

Научная статья
УДК 656.13
DOI: <https://doi.org/10.26518/2071-7296-2023-20-5-586-599>
EDN: OHGMZO



СПОСОБ ОЦЕНКИ ЭФФЕКТИВНОСТИ РАБОТЫ КООРДИНИРОВАННОГО ТИПА УПРАВЛЕНИЯ НА МАГИСТРАЛЬНОЙ УЛИЦЕ

С. В. Дорохин, А. Ю. Артемов*

Воронежский государственный лесотехнический университет им. Г.Ф. Морозова,
г. Воронеж, Россия

dsvvrn@yandex.ru, <https://orcid.org/0000-0002-3869-9115>

artenov_a_u@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0003-0605-3018>

*ответственный автор

АННОТАЦИЯ

Введение. Для большинства городов с устоявшейся транспортной системой характерны определенные перепады интенсивности, которые цикличны и повторяются в течение дня, суток и недели. С учетом имеющегося оборудования – исполнительных элементов первого слоя интеллектуальных транспортных систем (ИТС) – возможна оперативная оценка транспортной ситуации и изменение режима управления в формате онлайн, но такого рода технологии представлены в основном в крупных городах. Несмотря на то, что в городах с малой численностью населения, относящихся к категории малых и средних, имеются идентичные проблемы в области координированного управления магистральными улицами, на таких участках нет возможности оперативного изменения управления из-за отсутствия специального оборудования и осуществления постоянного мониторинга и контроля над транспортной ситуацией. Для повышения эффективности управления на данных участках, расположенных в малых и средних городах, необходимо разработать способ оценки эффективности координированного управления, что и является основной целью выполненного исследования.

Методы и материалы. В результате выполненного исследования применены методы натурных наблюдений, расчетные методы и методы моделирования.

Результаты. В рамках данного исследования был разработан способ оценки эффективности координированного типа управления на основании сопоставления средней величины интенсивности смежных и магистрального участка и соответствующим им средним величинам задержки.

Заключение. Использование полученных результатов на объекте исследования позволило установить временные периоды применения координации и жесткого некоординированного управления.

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА: координированное управление, интенсивность движения, Apy Logic, средняя задержка, оценка результатов

Статья поступила в редакцию 27.08.2023; одобрена после рецензирования 27.09.2023; принята к публикации 24.10.2023.

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: Дорохин С. В., Артемов А. Ю. Способ оценки эффективности работы координированного типа управления на магистральной улице // Вестник СибАДИ. 2023. Т. 20, № 5 (93). С. 586-599. <https://doi.org/10.26518/2071-7296-2023-20-5-586-599>

© Дорохин С. В., Артемов А. Ю., 2023



Контент доступен под лицензией
Creative Commons Attribution 4.0 License.

Origin article

DOI: <https://doi.org/10.26518/2071-7296-2023-20-5-586-599>

EDN: OHGMZO

EFFICIENCY EVALUATING METHOD FOR COORDINATED CONTROL TYPE ON MAIN STREET

Sergei V. Dorokhin, Aleksandr Yu. Artemov*

G.F. Morozov Voronezh State Forestry University,
Voronezh, Russia

dsvvrn@yandex.ru, <https://orcid.org/0000-0002-3869-9115>

artenov_a_u@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0003-0605-3018>

*corresponding author

ABSTRACT

Introduction. For the majority of cities with an established transport system, certain intensity fluctuations are characteristic, which are cyclical and repeated during a day, day and night and week. Taking into account the available equipment, executive elements of the first layer of intelligent transportation systems (ITS), it is possible to promptly assess the transportation situation and change the mode of control in the on-line format, but this kind of technology is mainly presented in large cities. In spite of the fact that in cities with a small population, belonging to the category of small and medium-sized cities there are identical problems in the field of coordinated management of main streets, on such sections there is no possibility of operational change of management, due to the lack of special equipment and implementation of constant monitoring and control of the traffic situation. In order to improve the efficiency of management in such sections located in small and medium-sized cities, it is necessary to develop a way to evaluate the effectiveness of coordinated management, which is the main purpose of the study.

Methods and materials. As a result of the performed research, methods of field observations, calculation methods and modelling methods were used.

Results. As part of the completed study, a method to evaluate the effectiveness of the coordinated type of control based on a comparison of the average intensity of the adjacent and mainline section and their corresponding average delay values was developed.

Conclusion. The use of the obtained results on the research object made possible to establish time periods of application of coordination and rigid non-coordinated control.

KEYWORDS: coordinated control, traffic intensity, Any Logic, average delay, evaluation of results

The article was submitted 27.08.2023; approved after reviewing 27.09.2023; accepted for publication 24.10.2023.

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. Dorokhin S. V., Artemov A. Yu. Efficiency evaluating method for coordinated control type on main street. *The Russian Automobile and Highway Industry Journal*. 2023; 20 (5): 586-599. <https://doi.org/10.26518/2071-7296-2023-20-5-586-599>

© Dorokhin S. V., Artemov A. Yu., 2023



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

ВВЕДЕНИЕ

На протяжении многих лет вопрос управления транспортными потоками продолжает оставаться актуальным. Ежегодный прирост уровня автомобилизации способствует увеличению трафика в городах, что приводит к возникновению заторовых ситуаций. Одним из самых действенных способов в таком случае является реконструкция улично-дорожной сети (УДС) – увеличение числа полос для движения или строительство многоуровневых развязок, но высокая стоимость такого рода мероприятий не позволяет реализовать их в полной мере. Альтернативным мероприятием будет являться применение технических средств организации дорожного движения (ТСОДД), например светофоров, которые позволяют разделить транспортные потоки во времени и тем самым снизить конфликтность пересечений, сократить время простоя и минимизировать вероятность возникновения дорожно-транспортных происшествий (ДТП). В результате постоянного совершенствования современные светофоры работают в различных режимах, предназначенных для управления как изолированными перекрестками, так и магистральными улицами, в состав которых входит несколько управляемых участков. Связь нескольких перекрестков в результате согласованного управления светофоров в научной практике определена как координация, а тип управления – координированный. В большинстве городов при управлении движением транспортных потоков, особенно на магистральных улицах, довольно часто используется координированный тип управления, позволяющий снизить блокирование пересечений и обеспечить безостановочное движение по магистральной улице.

Активная урбанизация и перераспределение транспортных потоков приводит к изменению загруженности УДС и, как следствие, к изменению используемых методов управления и лежащих в их основе алгоритмов. В таком случае при использовании координированного типа управления довольно часто на второстепенных участках – прилегающих улицах, наблюдаются заторовые ситуации, выраженные длительными простоями транспортных средств. Несмотря на то, что движение по магистральной улице происходит с минимальными простоями, на второстепенных участках ввиду возрастающей интенсивности движения автомобилям приходится простаивать довольно длительные промежутки времени. В дан-

ном случае применение координированного типа управления должно быть обоснованным и целесообразным, потому что при возникновении таких ситуаций требуется оперативное изменение режимов управления и применение иного типа управления, например жесткого, без сохранения координации.

Также следует отметить, что для большинства городов с устоявшейся транспортной системой характерны определенные перепады интенсивности, которые цикличны и повторяются в течение дня, суток и недели. С учетом имеющегося оборудования – исполнительных элементов первого слоя ИТС – возможна оперативная оценка транспортной ситуации и изменение режима управления в формате онлайн, но такого рода технологии представлены в основном в крупных городах. Несмотря на то, что в городах с малой численностью населения, относящихся к категории малых и средних, имеются идентичные проблемы в области координированного управления магистральными улицами, на таких участках нет возможности оперативного изменения управления из-за отсутствия специального оборудования и осуществления постоянного мониторинга и контроля над транспортной ситуацией. Для повышения эффективности управления на данных участках, расположенных в малых и средних городах, необходимо разработать способ оценки эффективности применения координированного управления, что и является основной целью выполненного исследования. Для достижения поставленной цели определены основные задачи: 1. Выполнить анализ существующих методов оценки эффективности применения координированного типа управления. 2. Провести натурные исследования магистральной улицы, расположенной в городе с малой численностью населения. 3. Построить имитационную модель объекта исследования и провести процедуру моделирования движения транспортного потока с учетом различных сочетаний интенсивностей по магистральному и смежному направлению. 4. Выполнить анализ величины средней задержки на объекте исследования по рассматриваемым направлениям и разработать способ оценки эффективности применения координированного типа управления.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

Вопросу координированного управления посвящено большое количество научных трудов, в которых рассматриваются принципы организации такого типа управления, крите-

рии ввода, а также методы оценки эффективности применения данного типа управления. В труде А. А. Власова [1], рассмотрены модели, позволяющие оценить целесообразность координации светофорных объектов и включения в систему координации новых светофорных объектов (перекрестков), например, в зарубежной практике предложен индекс желательности координации (*IDI – Intercoordination Desirability Index*), который рассчитывается с использованием формулы

$$IDI = \left(\frac{0.5}{1+t} \right) \times \left(\frac{q_{\max}}{q_T} - (N-2) \right), \quad (1)$$

где t – время движения по связи, мин; q_{\max} – максимальный поток со смежного регулируемого пересечения, авт./ч; q_T – суммарный поток по всем направлениям со смежного регулируемого пересечения, авт./ч; N – число полос движения, с которых осуществляется движение по маршруту координации.

Градация полученного значения *IDI*, представленная в таблице 1, позволяет установить

возможность включения нового светофорного объекта в существующую систему координации.

В зарубежной практике, согласно представленному обзору в источнике [1], распространено применение индекса связности (*CI – Coupling Index*), который также позволяет оценить возможность включения нового светофорного объекта в существующую систему координации по результату расчета индекса с использованием формулы

$$CI = \frac{V}{(D/0,62)^2}, \quad (2)$$

где V – интенсивность движения для анализируемого периода, тыс. авт./ч; D – длина связи, км.

В результате расчета с использованием градации диапазонов возможных значений индекса связности, представленных в таблице 2, возможно оценить целесообразность включения в систему координации нового светофорного объекта.

Таблица 1
Градация индекса желательности координации (*CDI*)
Источник: Составлено авторами.

Table 1
Gradation of Coordination Desirability Index (*CDI*)
Source: compiled by the authors.

Диапазон значения индекса желательности координации (<i>IDI</i>)	Результат
0,35 – 1	Возможно включение нового светофорного объекта в систему координации
0 – 0,35	Невозможно включение нового светофорного объекта в систему координации

Таблица 2
Градация индекса связности (*CI*)
Источник: Составлено авторами.

Table 2
Gradation of the cohesion index (*CI*)
Source: compiled by the authors.

Диапазон значения индекса связности (<i>CI</i>)	Результат
0 – 0,1	Нет необходимости включения нового светофорного объекта в систему координации
1 – 50	Желательно включить новый светофорный объект в систему координации
> 50	Рекомендуется включить новый светофорный объект в систему координации

В источнике [1] приведено еще несколько формул для расчета индекса связности, которые также как и предыдущие (1) и (2) позволяют оценить целесообразность включения нового светофорного объекта в систему координации. Следует отметить, что представленные формулы не позволяют оценить эффективность применения уже установленной координации, что является необходимым мероприятием в условиях современных городов, ввиду возросшей интенсивности движения, а также с учетом ее довольно частых перепадов.

В отечественной практике, в частности, в методических рекомендациях по оптимизации светофорного регулирования и координации работы светофорных объектов, представленных на официальном сайте ОАО «НИИАТ», аналогичным образом для определения целесообразности включения светофорного объекта в зону координируемости применяется фактор координируемости (CF – *coordination factor*), определяемый с использованием формулы

$$CF = \max(CF1, CF2) + A_p + A_y + A_c, \quad (3)$$

где $CF1$ – фактор координируемости по времени движения; $CF2$ – фактор переполнения транспортной связи средним потоком за цикл регулирования; A_p – фактор наличия групп в цикле регулирования при установленной интенсивности; A_y – установленная интенсивность; A_c – установленная длительность цикла регулирования.

Для транспортных связей, время движения по которым превышает 80 с, значение $CF1$ принимается равным 0. Для транспортных связей, время движения по которым составляет менее 4 с, возможно возникновение эффекта блоки-

рования и координация светофорных объектов является обязательной. Соответственно, значение $CF1$ принимается равным 100. Для связей, время движения по которым варьируется в диапазоне от 4 до 80 с, значение $CF1$ определяется по формуле

$$CF1 = 100 - \frac{(time - 4) \cdot 100}{76}. \quad (4)$$

Фактор переполнения транспортной связи средним потоком за цикл регулирования ($CF2$) рассчитывается по формуле

$$CF2 = 100 - \frac{AT}{SS}, \quad (5)$$

где AT (Average Traffic) – средняя интенсивность движения за цикл регулирования, ед./цикл; SS (Storage Space) – пропускная способность рассматриваемого участка ед./цикл.

В данном случае составляющие, необходимые для расчета $CF2$, определяются с использованием формул (6) и (7):

$$AT = \frac{q \cdot C}{3600}, \quad (6)$$

где q – интенсивность движения, ед./ч; C – установленная длительность цикла регулирования, с.

$$SS = \frac{n \cdot LD}{VL}, \quad (7)$$

где n – число полос движения, LD – длина связи между участками, м; VL – средняя длина автомобилей, м.

В результате расчета полученные данные интерпретируются с учетом градации, представленной в таблице 3.

Таблица 3
Интерпретация диапазонов значений коэффициента координации (CF)
Источник: Составлено авторами.

Table 3
Interpretation of Coordination Factor (CF) value ranges
Source: compiled by the authors.

Диапазон значения коэффициента координации (CF)	Результат
> 80	Рекомендуется включить новый светофорный объект в систему координации
20 – 80	Возможно включить новый светофорный объект в систему координации
0 – 20	Нет необходимости включения нового светофорного объекта в систему координации

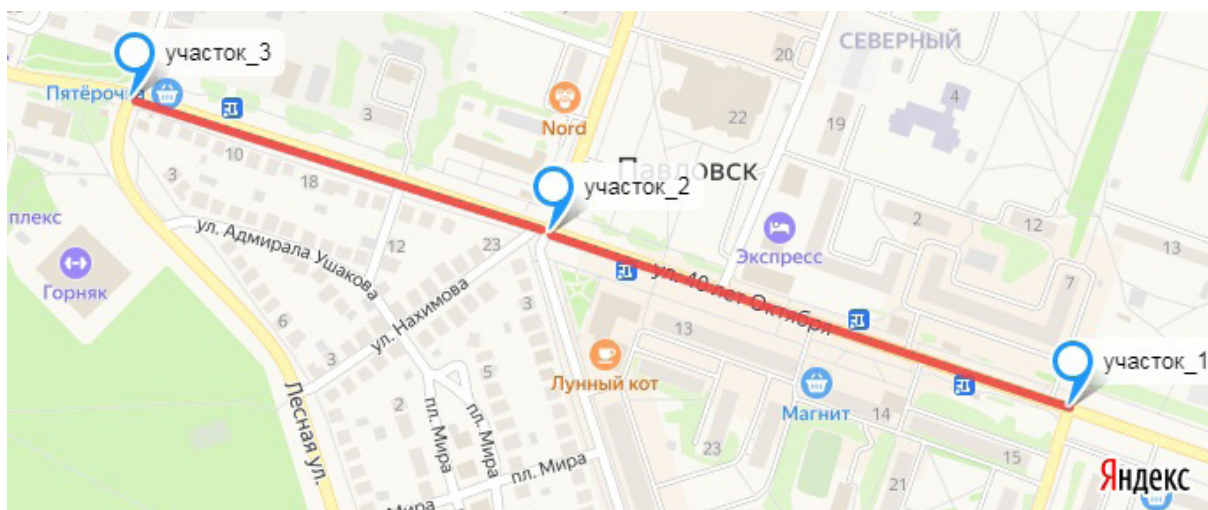


Рисунок 1 – Вид улицы 40 лет Октября в г. Павловске
Источник: составлено авторами.

Figure 1 – View of 40 Let Oktabria Street in the city of Pavlovsk
Source: compiled by the authors.

Аналогичным образом отраженный метод позволяет оценить возможность включения новых светофорных объектов в зону координации, но не позволяет оценить эффективность. Кроме представленных формул (1) – (3) в научной практике есть много исследований, в которых описываются условия ввода и основное оборудование для реализации координированного типа управления [2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9, 10], тем не менее вопрос эффективности его применения координированного управления особенно с учетом изменения интенсивности дорожного движения остается открытым.

ЭКСПЕРИМЕНТ И ОЦЕНКА РЕЗУЛЬТАТОВ

Исследования территории Воронежской области и отдельных муниципалитетов показали, что в городах с малой и средней численностью населения отсутствует возможность постоянного мониторинга транспортной сети и управление транспортными потоками с использованием светофоров производится по жестким программам, без возможности оперативного изменения [11]. На магистральных улицах, управление на которых координированно, наблюдается схожая ситуация. В каче-

стве объекта исследования определена магистральная ул. 40 лет Октября, расположенная в г. Павловске Воронежской области (рисунок 1), протяженностью 849 м. В координации находится 3 перекрестка:

- 1) участок_1 – ул. 40 лет Октября – мкр-н Гранитный;
- 2) участок_2 – ул. 40 лет Октября – ул. Гоголя;
- 3) участок_3 – ул. 40 лет Октября – ул. Лесная (см. рисунок 1).

На магистральной улице действует пять программ координации, переключение которых происходит в зависимости от дня недели и времени суток, в среднем длительность режима изменяется от 72 до 96 с.

Выполненные натурные исследования показали, что в течение дня на объекте исследования средняя часовая интенсивность по магистральной улице (N_m) и смежным направлениям (N_c) неравномерна (рисунок 2). На участке в течение дня постоянно сохраняется режим координации с целью обеспечения движения по ул. 40 лет Октября с минимальным числом непреднамеренных остановок.

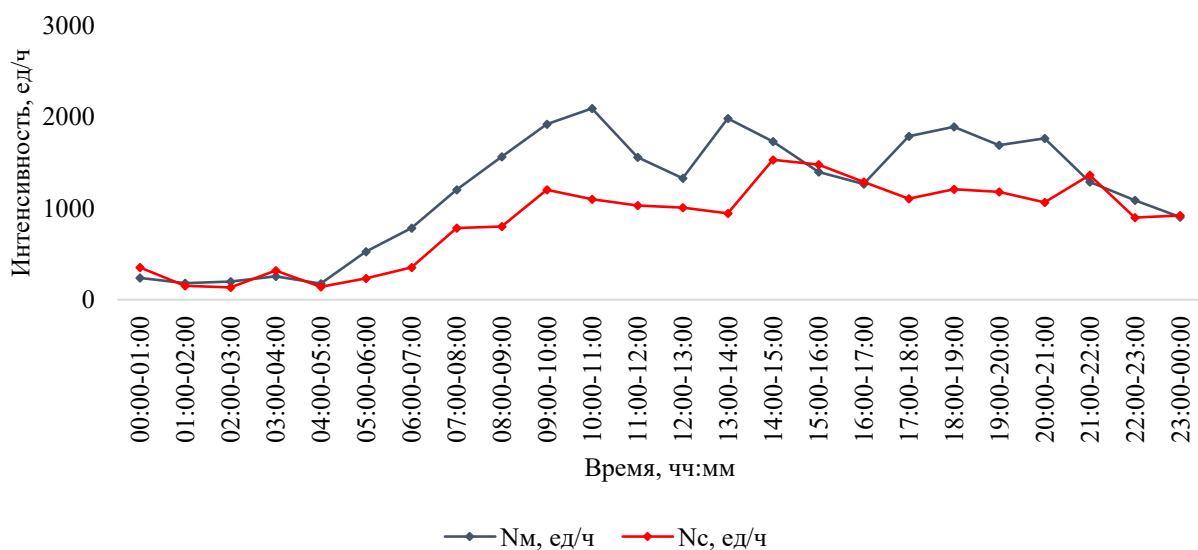
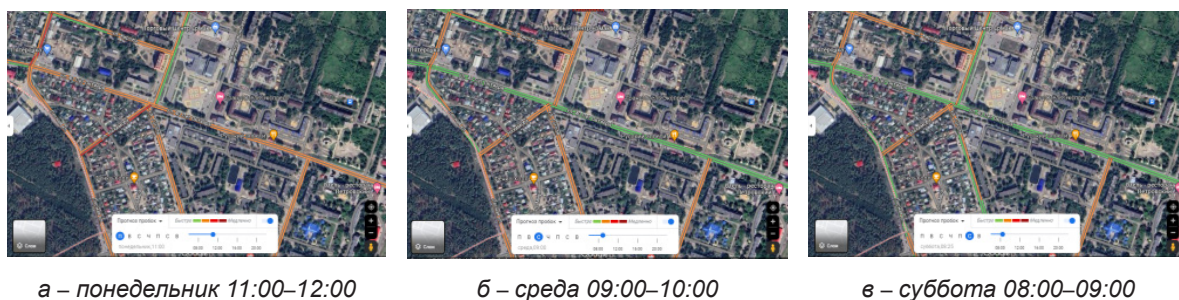


Рисунок 2 – Результаты исследования интенсивности движения на магистральной улице в г. Павловске
Источник: составлено авторами.

Figure 2 – Results of the study of traffic intensity on the main street in Pavlovsk city
Source: compiled by the authors.



а – понедельник 11:00–12:00

б – среда 09:00–10:00

в – суббота 08:00–09:00

Рисунок 3 – Результаты мониторинга транспортной ситуации с использованием онлайн-сервиса Google-карты
Источник: составлено авторами.

Figure 3 – Results of transportation situation monitoring using on-line Google-maps service
Source: compiled by the authors.

Натурные обследования рассматриваемой магистральной улицы показали, что на смежных улицах довольно часто наблюдаются заторовые ситуации, что наглядно отражено на рисунке 3.

С целью оценки транспортной ситуации и существующего режима координации в программной среде Any Logic [12] была построена имитационная модель [13, 14, 15, 16, 17, 18] обследуемой магистральной улицы. Оценка адекватности построенной модели осуществлена с использованием U-статистики Зейла [19, 20, 21], которая позволила осуществить

калибровку модели по заданной величине интенсивности и геометрическим показателям. В результате оценки адекватности построенной модели значение главной статистики изменялось в пределе от 0,76 до 0,92, что позволяет судить об адекватности построенной модели.

Для оценки эффективности использования координированного типа управления была определена величина средней задержки [22, 23, 24, 25] на главном (магистральном) направлении и второстепенных (смежных участках). Полученные результаты представлены в таблице 4 (рисунок 4) и таблице 5 (рисунок 5).

Таблица 4
Значения средней величины задержки на магистральной улице
Источник: составлено авторами.

Table 4
Values of average delay on the main street
Source: compiled by the authors.

$\frac{N_m}{N_c}$ ед/ч	1000	1100	1200	1300	1400	1500	1600	1700	1800
250	115,5	115,93	198,46	280,77	343,32	393,09	482,04	496,14	528,65
500	142,87	149,92	203,43	322,69	435,68	498,5	478,39	564,62	546,08
750	151,56	209,69	348,02	366,93	443,61	499,92	498,86	537,03	558,83
1000	200,85	332,96	402,69	365,82	460,33	527,14	564,65	554,4	572,56
1250	220,9	348,42	446,1	433,13	459,37	472,55	564,64	631,55	587,98
1500	237,65	378,44	453,3	471,7	492,05	523,01	545,19	579,48	591,13
1750	305,71	384,53	462,53	525,16	477,64	546,23	595,55	552,13	617,19
2000	311,37	384,69	393,47	461,39	495,58	480,16	608,99	599,37	552,43
2250	338,09	405,9	406,22	526,81	560,92	505,01	579,16	631,85	567,32
2500	280,1	390,77	489,19	490,07	535,82	563,11	528,27	607,88	601,66
2750	366,13	445,8	508,49	460,3	549,68	551,98	561,28	564,12	626,42
3000	335,79	443,35	471,78	608,67	568,42	597,95	593,09	628,13	570,72

Таблица 5
Значения средней величины задержки на смежных участках
Источник: составлено авторами.

Table 5
Values of average delay on adjacent sections
Source: compiled by the authors.

$\frac{N_m}{N_c}$ ед/ч	1000	1100	1200	1300	1400	1500	1600	1700	1800
250	93,73	95,92	165,09	264,98	308,85	400,13	452,99	452,69	487,98
500	101,69	107,43	331,03	326,01	448,35	478,71	446,704	499,11	490,8
750	120,38	171,52	331,95	387,06	466,18	475,94	461,07	497,83	426,24
1000	183,66	325,08	395,36	442,12	444,36	524,08	540,85	521,78	554,04
1250	234,74	386,99	476,18	465,26	481,74	535,72	534,08	563	540,88
1500	269,57	432,93	458	511,25	537,25	504,37	543,73	572,63	562,29
1750	353,52	437,45	481,03	542,7	535,16	542,57	604,82	548,35	565,23
2000	380,83	457,75	444,43	503,69	511,69	497,82	593,56	618,09	555,93
2250	395,98	483,52	559,83	549,58	570,36	590,75	576,04	644,71	543,52
2500	305,51	474,85	486,17	527,49	530,74	561,26	547,12	569,46	587,98
2750	420,27	455,1	554,78	512,27	589,81	569,38	543,62	557,42	599,86
3000	374,57	511,97	523,59	578,46	570,05	557,67	601,24	581,37	546,05

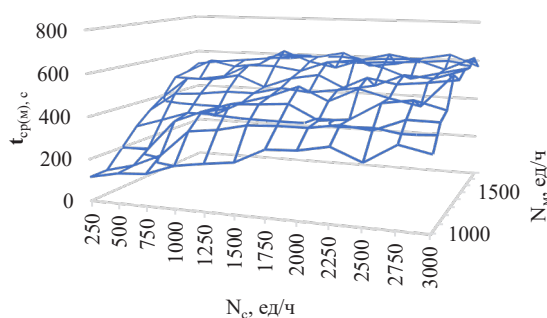


Рисунок 4 – Графическое представление изменения средней величины задержки по магистральной улице.
Источник: составлено авторами.

Figure 4 – Graphical representation of the change in average delay along a main street
Source: compiled by the authors.

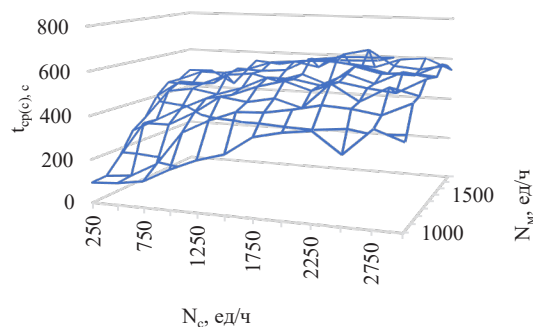
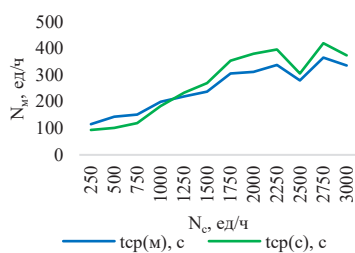
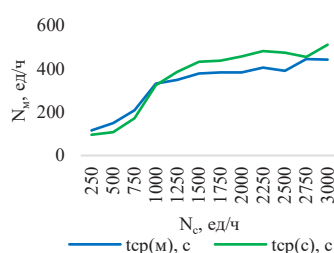


Рисунок 5 – Графическое представление изменения средней величины задержки на смежных участках.
Источник: составлено авторами.

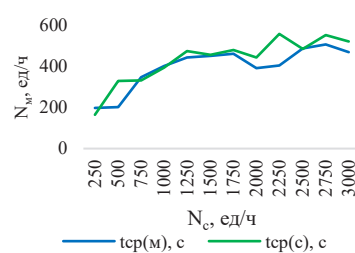
Figure 5 – Graphical representation of the change in the average delay on adjacent sites
Source: compiled by the authors.



а – при $N_m = 1000$ ед./ч



б – при $N_m = 1100$ ед./ч



в – при $N_m = 1200$ ед./ч

Рисунок 6 – Линейные графики изменения средней величины задержки по магистральному и смежным направлениям при суммарной N_m от 1000 до 1200 ед./ч
Источник: составлено авторами.

Figure 6 – Line graphs of average delay variation along the mainline and adjacent directions for total N_m from 1,000 to 1,200 units/hr
Source: compiled by the authors.

В ходе моделирования было установлено, что при относительно невысоких значениях величины интенсивности магистральной улицы (от 1000 до 1200 ед./ч) средняя величина задержки на смежных участках довольно часто превышает аналогичное значение по магистральной улице (рисунок 6), что позволяет судить о неэффективности применения координированного типа управления в представленных соотношения интенсивности.

Интенсивность по смежным участкам в данном случае представлена в виде суммы интенсивностей входящих транспортных потоков, в среднем по одному смежному направле-

нию интенсивность изменялась в пределах от 50 до 600 ед./ч.

Анализ изменения средней величины задержки по рассматриваемым направлениям – магистральному и связным участкам при интенсивности транспортного потока на магистральной улице свыше 1200 ед./ч показал, что в большинстве случаев рассматриваемая величина по магистральному направлению выше рассматриваемой величины на смежных участках (рисунок 7), что свидетельствует об эффективности установления координированного типа управления и организации движения с минимальным числом остановок по ул. 40 лет Октября.

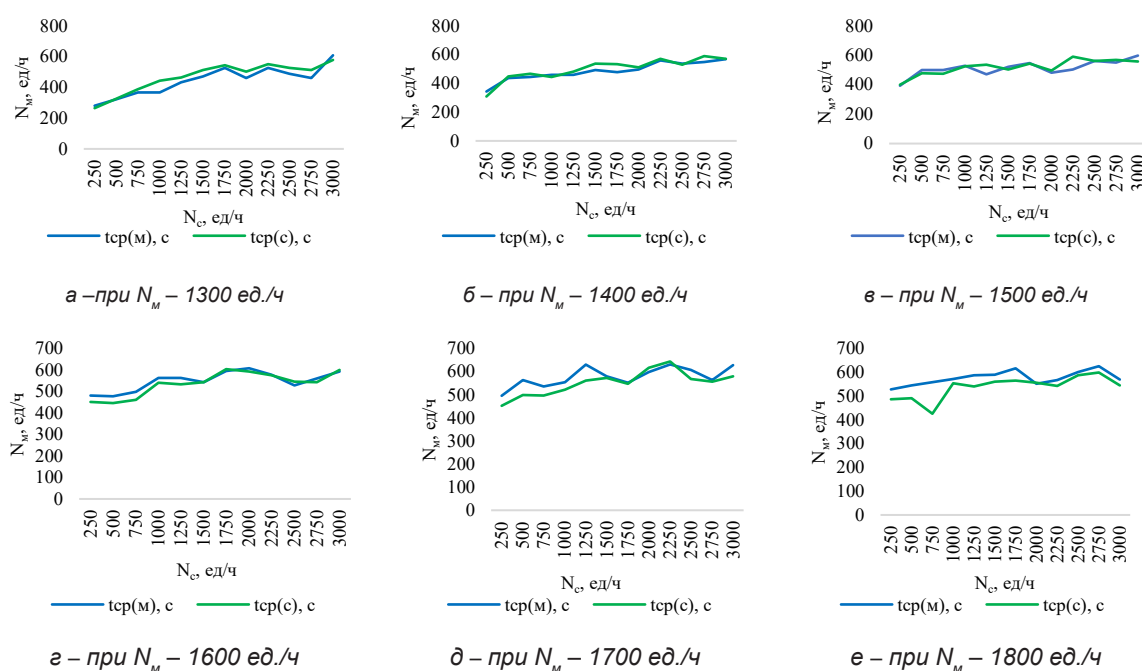


Рисунок 7 – Линейные графики изменения средней величины задержки по магистральному и смежным направлениям при суммарной N_m от 1300 до 1800 ед./ч
Источник: составлено авторами.

Figure 7 – Line graphs of average delay variation along the mainline and adjacent directions for total N_m from 1300 to 1800 units/hr
Source: compiled by the authors.

В результате выполненной оценки полученных результатов и последующей разработке способа оценки эффективности координированного типа управления значения интенсивности заданные в модели были представлены в аналитическом виде, в пользование был введен коэффициент соотношения интенсивностей (k_N) при координированном управлении:

$$k_N = \frac{\bar{N}_c}{\bar{N}_m}, \quad (8)$$

где k_N – коэффициент соотношения интенсивностей дорожного движения; \bar{N}_c – средняя интенсивность движения по связным участкам, ед./ч; \bar{N}_m – средняя интенсивность движения по магистральному участку, ед./ч.

Аналогичным образом соотношения полученных значений средней величины задержки предложено рассчитать с использованием введенного коэффициента соотношения средних задержек (k_t):

$$k_t = \frac{\bar{t}_c}{\bar{t}_m}, \quad (9)$$

где k_t – коэффициент соотношения средних задержек на рассматриваемом участке; \bar{t}_c – средняя задержка при движении по связным участкам, с; \bar{t}_m – средняя задержка при движении магистральному участку, с.

Таким образом, с использованием введенных коэффициентов (8) и (9), полученные результаты были представлены в виде соотношений, где определенному значению k_N соответствует определенное значение k_t . Обработка полученных результатов позволила построить точечный график и установить области эффективного и неэффективного применения координированного управления (рисунок 8).

Определено, что при значении $k_t > 1$, которому соответствуют определенные значения k_N применение координированного типа управления не является эффективным, т.к. среднее значение величины задержки на смежных участках превышает среднее значение величины задержки на магистральной улице (красная область) (см. рисунок 8).

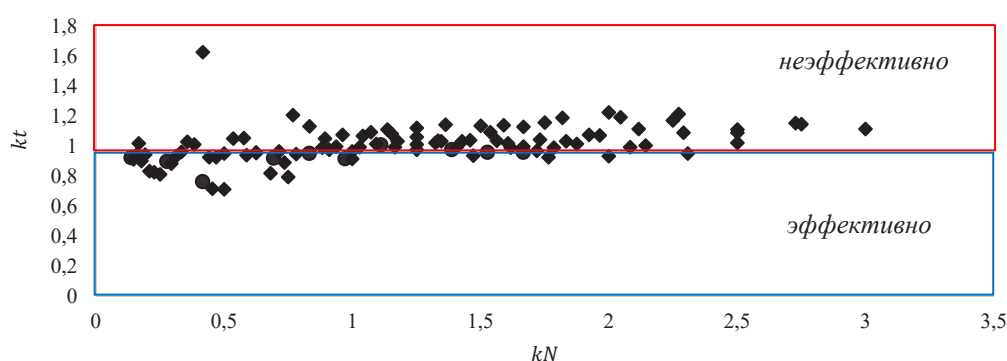


Рисунок 8 – Точечный график соотношения коэффициентов интенсивности и задержки и области эффективного и неэффективного применения координированного типа управления
Источник: составлено авторами.

Figure 8 – Dot plot of intensity and delay ratios and areas of effective and ineffective application of coordinated type of management
Source: compiled by the authors.

Таблица 6
Режимы применения координированного типа управления
на ул. 40 лет Октября в г. Павловске
Источник: составлено авторами.

Table 6
Modes of use of coordinated type of control on 40 Let Oktiabria St. in Pavlovsk city
Source: compiled by the authors.

Время День недели	00:00-05:00	05:00-07:00	07:00-11:00	11:00-14:00	14:00-18:00	18:00-20:00	20:00-00:00
Понедельник	Red	Blue	Blue	Red	Blue	Blue	Red
Вторник	Red	Blue	Blue	Red	Blue	Blue	Blue
Среда	Red	Red	Blue	Red	Blue	Blue	Red
Четверг	Red	Red	Blue	Red	Blue	Blue	Blue
Пятница	Red	Blue	Blue	Blue	Blue	Red	Blue
Суббота	Red	Blue	Red	Blue	Red	Red	Blue
Воскресенье	Red	Blue	Blue	Blue	Blue	Red	Blue

При $k_t < 1$ применение координированного типа управления является эффективным, т.к. средняя задержка на магистральной улице выше средней задержки на смежных участках, в таком случае надо минимизировать непреднамеренные остановки на основном направлении и обеспечить координацию (синяя область) (см. рисунок 8).

ОБСУЖДЕНИЕ

В связи с тем, что транспортная система в рассматриваемом городе малой численности населения является устоявшейся, т.е. интенсивность в течение недели изменяется в определенном пределе и периоде, для рас-

сматриваемой магистральной улицы с учетом полученных результатов и разработанного графического способа оценки эффективности применения координированного типа управления (см. рисунок 8) была получена новая программа координации, согласно которой в определенные периоды времени не рекомендуется использовать координированный тип управления (красные ячейки) и рекомендуется (синие ячейки) (таблица 6).

ВЫВОД

В ходе выполненного исследования был сделан анализ существующих методов установления координированного типа управле-

ния. Установлено, что в основном данные методы позволяют определить необходимость включения нового светофорного объекта в существующую систему координации, но проверить эффективность уже существующего режима координации на магистральных улицах, особенно при отсутствии специализированного оборудования, что характерно для малых и средних городов, не представляется возможным. В связи с этим в рамках данного исследования был разработан способ оценки эффективности координированного типа управления на основании сопоставления средней величины интенсивности смежных и магистрального участка и соответствующим им средним величинам задержки. В результате выполненного моделирования и обработки полученных результатов был разработан графический способ оценки эффективности применения координированного типа управления. Использование полученных результатов на объекте исследования позволило установить временные периоды применения координации и жёсткого некоординированного управления.

СПИСОК ИСТОЧНИКОВ

1. Пильгейкина И. А., Власов А. А. Критерии формирования зон координированного управления координированными объектами // *Образование и наука в современном мире. Инновации*. 2017. № 2(9). С. 202 – 208.
2. Власов А. А., Горелов А. М. Координированное управление въездами на автомагистраль // *Интернет-журнал «Науковедение»*. 2014. № 2(21). 100 с.
3. Кадасев Д. А., Полоцкий Д. В. Координированное светофорное управление автотранспортными потоками на магистрали г. Липецка // *Альтернативные источники энергии в транспортно-технологическом комплексе: проблемы и перспективы рационального использования*. 2016. Т. 3, № 1 (4). С. 413 – 416.
4. Бирюков В. К., Власов А. В., Демченко К. Н. Инструменты для уменьшения нагрузок на улично-дорожную сеть крупных городов // *Международный научно-исследовательский журнал*. 2015. № 2-1(33). С. 29 – 30.
5. Филиппова Д. М., Черняго А. Б., Слободчикова Н. А. Уточнение характеристик транспортного потока при организации координированного управления движением // *Известия вузов. Инвестиции. Строительство. Недвижимость*. 2013. № 2(5). С. 122 – 125.
6. Пильгейкина И. А. Влияние эффекта координации на задержку транспортных средств // *Мир транспорта и технологических машин*. 2020. № 1(68). С. 59–64. DOI 10.33979/2073-7432-2020-68-1-59-64.
7. Development of a method for evaluation of the efficiency of the coordinated type of management as referred to main streets / S. V. Dorokhin, V. A. Ivannikov, D. V. Likhachev, A. Yu. Artemov // *E3S Web of Conferences: International Scientific and Practical Conference “Environmental Risks and Safety in Mechanical Engineering” (ERSME-2023)*, Rostov-on-Don, Russia, 01–03 March 2023 года. Rostov-on-Don: EDP Sciences, 2023. P. 04016.
8. Li, L. H. Study on coordinated control of urban regional traffic system based on copula function / L. H. Li, W. H. Wang, Y. J. Xue // *Proceedings of SPIE - The International Society for Optical Engineering*, Zhengzhou, 19–21 November 2021. Zhengzhou, 2022. P. 121650T.
9. Lyapin, S. Coordinated Control of Traffic Lights on the Main Road with Intelligent Traffic Management / S. Lyapin, D. Kadasev, N. Voronin // *Proceedings - 2021 3rd International Conference on Control Systems, Mathematical Modeling, Automation and Energy Efficiency, SUMMA 2021: 3*, Lipetsk, 10–12 November 2021 года. Lipetsk, 2021. P. 964–967.
10. Новиков А. Н., Еремин С. В., Шевцова А. Г. Основные принципы расчета программы светофорного регулирования на основе управляемых сетей и потока насыщения. *Вестник СибАДИ*. 2019;16(6):680–691. <https://doi.org/10.26518/2071-7296-2019-6-680-691>
11. Шевцова А. Г., Мочалина Ю. А. Обзор новых технических средств организации дорожного движения // *Альтернативные источники энергии в транспортно-технологическом комплексе: проблемы и перспективы рационального использования*. 2015. Т. 2, № 2(3). С. 672–677.
12. 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.
13. Басков В. Н., Исаева Е. И. Энтропия как модель прогноза загруженности транспортной сети // *Мир транспорта и технологических машин*. 2016. № 4(55). С. 111–117.
14. Фатхутдинов А. Ф. Применение имитационного моделирования для оптимизации дорожного движения // *Вестник современных исследований*. 2018. № 12.15(27). С. 265 – 271.
15. Novikov A. Modeling of traffic-light signalization depending on the quality of traffic flow in the city / A. Novikov, I. Novikov, A. Shevtsova // *Journal of Applied Engineering Science*. 2019. Vol. 17. No 2. P. 175 – 181.
16. Definition of perspective scheme of organization of traffic using methods of forecasting and modeling / V. M. Vlasov, A. N. Novikov, I. A. Novikov, A. G. Shevtsova // *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering: Processing Equipment, Mechanical Engineering Processes and Metals Treatment*, Tomsk, 04–06 December 2017. Vol. 327, 4. Tomsk: Institute of Physics Publishing, 2018. P. 042116.
17. 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: Materials Science and Engineering: 2019 International*

Conference on Innovations in Automotive and Aerospace Engineering, ICI2AE 2019, Irkutsk, 27 May – 01 2019. Vol. 632. – Irkutsk: Institute of Physics Publishing, 2019. P. 012052.

18. The Dynamic Traffic Modelling System / S. V. Dorokhin, D. V. Likhachev, A. Yu. Artemov [et al.] // Lecture Notes in Networks and Systems. 2022. Vol. 402 LNNS.P. 1586 – 1594.

19. Зырянов В. В. Методы оценки адекватности результатов моделирования // Инженерный вестник Дона. 2013. № 2(25). 132 с.

20. Зырянов В. В. Моделирование при транспортном обслуживании мега-событий // Инженерный вестник Дона. 2011. № 4(18). С. 548–551.

21. Зырянов В. В., Семчугова Е. Ю., Скрышник А. М. Применение информационных технологий при повышении мобильности и обеспечении транспортной безопасности // Инженерный вестник Дона. 2012. № 4 – 1(22). 118 с.

22. Новиков И. А., Шевцова А. Г. Влияние изменения задержек транспортных средств на количество режимов работы светофорного объекта // Мир транспорта и технологических машин. 2011. № 4(35). С. 62–68.

23. Mathematical Modeling of Working Operations for the Road-Building Machines Based on Performance Factors / E. A. Volkov, I. A. Novikov, N. A. Shchetinin [et al.] // ARPN Journal of Engineering and Applied Sciences. 2018. Vol. 13. No 6. P. 2353–2357.

24. Improvement of the current version of road traffic regulations of the Russian federation as a promising approach to road safety / V. A. Zelikov, G. A. Denisov, S. V. Dorokhin [et al.] // Studies in Computational Intelligence. 2019. Vol. 826. P. 1081–1088.

25. Novikov A. Study of the impact of type and condition of the road surface on parameters of signalized intersection / A. Novikov, I. Novikov, A. Shevtsova // Transportation Research Procedia, Saint Petersburg, 27–29 September 2018. Vol. 36. Saint Petersburg: Elsevier B.V., 2018. P. 548 – 555.

REFERENCES

1. Pil'gejkina I. A., Vlasov A. A. Kriterii formirovaniya zon koordinirovannogo upravleniya koordinirovannyimi obe'ktami [Criteria for the formation of coordinated management zones for coordinated objects]. *Obrazovanie i nauka v sovremennom mire. Innovacii*. 2017; 2 (9): 202 – 208. (In Russ.)

2. Vlasov A. A., Gorelov A. M. Koordinirovannoe upravlenie v'ezdami na avtomagistral' [Coordinated management of motorway entrances]. *Internet-zhurnal Naukovedenie*. 2014; 2 (21): 100. (In Russ.)

3. Kadasev D. A., Polockij D. V. Koordinirovannoe svetofornoe upravlenie avtotransportnymi potokami na magistrali g. Lipecka [Coordinated traffic light control on the Lipetsk highway]. *Al'ternativnye istochniki jenerгии v transportno-tehnologicheskom komplekse: problemy i perspektivy racional'nogo ispol'zovaniya*. 2016; T. 3, № 1 (4): 413 – 416. (In Russ.)

4. Birjukov V. K., Vlasov A. V., Demchenko K. N. Instrumenty dlja umen'sheniya nagruzok na

ulichno-dorozhnuju set' krupnyh gorodov [Tools to reduce loads on the road network of large cities]. *Mezhdunarodnyj nauchno-issledovatel'skij zhurnal*. 2015; 2-1(33): 29 – 30. (In Russ.)

5. Filippova D. M., Chernjago A. B., Slobodchikova N. A. Utochnenie harakteristik transportnogo potoka pri organizacii koordinirovannogo upravleniya dvizheniem [Clarification of transport flow characteristics in the organization of coordinated traffic control]. *Izvestija vuzov. Investicii. Stroitel'stvo. Nedvizhimost'*. 2013; 2(5): 122 – 125. (In Russ.)

6. Pil'gejkina I. A. Vlijanie jeffekta koordinacii na zaderzhku transportnyh sredstv [Effect of coordination effect on vehicle delay/I. A. Pilgeikin]. *Mir transporta i tehnologicheskikh mashin*. 2020; 1(68): 59 – 64. DOI 10.33979/2073-7432-2020-68-1-59-64. (In Russ.)

7. Dorokhin S. V., Ivannikov V. A., Likhachev D. V., Artemov A. Yu. Development of a method for evaluation of the efficiency of the coordinated type of management as referred to main streets. *E3S Web of Conferences: International Scientific and Practical Conference "Environmental Risks and Safety in Mechanical Engineering" (ERSME-2023)*, Rostov-on-Don, Russia, 01 – 03 March 2023. Rostov-on-Don: EDP Sciences, 2023. P. 04016.

8. Li, L. H., Wang W. H., Xue Y. J. Study on coordinated control of urban regional traffic system based on copula function. *Proceedings of SPIE - The International Society for Optical Engineering, Zhengzhou*, 19 – 21 November 2021. Zhengzhou, 2022. P. 121650T.

9. Lyapin S., Kadasev D., Voronin N. Coordinated Control of Traffic Lights on the Main Road with Intelligent Traffic Management. *Proceedings - 2021 3rd International Conference on Control Systems, Mathematical Modeling, Automation and Energy Efficiency, SUMMA 2021*: 3, Lipetsk, 10 – 12 November 2021. Lipetsk, 2021. P. 964 – 967.

10. Novikov A. N., Eremin S. V., Shevtsova A. G. Program of light-format regulation on the basis of controlled networks and the saturations' flow: basic principles of calculation. *The Russian Automobile and Highway Industry Journal*. 2019; 16(6): 680-691. (In Russ.) <https://doi.org/10.26518/2071-7296-2019-6-680-691>

11. Shevcova A. G., Mochalina Ju. A. Obzor novykh tehnikeskikh sredstv organizacii dorozhnogo dvizheniya [Review of new technical means of traffic management/A. G. Shevtsova, Yu. A. Mochalin]. *Al'ternativnye istochniki jenerгии v transportno-tehnologicheskom komplekse: problemy i perspektivy racional'nogo ispol'zovaniya*. 2015; T. 2, № 2(3): 672 – 677. (In Russ.)

12. Dorokhin S. V., Likhachev D. V., Artemov A. Ju., Marusin A. V. Modelirovanie processa dvizheniya na magistral'noj ulice G. Voronezh v programmnoj srede Any Logic [Modeling of the traffic process on the main street G. Voronezh in the software environment Any Logic]. *Voronezhskij nauchno-tehnicheskij Vestnik*. 2022; T. 4, № 4(42): 73 – 84. (In Russ.)

13. Baskov V. N., Isaeva E. I. Jentropija kak model' prognoza zagruzhenosti transportnoj seti [Entropy as a model for predicting traffic congestion]. *Mir transporta i tehnologicheskikh mashin*. 2016; № 4(55): 111 – 117. (In Russ.)

14. Fathutdinov A. F. Primenenie imitacionnogo modelirovaniya dlja optimizacii dorozhnogo dvizheniya [Using Simulation to Optimize Traffic]. *Vestnik sovremennyh issledovanij*. 2018; 12.15(27): 265 – 271. (In Russ.)

15. 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.

16. Vlasov V. M., Novikov A. N., Novikov I. A., Shevtsova A. G. Definition of perspective scheme of organization of traffic using methods of forecasting and modeling. *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering: Processing Equipment, Mechanical Engineering Processes and Metals Treatment*, Tomsk, 04 – 06 December 2017. Vol. 327, 4. Tomsk: Institute of Physics Publishing, 2018. P. 042116.

17. 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: Materials Science and Engineering: 2019 International Conference on Innovations in Automotive and Aerospace Engineering*, ICI2AE 2019, Irkutsk, 27 may – 01 2019. Vol. 632. Irkutsk: Institute of Physics Publishing, 2019. P. 012052.

18. Dorokhin S. V., Likhachev D. V., Artemov A. Yu. [et al.] The Dynamic Traffic Modelling System. *Lecture Notes in Networks and Systems*. 2022. Vol. 402 LNNS. P. 1586 – 1594.

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

20. Zyrjanov V. V. Modelirovanie pri transportnom obsluzhivanii mega-sobytij [Modeling during transport maintenance of mega-events]. *Inzhenernyj vestnik Dona*. 2011; 4(18): 548 – 551. (In Russ.)

21. Zyrjanov V. V., Semchugova E. Ju., Skryn'nik A. M. Primenenie informacionnyh tehnologij pri povyshenii mobil'nosti i obespechenii transportnoj bezopasnosti [Application of information technologies in improving mobility and ensuring transport security]. *Inzhenernyj vestnik Dona*. 2012; 4 – 1(22): 118. (In Russ.)

22. Novikov I. A., Shevcova A. G. Vlijanie izmeneniya zaderzhek transportnyh sredstv na kolichestvo re-

zhimov raboty svetofornogo ob'ekta [Effect of changes in vehicle delays on the number of traffic lights operating modes]. *Mir transporta i tehnologicheskikh mashin*. 2011; № 4(35): 62 – 68. (In Russ.)

23. Volkov E. A., Novikov I. A., Shchetinin N. A. [et al.] Mathematical Modeling of Working Operations for the Road-Building Machines Based on Performance Factors. *ARPN Journal of Engineering and Applied Sciences*. 2018; Vol. 13. No 6: 2353 – 2357.

24. Zelikov V. A., Denisov G. A., Dorokhin S. V. [et al.] Improvement of the current version of road traffic regulations of the Russian federation as a promising approach to road safety. *Studies in Computational Intelligence*. 2019; Vol. 826: 1081 – 1088.

25. Novikov A., Novikov I., Shevtsova A. Study of the impact of type and condition of the road surface on parameters of signalized intersection. *Transportation Research Procedia*. Saint Petersburg, 27–29 September 2018. Vol. 36. Saint Petersburg: Elsevier B. V., 2018: P. 548 – 555.

ВКЛАД СОАВТОРОВ

Дорохин С.В. Постановка цели и задач исследования.

Артемьев А.Ю. Проведение натурных исследований, выполнение эксперимента, анализ результатов.

COAUTHORS' CONTRIBUTION

Sergei V. Dorokhin. Purposes and objectives of the study statement

Aleksandr Yu. Artemov. Studies conducting, experiments carry out, results analyzing.

ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРАХ

Дорохин Сергей Владимирович – д-р техн. наук, доц., декан автомобильного факультета, SPIN-код: 9913-0381.

Артемьев Александр Юрьевич – аспирант автомобильного факультета, SPIN-код: 1302-7788.

INFORMATION ABOUT THE AUTHORS

Sergei V. Dorokhin – Dr. of Sci., Associate Professor, Dean of the Automobile Faculty, SPIN-код: 9913-0381.

Alexander Yu. Artemov – Postgraduate student of the Automobile Faculty, SPIN-код: 1302-7788.