Vol. 187. P. 664-671. DOI 10.1016/j.proeng.2017.04.429.
8. Власов А. А., Пильгейкина И. А., Скорикова И. А. Методика формирования многопрограммного управления изолированным перекрестком // Компьютерные исследования и моделирование. 2021. Т. 13, № 2. С. 295 – 303. DOI 10.20537/2076-7633-2021-13-2-295-303.
9. Шевцова А. Г., Бурлуцкая А. Г., Юнг А. А. Оценка влияния параметров автомобилей на значение потока насыщения // Интеллект. Инновации. Инвестиции. 2022. № 1. С. 126 – 134. DOI 10.25198/2077-7175-2022-1-126.
10. Рассоха В. И., Никитин Н. А., Савина Ю. Э. Сравнение эффективности алгоритмов расчёта режима работы светофорного объекта // Технико-технологические проблемы сервиса. 2020. № 4 (54). С. 44 – 49.

11. Андронов С. А. Сравнение эффективности адаптивных алгоритмов светофорного регулирования в среде AnyLogic // Программные продукты и системы. 2019. № 1. С. 150 – 158.
12. Скальская Е. Д., Самойлова И. А. Разработка модели перекрестка средствами AnyLogic // Молодой ученый. 2022. № 21 (416). С. 209 – 211.
13. Solving a Traffic Congestion Problem at T-intersections using AnyLogic Simulation / S. M. M. Kazmi, Xu. Sun, H. Yu [et al.] // Conference of Open Innovations Association, FRUCT. 2022. No 32. P. 359 – 365.
14. Койнова А. С. Использование AnyLogic для моделирования транспортных процессов // Научный альманах. 2017. № 1-3 (27). С. 83 – 85. DOI 10.17117/na.2017.01.03.083.
15. Реенко Н. А., Михайлов А. С. Разработка имитационной модели дорожного движения в программной среде Any logic // Решетневские чтения. 2018. Т. 2. С. 153 – 155.
16. Моделирование процесса движения на магистральной улице г. Воронежа в программной среде AnyLogic / С. В. Дорохин, Д. В. Лихачев, А. Ю. Артемов, А. В. Марусин // Воронежский научно-технический вестник. 2022. Т. 4. № 4 (42). С. 73 – 84. DOI 10.34220/2311-8873-2022-73-84.
17. Зырянов В. В. Методы оценки адекватности результатов моделирования // Инженерный вестник Дона. 2013. № 2 (25). 132 с.
18. Information technologies and management of transport systems development of the approach to assessing adaptation of the intersection transport model / A. Novikov, S. Glagolev, I. Novikov, A. Shevtsova // IOP Conference Series, IC12AE 2019, Irkutsk, 27 мая - 01 2019 года. Vol. 632. Irkutsk: Institute of Physics Publishing, 2019. P. 012052. DOI: 10.1088/1757-899X/632/1/012052
19. Adaptation Capacity of the Traffic Lights Control System (TSCS) as to Changing Parameters of Traffic Flows Within Intellectual Transport Systems (ITS) / A. Novikov, I. Novikov, A. Katunin, A. Shevtsova // Transportation Research Procedia: 12th International Conference "Organization and Traffic Safety Management in Large Cities", SPbOTSIC 2016, Saint-Petersburg, 28-30 сентября 2016 года. Vol. 20. Saint-Petersburg: Elsevier B.V., 2017. P. 455-462. DOI: 10.1016/j.trpro.2017.01.074
20. Разработка методики адаптации модели регулируемого пересечения / И. А. Новиков, А. Г. Шевцова, А. А. Кравченко, А. Г. Бурлуцкая // Вестник СибАДИ. 2020. Т. 17. № 6 (76). С. 726 – 735. DOI 10.26518/2071-7296-2020-17-6-726-735.
21. Донченко В. В. Оценка коэффициентов приведения грузовых автомобилей, применительных к расчету параметров регулируемого перекрестка / В. В. Донченко, А. Н. Шумский // Вестник СибАДИ. 2021. Т. 18, № 5 (81). С. 544 – 553. DOI 10.26518/2071-7296-2021-18-5-544-553.
22. Новиков И. А., Медведев М. И., Шевцова А. Г. Влияние динамических характеристик грузового автотранспорта на параметры регулируемого перекрестка // Мир транспорта и технологических машин. 2017. № 1 (56). С. 62 – 69.
23. Левашев А. Г., Михайлов А. Ю. Уточнение коэффициентов приведения к легковому автомобилю для расчетов режимов регулирования // Вестник Иркутского государственного технического университета. 2005. № 1 (21). С. 138 – 143.
24. Volkova E. V. An analysis of traffic flow distribution on roads / E. V. Volkova, A. A. Stepanenko // IOP Conference Series: Materials Science and Engineering: 3, New Technologies and Targeted Development Priorities, Irkutsk, 23–24 апреля 2020 года. Irkutsk, 2020. P. 012074. DOI 10.1088/1757-899X/880/1/012074.
25. Бойко А. Ф., Кудеников Е. Ю. Точный метод расчета необходимого количества повторных опытов // Вестник Белгородского государственного технологического университета им. В. Г. Шухова. 2016. № 8. С. 128 – 132.

REFERENCES

1. Kirpichnikov A. P., Rizaev I. S., Miftahutdinov D. I., Bujnova E. L. Analiz slozhnosti gorodskoj transportnoj seti [Analysis of the complexity of the urban transport network]. *Vestnik Tehnologicheskogo universiteta*. 2019; T. 22. No 3:123-127. (In Russ.)
2. Baskov V. N., Isaeva E. I., Ignatov A. V. Ocenka ulichno-dorozhnoj seti po pomehonasysshennosti [Evaluation of the street-road network by noise saturation]. *Mir transporta i tehnologicheskikh mashin*. 2019; 4 (67): 66-72. (In Russ.)
3. Pavlov V. V. Transportno-logisticheskie komplekсы: sovremennoe sostojanie, osobennosti, perspektivy razvitiya [Transport and logistics complexes: current state, features, development prospects]. *Jekonomika i predprinimatel'stvo*. 2016; 11-3 (76): 946-951. (In Russ.)
4. Golovcova I. G., Dovgenko I. A. Metody povysheniya konkurentosposobnosti transportno-logisticheskikh komplekсов [Methods for improving the competitiveness of transport and logistics complexes]. *Teoriya i praktika obshchestvennogo razvitiya*. 2016; 4: 59-61. (In Russ.)
5. Isakov K., Stasenko L. N., Altybaev A. S., Daiyrbekova D. Influence of parameters of the traffic-light regulation cycle on the road capacity of regulated intersections. *The Russian Automobile and Highway Industry Journal*. 2019;16 (2): 146-155. (In Russ.) <https://doi.org/10.26518/2071-7296-2019-2-146-155>
6. Novikov A., Novikov I., Shevtsova A. Modeling of traffic-light signalization depending on the quality of traffic flow in the city. *Journal of Applied Engineering Science*. 2019; Vol. 17. No 2: 175-181. DOI 10.5937/jaes17-18117.
7. Novikov A., Katunin A., Novikov I., Shevtsova A. Research of Influence of Dynamic Characteristics for Options Controlled Intersection. *Procedia Engineering*. 2017; 187: 664-671. DOI10.1016/j.proeng.2017.04.429.
8. Vlasov A. A., Pilgeikina I. A., Skorikova I. A. Methods of formation of multiprogram control of an isolated intersection [Metodika formirovaniya mnogoprogrammnogo upravleniya izolirovannym perekrestkom]. *Komp'yuternye issledovaniya i modelirovanie*. 2021;

T. 13. No. 2: 295-303. DOI 10.20537/2076-7633-2021-13-2-295-303. (In Russ.)

9. Shevtsova A. G., Burlutskaya, A. G., Yung, A. A. Ocenka vliyanija parametrov avtomobilej na znachenie potoka nasyshhenija [Estimation of the influence of car parameters on the value of the saturation flow]. *Intellekt. Innovacii. Investicii*. 2022; 1: 126-134. DOI 10.25198/2077-7175-2022-1-126. (In Russ.)

10. Rassoha V. I., Nikitin N. A., Savina Ju. Je. Svrnenie jeffektivnosti algoritmov raschjota rezhima raboty svetofornogo ob'ekta [Comparison of the efficiency of algorithms for calculating the operating mode of a traffic light object]. *Tehniko-tehnologicheskie problemy servisa*. 2020; 4 (54): 44-49. (In Russ.)

11. Andronov S. A. Svrnenie jeffektivnosti adaptivnyh algoritmov svetofornogo regulirovanija v srede AnyLogic [Comparison of the efficiency of adaptive traffic light control algorithms in the AnyLogic environment]. *Programmnye produkty i sistemy*. 2019; 1:150-158. (In Russ.)

12. Skakal'skaja E. D., Samojlova I. A. Razrabotka modeli perekrestka sredstvami AnyLogic [Development of an intersection model using AnyLogic]. *Molodoj uchenyj*. 2022; 21 (416): 209-211. (In Russ.)

13. KazmiS. M. M., SunXu., Yu H. [et al.]. Solving a Traffic Congestion Problem at T-intersections using AnyLogic Simulation. *Conference of Open Innovations Association*. FRUCT. 2022; 32: 359-365.

14. Kojnova A. S. Ispol'zovanie AnyLogic dlja modelirovanija transportnyh processov [Using AnyLogic for modeling transport processes]. *Nauchnyj al'manah*. 2017; 1-3 (27): 83-85. DOI 10.17117/na.2017.01.03.083. (In Russ.)

15. Reenko N. A., Mihajlov A. S. Razrabotka imitacionnoj modeli dorozhnogo dvizhenija v programnoj srede Anylogic [Development of a traffic simulation model in the Anylogic software environment]. *Reshetnevskie chtenija*. 2018; T. 2: 153-155. (In Russ.)

16. Dorohin S. V., Lihachev D. V., Artemov A. Ju., Marusin A. V. Modelirovanie processa dvizhenija na magistral'noj ulice G. Voronezh v programnoj srede Any Logic [Modeling the process of traffic on the main street of Voronezh in the Any Logic software environment]. *Voronezhskij nauchno-tehnicheskij Vestnik*. 2022; T. 4. No 4 (42): 73-84. DOI 10.34220/2311-8873-2022-73-84. (In Russ.)

17. Zyrjanov V. V. Metody ocenki adekvatnosti rezul'tatov modelirovanija [Methods for assessing the adequacy of modeling results]. *Inzhenernyj vestnik Dona*. 2013; 2 (25): 132. (In Russ.)

18. Novikov A., Glagolev S., Novikov I., Shevtsova A. Information technologies and management of transport systems development of the approach to assessing adaptation of the intersection transport model. *IOP Conference Series, IC12AE 2019, Irkutsk*, May 27 - 01 2019. Vol. 632. Irkutsk: Institute of Physics Publishing, 2019. P. 012052. DOI: 10.1088/1757-899X/632/1/012052

19. Novikov A., Novikov I., Katunin A., Shevtsova A. Adaptation Capacity of the Traffic Lights Control Sys-

tem (TSCS) as to Changing Parameters of Traffic Flows Within Intellectual Transport Systems (ITS). *Transportation Research Procedia: 12th International Conference "Organization and Traffic Safety Management in Large Cities"*, SPbOTSIC 2016, Saint-Petersburg, September 28-30, 2016. Vol. 20. Saint-Petersburg: Elsevier B. V., 2017. P. 455-462. DOI: 10.1016/j.trpro.2017.01.074

20. Novikov I. A., Shevtsova A. G., Kravchenko A. A., Burlutskaja A. G. Development of a procedure for adapting a model of adjustable intersection. *The Russian Automobile and Highway Industry Journal*. 2020; 17 (6): 726-735. (In Russ.) <https://doi.org/10.26518/2071-7296-2020-17-6-726-735>

21. Donchenko V. V., Shumskiy A. N. Estimation of truck reduction factors applicable to calculation of parameters of a regulated intersection. *The Russian Automobile and Highway Industry Journal*. 2021; 18 (5): 544-553. (In Russ.) <https://doi.org/10.26518/2071-7296-2021-18-5-544-553>

22. Novikov I. A., Medvedev M. I., Shevcova A. G. Vliyanie dinamicheskikh harakteristik gruzovogo avtotransporta na parametry reguliruемого perekresta [Influence of the dynamic characteristics of trucks on the parameters of the adjustable cross]. *Mir transporta i tehnologicheskikh mashin*. 2017; 1 (56): 62-69. (In Russ.)

23. Levashev A. G., Mihajlov A. Ju. Utochnenie koeficientov privedenija k legkovomu avtomobilju dlja raschetov rezhimov regulirovanija [Refinement of the coefficients of reduction to a passenger car for the calculation of control modes]. *Vestnik Irkutskogo gosudarstvennogo tehnicheskogo universiteta*. 2005; 1 (21): 138-143. (In Russ.)

24. Volkova E. V., Stepanenko A. A. An analysis of traffic flow distribution on roads. *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*: 3, New Technologies and Targeted Development Priorities, Irkutsk, April 23–24, 2020. Irkutsk, 2020. P. 012074. DOI 10.1088/1757-899X/880/1/012074.

25. Boyko A.F., Kudenikov E.Yu. Tochnyj metod rascheta neobhodimogo kolichestva povtornyh opytov [Accurate method for calculating the required number of repeated experiments]. *Vestnik Belgorodskogo gosudarstvennogo tehnologicheskogo universiteta im. V.G. Shuhova*. 2016; 8: 128-132. (In Russ.)

ВКЛАД СОАВТОРОВ

Донченко В. В. Постановка цели и задачи исследования.

Шумский А. Н. Выполнение анализа определенных методов, проведение натурных исследований, осуществление расчетов.

COAUTHORS' CONTRIBUTION

Vadim V. Donchenko. The goal and objectives of the study statement.

Aleksandr N. Shumskiy. Particular methods analysis, field research and calculations carrying out.

ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРАХ

Донченко Вадим Валерианович – канд. техн. наук, ст. науч. сотрудник, научный руководитель, SPIN-код: 4610-4399.

Шумский Александр Николаевич – аспирант; руководитель экспертного центра Probok.net.

INFORMATION ABOUT THE AUTHORS

Vadim V. Donchenko (Moscow, Russia) – Cand. of Sci., Senior researcher, Academic supervisor of the Scientific and Research Institute of Motor Transport, SPIN-код: 4610-4399.

Alexander N. Shumskiy – Postgraduate student of the Scientific and Research Institute of Motor Transport, Head of the Probok.net Expert Center.