

## НОВЫЙ ПОДХОД К ВВОДУ ДОПОЛНИТЕЛЬНОЙ ЛЕВОПОВОРОТНОЙ СЕКЦИИ СВЕТОФОРНОГО РЕГУЛИРОВАНИЯ

А.П. Жигadlo<sup>1</sup>, С.В. Дорохин<sup>2</sup>, Д.В. Лихачев<sup>2\*</sup>

<sup>1</sup>ФГБОУ ВО «СибАДИ»,

г. Омск, Россия

<sup>2</sup>Воронежский государственный лесотехнический университет им. Г.Ф. Морозова,

г. Воронеж, Россия

\* [lihachev\\_dv@mail.ru](mailto:lihachev_dv@mail.ru)

### АННОТАЦИЯ

**Введение.** Статья посвящена исследованию методов ввода дополнительной левоповоротной фазы регулирования, даны основные зарубежные и отечественные методы, используемые при специализации левого поворота в отдельную фазу регулирования. Исследован один из наиболее нагруженных перекрестков г. Воронежа, установлены основные характеристики транспортногo потока, в результате выполненного научного анализа предлагается использование нового подхода к специализации левоповоротного направления в отдельную фазу регулирования. Определены новые параметры, подлежащие учету, при выборе необходимого способа организации движения на регулируемых перекрестках.

**Методы и материалы.** Основные методы, существующие сегодня, условно отнесены к двум подходам – аварийности участка и характеристики транспортногo потока (скорости движения и интенсивности левоповоротного потока). Применение нового подхода с учетом ранее не учитываемых параметров (скорости движения, задержки транспортных средств и длины очереди) позволяет наиболее эффективно управлять перекрестком за счет оптимального выбора необходимого способа организации движения в результате изменения рассматриваемых параметров при сочетании интенсивности левоповоротного потока и прямогo конфликтующего потока.

**Результаты.** Авторами разработан подход к вводу дополнительной левоповоротной секции на регулируемом перекрестке, основанный на сопоставлении интенсивностей левоповоротного и прямогo конфликтующего потока и анализа изменения основных характеристик транспортногo потока (скорости движения, задержек транспортных средств и длины очереди).

**Заключение.** Сделан вывод о необходимости использования предлагаемого подхода на стадии моделирования, проектирования и реорганизации регулируемого участка на основании изменения основных характеристик транспортногo потока.

**КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА:** светофорное регулирование, характеристики транспортногo потока, специализация левого поворота, эффективность.

© А.П. Жигadlo, С.В. Дорохин, Д.В. Лихачев



Контент доступен под лицензией  
Creative Commons Attribution 4.0 License.

# NEW APPROACH TO ADDITIONAL LEFT-TURN SECTIONS OF THE TRAFFIC SIGNAL REGULATION

A.P. Zhigadlo<sup>1</sup>, S.V. Dorokhin<sup>2</sup>, D.V. Likhachev<sup>2\*</sup>

<sup>1</sup>Siberian State Automobile and Highway University,  
Omsk, Russia

<sup>2</sup>Voronezh State University of Forestry and Technologies  
named after G.F. Morozov,  
Voronezh, Russia

\* lihachev\_dv@mail.ru

## ABSTRACT

**Introduction.** The paper describes methods of using the additional left-turn phase of regulation. The authors view the main foreign and domestic methods used in the specialization of the left turn in a separate phase of regulation. To propose a new approach to the specialization of the left-turn direction in a separate phase of regulation the authors investigate one of the most loaded intersections in Voronezh and determine the main characteristics of the traffic flow. Therefore, the authors suggest new parameters in choosing of the necessary method of traffic organization at controlled intersections.

**Methods and materials.** The paper analyses the main methods, which were conditionally related to two approaches: the accident rate of the site and the characteristics of the traffic flow (speed and intensity of the left-turn flow). The authors explained that the new approach, which took into account such parameters as speed, vehicle delays and queue length, allowed effectively controlling the intersection due to the optimal choice of the necessary traffic organization method and due to the result of changes in the parameters by combining the intensity of the left-turn flow and forward flow.

**Results.** The authors developed the approach to the additional left-turn section introduction at the controlled intersection based on a comparison of the left-turn intensity and forward flow and on the analysis of changes in the main characteristics of the traffic flow (speed, vehicle delays and queue length).

**Discussion and conclusions.** The authors concluded that it is necessary to use the proposed approach at the stage of modeling, design and reorganization of the regulated area on the basis of changes in the main characteristics of the traffic flow.

**KEYWORDS:** traffic light regulation, traffic flow characteristics, left turn specialization, efficiency.

© A.P. Zhigadlo, S.V. Dorokhin, D.V. Likhachev



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

## РАЗДЕЛ II. ТРАНСПОРТ

### ВВЕДЕНИЕ

Сегодня на регулируемых пересечениях довольно часто наблюдаются аварийные ситуации. Зачастую это связано с высоким уровнем автомобилизации, который характерен для многих стран, в том числе для Российской Федерации. Рассматривая 7-летний период (2009–2015 гг.), представленный на официальном сайте IRTAD<sup>1</sup>, можно сказать, что Российская Федерация не занимает лидирующих позиций по уровню автомобилизации (таблица 1), но тем не менее она занимает одно из лидирующих мест по уровню аварийности [1].

Таблица 1  
Показатели уровня автомобилизации на 1000 жителей по данным IRTAD 2009–2015 гг.

Table 1  
Indicators of the motorization level per 1000 people according to IRTAD in 2009–2015

Страна \ Год	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015
Австралия	556	557	558	559	562	567	570
Австрия	514	521	529	535	541	543	545
Бельгия	481	484	489	489	491	495	498
Швейцария	518	521	526	532	534	535	538
Чешская Республика	423	423	428	436	448	449	458
Германия	505	510	517	534	529	541	545
Испания	474	475	477	476	472	474	482
Россия <sup>2</sup>	219	228	242	257	273	283	288
Финляндия	520	536	553	565	575	585	594
Франция	478	479	481	481	479	477	477
Великобритания	467	467	464	465	468	472	479
Греция	462	469	469	468	467	469	472
Венгрия	301	301	298	301	307	315	325
Исландия	644	645	646	655	658	663	683
Израиль	263	272	282	287	293	302	311
Италия	615	620	625	623	614	609	614
Япония	452	453	456	460	467	472	478
Корея	254	264	274	283	290	299	311
Литва	546	560	577	602	619	414	432
Люксембург	661	654	651	651	655	653	654
Нидерланды	456	459	463	469	471	470	471
Польша	432	453	476	492	510	526	545
Словения	512	520	520	522	521	522	527
Швеция	460	459	459	467	468	473	476

В большинстве своем аварии на регулируемых перекрестках происходят в связи с неэффективной схемой организации, а именно в несогласованном распределении времени разрешающих и запрещающих тактов управления. Особое внимание в данном вопросе стоит уделить способам ввода дополнительной левоповоротной секции. В связи с этим выполнен детальный обзор существующих подходов к выделению специализированной левоповоротной полосы для выделенной фазы регулирования (дополнительная секция левого поворота).

<sup>1</sup> Официальный сайт International Traffic Safety Data and Analysis Group (IRTAD). URL: <https://www.itf-oecd.org/IRTAD>

<sup>2</sup> Официальный сайт Федеральной государственной статистики. URL: <http://www.gks.ru/>

## МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

Согласно анализу зарубежной литературы сегодня существует несколько методов, позволяющих определить необходимость ввода дополнительной левоповоротной секции, условно их можно разделить на следующие подходы:

1. Подходы, основанные на риске возникновения дорожно-транспортных происшествий [2]. Согласно данному подходу, специализированные фазы левого поворота стоит вводить, если на перекрестке (участке дорожной сети) произошло более четырёх аварий, связанных с поворотом налево за последние 12 месяцев. Нерациональность использования данного подхода заключается в том, что не рассматриваются основные характеристики транспортного потока, которые определены в подходах, относящихся ко второй группе.

2. Подходы, основанные на анализе основных характеристик транспортного потока. Данные подходы созданы на сопоставлении входящей и встречной интенсивности движения, средней скорости движения и процента поворота налево (таблица 2).

В дальнейшем подходы, относящиеся ко второй группе, были усовершенствованы [4, 5], в связи с изменением технических параметров автомобилей изменялись рекомендации к процентному соотношению интенсивности левого поворота.

На основании выполненного анализа зарубежной литературы и полученных сведений в данной области представлены основные ре-

комендации по определению потенциальной потребности в специализированной фазе регулирования (рисунок 1).

Существуют различные руководящие принципы, разработанные для указания условий, когда преимущества от фазы поворота налево обычно перевешивают ее неблагоприятное воздействие на пересечения. Многие из этих принципов указывают на то, что фаза поворота налево может быть оправдана на основе рассмотрения нескольких факторов, которые в конечном итоге связаны с полученными эксплуатационными преимуществами или преимуществами безопасности.

Эти факторы включают в себя:

1. Процент поворота налево и интенсивность встречного движения.
2. Количество встречных полос.
3. Длину цикла.
4. Скорость встречного движения.
5. Видимость.
6. Количество аварий.

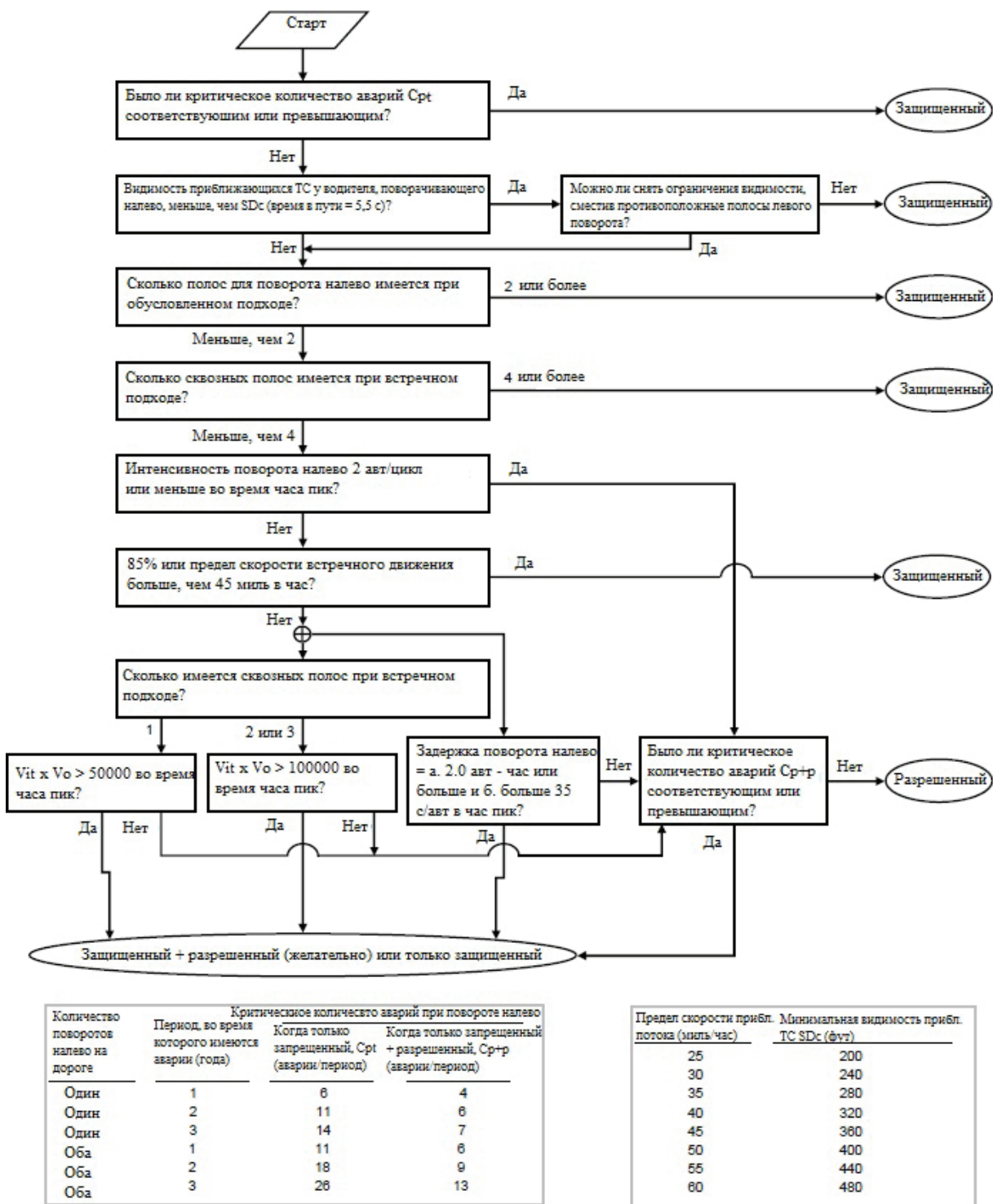
Схема, показанная на рисунке 1, может использоваться для определения того, нужна ли фаза левого поворота или нет. Применение схемы требует отдельной оценки каждого движения налево на дороге.

Задача схемы состоит в том, чтобы определить наименее ограничительный режим поворота налево. Вторичная цель – предоставить структурированную процедуру для оценки поэтапного поворота налево с целью обеспечения согласованности при применении в фазе поворота налево.

Таблица 2  
Руководство AASHTO для полос поворота налево на двухполосных дорогах [3]

Table 2  
AASHTO manual for left turn lanes on two-lane roads [3]

Рабочая скорость движения (миль/ч)	Встречная интенсивность (авт. -ч)	Входящая интенсивность (авт.- ч)			
		5% поворотов налево	10% поворотов налево	20% поворотов налево	30% поворотов налево
40	800	330	240	180	160
	600	410	305	225	200
	400	510	380	275	245
	200	640	470	350	305
	100	720	515	390	340
50	800	280	210	165	135
	600	350	260	195	170
	400	430	320	240	210
	200	550	400	300	270
	100	615	445	335	295
60	800	230	170	125	115
	600	290	210	160	140
	400	365	270	200	175
	200	450	330	250	215
	100	505	370	275	240



Переменные величины

$V_k$  = Интенсивность поворота налево при обусловленном подходе, авт/ч

$V_o$  = Сквозная интенсивность + интенсивность поворота направо при встречном подходе поворота налево, авт/ч

Рисунок 1 – Рекомендации по определению потенциальной потребности в фазе поворота налево

Figure 1 – Recommendations for determining the potential need for the left turn phase

Количество критических аварий при повороте налево, показанное на рисунке 1, основано на базовой средней критической частоте аварий и учитывает внутреннюю изменчивость данных об авариях. Базовые значения аварий составляют 3 аварии в год. Если сообщенное число аварий для существующей разрешающей операции превышает критическое значение, то вероятно, что пересечение объекта имеет среднюю частоту аварий при повороте налево, которая превышает вышеупомянутое среднее значение (вероятность ошибки 5%), и более ограниченный режим работ возможно улучшит безопасность маневра при повороте налево.

Схема имеет два альтернативных пути после проверки скорости встречного движения. Один путь требует знания задержки поворота налево, другой – знания интенсивности встречного движения. Задержка поворота налево, указанная в схеме, представляет собой задержку, возникающую, когда фаза поворота налево не предусмотрена (то есть движение налево осуществляется в разрешающем режиме).

На основании полученной информации можно сказать, что в зарубежных источниках существует ряд подходов, которые необходимо применять при выборе рациональной схемы организации движения на регулируемом участке, в частности при выделении специализированной фазы левого поворота.

В ходе анализа научных отечественных источников<sup>3</sup> [6, 7, 8] установлены основные параметры, используемые при вводе рассматриваемого способа организации движения на регулируемом участке. Расчет светофорного цикла, а именно ввод левоповоротного обособленного направления (левоповоротной секции) на пересечении, осуществляется в соответствии с нормативными документами<sup>4,5</sup>.

В соответствии с требованиями пропускная способность левого поворота зависит от интенсивности основного потока. Пропуск левого поворотного потока (количество автомобилей) пропорционален интенсивности встречного направления. Левоповоротный поток рекомендуется пропускать на просачивание через встречный прямой поток, от которого зависит

длительность основных тактов, если его интенсивность не превышает 120 авт.-ч. Если интенсивность левого поворотного потока больше 135 ед./ч (120 авт.-ч), то рекомендуется вводить III фазу или использовать другие методы организации дорожного движения по отнесению левого поворота из зоны пересечения автомобильных дорог (рисунок 2).

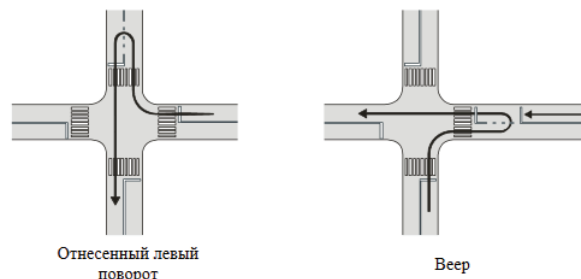


Рисунок 2 – Пример выноса левого поворота из зоны пересечения автомобильных дорог

Figure 2 – Example of removal of the left turn from the intersection

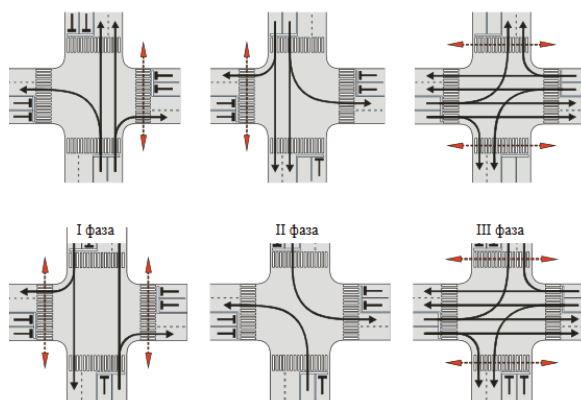


Рисунок 3 – Светофорное регулирование на пересечении автомобильных дорог с обеспечением пропуска транспортного потока с частичным конфликтом через пешеходный поток

Figure 3 – Traffic light regulation on the intersection with the passage of traffic flow and with a partial conflict through the pedestrian flow  
В случаях с частичным конфликтом пропускать транспортный поток на «просачивание»

<sup>3</sup> Левашев А.Г. Михайлов А.Ю., Головных И.М. Проектирование регулируемых пересечений: учебное пособие. Иркутск : Изд-во Ир ГТУ, 2007. С. 208.

<sup>4</sup> ОДМ 218.6.003–2011 Отраслевой дорожный методический документ. Методические рекомендации по проектированию светофорных объектов на автомобильных дорогах. М.: Федеральное дорожное агентство (РОСАВТОДОР). М., 2013. С. 69.

<sup>5</sup> ГОСТ Р 52282–2004 Технические средства организации дорожного движения. Светофоры дорожные. Типы и основные параметры. Общие технические требования. Методы испытаний.

## РАЗДЕЛ II. ТРАНСПОРТ

через пешеходный поток, возможно, при интенсивности транспортного потока, не превышающего 120 авт.-ч, интенсивность пешеходного потока 900 чел.-ч (рисунок 3).

С целью анализа основных параметров транспортного потока и разработки специализированного подхода к выбору рациональной схемы организации движения на регулируемом перекрестке г. Воронежа выполнены натурные обследования.

### РЕЗУЛЬТАТЫ

Для анализа рассматриваемого способа организации левого поворота в зоне регулируемого перекрестка – выделение специализированной полосы и организация движения в специализированной фазе регулирования – определен участок УДС бульвар Победы – улица Антонова-Овсенко (рисунок 4).



Рисунок 4 – Спутниковый снимок участка УДС бульвар Победы – улица Антонова-Овсенко (г. Воронеж)

Figure 4 – Satellite photo of the UDS Pobeda Avenue and Antonova-Ovseenko Street (Voronezh)

Рядом с перекрестком расположены авто-рынок «Северный», гаражно-строительный кооператив, фитнес-клуб «Колизей», остановочные комплексы, несколько мелких магазинов, которые являются центрами притяжения транспортных и пешеходных потоков. Нали-

чие центров притяжения создает вероятность возникновения заторов и ДТП с участием пешеходов.

Состояние проезжей части бульвара Победы и улицы Антонова-Овсенко удовлетворительное, для движения пешеходов имеются тротуары. Освещение улиц выполнено люминесцентными лампами на железных опорах. Геометрическая характеристика объекта является основой для проведения всех натуральных обследований транспортной характеристики.

На сегодняшний день движение транспортных средств налево осуществляется без выделения специализированной фазы регулирования и ввода дополнительной секции светофора (левоповоротная секция).

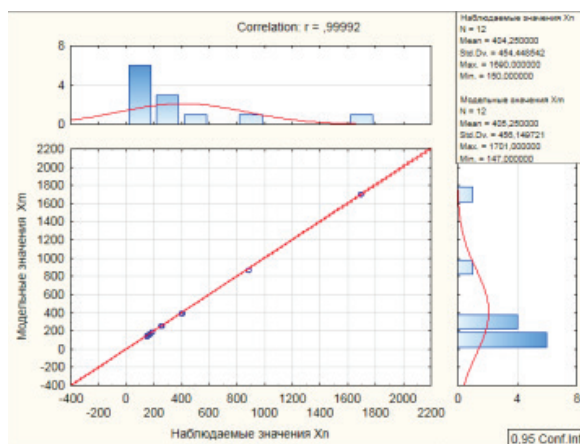
В ходе натуральных обследований установлено, что наибольшее количество транспортных средств проезжает исследуемый перекресток в пятницу в среднем 4864 ед./ч, по входному направлению для левого поворота – 108 ед./ч. Количество циклов за час на пересечении – 26.

На основании ранее выполненного литературного обзора отмечено, что необходим учет дополнительных параметров при организации специализированного левоповоротного движения при использовании светофорного управления. Введение данного мероприятия (специализированного левого поворота) должно быть необходимым и оправданным, потому что для всего рассматриваемого транспортного потока увеличивается время ожидания разрешающего сигнала. В связи с этим в рамках исследования были рассмотрены новые параметры, оказавшие влияние на ввод дополнительной левоповоротной секции – задержки ТС, скорость движения ТС и длина очереди ТС.

Данные параметры были определены в специализированном программном продукте Aimsun<sup>6</sup>.

Прежде чем получить исследуемые моделируемые параметры, определим адаптивность разработанной транспортной модели с помощью анализа корреляции модельных значений с данными, полученными в результате обработки видеоматериалов исследований [9]. При помощи программного комплекса STATISTIKA, предназначенного для проведения статистического анализа, определим коэффициент корреляции наблюдаемых значений ( $X_n$ ) и модельных значений ( $X_m$ ) (рисунок 5).

<sup>6</sup> Aimsun Version 7.0. (R10631). Copyright (C) 1997–2011 TSS-Transport Simulation Systems.



Variable	Модельные значения $X_m$	Наблюдаемые значения $X_n$
Модельные значения $X_m$	1,000000	0,981745
Наблюдаемые значения $X_n$	0,981745	1,000000

Рисунок 5 – Определение коэффициента корреляции

Figure 5 – Determination of correlation coefficient

Корреляционный анализ позволил выявить статистические зависимости между натурными и модельными параметрами интенсивности движения (см. рисунок 5). Параметр интенсивности моделируемого (X<sub>m</sub>) коррелирует с наблюдаемыми (X<sub>n</sub>) значениями (X<sub>m</sub> коррелирует с X<sub>n</sub> с коэффициентом корреляции r = 0,99992). Следовательно, уровень значимости 0,05 (так как  $r > 0,9$ ), корреляционная связь считается прямой и весьма высокой, следовательно (см. рисунок 4) – показано, что среднее значение скорости движения транспортных средств, движущихся налево за 26 циклов, составила 308,52 км/ч (5 мин 14 сек). Максимальная скорость составила 450 км/ч (5 мин 10 сек), минимальная 25 км/ч (5 мин 58 сек). Следовательно, на ней можно проводить исследования.

Рисунок 5 – Определение коэффициента корреляции  
 Моделирование объекта исследования – бульвара Победы – улицы Антонова-Овсеенко (см. рисунок 4) – показало, что среднее значение условной задержки транспортных средств, движущихся налево за 26 циклов, составило 308,52 с (5 мин 14 сек). Максимальная условная задержка составила 450 с (5 мин 10 сек), минимальная 1 мин 5 с (рисунок 6). Анализ скорости движения показал, что среднее значение скорости транспортных средств, осуществляющих поворот налево за 26 циклов, составила 20,9 км/ч (рисунок 7). Наибольший

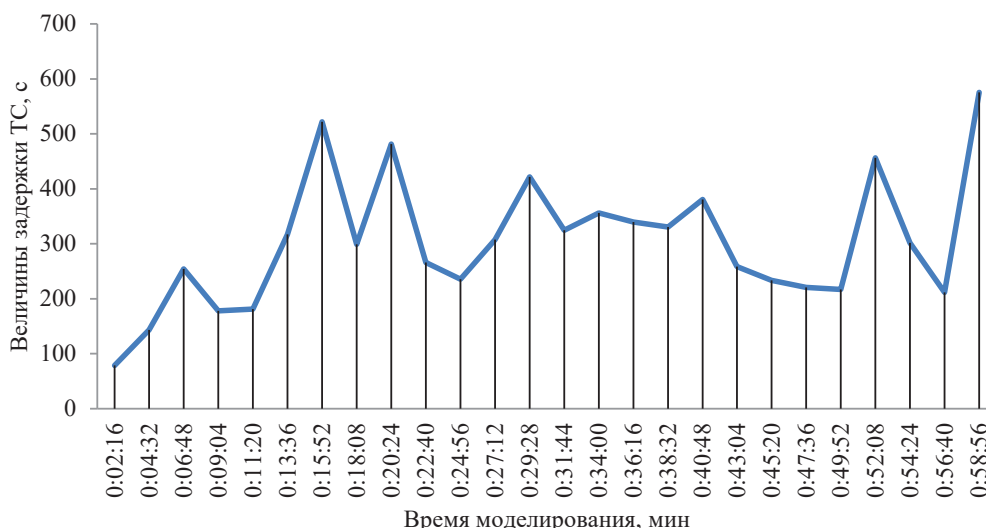


Рисунок 6 – Изменение величины задержки транспортных средств на объекте исследования

Figure 6 – Change in the value of vehicle delay at the research object



показатель скорости транспортных средств при проезде по рассматриваемому направлению составил 45 км/ч, наименьший 25 км/ч.



Рисунок 7 – Изменение средней скорости движения левоповоротного направления в каждом цикле

Figure 7 – Change in the average speed of the left-turn direction in each cycle

В ходе моделирования установлено, что средняя максимальная длина очереди транспортных средств, движущихся налево за 26 циклов, составляет 69 авт. (рисунок 8).



Рисунок 8 – Средняя максимальная длина очереди ТС левоповоротного направления в каждом цикле

Figure 8 – Average maximum queue length of the left-turn in each cycle

В результате исследования регулируемого перекрестка были определены основные транспортные характеристики для транспортных средств, осуществляющих поворот налево. Установлено, что на рассматриваемом объекте исследования наблюдаются заторовые ситуации, которые выражаются в высоких значениях длины очереди и задержек. В связи с полученными результатами предлагается разработать подход к выбору специализации левоповоротной полосы с учетом изменения исследуемых параметров.

На основании сопоставления интенсивности левоповоротного потока ( $N_1$ ) и интенсивности прямого конфликтующего потока ( $N_2$ ) определены значения исследуемых параметров (задержек ТС, длины очереди и скорости движения) (рисунки 9, 10, 11).

Минимальное значение задержек транспортных средств составляет 2,77 с при соотношении  $N_1 = 50$  ед./ч к  $N_2 = 250$  ед./ч, максимальное значение составляет 2644,97 с при соотношении  $N_1 = 50$  ед./ч к  $N_2 = 3000$  ед./ч, а среднее значение задержки – 918,19 с. В большинстве соотно-

шений интенсивностей  $N_1$  и  $N_2$  задержки в модели имеют прямую зависимость и выраженную восходящую тенденцию с коррекцией вниз и локальным максимумом задержек 756,98 с при соотношении  $N_1 = 1000$  ед./ч к  $N_2 = 750$  ед./ч (см. рисунок 9).

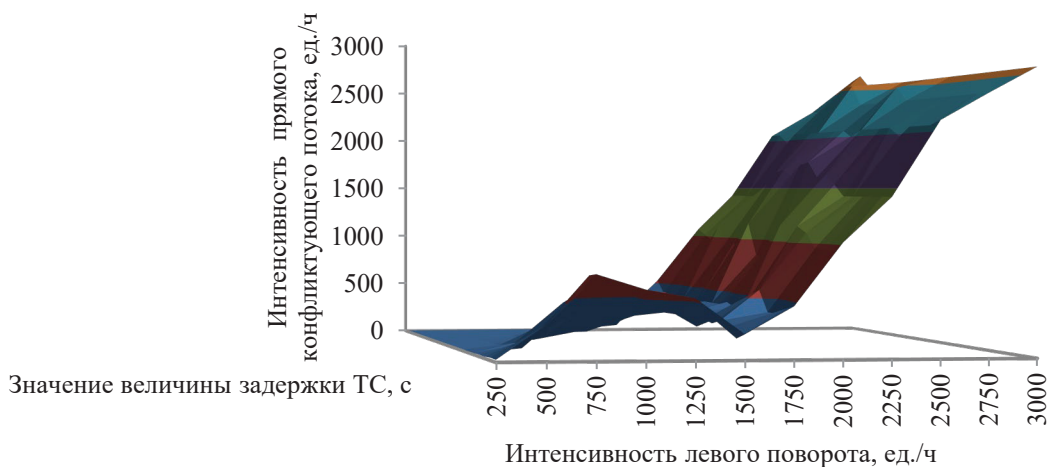


Рисунок 9 – Изменение задержек при отношении интенсивностей  $N_1$  к  $N_2$

Figure 9 – Change in delay with  $N_1$  to  $N_2$  intensity ratio

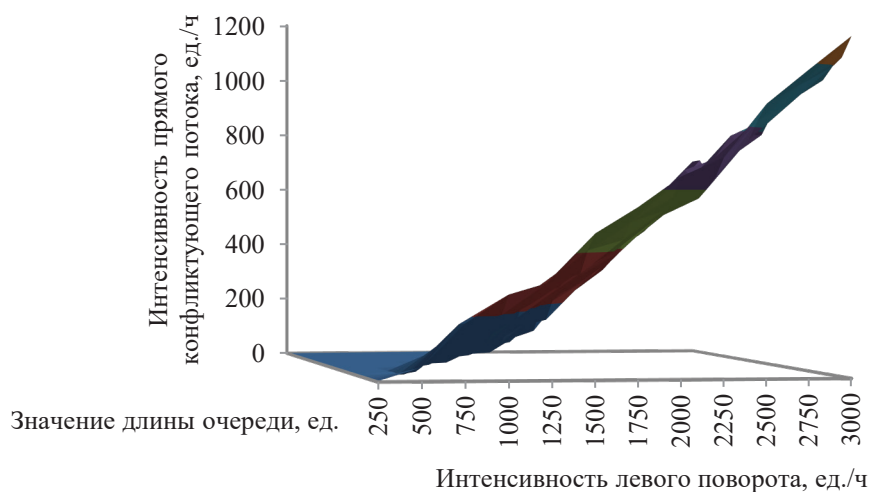


Рисунок 10 – Изменение длины очереди при отношении интенсивностей  $N_1$  к  $N_2$

Figure 10 – Change in the queue length with  $N_1$  to  $N_2$  intensity ratio

Минимальное значение длины очереди транспортных средств составляет 0,47 авт. при отношении  $N_1 = 50$  ед./ч к  $N_2 = 250$  ед./ч, максимальное значение составляет 1087,4 авт. при отношении  $N_1 = 1000$  ед./ч к  $N_2 = 3000$  ед./ч, а среднее значение длины очереди ТС – 918,19 авт. В большинстве соотношений интенсивностей  $N_1$  и  $N_2$  длина очереди в модели имеет прямую зависимость и выраженную восходящую тенденцию (см. рисунок 10).

Аналогичным образом получено изменение скорости движения (см. рисунок 11).

В зависимости от того, какие параметры наблюдаются на объекте исследования, можно определить необходимый способ организации левого поворота в результате дифференциации параметров по уровню обслуживания<sup>7</sup>.

<sup>7</sup> ОДМ 218.2.020-2012. Методические рекомендации по оценке пропускной способности автомобильных дорог.

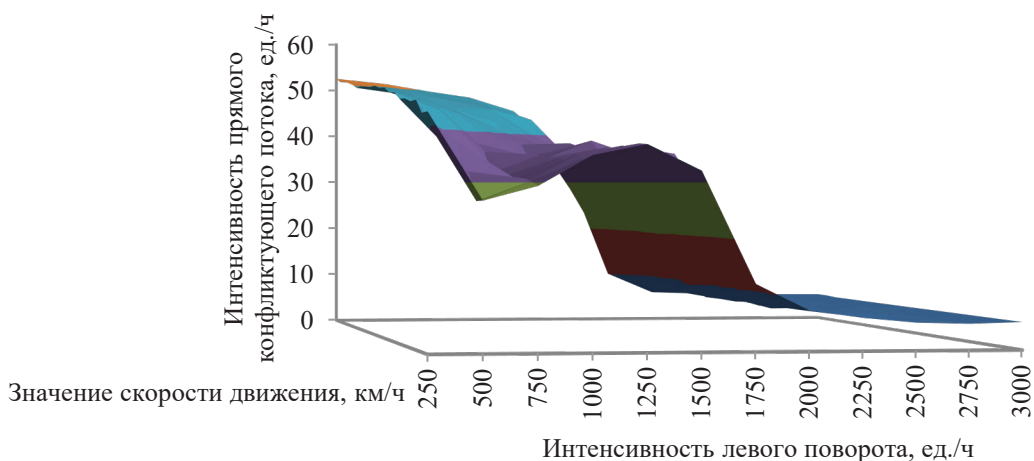


Рисунок 11 – Изменение скорости при отношении интенсивностей  $N_1$  к  $N_2$

Figure 11 – Change in velocity with  $N_1$  to  $N_2$  intensity ratio

**ОБСУЖДЕНИЕ**

В результате использования подхода по оценке изменения основных характеристик транспортного потока на объекте исследования предлагается ввод дополнительной фазы регулирования для левоповоротного направления. Данное изменение способа организации движения на перекрестке будет способствовать изменению основных характеристик транспортного потока (таблица 3).

Установлено, что при внедрении нового способа организации левого поворота ситуация на анализируемом объекте исследования улучшается.

**ЗАКЛЮЧЕНИЕ**

В результате выполнения исследований были определены основные параметры, подлежащие учету при анализе левоповоротного движения на регулируемом участке. Анализ изменения характеристик транспортного потока левоповоротного движения и прямого конфликтующего потока позволил получить значения длины очереди, скорости движения и задержки транспортных средств. В результате исследований рассматриваемых параметров для каждого значения был установлен уровень обслуживания, согласно которому возможно на стадии проектирования, реорганизации или моделирования<sup>8</sup> определить необходимый

Таблица 3  
Показатели транспортного потока до и после реорганизации существующей схемы ОДД

Table 3  
Traffic flow indicators before and after the reorganization of the existing ODD scheme

Характеристика транспортного потока	Показатели транспортного потока при существующей схеме ОДД	Показатели транспортного потока после реорганизации существующей схемы
Задержки, с	308,52	229,84
Скорость, км/ч	20,9	23,4
Длина очереди, ед.	69	32

<sup>8</sup> Витвицкий Е.Е. Моделирование транспортных процессов // В сборнике : Образование. Транспорт. Инновации. Строительство / Сборник научных трудов национальной научно-практической конференции. 2018. С. 212–219.

способ организации движения левоповоротного потока на регулируемом перекрестке. Кроме этого, возможно использование полученных результатов и предлагаемого способа при построении архитектуры интеллектуальных транспортных систем [10, 11, 12, 13, 14].

Выполненный модельный эксперимент позволил оценить изменение основных параметров транспортного потока на регулируемом участке (объекте исследования) при использовании необходимого способа организации движения левоповоротного потока (специализации в фазе регулирования), повысить скорость движения на 11% и снизить задержки транспортных средств и длину очереди на 34% и 115% соответственно, что в целом повышает пропускную способность исследуемого участка и подтверждает целесообразность выполненных мероприятий.

#### БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Martin A., Lagarde E., Salmi L.R. Burden of road traffic injuries related to delays in implementing safety belt laws in low- and lower-middle-income countries. *Traffic Injury Prevention*. 2018. Т. 19. pp. S1-S6.
2. Asante S.A., S.A. Ardekani, and J.C. Williams. «Selection Criteria for Left-Turn Phasing, Indication Sequence and Auxiliary Sign». HPR Research Report 1256- IF, University of Texas at Arlington, Arlington, TX, February 1993. pp. 105.
3. Traffic Signal Preemption for Emergency Vehicles: A Cross-Cutting Study, Putting the First in First Response» FHWA, NHTSA, Washington D.C., January 2006.
4. Al-Kaisy, Ahmed & Freedman, Zachary. November 2005. Weather Responsive Signal Timing: Practical Guidelines. Paper submitted to the Transportation Research Board 85th Annual Meeting January 22–26, 2006.
5. Federal Highway Administration, Mitretek Systems. Best Practices for Road Weather Management. Version 2.0. City of Clearwater, Florida Weather-Related Signal Timing, 2010.
6. Цариков А.А. Пути повышения пропускной способности и безопасности движения поворотных маневров // Вестник Сибирской государственной автомобильно-дорожной академии. 2009. № 3 (13). С. 31–36.
7. Цариков А.А. Развитие методов расчета регулируемых узлов на улично-дорожной сети // Вестник Уральского государственного университета путей сообщения. 2009. № 3–4. С. 118–123.

8. Якимов М.Р. Транспортное планирование: создание транспортных моделей городов: монография. М.: Логос, 2013. 188 с.

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

10. Жанказиев С.В., Иванов А.М., Власов В.М. Научные подходы к формированию концепции построения ИТС в России // Автотранспортное предприятие. 2010. № 4. С. 2–8.

11. Novikov A., Novikov I., Katunin A., Shevtsova A. Adaptation capacity of the traffic lights control system (TSCS) as to changing parameters of traffic flows within intellectual transport systems (ITS) // *Transportation Research Procedia* 2017. С. 455–462.

12. Dorokhin S.V., Zelikov V.A., Strukov Y.V., Likhachev D.V., Novikov A.N., Novikov I.A., Shevtsova A.G. Investigation of methods for calculating duration of light signal regulation cycle // *Journal of Physics: Conference Series*. 2018. Т. 1015. p. 032128.

13. Дубынина М.Г., Жигadlo А.П. Влияние психофизиологических особенностей личности водителя на надежность управления транспортным средством // Вестник сибирского отделения академии военных наук. 2018. № 49. С. 119–130.

14. Дорохин В.Н., Жигadlo А.П., Соловьев А.А. Технологии умного города: монография. Омск, 2018.

#### REFERENCES

1. Martin A., Lagarde E., Salmi L.R. Burden of road traffic injuries related to delays in implementing safety belt laws in low- and lower-middle-income countries. *Traffic Injury Prevention*. 2018. Т. 19: S1–S6.
2. Asante S.A., S.A. Ardekani, and J.C. Williams. «Selection Criteria for Left-Turn Phasing, Indication Sequence and Auxiliary Sign». HPR Research Report 1256- IF, University of Texas at Arlington, Arlington, TX, February 1993: 105.
3. Traffic Signal Preemption for Emergency Vehicles: A Cross-Cutting Study, Putting the First in First Response» FHWA, NHTSA, Washington D.C., January 2006.
4. Al-Kaisy, Ahmed & Freedman, Zachary. November 2005. Weather Responsive Signal Timing: Practical Guidelines. Paper submitted to the Transportation Research Board 85th Annual Meeting January 22–26, 2006.
5. Federal Highway Administration, Mitretek Systems. Best Practices for Road Weather

Management. Version 2.0. City of Clearwater, Florida Weather-Related Signal Timing, 2010.

6. Carikov A.A. Puti povysheniya propusknoy sposobnosti i bezopasnosti dvizheniya povorotnykh manevrov [Ways of increase in capacity and traffic safety of rotary maneuvers]. *Vestnik SibADI*. 2009; 3 (13): 31–36 (in Russian).

7. Carikov A.A. Razvitie metodov rascheta reguliruemym uzlov na ulichno-dorozhnoy seti [Development of the calculation methods of adjustable knots on a street network]. *Vestnik Ural'skogo gosudarstvennogo universiteta putej soobshheniya*. 2009; 3–4: 118–123 (in Russian).

8. Jakimov M.R. Transportnoe planirovanie: sozdanie transportnykh modelej gorodov: monografija [Transport planning: creation of transport models in the cities]. Moscow: Logos, 2013: 188 (in Russian).

9. Zyrjanov V.V. Metody ocenki adekvatnosti rezul'tatov modelirovaniya [Methods of the modeling results' adequacy]. *Inzhenernyy vestnik Dona*. 2013; 2 (25): 132 (in Russian).

10. Zhankaziev S.V., Ivanov A.M., Vlasov V.M. Nauchnye podhody k formirovaniyu koncepcii postroeniya ITS v Rossii [Scientific approaches to formation of the ITS concept in Russia]. *Avtotransportnoe predpriyatie*. 2010; 4: 2–8 (in Russian).

11. Novikov A., Novikov I., Katunin A., Shevtsova A. Adaptation capacity of the traffic lights control system (TSCS) as to changing parameters of traffic flows within intellectual transport systems (ITS) // *Transportation Research Procedia* 2017: 455–462.

12. Dorokhin S.V., Zelikov V.A., Strukov Y.V., Likhachev D.V., Novikov A.N., Novikov I.A., Shevtsova A.G. Investigation of methods for calculating duration of light signal regulation cycle // *Journal of Physics: Conference Series*. 2018. T. 1015: 032128.

13. Dubynina M.G., Zhigadlo A.P. Vliyanie psichofiziologicheskikh osobennostey lichnosti voditelja na nadezhnost' upravleniya transportnym sredstvom [Influence of psycho physiological features of the driver on driving reliability]. *Vestnik Sibirskogo Otdeleniya Akademii Voennykh Nauk*. 2018; 49: 119–130 (in Russian).

14. Dorohin V.N., Zhigadlo A.P., Solov'ev A.A. *Tehnologii umnogo goroda*. Monografija [Technologies of the smart city]. Omsk, 2018 (in Russian).

**Поступила 17.07.2018, принята к публикации 27.08.2019.**

**Авторы прочитали и одобрили окончательный вариант рукописи.**

**Прозрачность финансовой деятель-**

**ности: авторы не имеют финансовой заинтересованности в представленных материалах или методах. Конфликт интересов отсутствует.**

### ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРАХ

*Жигadlo Александр Петрович – канд. техн. наук, д-р пед. наук, доц., ректор Сибирского государственного автомобильно-дорожного университета (СибАДИ), ORCID ID 0000-0002-8883-3167 (644080, г. Омск, пр. Мира, 5, e-mail: rector@sibadi.org).*

*Дорохин Сергей Владимирович – д-р техн. наук, доц., декан автомобильного факультета Воронежского государственного лесотехнического университета имени Г.Ф. Морозова, ORCID ID 0000-0002-3869-9115 (394087, г. Воронеж, ул. Тимирязева, 8, e-mail: dsvvrn@yandex.ru).*

*Лихачев Дмитрий Валерьевич – заместитель декана автомобильного факультета Воронежского государственного лесотехнического университета имени Г.Ф. Морозова, ORCID ID 0000-0001-5200-8387 (394087, г. Воронеж, ул. Тимирязева, 8, e-mail: lihachev\_dv@mail.ru).*

### INFORMATION ABOUT THE AUTHORS

*Alexander P. Zhigadlo – Candidate of Technical Sciences, Doctor of Pedagogical Sciences, Associate Professor, Rector of the Siberian State Automobile and Highway University, ORCID ID 0000-0002-8883-3167 (644080, Omsk, 5, Mira Ave., e-mail: rector@sibadi.org).*

*Sergey V. Dorokhin – Doctor of Technical Sciences, Associate Professor, Dean of the Automobile Faculty, Voronezh State University of Forestry and Technologies named after G.F. Morozov, ORCID ID 0000-0002-3869-9115(394087, Voronezh, 8, Timiryazev St., e-mail: dsvvrn@yandex.ru).*

*Dmitry V. Likhachev – Dean Deputy of the Automobile Faculty, Voronezh State University of Forestry and Technologies named after G.F. Morozov, ORCID ID 0000-0001-5200-8387(394087 Voronezh, 8, Timiryazev St., e-mail: lihachev\_dv@mail.ru).*

### ВКЛАД СОАВТОРОВ

*Жигadlo А.П. Выполнение аналитических исследований, постановка цели и задачи исследований, анализ и ознакомление с зарубежным и отечественным опытом.*

*Дорохин С.В. Разработка подхода к внедрению специализированной фазы регулирования с учетом ранее не используемых пара-*

*метров транспортного потока (скорости, задержки, длины очереди).*

*Лихачев Д.В. Анализ результатов полученных данных в ходе выполнения натурных исследований.*

**AUTHORS' CONTRIBUTION**

*Alexander P. Zhigadlo – analytical research; statement of the research aim; analysis and*

*acquaintance with foreign and domestic experience.*

*Sergey V. Dorokhin – development of approach to the specialized phase of regulation taking into account parameters of traffic flow (speed, delays, turn length).*

*Dmitry V. Likhachev – analysis of research results.*