

Федеральное государственное бюджетное образовательное  
учреждение высшего образования  
ВОРОНЕЖСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ ЛЕСОТЕХНИЧЕСКИЙ  
УНИВЕРСИТЕТ имени Г.Ф. МОРОЗОВА

На правах рукописи



**ЛИХАЧЕВ ДМИТРИЙ ВАЛЕРЬЕВИЧ**

**ПОВЫШЕНИЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ ЛЕВОПОВОРОТНОГО  
ДВИЖЕНИЯ В ЗОНЕ РЕГУЛИРУЕМОГО ПЕРЕКРЕСТКА**

Специальность 05.22.10 – «Эксплуатация автомобильного транспорта»

**ДИССЕРТАЦИЯ**  
на соискание ученой степени  
кандидата технических наук

Научный руководитель:  
д.т.н., доцент  
Дорохин С.В.

Воронеж 2020

**ОГЛАВЛЕНИЕ**

<b>ВВЕДЕНИЕ</b> .....	4
<b>ГЛАВА 1 АНАЛИЗ ОСНОВНЫХ ПАРАМЕТРОВ ПРИ ПРОЕКТИРОВАНИИ РЕГУЛИРУЕМОГО ПЕРЕКРЕСТКА</b> .....	10
1.1 Зарубежный опыт расчета параметров регулируемого перекрестка.....	10
1.2 Требования Российских стандартов при установлении принудительного управления.....	17
1.3 Основные параметры и методы их определения при использовании светофорного объекта.....	21
1.4 Исследование процесса ввода левоповоротного направления.....	31
1.5 Выводы по главе 1.....	41
1.6 Цель и задачи исследования.....	42
<b>ГЛАВА 2 НАУЧНОЕ ОБОСНОВАНИЕ НЕОБХОДИМОСТИ ВВОДА ЛЕВОПОВОРОТНОГО ДВИЖЕНИЯ В ЗОНЕ РЕГУЛИРУЕМОГО ПЕРЕКРЕСТКА</b> .....	44
2.1 Исследование левоповоротного движения на перекрестках центральной части г. Воронежа.....	44
2.1.1 Исследования «способа 1» организации левого поворота.....	49
2.1.2 Исследования «способа 2» организации левого поворота.....	53
2.1.3 Исследования «способа 3» организации левого поворота.....	55
2.2 Моделирование объектов исследования – проверка адекватности моделирования.....	58
2.3 Оценка основных характеристик транспортного потока на исследуемых объектах.....	61
2.3.1 Оценка по задержкам транспортных средств.....	61
2.3.2 Оценка по скорости движения транспортных средств.....	64

2.3.3 Оценка по длине очереди.....	66
2.4 Выводы по главе 2.....	69
<b>ГЛАВА 3 ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ ТЕОРЕТИКО-МЕТОДОЛОГИЧЕСКОГО ПОДХОДА ВВОДА ОБОСОБЛЕННОГО ЛЕВОГО ПОВОРОТА.....</b>	<b>71</b>
3.1 Разработка практических рекомендаций по вводу дополнительной фазы – левого поворота.....	71
3.2 Математический анализ изменения основных характеристик транспортного потока при исследовании конфликта «левый поворот-прямой конфликтующий поток».....	88
3.3 Разработка алгоритма определения необходимого способа организации движения левого поворота в зоне регулируемого перекрестка.....	103
3.4 Апробация разработанного алгоритма.....	111
3.5 Выводы по главе 3.....	115
<b>ГЛАВА 4 ПРАКТИЧЕСКАЯ РЕАЛИЗАЦИЯ И ЭКОНОМИЧЕСКИЙ АНАЛИЗ ПРЕДЛАГАЕМЫХ МЕРОПРИЯТИЙ.....</b>	<b>119</b>
4.1 Оценка изменения величины задержки транспортного потока на исследуемых участках г. Воронежа.....	119
4.2 Оценка изменения расхода топлива на исследуемых участках г. Воронежа.....	125
4.3 Снижение потерь от загрязнения воздуха.....	130
4.4 Выводы по главе 4.....	131
<b>ЗАКЛЮЧЕНИЕ.....</b>	<b>133</b>
<b>СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ.....</b>	<b>136</b>
<b>ПРИЛОЖЕНИЕ А.....</b>	<b>147</b>
<b>ПРИЛОЖЕНИЕ Б.....</b>	<b>156</b>

## ВВЕДЕНИЕ

**Актуальность исследования.** Сегодня, одной из основных проблем в области организации дорожного движения является высокая нагрузка на улично-дорожную сеть, в связи с колоссальными темпами роста автомобилизации. Данная проблема оказывает влияние на все области благоуспешного функционирования страны, в связи с тем, что в каждой области присутствует составляющая – транспорт. Негативный эффект автомобилизации выражается в значительных потерях времени как водителей, пассажиров, так и пешеходов, перерасходе топлива, низких скоростях движения, что зачастую приводит к возникновению аварийных ситуаций и как следствие нарушение экологической и экономической составляющей всего государства. Основная причина возникновения таких явлений заключается в непригодности дорожной сети к существующему уровню автомобилизации, темпы ее развития сегодня, значительно ниже количества прироста автомобилей, предназначенного для личного пользования. Особенно остро заторовые ситуации наблюдаются на регулируемых участках, что свидетельствует о неэффективном способе организации дорожного движения – схеме пофазного разъезда.

Актуальность темы определяется необходимостью разработки алгоритма выбора необходимого способа организации движения левоповоротного потока в зоне регулируемого перекрестка с учетом анализа конфликта «левый поворот-прямой конфликтующий поток» с учетом изменения показателей основных характеристик транспортного потока (скорость движения, задержки транспортных средств, длина очереди).

**Степень разработанности темы.** Работы в этой области безопасности дорожного движения ведутся в научных и высших образовательных учреждениях, таких как: НИИАТ, ГОСНИТИ, МАДИ, СГТУ и других организациях. Рассматриваемым направлением исследования занимались Кременец М.Ю., Афанасьев М.Б., Поляков А.А., Дрю Д., Клинковштейн Г.И., Корчагин В.А., Лобанов Е.М.,



Михайлов А.Ю., Новиков А.Н., Сильянов В.В., Якимов М.Р., Берри Д., и др. ученые.

В результате выполненных работ предложен ряд методов и средств, позволяющих оценить эффективность принудительного управления транспортными потоками. Однако в трудах этих ученых недостаточно рассматриваются вопросы выбора необходимого способа организации движения левоповоротного потока в зоне регулируемого перекрестка с учетом изменения основных характеристик транспортного потока (скорость, длина очереди, задержки транспортных средств).

**Цель работы** – повысить безопасность дорожного движения и снизить потери времени участников дорожного движения путем эффективной организации движения левоповоротного потока в зоне регулируемого перекрестка.

Для достижения цели были **поставлены следующие взаимосвязанные задачи:**

1. Выполнить анализ существующих методов организации движения левоповоротного потока в зоне регулируемого перекрестка.
2. Теоретически обосновать основные виды организации левоповоротного движения в зоне регулируемого перекрестка (специализированная фаза, удлиненная фаза, движение в одной фазе).
3. Разработать алгоритм выбора необходимого способа организации движения левоповоротного потока в зоне регулируемого перекрестка в результате анализа конфликта «левый поворот-прямой конфликтующий поток» с учетом изменения основных характеристик транспортного потока (длина очереди, скорость, задержки).
4. Разработать математическую модель определения необходимого способа организации движения левоповоротного потока в зоне регулируемого перекрестка с учетом различных видов левоповоротных маневров (специализированная фаза, удлиненная фаза, движение в одной фазе).
5. Осуществить оценку предложенной математической модели с помощью определения эколого-экономических показателей с использованием продуктов имитационного моделирования.

**Объект исследования** – процесс движения транспортных средств в зоне регулируемого перекрестка.

**Предмет исследования** – конфликт «левый поворот-прямой конфликтующий поток» в зоне регулируемого перекрестка.

**Научная новизна** исследования заключается в разработке теоретико-методологических подходов к повышению эффективности движения левоповоротного потока в зоне регулируемого перекрестка с учетом анализа конфликта и изменения основных характеристик транспортного потока и отражается в положениях, выносимых на защиту:

1. Путем корреляционного анализа установлены зависимости между натурными ( $X_n$ ), и модельными ( $X_m$ ) параметрами интенсивности, позволяющими выполнить адаптивное транспортное моделирование при осуществлении левоповоротного движения и снизить время задержки транспорта.

2. На основе разработанной математической модели установлены предельные значения сочетания критических интенсивностей для левого поворота и прямого конфликтующего потока, характеризуемого коэффициентом соотношения.

3. На основе разработанного алгоритма принятия решения установлены коэффициенты соотношения, позволяющие осуществить выбор необходимого способа организации движения левоповоротного потока в зоне регулируемого перекрестка.

**Теоретическая и практическая значимость работы.** Разработанные в диссертационном исследовании теоретико-методические подходы, позволяют определить необходимый способ организации движения левоповоротного потока в зоне регулируемого перекрестка и повысить эффективность работы участка за счет снижения задержек транспортных средств.

Результаты исследования имеют прикладной характер и могут быть использованы при реализации программ развития систем управления дорожным движением на перекрестках. Практическое использование полученных результатов позволяет снизить задержки на регулируемых перекрестках, что позволит повысить комплексную эффективность функционирования улично-дорожной сети посред-

ством систем светофорного регулирования, в том числе автоматизированных систем управления дорожным движением (АСУДД).

**Методология и методы исследования.** Диссертационное исследование выполнено на основе трудов ведущих отечественных и зарубежных ученых в области организации дорожного движения, в числе которых Ю.А. Врубель, М.Ю. Кременец, М.Б. Афанасьев, А.А. Поляков, Д. Дрю, Г.И. Клинковштейн, В.А. Корчагин, Е.М. Лобанов, А.Ю. Михайлов, А.Н. Новиков, П. Пржибыл, В.В. Сильянов, М.Р. Якимов, Д. Берри, А. Миллер, Ф. Вебстер, Б. Кобб, Б. Петерсен и многие другие специалисты. Теоретико-методологической основой исследования явились натурные наблюдения, статистический анализ, математическое моделирование, экспериментальные методы обследования транспортных потоков.

**Информационная база исследования.** Законодательные и нормативные правовые акты, Транспортная стратегия Российской Федерации, Федеральные и региональные целевые программы развития транспортных систем, материалы федеральных и региональных органов власти и управлений, статистические данные.

**Степень достоверности результатов.** Достоверность результатов подтверждается большим объемом экспериментального материала, применением математических методов определения способа организации движения на регулируемых перекрестках – пофазного разъезда и проведением апробации на регулируемых участках г. Воронеж.

**Соответствие диссертационной работы паспорту специальности.** Выполненные исследования отвечают формуле паспорта научной специальности 05.22.10 – «Эксплуатация автомобильного транспорта» по пункту 1 «Место и роль автомобильного транспорта в транспортной системе страны, взаимодействие с природой, обществом, прогнозы и пути развития автотранспортного комплекса страны», пункту 6 «Организация безопасности перевозок и движения, обоснование и разработка требований и рекомендаций по методам подбора, подготовки, контроля состояния и режимам труда и отдыха водителей» и пункту 7 «Исследования в области безопасности движения с учетом технического состояния авто-

мобиля, дорожной сети, организации движения автомобилей; проведение дорожно-транспортной экспертизы».

**Апробация работы.** Основные положения и результаты исследования доложены, обсуждены и одобрены на Международных научно-практических конференциях и форумах: «Информационные технологии и инновации на транспорте» (Орел 2015, 2018, 2019); «Актуальные вопросы инновационного развития транспортного комплекса» (Орел, 2016); «Проблемы качества и эксплуатации автотранспортных средств: организация автомобильных перевозок и безопасность дорожного движения» (Пенза 2016); «Современные автомобильные материалы и технологии» (Курск 2016); «Научно-технические аспекты комплексного развития транспортной отрасли» (Донецк, 2016, 2017, 2018); «Университетская наука – 2016» (Мариуполь, 2016); «Организация и безопасность дорожного движения» (Тюмень 2018); Ежегодно обсуждались на заседаниях кафедры автомобилей и сервиса воронежского государственного лесотехнического университета имени Г.Ф. Морозова, а так же на расширенных заседаниях кафедры сервиса и ремонта машин Политехнического института имени Н.Н. Поликарпова Орловского государственного университета имени И.С. Тургенева.

**Реализация результатов работы.** Основные теоретические результаты исследования реализованы в виде алгоритма определения необходимого способа организации движения левоповоротного потока в зоне регулируемого перекрестка с целью эффективного управления транспортными потоками и апробированы в реальных условиях городской территории г. Воронеж, рекомендованы к внедрению МБУ «ЦОДД», ГИБДД ГУ МВД России по Воронежской области и ОГИБДД УМВД России по г. Воронежу.

Материалы исследования используются в учебном процессе при обучении бакалавров и магистров по дисциплинам «Технические средства организации дорожного движения», «Организация дорожного движения» на кафедре «Организации перевозок и безопасности движения» Воронежского государственного лесотехнического университета имени Г.Ф. Морозова.

**Публикации.** Основные положения диссертации опубликованы в 21 статье, в том числе в 4 ведущих изданиях, из перечня рецензируемых научных журналов и изданий для опубликования основных научных результатов диссертаций, в 3 изданиях, включенных в зарубежную аналитическую базу данных SCOPUS и WoS, получено 2 патента на изобретение RUS 2491648, RUS 2690138.

**Структура и объем работы.** Диссертация состоит из введения, четырех глав, заключения, списка литературы из 115 наименований и двух приложений. Текст диссертации изложен на 147 страницах, включает 33 таблицы, 73 рисунка.

# ГЛАВА 1 АНАЛИЗ ОСНОВНЫХ ПАРАМЕТРОВ ПРИ ПРОЕКТИРОВАНИИ РЕГУЛИРУЕМОГО ПЕРЕКРЕСТКА

## 1.1 Зарубежный опыт расчета параметров регулируемого перекрестка

В современном мире с целью повышения качества дорожного обслуживания используются два метода – организационные и технические, данные подходы характерны как для зарубежных стран, так и для Российской Федерации. Одним из основополагающих документов, согласно которому производится расчет регулируемых перекрестков в зарубежных странах, является Highway Capacity Manual 2000 (HCM 2000) [1].

Модель расчета регулируемого перекрестка имеет схожие параметры в сравнении с принятой моделью в Российской Федерации [2, 3]. Методология расчета, представленная в HCM 2000 [1], основана на результатах исследования национальной исследовательской программы, проводимой в штате Аризона (США) [4, 5] на результатах исследований Д. Берри, А. Миллера, Ф. Вебстера, Б. Кобба, Б. Петерсена и др. [6-11].

Для проведения необходимого анализа регулируемого перекрестка, а именно определение необходимой длительности цикла при проектировании перекрестка или перерасчет существующей длительности при реконструкции, первоочередным мероприятием является сбор входной информации, необходимой для проведения дальнейших расчетов. Необходимые данные в HCM 2000 именуются как входные параметры и подразделяются на три основные категории:

1. Геометрические параметры (Geometric conditions – англ. HCM 2000);
2. Транспортные параметры (Traffic conditions – англ. HCM 2000);
3. Регулируемые параметры (Signalization conditions – англ. HCM 2000).

Параметры 1 и 2 (геометрические и транспортные) используются всегда на всех возможных стадиях – проектирования или реконструкции, а регулируемые параметры, которые состоят из параметров регулируемого перекрестка, исполь-

зуются на стадии реконструкции, когда необходимо на существующем регулируемом перекрестке выполнить перерасчет существующего цикла управления.

С целью определения каждого входного параметра в рассмотренные категории входных данных, выполнен анализ их составляющих.

Геометрические характеристики включают в себя 7 параметров:

1. Тип района (Area type – англ. HCM 2000). В зарубежной практике тип района подразделяют на два, это бизнес центры и иные районы, принято считать, что данный параметр позволяет оценить тип перекрестка, а именно наличие пассажирского транспорта, малые радиусы поворота, высокая активность пешеходов, ограничение использования специализированных полос для движения (левого и правого поворота), принято считать, что данные факторы негативно сказываются на величине максимальной пропускной способности, что в результате приведет к ее снижению. Для перекрестков, расположенных в бизнес-центрах и деловых районах, по результатам выполненных зарубежных исследований, перечисленные характеристики отсутствуют и не оказывают никакого влияния, для иных районов, наоборот, оказывают влияние.

2. Количество полос на подходе к перекрестку (Number of lanes, N – англ. HCM 2000), данный параметр можно отнести также и к транспортным характеристикам, позволяет оценить уровень загрузки на подходе к перекрестку. В зарубежной практике установлено, что количество полос влияет на скоротость движения, при анализе магистрали, скорость движения по средней полосе будет выше, чем по крайней правой, что характерно также и для Российских дорог, но при анализе регулируемого перекрестка или его проектировании, данный фактор не будет оказывать слияния, т.к. скорость на подходе к такому перекрестку будет приблизительно равной по всем направлениям.

3. Ширина полосы движения (Average lane width, W(ft) - англ. HCM 2000). В зарубежной практике ширина полосы движения в основном всегда составляет 12 футов (3,6576 м.), но по результату выполненных исследований в HCM 2000 уменьшение полосы будет приводить к снижению скорости на подходе.

4. Уклон дороги (Grade, G (%)) - англ. HCM 2000). Учитывается при анализе местности, в которой расположен перекресток, при отсутствии конкретных данных определяется тип местности (холмистая – 5% и горная – 7%) [12], снижает или увеличивает скорость на подходе к перекрестку и оказывает влияние на определяемые данные.

5. Специальные полосы для определенного типа движения (налево или направо) (Existence of exclusive LT or RT lanes - англ. HCM 2000). При отсутствии данных по специально выделенным полосам, на стадии проектирования перекрестка определяется необходимость ввода данной полосы на основании данных по интенсивности движения (таблица 1) [13, 14].

Таблица 1 – Критерий ввода специализированной поворотной полосы при использовании светофорного управления

Поворотная полоса	Минимальная интенсивность поворота (авт/ч)
Одна левоповоротная полоса	100
Две левоповоротных полосы	300

6. Длина поворотной полосы (*Length of storage bay, LT or RT lane, Ls (ft)*) - англ. HCM 2000). По соображениям безопасности движения, должна быть достаточной для сохранения максимальной пропускной способности поворотной полосы.

7. Припаркованные автомобили (*Parking* - англ. HCM 2000). Данный показатель, по мнению зарубежных исследователей, напрямую относится к геометрическим показателям. Установлено, что при наличии в зоне регулируемого перекрестка (проектируемого или реконструируемого) специализированных мест для парковки (стоянки или остановки), а также полос, занятых такими автомобилями, существует влияние данного фактора на расчет основных параметров регулируемого перекрестка (длительности цикла и фаз), так согласно руководству [1] каждый маневр с парковки будет блокировать движения в среднем на 18 с, что в дальнейшем выразится в потерянном времени при проезде регулируемого перекрестка.



В зарубежной практике весь перечень геометрических параметров в основном представляется в схематической форме, которая и включает в себя всю необходимую информацию – оценка подхода к перекрестку (количество полос движения и их ширина, условия парковки – влияние их на режим работы перекрестка, наличие специализированных полос для движения лево-и правоповоротного потока, а также длина таких полос).

Транспортные характеристики включают в себя расширенный набор параметров, которые оказывают влияние на расчет регулируемого перекрестка. В состав таких характеристик входит 10 параметров, которые рассмотрены более подробно:

1. Объем спроса по движению,  $V$  (авт/ч) (*Demand volume by movement, V (veh/h)* - англ. *HCM 2000*). В интерпретации с Российским представлением, данная величина подразумевает интенсивность автомобилей, использующих определенные полосы для движения. Таким образом, одним из первоочередных параметров является величина интенсивности по каждому направлению движения.

2. Базовое значение потока насыщения на полосу (*Base saturation flow rate,  $s_0$  (pc/h/ln)* - англ. *HCM 2000*). Принятое в европейской практике значение, составляет 1900 ед/ч на одну полосу, с учетом геометрических характеристик, которые были описаны ранее, данное значение корректируется и принимается для дальнейших расчетов. В анализируемом руководстве HCM 2000 базовое значение рекомендуется принимать в зависимости от скорости движения на подходе, при более высоких скоростях (50 миль/ч (80 км/ч)) данное значение принимаем 1900 ед/ч и производим последующую корректировку, при низких скоростях (30 миль/ч (48 км/ч)) данное значение принимаем 1800 ед/ч.

3. Пиковый фактор (*Peak-hour factor, PHF* - англ. *HCM 2000*). Расчетный параметр, который выражается в виде коэффициента и рассчитывается как отношение часовой интенсивности движения к интенсивности анализируемого периода, умноженное на количество таких периодов:

$$PHF = \frac{\text{часовая интенсивность}}{(\text{интенсивность в периоде}) \cdot \text{количество периодов}} \quad (1)$$

4. Наличие грузовых автомобилей (*Percent heavy vehicles, HV (%)* - англ. *HCM 2000*). В зарубежной практике, распределение транспортных средств по типам, определяется количественно как процент грузовых автомобилей, причем данным типам относятся все транспортные средства имеющие более 4 колес, а также автобусы, присутствующие в потоке, но не совершающие остановки для посадки или высадки пассажиров в зоне регулируемого перекрестка (подход и выход из зоны регулируемого перекрестка).

5. Интенсивность пешеходного движения (*Approachpedestrianflowrate,  $v_{ped}$  (p/h)* - англ. *HCM 2000*). Определяется количеством пешеходов в зоне регулируемого перекрестка в течение часа.

6. Количество автобусов, осуществляющих остановку в зоне перекрестка (*Localbusesstoppingatintersection,  $N_B$  (buses/h)* -англ. *HCM 2000*). Показатель, который по результатам исследований, блокирует движение. В результате анализа перекрестка выражается в виде коэффициента, который в последствии оказывает влияние на расчетные параметры регулируемого перекрестка.

7. Парковочная активность (*Parking activity,  $N_m$  (maneuvers/h)* -англ. *HCM 2000*). По аналогии с геометрическими характеристиками, здесь данный параметр имеет числовое значение в виде коэффициента, который оказывает влияние на расчетные параметры.

8. Тип прибытия на перекрестке (*Arrival type, AT* - англ. *HCM 2000*). В руководстве для оценки схемы управления, используется такой параметр как тип прибытия, позволяющий в дальнейшем определить задержки на исследуемом или проектируемом перекрестке и оценить эффективность предлагаемых мероприятий, данный параметр ранжируется от 1 до 6 (таблица 2).

Таблица 2 – Характеристика каждого типа прибытия на перекрестке

Тип прибытия	Характеристика
1	(Отрицательно плотный) Данный тип прибытия характерен для координированного управления, где одно из направлений не получает достаточное количество автомобилей для пропуска, данное явление может объясняться расположением светофорных объектов менее 500 м друг от друга. Характеризуется как очень скудный тип, который содержит более 80% объема трафика, прибывающего на красный сигнал, что требует проведения оптимизационных расчетов.
2	(Умеренный) Данный тип прибытия характерен также для координированного управления, при котором некоторое направление не могут пропустить полное количество прибывающих автомобилей, объекты расположены на расстоянии от 500 до 1000 м. Большинство прибывающих автомобилей приходится на запрещающий сигнал, объем которых от 40-80%, что также свидетельствует о не оптимальности режима управления. В связи с тем что автомобили прибывают на запрещающий сигнал, они вынуждены задерживаться на перекрёстке, что приводит к увеличению общего времени простоя.
3	(Случайный) Тип прибытия, обычно характерный для изолированных сигналов, но возможно и координированное управление, при котором светофорные объекты располагаются на расстоянии более 1000 м. В течение запрещающего сигнала на перекресток прибывает менее 40% общего количества автомобилей, что снижает количество простоев на регулируемом перекрестке.
4	(Умеренно плотный) Тип прибытия, в основном характерный для некоординированных участков, но возможен и для координированной работы перекрёстков, расположенных на расстоянии от 500 до 1000 м., при котором от 40 до 80% прибывающих автомобилей приходится на середину разрешающей фазы, что снижает количество непреднамеренных остановок на регулируемом перекрестке и общее время простоя.
5	(Положительно плотный) Тип прибытия, при котором более 80% автомобилей прибывают вначале разрешающий сигнал, характерно для координированного управления, при расположении светофорных объектов на расстоянии менее 500 метров друг от друга.
6	(Идеальный) Тип прибытия, при котором все автомобили прибывают на разрешающий сигнал, характерен для улиц с односторонним движением и для координированного управления, при котором расстояние меньше 250 м.

Выполненный анализ типа прибытия на существующем перекрестке с использованием принудительного управления, позволяет оценить задержки на перекрестке, что в свою очередь дает возможность оценить эффективность режима управления. На стадии проектирования, с использованием продуктов имитационного моделирования, также возможно определить эффективность предлагаемого мероприятия – использование светофорного управления.

9. Доля транспортных средств, прибывающих на разрешающий сигнал (*Proportion of vehicles arriving on green, P* - англ. HCM 2000). Один из показателей эффективности принятого режима управления, по аналогии с предыдущим, характеризующим тип прибытия, позволяет в дальнейшем определить время задержки.

10. Скорость на подходе к перекрёстку (*Approach speed,  $S_A$  (mi/h)* - англ. HCM 2000). Величина, которая в руководстве характерна для перекрестков с уже существующим типом принудительного управления, в основном в зарубежных странах определяется как время между прохождением детектора присутствия и стоп-линией, расстояние между которыми фиксировано. Значение скорости в дальнейшем необходимо при расчете времени задержки.

Из всех рассмотренных параметров, основная часть их является расчетной и характерной для регулируемого перекрестка (рисунок 1). Единственным и одним из важных отличий от Российской методологии расчета регулируемых перекрестков, представленные параметры в основном не имеют числового выражения, их влияние определяется особыми коэффициентами, что дает возможность более полно оценить ситуацию на проектируемом или рассчитываемом участке.

В ходе анализа зарубежного опыта при вводе светофорного регулирования определены основные параметры, используемые в расчете. При использовании данного подхода (зарубежного) необходима оценка множества параметров, которые выражаются в виде коэффициентов и позволяют оценить степень влияния каждого на длительность цикла.

В результате анализа участка сети и определения двух видов характеристик: геометрической и транспортной, возможным становится расчет регулируемых параметров, которые будут более подробно рассмотрены далее в сравнении с используемым в России подходом расчета данного типа директивного управления.



Рисунок 1 – Параметры, для расчета регулируемого перекрестка используемые в зарубежных странах (HCM 2000)

Для определения основных параметров используемых в Российской Федерации при расчете регулируемого перекрестка, выполним анализа научной и нормативной литературы, посвященной данному вопросу.

## 1.2 Требования Российских стандартов при установлении принудительного управления

В Российской Федерации при расчете основных параметров регулируемого перекрестка, действуют согласно требованиям нормативной документации [15,16], данные документы отражают нормативные требования по установке необходимого типа светофора, критериям ввода светофорной сигнализации, а также к параметрам установки светофорного объекта. Основная информация по основным параметрам, необходимым при проектировании или реконструкции регулируемого участка, содержится в научной литературе [2,3,17-21]. Согласно выполненному анализу, исходные данные (параметры) необходимые для расчета регу-

лируемого перекрестка можно подразделить на два типа, по аналогии с зарубежным подходом, рассмотренным ранее:

1. Планировочные характеристики (геометрические);
2. Транспортные характеристики.

С целью отражения параметров, входящих в состав данных характеристик, более подробно рассмотрим их составляющие.

К планировочным характеристикам, согласно исследованию научной литературы, относятся 7 параметров:

1. Ширина проезжей части. Величина, необходимая для определения количества полос, при отсутствии их на исследуемом участке и составления схемы управления при вводе директивного управления.

2. Число полос движения. Количество полос на подходе и выходе с исследуемого участка, с целью распределения входящих и выходящих потоков, особенно на стадии проектирования управляемого участка.

3. Ширина полос движения. Данная величина, имеет основополагающее значение, при расчете необходимой длительности цикла, которая будет рассмотрена далее, в ходе анализа моделей расчета основных параметров регулируемого перекрестка.

4. Ширина разделительных полос. Данный параметр, необходим на стадии проектирования для соблюдения требований безопасности дорожного движения, при разделении транспортных потоков по направлениям, определяется согласно требованиям нормативного документа [22].

5. Ширина тротуаров. Аналогичный параметр, схожий с предыдущим, принимает по соображениям безопасности в соответствии с требованиями нормативной документации [23].

6. Радиус закругления тротуаров. Величина, получаемая в ходе анализа геометрических параметров, необходимая для расчета дальнейших характеристик цикла светофорного регулирования.

7. Продольный уклон на подходах к перекрестку. Параметр, оказывающий влияние на скорость подхода к проектируемому или реконструируемому участку

дорожной сети, на основании которого в ходе дальнейших расчетов увеличивается или снижается время, необходимое для эффективного пропуска транспортных средств при использовании метода директивного управления.

В сравнении с зарубежными параметрами, характеризующимися как геометрические, используемые в Российской Федерации, позволяют более полно оценить геометрию проектируемого или реконструируемого участка, но не позволяют оценить ситуацию на участке, т.к. не учитывают параметры, используемые в зарубежной практике, которые непосредственно оказывают влияние на проектируемый режим управления светофорного объекта.

По аналогии со вторым типом характеристик, используемых в зарубежной практике, необходимых для расчета режима управления, в Российской Федерации существует данная категория, включающая в себя 4 параметра:

1. Состав транспортных потоков. Данный показатель влияет на загрузку дорог и при использовании коэффициентов приведения позволяет определить величину приведенной интенсивности, необходимой для дальнейших расчетов [24]. В Российской Федерации, весь транспортный поток приводится к легковому автомобилю, с использованием 13 коэффициентов приведения, определенных в нормативном документе [25]. Следует отметить, что в зарубежной практике не используется столь детальный анализ состава транспортного потока, из общего числа присутствующих транспортных средств определяются только грузовые и пассажирские, не в зависимости от их грузоподъемности и пассажироместности.

2. Картограмма интенсивности транспортных потоков. Величина приведенной интенсивности по каждому направлению движения исследуемого или проектируемого участка.

3. Картограмма интенсивности пешеходных потоков. Количество пешеходов осуществляющих движение в зоне регулируемого или проектируемого участка дорожной сети.

4. Средняя скорость движения транспортных средств на подходе к перекрестку. Параметр, определяемый натурным методом, в результате серии замеров

на существующем или проектируемом участке для дальнейшего использования в модели расчета режима управления.

В результате анализа геометрических и транспортных характеристик, используемых в национальной практике при расчете параметров светофорного управления, можно сказать, что в сравнении с зарубежными характеристиками, они не позволяют дать более полное представление о транспортной ситуации на исследуемом участке, в результате их определения (рисунок 2), инженер или проектировщик получает конкретные числовые значения, используемые в дальнейшем расчете. В то время, как зарубежные параметры в основном определяются в виде коэффициентов, на основании которых возможно на стадии проектирования сделать вывод о необходимости ввода принудительного управления.



Рисунок 2 – Параметры, для расчета регулируемого перекрестка, используемые в Российской Федерации

Отечественный опыт, применяемый при расчете регулируемых перекрестков, показывает что для определения цикла необходимо также два типа характеристик – транспортных и геометрических, но в связи с единичным представлением



данных параметров, без определения их степени влияния, что присуще зарубежному опыту, на стадии проектирования может быть в не полной мере отражена транспортная ситуация.

Несмотря на тот факт, что на стадии получения необходимой информации (геометрической и транспортной) существует большое количество разнообразных параметров, присущих зарубежному подходу, но не присущих Российскому. В результате использования данных параметров, можно заметить схожесть в процедуре расчета длительности режима управления. Выполним анализ методов расчета длительности цикла используемого в зарубежных странах и в Российской Федерации.

### **1.3 Основные параметры и методы их определения при использовании светофорного объекта**

Согласно требованиям нормативной документации [15, 16] и анализу научной литературы [3, 26-30] режим работы светофорного объекта (СО) – это порядок чередования и продолжительность составляющих цикл – основных и промежуточных тактов [2]. В аналитическом виде режим работы СО:

$$T_{ц} = t_{o1} + t_{n1} + t_{o2} + t_{n2} + \dots + t_{on} + t_{nn} \quad (2)$$

где  $T_{ц}$  – продолжительность цикла регулирования, с;  $t_{o1} \dots t_{on}$  – продолжительность основного такта, с;  $t_{n1} \dots t_{nn}$  – продолжительность промежуточного такта, с;  $n$  – число фаз.

В общем виде определение длительности цикла светофорного регулирования сводится к определению отношения фактической интенсивности движения к предполагаемой (проектируемой) интенсивностью движения, в общем виде процедуру определения можно представить в виде блок-схемы (рисунок3) [16].

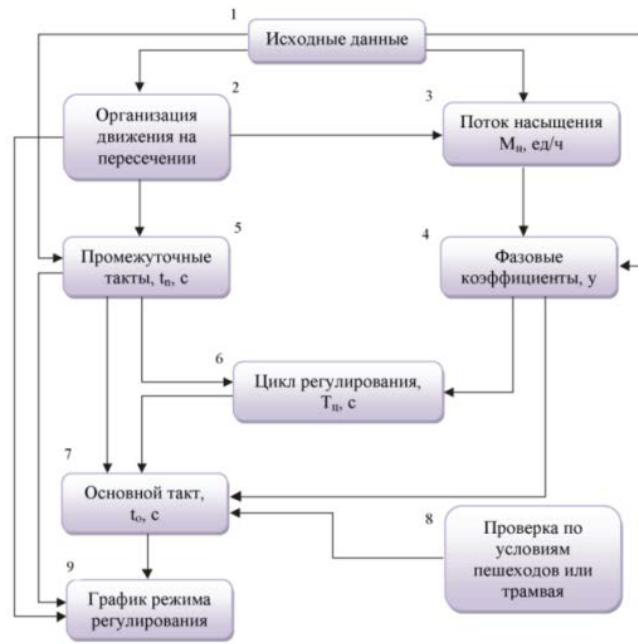


Рисунок 3 – Блок-схема расчета длительности цикла и его элементов  
(1-9 последовательность определения параметров)

Рассмотрим более подробно каждую составляющую при выполнении расчета длительности цикла.

Начальными данными для расчета вновь проектируемого или существующего светофорного объекта являются исходные данные, их относят к входным параметрам и более подробно они описаны в п.п. 1.2, далее на основании исходных данных проектируется или совершенствуется схема организации дорожного движения, определяется количество фаз и направления движения в каждой из них. Проектировщик при построении схемы пофазного разъезда (организации дорожного движения на регулируемом пересечении) руководствуется условиями ввода светофорной сигнализации, которая более подробно представлена в нормативных источниках [15,16] и условиями безопасности дорожного движения.

Основополагающей величиной, при определении продолжительности цикла светофорного регулирования, является величина потока насыщения (ПН). Согласно анализу научной литературы, поток насыщения это максимальное количество автомобилей проезжающих на разрешающий сигнал светофора[2, 31]. В своих исследованиях, Ю.А. Врубель [31] и Ю.А. Кременец [2], формулируют различ-

ные определения исследуемой величины – потока насыщения. Кременец Ю.А.[2], под потоком насыщения понимает максимальную интенсивность разезда очереди автомобилей при насыщенной фазе регулирования, с вою очередь, Врубель Ю.А.[31] определяет его как среднюю интенсивность разезда достаточно длинной очереди из автомобилей через стоп-линию за время действия разрешающего сигнала.

Из анализа параметров модели Вебстера, отраженной на рисунок 4, определенной для случая, где очередь, ожидающая возможности проезда на подходе, не разъезжается к концу зеленого такта [32].

Согласно «модели Вебстера», однородный темп отъезда назван ПНС подхода. Поскольку поток на РП управляется длительностью зеленого такта, ПН при этих условиях определен как разезд, который закончился бы, если бы была непрерывная очередь ТС, и им дали 100%-ю продолжительность зеленого такта.

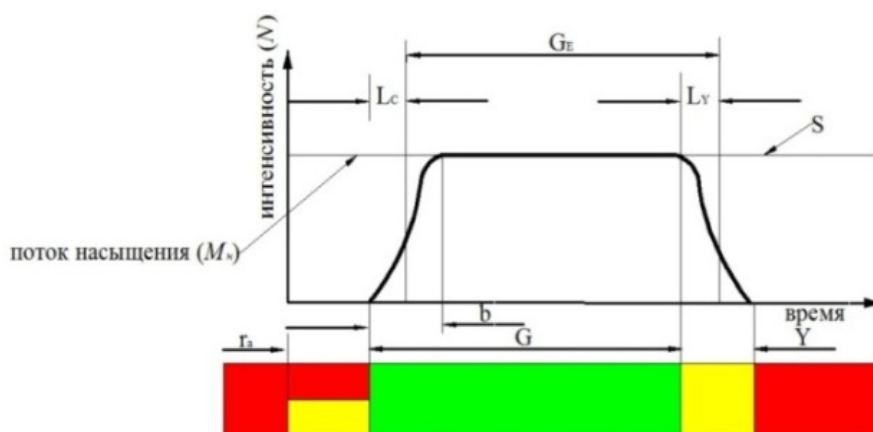


Рисунок 4 – Параметры «модели Вебстера», исходный процесс сигнализированного движения:

$G$  – продолжительность зеленого сигнала;  $Y$  – продолжительность желтого сигнала;  $r_a$  – продолжительность сочетания красного и желтого сигналов;  $G_e$  – эффективная продолжительность зеленого сигнала;  $L_c$  – стартовые потери времени;  $L_y$  – часть желтого сигнала в конце фазы, используемая для движения;  $M_n$  – поток насыщения;  $b$  – промежуток времени отключения разрешающего сигнала до наступления потока насыщения.

Согласно анализу научной литературы [2, 33, 34], существует два метода определения величины потока насыщения: натурный и расчетный, наиболее предпочтительным является расчетный метод, в основу которого заложено определение искомой величины в зависимости от типа движения:

1. для случая движения в прямом направлении:

$$M_n = 525 \cdot B_{пч} \quad (3)$$

где  $M_n$  – поток насыщения, ед/ч;  $B_{пч}$  – ширина полосы, м.

2. для смешанного движения, в зависимости от доли прямо ( $a$ ), лево - ( $b$ ) и правоповоротных ( $c$ ) автомобилей, осуществляющих движение с одной полосы, %, при условии того, что доля поворотного потока составляет более 10%:

$$M_n = M_{нпрям} \cdot \frac{100}{a + 1,72b + 1,25c} \quad (4)$$

3. для поворотного движения (однорядное движение):

$$M_{нпов} = \frac{1800}{1 + 1,525/R} \quad (5)$$

где  $R$  – радиус поворота, м.

4. для поворотного движения (двухрядное движение):

$$M_{нпов} = \frac{3000}{1 + 1,525/R} \quad (6)$$

После расчета потока насыщения, согласно последовательности определения длительности цикла, производится расчет фазовых коэффициентов для каждого направления движения:

$$y_{ij} = N_{ij}/M_{nij}, \quad (7)$$

где  $y_{ij}$  – фазовый коэффициент;  $N_{ij}$  – интенсивность движения, ед/ч;  $M_{nij}$  – поток насыщения, ед/ч.;  $i$  – номер фазы;  $j$  – номер направления.

Согласно модели расчета (рисунок 3) из всего множества фазовых коэффициентов, рассчитанных для каждого направления движения, следует определить максимальное значение:

$$y_i \rightarrow \max \quad (8)$$

Для последующих расчетов будет использоваться сумма всех максимальных фазовых коэффициентов:

$$Y = \sum_1^n y_i \quad (9)$$

Далее производится расчет промежуточных тактов:

1. для движения транспорта:

$$t_{\pi i} = \frac{v_a}{7,2 \cdot a_T} + 3,6 \cdot (l_i + l_a)/v_a \quad (10)$$

где  $v_a$  – средняя скорость ТС при движении на подходе и в зоне РП без торможения, км/ч;  $a_T$  – среднее замедление ТС при включении запрещающего сигнала (равно 3 – 4 м/с<sup>2</sup>);  $l_i$  – расстояние от стоп-линий до самой дальней конфликтной точки, м;  $l_a$  – длина ТС, наиболее часто встречающегося в потоке, м.

2. для движения пешеходов:

$$t_{\pi i(\text{пш})} = B_{\text{пш}}/4v_{\text{пш}} \quad (11)$$

где  $B_{\text{пш}}$  – ширина проезжей части, пересекаемой пешеходами в  $i$ -ой фазе регулирования, м;  $v_{\text{пш}}$  – расчетная скорость движения пешеходов (обычно принимается 1,3 м/с).

Ранее в расчетах по результату определения длительности промежуточного такта необходимо было сравнить полученные значения и выбрать максимальный, но после ввода в действие поправки в пункт 7.1.2 в ГОСТ Р 52289-2004 с изменениями № 3 от 28.02.2014 «Не допускается пересечение транспортных и пешеходных потоков в одной фазе светофорного цикла регулирования», расчет следует проводить отдельно для каждой фазы регулирования.

Дальнейший расчет длительности цикла зависит от суммы промежуточных тактов каждой фазы регулирования:

$$T_{\pi} = \sum_1^n t_{\pi i} \quad (12)$$

После расчета длительности промежуточных тактов для каждой фазы регулирования, производится расчет цикла регулирования, который является промежуточным для получения необходимых параметров основных тактов:

$$T_{\text{ц}} = (1,5 \cdot T_{\pi} + 5)/(1 - Y) \quad (13)$$

По результату полученной длительности цикла, производится расчет длительности основного такта:

1. для движения транспорта:

$$t_{oi} = [(T_{ц} - T_{п}) \cdot y_i] / Y \quad (14)$$

2. для движения пешеходов (пешеходная фаза):

$$t_{опш} = 5 + B_{пш} / v_{пш} \quad (15)$$

По результату расчета в зависимости от количества фаз регулирования, проектировщик получает длительность необходимого цикла (рисунок 5):

$$T_{ц} = t_{o1} + t_{п1} \dots + t_{on} + t_{пn} \quad T_{ц} = t_{o1} + t_{п1} \dots + t_{on} + t_{пn} \quad (16)$$

Номера светофоров	График включения сигналов			$t_{с}$ , с	$t_{ю}$ , с	$t_{с}$ , с	$t_{ю}$ , с
	I фаза	II фаза	III фаза				
8, 3	■	■	■	82		38	
4, 10	■	■	■	39		81	
12, 5	■	■	■	31	3	82	4
6, 11	■	■	■	74	3	39	4
2, 9, 7, 1	■	■	■	39	4	74	3
3п, 4п	■	■	■	39		81	
7п, 8п	■	■	■	31		89	
1п, 2п, 5п, 6п	■	■	■	39		81	

Рисунок 5 – Пример построения графика режима работы светофорной сигнализации

В дальнейшем, производится расчет предполагаемых задержек транспортных средств на перекрестке при вводе полученного режима управления.

Рассматривая процедуру расчета длительности цикла в зарубежных странах, можно сказать, что она во многом отлична от ранее представленной и общепринятой в Российской Федерации. На основании анализа зарубежных источников установлено, что существует несколько подходов в определении длительности цикла, первый подход был разработан в транспортной и дорожной исследовательской лабораторией (TRRL – Transport and Road Reserch Laboratory), в основу которого был положен метод Вебстера [10, 32, 35-36], данный подход аналогичен с общепринятым в Российской Федерации и длительность цикла определяется по формуле:

$$C_o = \frac{1,5 \cdot L + 5}{1 - Y} \quad (17)$$

где  $C_o$  – оптимальная длина цикла, с.;  $L$  – длительность потерянного времени, с.  $Y$  – сумма фазовых коэффициентов.

Следующим подходом, используемым в зарубежных странах, является подход используемый в Австралийском совете по исследованию дорог (ARRB - Australian Road Research Board) [37-40] в данном подходе учитывается парковочный коэффициент и длительность цикла определяется по формуле:

$$C_o = \frac{1,4 \cdot k + 6}{1 - Y} \quad (18)$$

где  $C_o$  – оптимальная длина цикла, с.;  $k$  – парковочный коэффициент;  $Y$  – сумма фазовых коэффициентов.

На практике, припаркованные транспортные средства, это очень серьезная проблема, особенно в развивающихся городах, борьба с которой очень сложная и предполагает много предположений со стороны инженера [41]. Регулируемые участки, в основном это очень загруженные соединения, вблизи которых довольно часто встречаются торговые площади и нерегулярные автобусные остановки.

Дорожные знаки и дорожная разметка могут запрещать парковку, но данный тип запрета не всегда является эффективным. В большинстве случаев у проектировщика есть возможность сократить эффективную ширину проезжей части, в зависимости от наличия затруднительных условий для движения, которые и выражаются в виде коэффициента  $k$ .

Приведенные подходы, широко используются, но имеют некоторые ограничения:

1. в условиях, близких к насыщенным или насыщенным, оптимальная формулировка длины цикла, предложенная Вебстером, становится невозможной, поскольку она порождает необоснованно большую длину цикла, т.к. фазовый коэффициент приближается к единице;
2. становится неприменимым, фазовый коэффициент больше единицы.

В Руководстве по оценке пропускной способности [1, 42-43] также был предложен подход к определению длительности цикла:

$$C = \frac{L}{1 - \left[ \frac{\min(CS, RS)}{RS} \right]} \quad (19)$$

где  $C$  – длительность цикла, с.  $L$  – полное потерянное время, с.  $CS$  - критическая сумма (ед/ч);  $RS$  - эталонный объемный расход, ед/ч, который считается по формуле:

$$RS = 1,710 \cdot PHF \cdot f_a \quad (20)$$

где  $PHF$  – коэффициент пикового часа;  $f_a$  - коэффициент настройки типа зоны (0,90, если CBD, 1,00 в противном случае).

Более подробно рассмотрим составляющие формулы 19 определения цикла по HCM 2010. Параметр  $CS$  представляет собой сумму критического фазового объема для каждого направления, т.е. это величина интенсивности для рассматриваемого участка. Параметр  $RS$  - эталонная сумма фазовых скоростей потока, представляющая теоретический максимум значения, которое пересечение могло бы разместить при бесконечной длине цикла, по сути это поток насыщения, т.е. максимальное количество автомобилей, которые могли бы покинуть перекресток за разрешающий сигнал светофора. Рекомендуемое значение определяется по формуле 20 при которой скорость потока в среднем составляет 1,710 около 90 процентов от базовой скорости насыщения 1900 ед/ч. Данный подход может быть применим к различным состояниям насыщения, но он основан на ожидаемом насыщении (потоке насыщения), поэтому не гарантирует, что длина цикла приведет к минимальной задержке на пересечении.

В зарубежных странах, в отличие от отечественного представления, принятого в Российской Федерации, существует несколько подходов к расчету оптимальной длительности цикла, которые приводят к различным результатам при наличии аналогичных входных параметров.

Ученые Стивен Дэй и Дэвид Балок [44] оценили эффективность получаемых циклов по методу и Вебстера [32] и методу представленном в HCM 2000 [1]. Авторы показали, что расчеты из модели Вебстера и HCM 2000 обеспечивали основу для определения разрешающих и запрещающих сигналов, но длина цикла



при использовании данных подходов была различна, что сказывалось на изменение задержек в течение дня.

Аналогичное исследование было выполнено Дональдом Ченгом [45], он сравнил модель длины минимальной задержки по Вебстеру и модель оптимального цикла по HCM 2000 и рекомендовал модель длины цикла экспоненциального типа, на основании использования двух рассмотренных подходов.

Основываясь на идее минимизации времени задержки, многие модели оптимизации длины цикла были разработаны с использованием линейных или нелинейных методов регрессии и вероятностных подходов среди других [46-48], безусловно это привело к отличной длительности циклов при использовании различных подходов ее определения.

Второй класс методов основан на исследованиях, направленных на оптимизацию длины цикла для насыщенного или перенасыщенного пересечения [49-51]. В данных исследованиях, представляется методология временного решения, которая учитывает весь период перенасыщения и модели дискретной динамической оптимизации. Оптимальная длина цикла и оптимальное зеленое время для каждого подхода были определены для случая двухфазного управления. Установлено, что предлагаемая модель индекса производительности дискретного типа является более подходящей конструкцией для управления синхронизацией управляемого потока.

Третий класс методов основан на учете фактора выбросов, топлива и других факторов окружающей среды при разработке модели длины цикла [52-54]. В результате исследований, установлена модель синхронизации сигнала, которая оптимизирует длину цикла сигнала и разрешающий сигнал, используя интегрированную оптимизацию качества потока, а именно - расхода топлива и выбросов. Установлено, что, когда длина цикла увеличивалась с 20 до 200 с, было оптимальное значение, соответствующее функции индекса производительности. Когда скорость потока была больше, увеличивалась оптимальная длина цикла, соответствующая функции индекса производительности. Однако параметры модели

сложны и труднодоступны и поэтому полезны только для целей изучения и не практичны в инженерной практике.

Четвертый класс методов основан на моделировании и интеллектуальном алгоритме для оптимизации длины цикла или разработки модели длины цикла оптимизации [55-57]. Используя теоретический анализ и компьютерные программы, разработана модель с отсрочкой расчета сквозных и левоповоротных транспортных средств на кольцевой развязке. На основе модели получен оптимальный метод расчета длины цикла, ориентированный на минимальную задержку, который подходит для мультиподхода, координированного с элементами управления круговым движением. В основе данного подхода лежит метод оптимизации стохастического сигнала на основе генетического алгоритма с использованием программы микроскопического моделирования CORSIM [58]. В соответствии с этим методом одновременно были оптимизированы длина цикла, отношение зеленого сигнала и разность фаз. Джейсон Ким [59] в своих исследованиях сравнивал эффективность между искусственной нейронной сетью и аналитическими моделями для проектирования длительности цикла в реальном времени. Было обнаружено, что модель нейронных сетей обеспечивает оптимальную длину цикла, стабильно скорректированного на минимальное значение, максимальное значение и прирост цикла, в то время как аналитическая модель способствует перегрузке в определенных рабочих условиях.

Как видно, большинство зарубежных исследований посвящено оптимальной длине цикла, но критерий по которому можно дать определение оптимальности в каждом из рассмотренных четырех подходов, является различным. В результате использования каждого из перечисленных зарубежных подходов и российского, аналогичного с первым по методу Вебстера, проектировщик получает различную длительность цикла и соответственно длительность разрешающего и запрещающего сигнала, что при вводе на участке дорожной сети может привести к возникновению большого ряда проблем. Для определения необходимой модели расчета длительности цикла, необходимо на стадии проектирования определить количество пофазных разъездов, а именно установить оптимальную схему орга-

низации дорожного движения при использовании светофорного объекта. При вводе классического представления разъезда транспортных средств (двух фаз), в основном не возникает проблем в определении длительности цикла, использование классического подхода (метода Вебстера) в данном случае является оправданным, в связи с чем длительность цикла не превышает общепринятых 120 с [2, 15, 16], но при вводе третьей фазы, которая в основном направлена на выделение времени для движения левоповоротных транспортных средств, возникает сложность в расчете как ее продолжительности так и удлинении всего цикла, что противоречит требованиям нормативных документов. С целью определения необходимости ввода выделенного левоповоротного направления, выполним анализ российского и зарубежного опыта в данной области.

В ходе анализа основных параметров используемых в расчете режима светофорного регулирования, в России и в зарубежных странах, установлены различные подходы к их определению. При использовании определенных подходов в расчете длительности цикла можно получить различные данные, что в последствии приведет к возникновению транспортной проблемы на рассчитываемом участке. В связи с различностью подходов в определении цикла, необходимо определение оптимального с использованием возможной схемы организации движения (ввода левого поворота) и уточнение методики расчета длительности цикла при его вводе.

#### **1.4 Исследование процесса ввода левоповоротного направления**

В результате анализа нормативных источников [15, 16], в которых даются рекомендации по вводу специализированного левого поворота, как отдельной фазы регулирования, установлено что они базируются на двух показателях:

1. Безопасном – подразумевающим аварийность рассматриваемого участка (регулируемого перекрестка), а именно количество дорожно-транспортных происшествий, которых можно было избежать введением специализированного левоповоротного движения – дополнительной фазы регулирования;

2. Организационном, под которым понимается интенсивность левоповоротного потока, которая находится свыше 120 ед/ч.

В результате анализа исследований российских ученых установлено что наибольший вклад в исследования процесса ввода левого поворота внес А.А. Цариков [60-62], он определил новый подход к расчету в зависимости от радиуса поворота, классифицировав их до 40 м. и свыше.

Если радиус поворота меньше 40 м, он рекомендует рассчитывать величину потока насыщения по формуле:

$$M_{\text{нлев}} = 770 + 60 \cdot R - 0,74 \cdot R^2 \quad (21)$$

где  $R$  – радиус поворота, м.

Если радиус поворота более 40 м, то расчет необходимо производить на следующей формуле:

$$M_{\text{нлев}} = \frac{84 + 1,4 \cdot t_{\text{зел}} - 0,03 \cdot t_{\text{зел}}^2}{100} \cdot M_{\text{н}(R)} \quad (22)$$

где  $t_{\text{зел}}$  – продолжительность разрешающего такта, с;  $M_{\text{н}(R)}$  – величина потока насыщения в зависимости от радиуса поворота.

При радиусе поворота менее 40 м поток насыщения для левоповоротного движения предлагается рассчитывать по формуле:

$$M_{\text{нлев}} = \frac{79 + 1,3 \cdot t_{\text{зел}} - 0,02 \cdot t_{\text{зел}}^2}{100} \cdot M_{\text{н}(R)} \quad (23)$$

При радиусе поворота более 40 м и длительности разрешающего такта более 20 с, а также при радиусе менее 40 м и длительности такта более 30 с, производить корректировку потока насыщения от длительности разрешающего такта не следует.

Согласно исследованиям, основной вопрос заключается в целесообразности ввода специализированной фазы регулирования. В результате анализа научных источников, установлены основные типы схем организации движения левоповоротного потока. Более подробно существующие схемы дорожного движения были исследованы Поляковым А.А. [63-66], но в связи с изменением планировки строительства дорожных развязок и появлением новых схем организации дорожного

движения при проектировании регулируемых пересечений, существуют новые подходы к организации левых поворотов (таблица 3)

Таблица 3 – Стадийное совершенствование организации левых поворотов [67]

1. Организация левых поворотов методом просачивания	
2. Организация левых поворотов методом отсечки	
3. Организация левых поворотов методом уплотнения	
4. Выделение отдельной фазы (в один ряд)	7. Запрет левых поворотов
5. Совместно с прямым в два ряда	7.А. Объезд левого поворота по кварталам
6. Выделение отдельной фазы (в два ряда)	7.Б. Оттянутые левые повороты на пересечении

Согласно анализу таблицы 3, можно сказать что в зависимости от величины спроса на выполнение левого поворота будет выполняться каждая из стадий совершенствования организации движения при выполнении такого маневра. Цариковым А.А. [67] приведено более подробное описание каждой стадии. В наиболее простом случае, когда светофоры устанавливаются на простом четырехстороннем перекрестке (или на примыкании), возникает необходимость в поочередном пропуске транспортных потоков по главной и по пересекающей ее второстепенной улице. Следовательно, организация движения в данном случае должна предусматривать две фазы: первая фаза – движение по главной улице, вторая фаза – движение по второстепенной улице. При этом для транспортных средств, поворачивающих налево, специальные сигналы не вводятся, а маневр поворота налево осуществляется так называемым методом «просачивания», то есть водитель, которому нужно повернуть налево, выезжает при зеленом сигнале светофора по центру перекрестка, и ждет либо случайного перерыва в движении встречного потока, либо его остановки при появлении желтого сигнала светофора, после чего заканчивает маневр.

В случае, когда интенсивность левоповоротного движения превышает два автомобиля за цикл светофорного регулирования, необходимо вводить дополнительные фазы в цикл светофора (зеленые стрелки для левоповоротного движения) [68].

В современных условиях движения, когда транспортные средства имеют лучшие динамические качества, за цикл на пересечении налево успевает проехать 3 единицы. При нарушении правил дорожного движения [69], через перекресток налево может проходить большее количество автомобилей, при этом транспортные средства с других направлений могут быть задержаны на несколько секунд. Данный недостаток снижает пропускную способность других направлений, а также резко ухудшается уровень безопасности движения. Как следствие необходимо исследовать выполнение маневра левого поворота на просачивание, выяснить какое количество автомобилей пройдет через перекресток методом просачивания, и на какое время задерживается поток в следующей фазе.

При этом под микрофазой следует понимать кратковременное разрешение движения (до 10 секунд) по одному из направлений в течение сложного промежуточного такта без выделения его в отдельную фазу.

Введение сложного промежуточного такта после первой фазы (рисунок б), позволяет решать эту задачу практически без потерь. В первой фазе движение разрешено для направления 1, 2. Транспортные средства на направлении 2, ожидающие левого поворота, как правило, находятся близко к середине проезжей части. Промежуточный такт первой фазы начинается с зеленого мигания для направления 1н, на второй секунде транспортные средства которые находятся за стоп - линией на направлении 2н, включая левый поворот, продолжают движение. Такое увеличение на 3 с, при помощи зеленого дополнительного сигнала времени для направления 2 позволяет разгрузить левоповоротное движение интенсивностью до 200 ед/ч.

Исходя из изложенного выше, необходимо исследовать увеличение пропускной способности левых поворотов методом «отсечки» при разных временах отсечки, и определить на каких пересечениях следует применять регулирование левых поворотов методом «отсечки».

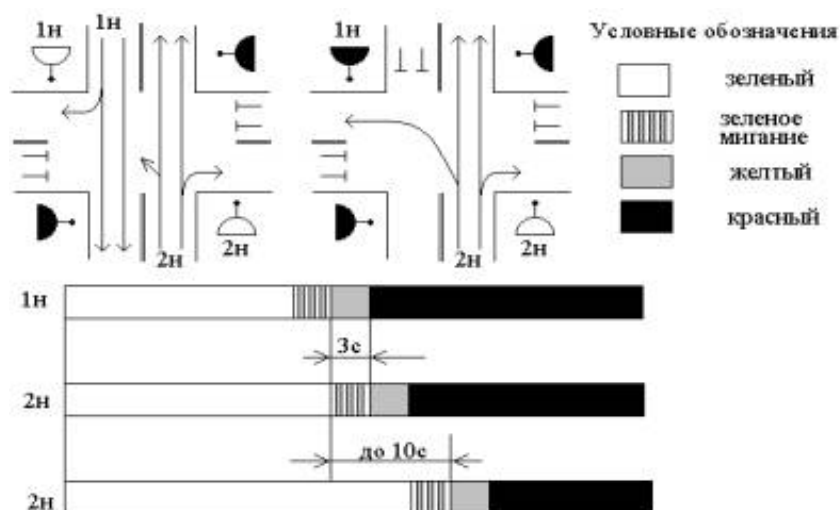


Рисунок 6 - Схема организации левых поворотов методом «отсечки»

Алгоритм регулирования методом «уплотнения» заключается в следующем. Три соседних пересечения соединяются между собой по линии связи. На первом и третьем пересечении схема движения организуется так, чтобы на некоторое время не двигались автомобили в сторону второго (центрального) пересечения. Тем самым создается разрыв между пачками автомобилей. Пачка проезжая перекресток номер два в прямом направлении проходит пересечение с плотностью потока насыщения, при этом следующая пачка еще не прибыла, то есть остается некоторое время для горения зеленого сигнала, которое используется для поворота автомобилей налево (рисунок 7). Указанное возможно, если обеспечена управляющая связь между перекрестками, нагрузка на прямой поток не более 0,7-0,8, так как большие расстояния между перекрестками не позволяют сформировать разрывы между пачками.

Как указано выше, при интенсивности движения налево методом «просачивания» более двух единиц в цикл, необходимо вводить дополнительную фазу, в которой будет осуществляться левый поворот без конфликта.



Рисунок 7 – Алгоритм регулирования методом «уплотнения» потока

Первоначально применяется трехфазная схема движения с одним левым поворотом (остальные левые повороты запрещены). Безопасность пешеходов при этом полностью обеспечена на всех четырех пешеходных переходах, левый поворот и все четыре правых осуществляются одновременно во 2-ой фазе, причем здесь сохраняется движение в одном из прямых направлений.

Таким образом в Российской Федерации в основном применяются четыре метода ввода левого поворота:

1. Поворот налево совместно с прямым движением;
2. Поворот налево со специализированной полосы в одной фазе;
3. Поворот налево методом «отсечки»;
4. Поворот налево в специализированной фазе.

Основной проблемой при реализации данных методов является сложность в выборе того или иного подхода из-за отсутствия строго определенных критериев, основанных на натуральных наблюдениях и методах моделирования. В основном ответственность за выбор метода ввода левого поворота возлагается на инженера-проектировщика, что может привести к повышению уровня аварийности на регулируемых участках.

Согласно анализу зарубежных источников [1, 70-73] установлено, что в зарубежной практике существует также несколько вариантов устройства схемы организации дорожного движения на регулируемых перекрестках.

Американские ученые Шейн и Росс [70] предлагали использовать один критерий при выборе специализированной поворотной фазы в зависимости от расчетного спроса на нее:

$$v_{LE} = v_L \cdot \frac{1}{1400/1800 - v_o/s} \quad (24)$$

где  $v_{LE}$  – приблизительный спрос на поворотную полосу, (ед/ч);  $v_L$  – фактический спрос на поворотную полосу, (ед/ч);  $v_o$  – противоположная интенсивность движения, (ед/ч);  $s$  – поток насыщения (ед/ч).

Ученые из Техасского университета, предложили восемь возможных вариантов организации левого поворота при светофорном регулировании [71]:



1. Левый поворот, разрешенный в одной фазе (рисунок 8);
2. Опережающий левый поворот в разных фазах (рисунок 9);
3. Запоздывающий левый поворот в разных фазах (рисунок 10);
4. Опережающий левый поворот, продолжающийся в следующей фазе (рисунок 11);
5. Левый поворот, разрешенный в одной фазе и продолжающийся в следующей фазе (рисунок 12);
6. Выполнение левых поворотов в разных фазах (рисунок 13);
7. Выполнение левых поворотов в разных фазах, с разрешением их продолжения в одной фазе (рисунок 14);
8. Разрешение выполнение поворотов со сменой направления движения (рисунок 15).

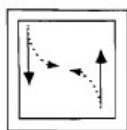


Рисунок 8 - Левый поворот, разрешенный в одной фазе

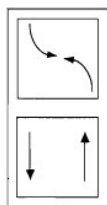


Рисунок 9 - Опережающий левый поворот в разных фазах

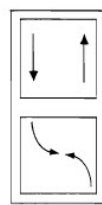


Рисунок 10 - Запоздывающий левый поворот в разных фазах

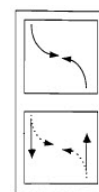


Рисунок 11 - Опережающий левый поворот, продолжающийся в следующей фазе

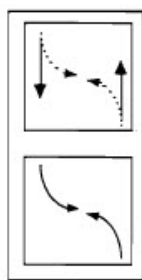


Рисунок 12 - Левый поворот, разрешенный в одной фазе и продолжающийся в следующей фазе

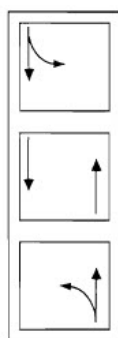


Рисунок 13 - Выполнение левых поворотов в разных фазах

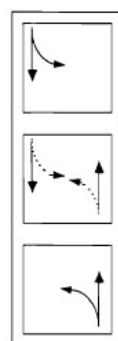


Рисунок 14 - Выполнение левых поворотов в разных фазах, с разрешением их продолжения в одной фазе



Рисунок 15 - Разрешение выполнение поворотов со сменой направления движения

Согласно исследованиям Льюиса Роберта и Питера Гордона [72] существует четыре варианта ввода левоповоротной фазы:

1. Опережающая левоповоротная фаза, когда движение левоповоротных транспортных средств разрешено с движением прямо при запрещении движения встречного направления (рисунок 16);

2. Отдельная левоповоротная фаза, когда движение левоповоротных транспортных средств выполняется в отдельной фазе (рисунок 17);

3. Запаздывающая левоповоротная фаза, когда движение левоповоротных транспортных средств разрешено с движением прямо без запрещения движения встречного направления (рисунок 18);

4. Комбинированный ввод запаздывающей и опережающей левоповоротной фазы (рисунок 19).

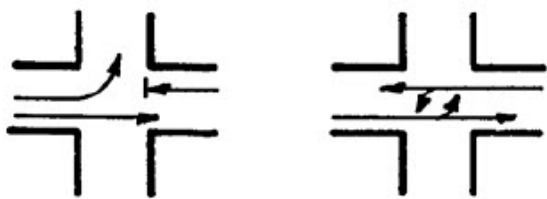


Рисунок 16 – Опережающая левоповоротная фаза

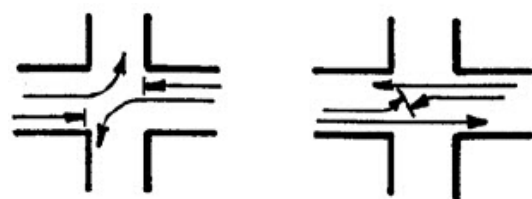


Рисунок 17 – Отдельная левоповоротная фаза

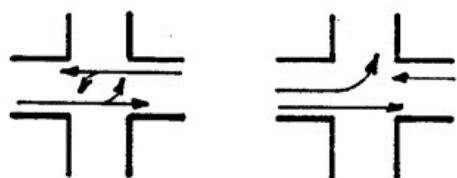


Рисунок 18 - Запаздывающая левоповоротная фаза

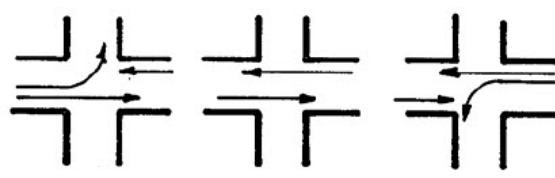


Рисунок 19 – Комбинированная левоповоротная фаза

В руководстве по проектированию регулируемых перекрестков [1], ввод левоповоротной фазы на объеме поворота (таблица 4).

Таблица 4 – Минимальный объем поворота для ввода левоповоротной фазы [1]

Поворотная полоса (специализированная фаза)	Минимальный объем поворота (ед / ч)
Одна полоса	100
Две полосы	300

Кроме этого, руководством предусмотрено шесть возможных вариантов организации левого поворота при светофорном регулировании:

1. Специализированная полоса, без специализированной фазы;
2. Специализированная полоса со специализированной фазой;
3. Специализированная полоса со специализированной фазой в двух направлениях;
4. Объединенная полоса без специализированной фазы;
5. Объединенная полоса со специализированной фазой;
6. Объединенная полоса со специализированной фазой в двух направлениях.

Как было сказано ранее в выполненном обзоре п.п. 1.1, в зарубежной практике расчет общего цикла производится с использованием метода коэффициентов, которые позволяют определить степень влияния того или иного фактора, при использовании руководства [1] коэффициент определяющий влияние поворотных автомобилей будет определяться:

$$f_{ml} = \frac{1}{[1.0 + P_L(E_{L1} - 1)]} \quad (25)$$

где  $P_L$  - доля левовращающих автомобилей в общей полосе движения;  $E_{L1}$  - эквивалент автомобиля для разрешенных левых поворотов (авт/ч/пол) (таблица 5).

Таблица 5 – Значение эквивалента автомобиля

Тип полосы	Эффективные противоположные потоки						
	100	200	400	600	800	1000	1200*
Общая	1.4	1.7	2.1	2.5	3.1	3.7	4.5
Специализированная	1.3	1.6	1.9	2.3	2.8	3.3	4.0

Согласно исследованиям, выполненным в департаменте транспорта Миннесоты в 2013 году [73], существует пять вариантов фаз с левым поворотом на пересечении: разрешающих поворот, запрещающих поворот, разрешающих и запрещающих поворот, разделяющих фазу и запрещающих. Выделение левоповоротной фазы может оказать существенное влияние на эффективность сигнальной системы по ряду причин, в том числе:

1. Разрешающая операция только влево-вправо может уменьшить задержку для пересечения, но может неблагоприятно повлиять на пересечение, потому что

она требует, чтобы автомобилисты выбирали приемлемые пробелы для выполнения маневра.

2. Защищенные только фазы с левым поворотом могут уменьшить задержку для поворота транспортных средств, но, вероятно, увеличат общую задержку на пересечении.

3. Фазы с защищенным разрешающим левым поворотом могут обеспечить хороший компромисс между безопасностью и эффективностью, но могут ограничить доступные опции, чтобы максимизировать прогрессирование сигнала во время координации, если не используются инновационные дисплеи.

4. Сплит-фаза может быть применима к общим подходам, но может увеличить согласованную длину цикла, если обе фазы разделения обеспечивают параллельную фазу пешеходного движения.

5. Запрещенные левые повороты могут использоваться выборочно для уменьшения конфликтов на пересечении.

По результатам анализа научных источников, обобщим основные подходы к выбору оптимальной схемы проектирования левых поворотов (таблица 6)

Таблица 6 – Обобщенный анализ научных источников по вводу левоповоротной фазы

Наименование источника	Предлагаемые критерии ввода левоповоротной фазы
Поляков А.А. [63]	Ввод специализированной левоповоротной фазы
Владимиров В.А. [74]	Объезд квартала, запрет левых поворотов в зоне регулируемого перекрестка
Руководство по регулированию дорожного движения в городах [68]	Ввод специализированной поворотной фазы, без разрешения движения в других вазах
Цариков А.А. [60]	Семь принципов проектирования с уточнением расчетных параметров
W. McShane [70]	Ввод специализированной фазы в зависимости от спроса на поворотную полосу
Asante S.A. [71]	Восемь способ организации левого поворота
Robert L. [72]	Четыре варианта ввода левого поворота
HCM 2000 [1]	Шесть вариантов ввода левого поворота с уточнением расчетных параметров
TST 2013 [73]	Пять вариантов ввода левого поворота

В ходе анализа нормативных источников было установлено, что существует множество подходов к выбору организации схемы дорожного движения на регулируемых участках. Особое внимание в данном вопросе занимает ввод специализированной фазы для выполнения левого поворота, в основном данный выбор осуществляется инженером-проектировщиком, основываясь в основном на спросе на выполнение левого поворота, без анализа основных характеристик транспортного потока, а именно длины очереди, скорости движения и задержек транспортных средств. В связи с малой степенью проработки данного вопроса необходимым мероприятием является разработка научно-методических основ для ввода специализированной поворотной фазы с использованием основных параметров транспортных характеристик.

### **1.5 Выводы по главе 1**

Анализ литературных источников и нормативных документов, направленных на определение основных параметров при проектировании регулируемого перекрестка, в том числе параметров, используемых при расчете длительности цикла и определения критериев ввода левоповоротной фазы, позволил определить наиболее важные направления, нуждающиеся в дополненных исследованиях, в частности:

1. Рассмотрены параметры, используемые при расчете регулируемых перекрестков, определены составляющие каждого типа характеристик (геометрических и транспортных) используемых в расчете. Определено, что существует некоторое расхождение в представлении используемых параметров, на основании анализа зарубежного и российского опыта, в связи с чем существует необходимость определения оптимального количества входящих параметров, используемых в дальнейшем для расчетов основных величин регулируемого перекрестка.

2. Проведен анализ основных параметров используемых в расчете режима светофорного регулирования, в России и в зарубежных странах, установлены различные подходы к их определению. При использовании определенных

подходов в расчете длительности цикла можно получить различные данные, что в последствии приведет к возникновению транспортной проблемы на рассчитываемом участке. В связи с различностью подходов в расчете цикла, необходимо определение оптимального с использованием возможной схемы организации движения (ввода левого поворота) и уточнение методики расчета длительности цикла при его вводе. Определена необходимость исследования данной области и уточнение методики расчета длительности цикла с учетом и без учета специализированной фазы для выполнения левого поворота.

3. В результате синтеза существующих научных подходов к вводу левоповоротного направления в специализированной фазе установлено, что существует множество подходов к выбору организации схемы дорожного движения на регулируемых участках. Особое внимание в данном вопросе занимает ввод специализированной фазы для выполнения левого поворота. В основном данный выбор осуществляется инженером-проектировщиком, который учитывает спрос на выполнение левого поворота, без анализа основных характеристик транспортного потока, а именно длины очереди, скорости движения и задержек транспортных средств. В связи с малой степенью проработки данного вопроса необходимым мероприятием является разработка научно-методологических основ для ввода специализированной поворотной фазы с использованием основных параметров транспортных характеристик.

На основании приведенных выводов были сформулирована цель исследования и поставлены основные задачи.

### **1.6 Цель и задачи исследования**

Цель исследования – снижение потерь времени для участников дорожного движения в результате эффективной организации движения левоповоротного потока в зоне регулируемого перекрестка.

Задачи исследования:

1. Выполнить анализ существующих методов организации движения левоповоротного потока в зоне регулируемого перекрестка.
2. Теоретически обосновать основные виды организации левоповоротного движения в зоне регулируемого перекрестка (специализированная фаза, удлиненная фаза, движение в одной фазе).
3. Разработать алгоритм выбора необходимого способа организации движения левоповоротного потока в зоне регулируемого перекрестка в результате анализа конфликта «левый поворот-прямой конфликтующий поток» с учетом изменения основных характеристик транспортного потока (длина очереди, скорость, задержки).
4. Разработать математическую модель определения необходимого способа организации движения левоповоротного потока в зоне регулируемого перекрестка с учетом различных видов левоповоротных маневров (специализированная фаза, удлиненная фаза, движение в одной фазе).
5. Осуществить оценку предложенной математической модели с помощью определения эколого-экономических показателей с использованием продуктов имитационного моделирования.

## **ГЛАВА 2 НАУЧНОЕ ОБОСНОВАНИЕ НЕОБХОДИМОСТИ ВВОДА ЛЕВОПОВОРОТНОГО ДВИЖЕНИЯ В ЗОНЕ РЕГУЛИРУЕМОГО ПЕРЕКРЕСТКА**

### **2.1 Исследование левоповоротного движения на перекрестках центральной части г. Воронежа**

Транспортная проблема сегодня присуща многим городам Российской Федерации, в связи с тем, что множество из них застраивалось и формировалось без расчета на нынешний рост автомобилизации. Данная проблема характерна и для города с населением свыше 1 млн. жителей – г. Воронеж, для ее решения разработана программа комплексного развития транспортной инфраструктуры городского округа город Воронеж на период до 2020 года [75].

Согласно официальной статистике на сайте Росстата [76] ежегодный прирост количества легкового личного автотранспорта жителей города составляет около 1%. По данным Управления Государственной инспекции безопасности дорожного движения УМВД России по Воронежской области в городском округе город Воронеж по состоянию на 19.01.2017 зарегистрировано 335246 ед. транспортных средств. В настоящее время количество легковых автомобилей на основных магистралях города приближается к 87% от общего объема транспортных средств. Поэтому именно этот вид транспорта и в большей степени его резко возросшее в последнее время количество определяют скорость движения всего потока в пиковое время.

По данным Росстат Воронежской области [76] по состоянию на 2017 г. протяженность автомобильных дорог составила 29992 км., ежегодный прирост составляет 0.2%, что является низким показателем в сравнении с приростом парка транспортных средств. Доля дорог общего пользования, которые в основном связывают основные районы Воронежской области составляют более 96%, их прирост в период с 2013 по 2017 год составил 2,6% (рисунок 20).



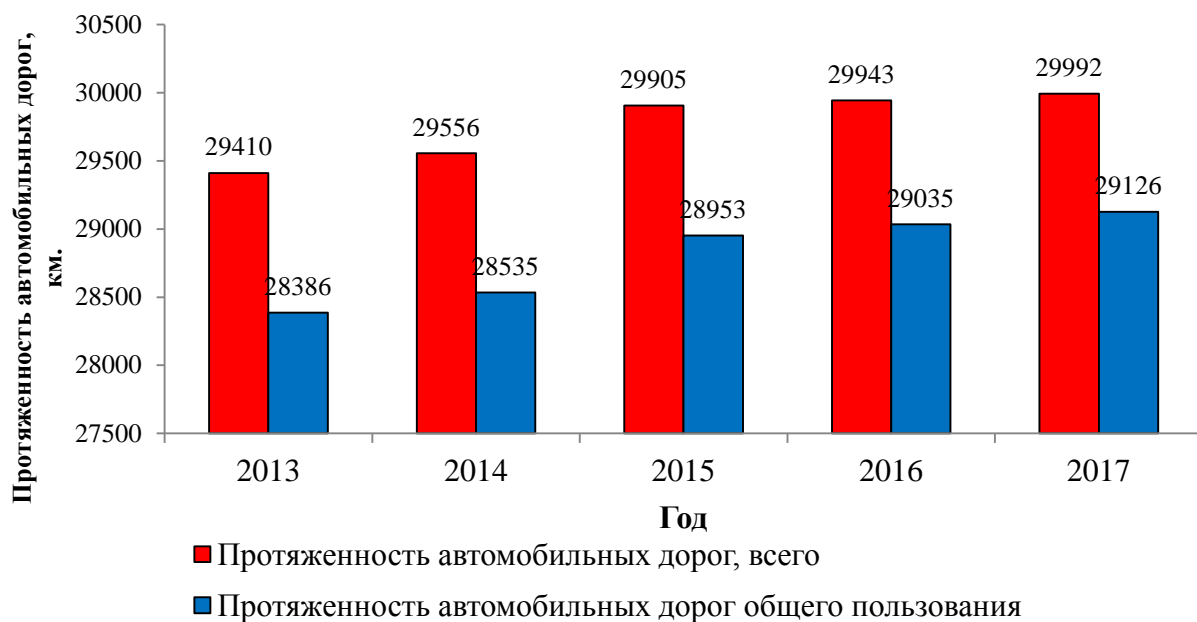


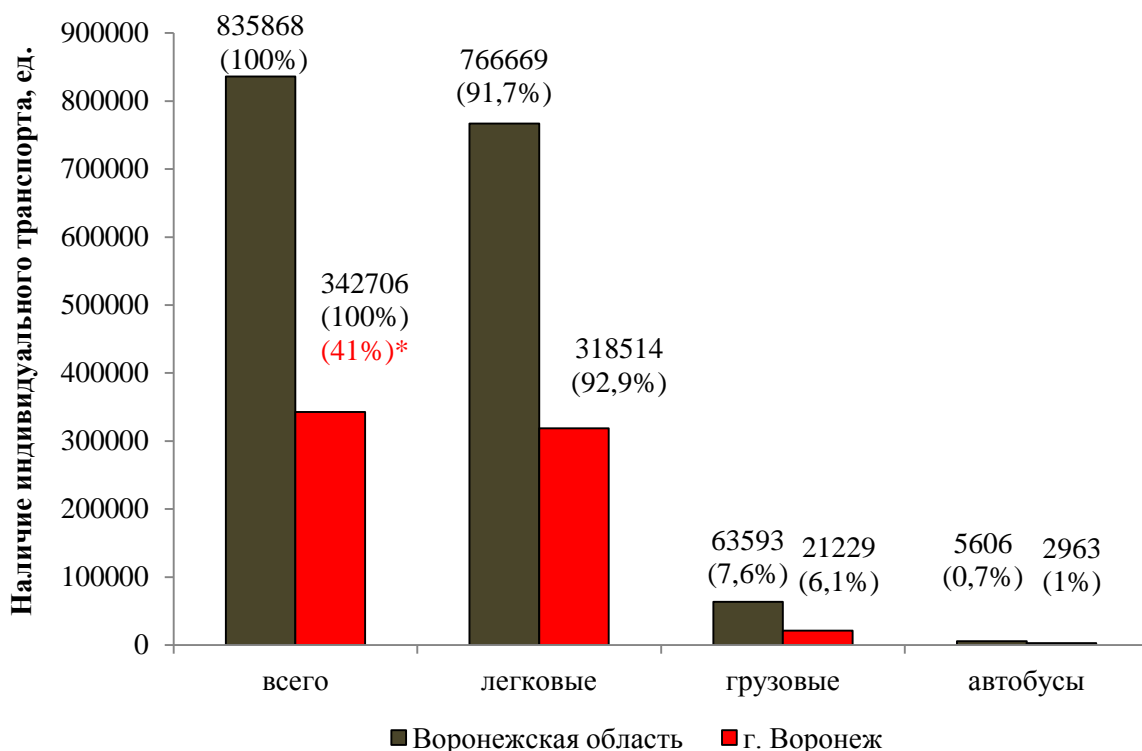
Рисунок 20 – Протяженность автомобильных дорог Воронежской области за 2013-2017 гг.

Из общей протяженности дорог общего пользования, дороги с твердым покрытием составляют более 60%, из них основная доля дорог приходится на дороги регионального и местного значения, которые составляют в среднем за рассматриваемый период 50% и 45% соответственно (таблица 7).

Таблица 7 – Протяженность автомобильных дорог Воронежской области за период 2013-2017 гг. [76]

Год	2013	2014	2015	2016	2017
Протяженность а/д, км.					
Протяженность автомобильных дорог, всего	29410	29556	29905	29943	29992
в том числе протяженность автомобильных дорог общего пользования	28386	28535	28953	29035	29126
из них местного значения	18825	18948	19355	19357	19440
необщего пользования	1024	1021	952	908	866
Из общей протяженности автомобильных дорог - дороги с твердым покрытием, всего	17563	17777	17972	18457	18855
в том числе: общего пользования	16654	16872	17094	17621	18035
из них федерального значения	804	804	804	832	832
региональные	8570	8594	8609	8662	8670
местного значения	7280	7474	7681	8127	8533
необщего пользования	909	905	878	836	820

Анализ наличия индивидуального транспорта по Воронежской области на 1 января 2017 года показал, что обеспеченность области автомобилями составляет 835868 ед. из них более 91% приходится на легковые автомобили (766669 ед.) 7% на грузовые автомобили (63593 ед.) и менее 1% на автобусы (5606 ед.). Данные показатели предоставлены Росстат на основании статистики ГИБДД по количеству зарегистрированных автомобилей Воронежской области. Следует отметить, что согласно данным по количеству транспортных средств Воронежской области более 41% приходится на г. Воронеж (342706 ед.), распределяя данный показатель по видам транспортных средств – легковой, грузовой и автобус, 93% приходится на легковые автомобили (318514 ед.) (рисунок 21).



\*Процентная доля от общего количества индивидуального транспорта Воронежской области

Рисунок 21 – Наличие индивидуального транспорта Воронежской области  
И г. Воронеж на 1.01.2017 г.

В городском округе город Воронеж сегодня сложилась ситуация, при которой наблюдается увеличение автотранспортного парка, сопровождающееся резким увеличением интенсивности движения на городских улицах. Транспортные

заторы в городе стали повседневным явлением, с каждым годом их число и продолжительность неуклонно увеличиваются.

При этом дорожная инфраструктура города практически не меняется. Уровень автомобилизации жителей городского округа город Воронеж составляет свыше 355 единиц автотранспорта на 1000 жителей. Ежегодный рост уровня автомобилизации приводит к избыточному потоку транспорта по автомобильным дорогам местного значения и как следствие оказывает существенное влияние на пропускную способность улично-дорожной сети, увеличиваются заторы и среднее время в пути как на личном, так и на общественном транспорте. Недостаток свободных организованных машино-мест приводит к значительной доле парковки с нарушением Правил дорожного движения РФ в части правил остановки и стоянки. Особенно остро стоит проблема парковок в центральной части города. Неправильно припаркованные автомобили создают помехи для движения транспорта, в том числе и транспорта общего пользования.

В настоящее время реализуются мероприятия по созданию платного парковочного пространства в центральной части города с привлечением средств инвестора в рамках концессионного соглашения.

С целью улучшения транспортной ситуации на территории Воронежской области в частности г. Воронеж разработана программа комплексного развития транспортной инфраструктуры городского округа город Воронеж на период до 2020 года с учетом основных нормативно-правовых документов [77-81]. Основными задачами данной программы являются:

1. Обеспечение развития транспортной инфраструктуры городского округа город Воронеж;
2. Совершенствование организации дорожного движения в городском округе город Воронеж;
3. Организация парковочного пространства, в целях снижения загруженности дворовых территорий и улично-дорожной сети;
4. Снижение количества выбросов вредных веществ от автотранспортных средств в атмосферу.

Целевые показатели реализации данной программы заключаются в повышении безопасности дорожного движения и качества транспортного обслуживания за счет строительства новых автомобильных дорог и обустройства парковочного пространства, но повышение эффективности существующих участков дорожной сети также является ключевой задачей, как в рамках данной программы, так и в рамках стратегии безопасности дорожного движения до 2024 г. [82].

Транспортная сеть города Воронежа сегодня представлена различными участками дорожной сети, на которых используются разного года схемы организации дорожного движения – транспортные двухуровневые развязки, кольцевые развязки, регулируемые с помощью светофоров участки дорожной сети. Согласно разработанной комплексной схеме организации дорожного движения с учетом требований приказа Минтранса [83]. Научно-исследовательский институт автомобильного транспорта представил сетевую модель загрузки УДС городского округа город Воронеж для утреннего пикового периода (рисунок 22).



Рисунок 22 – Сетевая модель загрузки УДС городского округа город Воронеж для утреннего пикового периода

Согласно представленной модели и выполненным исследованиям по основным нагруженным регулируемым участкам центральной части города Воронеж

установлено, что существующие схемы (планы координации) на многих регулируемых участках на сегодняшний день являются не эффективными, о чем свидетельствуют высокие показатели задержек транспортных средств и заторовые ситуации. С целью улучшения транспортной ситуации на регулируемых участках и в частности разработки научного подхода к организации левоповоротного движения в зоне управляемого перекрестка, выполнены натурные обследования основных пересечений с различными способами организации левоповоротного движения, а именно:

1. Перекресток с организацией левого поворота из специализированной полосы в специализированной фазе регулирования (способ 1, рисунок 23);
2. Перекресток с организацией левого поворота из специализированной полосы с движением в основной фазе регулирования (способ 2, рисунок 26);
3. Перекресток с организацией левого поворота совмещенного в одной полосе с прямым потоком в основной фазе регулирования (способ 3, рисунок 28).

#### 2.1.1 Исследования «способа 1» организации левого поворота

Для анализа первого 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-Овсеенко (рисунок 23).

Рядом с перекрестком расположены авторынок «Северный», гаражно-строительный кооператив, фитнес-клуб Колизей, остановочные комплексы, несколько мелких магазинов, которые являются центрами притяжения транспортных и пешеходных потоков. Наличие центров притяжения создает вероятность возникновения заторов и ДТП с участием пешеходов.



Рисунок 23 – Спутниковый снимок участка УДС бульвар Победы – улица Антонова-Овсеенко (г. Воронеж)

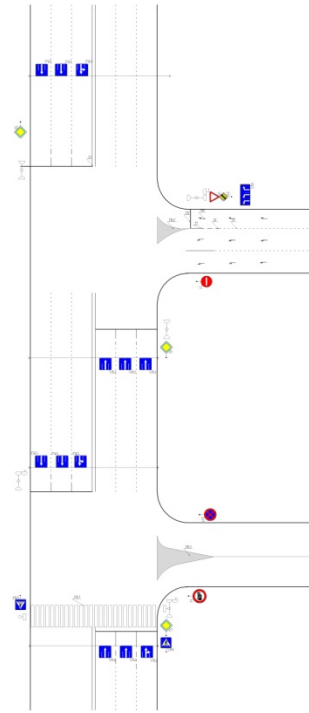


Рисунок 24 – Геометрическая схема участка УДС бульвар Победы – улица Антонова-Овсеенко (г. Воронеж)

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

На исследуемом пересечении для регулирования движения установлены: 6 транспортных светофоров (Т.1), 2 транспортных светофора с дополнительной секцией для левоповоротного движения (Т.3.л), 2 транспортных светофора с дополнительной секцией для левоповоротного движения (Т.3.п), регулирующие транспортный поток и 2 светофора (П.1) регулирующих пешеходный поток, установленные в соответствии с требованиями нормативных документов [15].

Согласно требованиям правил дорожного движения и ГОСТов [15,69,84] на объекте установлены следующие дорожные знаки:

- Знаки приоритета: 2.1 «Главная дорога»; 2.2 «Конец главной дороги»; 2.4 «Уступи дорогу»;

- Запрещающие знаки: 3.1 «Въезд запрещен»; 3.27 «Остановка запрещена»; 3.4 «Движение грузовых авто запрещено»;
- Знаки особых предписаний: 5.14 «Полоса для маршрутных транспортных средств»; 5.15.1 «Направление движения по полосам»; 5.15.2 «Направление движения по полосам»; 5.15. «Начало полосы движения»; 5.16 «Место остановки автобуса и (или) троллейбуса»; 5.19.1-5.19.2 «Пешеходный переход»;
- Информационные знаки: 6.10.1 «Указатель направлений»; 6.15.1 «Направление движения для грузовых автомобилей»; 6.16 «Стоп-линия»;
- Знаки дополнительной информации (таблички): 8.1.1 «Расстояние до объекта»; 8.24 «Работает эвакуатор».

По бульвару Победы располагается по 3 полосы для движения в прямом и обратном направлении. Ширина каждой полосы составляет 2.75 метра. На полосах имеется разметка (1.18) которая указывает разрешенные на перекрестке направления движения по полосам. Возле пересечения на бульваре Победы нанесена стоп-линия (1.12), указывающая место остановки при запрещающем сигнале светофора (регулирующего).

По улице Антонова-Овсеенко располагается по 3 полосы для движения в прямом и обратном направлении. Ширина каждой полосы составляет 3.75 метра. Встречные потоки разделены двойной сплошной линией разметки (1.3). По пути приближения к месту пересечения, длина штрихов разметки увеличивается, прерывистая линия (1.6) предупреждающая о приближении к сплошной линии разметки (1.1). Так же имеется пешеходный переход (1.14.1).

Рассматриваемое пересечение имеет 4 входящих направления, которые включают в себя 12 полос для движения - въездные направления (ВН) (рисунок 25).

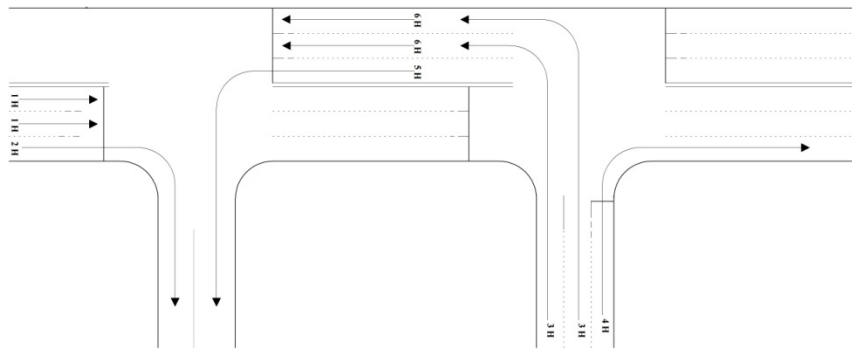


Рисунок 25 – Геометрическая схема перекрестка с указанием входящих направлений

Исследование интенсивности транспортного потока проводилось в течении 5 дней при помощи натурного обследования. Целью обследования является выявление для левоповоротного движения (входное направление 1.3ВН) наиболее загруженного дня недели и временной промежуток для дальнейшего исследования (рисунок 25).

В результате были получены следующие данные приведенной интенсивности всех въездных направлений (таблица 8)

Таблица 8 – Недельная интенсивность на пересечении бульвар Победы – улица Антонова-Овсеенко

Обозначение входного направления	Понедельник	Вторник	Среда	Четверг	Пятница
1Н					
1.1 ВН	125	136	143	157	170
1.2 ВН	842	850	873	803	878
1.3 ВН	195	175	143	185	208
2Н					
2.1 ВН	120	136	154	148	170
2.2 ВН	895	899	789	845	901
2.3 ВН	658	601	626	598	789
2.4 ВН	236	256	287	214	251
3Н					
3.1 ВН	208	214	222	259	298
3.2 ВН	356	324	329	385	401
3.3 ВН	112	106	101	146	150
Всего:	4269	4365	4202	4285	4864



В ходе натурных обследований установлено, что наибольшее количество транспортных средств проезжает исследуемый перекресток в пятницу в среднем 4864 транспортных средства, по входному направлению 1.3ВН движение для левого поворота – 208 авт/ч. Дальнейшей целью детального изучения в самый загруженный день недели (пятница) производились замеры интенсивности в трех разных временных промежутках по исследуемому левоповоротному направлению (1.3ВН) (таблица 9).

Таблица 9 – Интенсивность ТС левоповоротного направления в часы «пик»

Обозначение входного направления	8.00 – 9.00	13.00 – 14.00	17.00 – 18.00
1.3ВН	129	154	134

Наиболее плотный поток движения наблюдается в обеденный «час» пик с 13:00 до 14:00. Количество циклов за час на пресечении – 17 циклов, длительность разрешающего зеленого сигнала для совершения левоповоротного движения равно 20 с.

На основании ранее выполненного литературного обзора установлено, 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, в связи с тем, что для всего рассматриваемого транспортного потока увеличивается время ожидания разрешающего сигнала. В связи с этим в рамках данного исследования необходимо рассмотрение новых параметров, оказывающих влияние на ввод дополнительной левоповоротной секции – задержки ТС, скорость движения ТС и длина очереди ТС.

### 2.1.2 Исследования «способа 2» организации левого поворота

Второй способ организации движения левого поворота заключается в движении левоповоротного потока из специализированной полосы без выделения специализированной фазы регулирования, движение транспортных средств осу-

существляющих левый поворот осуществляется совместно с попутным прямым и правоповоротным направлением и аналогичным конфликтующим потоком.

В г. Воронеж примером такого пересечения может являться перекресток ул. Ленинградской – ул. Брусилова (рисунок 26).

Объект исследования имеет множество объектов притяжения, таких как «Совкомбанк», банк «ВТБ», школа № 22, жилые комплексы, что значительно увеличивает транспортный и пешеходный поток (рисунок 27).



Рисунок 26 – Спутниковый снимок участка УДС улица Ленинградская – улица Брусилова (г. Воронеж)

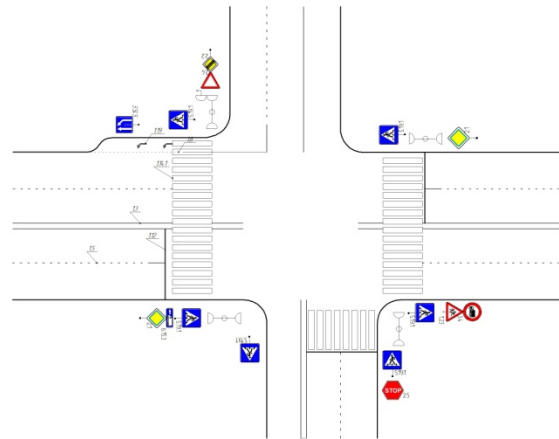


Рисунок 27 – Геометрическая схема перекрестка ул. Ленинградская – ул. Брусилова

Состояние проезжей части улицы Ленинградская и улицы Брусилова удовлетворительное, для движения пешеходов имеются тротуары. Освещение улиц выполнено люминесцентными лампами на железобетонных опорах. Геометрическая характеристика объекта является основной для проведения всех натуральных обследований транспортной характеристики

На исследуемом пересечении для регулирования движения установлены: 6 транспортных светофоров (Т.1), 2 транспортных светофора с дополнительной секцией для право поворотного движения (Т.1.п)

Согласно требованиям правил дорожного движения и ГОСТов [15,69,84] на объекте установлены следующие дорожные знаки:

- Предупреждающие знаки: 1.23 «Дети»;

- Знаки приоритета: 2.1 «Главная дорога»; 2.2 «Конец главной дороги»; 2.4 «Уступи дорогу»; 2.5 «Движение без остановки запрещено»;
- Запрещающие знаки: 3.4 «Движение грузовых авто запрещено»;
- Знаки особых предписаний: 5.15.5 «Конец полосы»; 5.19.1-5.19.2 «Пешеходный переход»;
- Информационные знаки: 6.15.3 «Направление движения для грузовых автомобилей».

По улице Ленинградская располагается по 2 полосе для движения в прямом и по 1 в обратном направлении. Ширина каждой полосы составляет 3.5 метра. По пути приближения к месту пересечения, длина штрихов разметки увеличивается, прерывистая линия (1.6) предупреждающая о приближение к сплошной линии разметки (1.1). Возле пересечения на Брусилова нанесена стоп-линия (1.12), указывающая место остановки при запрещающем сигнале светофора (регулирующего), также имеется разметка (1.18) которая указывает разрешенные на перекрестке направления движения по полосам.

По улице Брусилова располагается по 2 полосы для движения в прямом и 2 в обратном направлении. Ширина каждой полосы составляет 3.5 метра. Встречные потоки разделены двойной сплошной линией разметки (1.3). По пути приближения к месту пересечения, длина штрихов разметки увеличивается, прерывистая линия (1.6) предупреждающая о приближение к сплошной линии разметки (1.1). Так же имеется пешеходный переход (1.14.1).

Согласно основной цели исследования, необходимым условием является определение основных параметров транспортного потока по левой полосе движения – задержек ТС, длина очереди и скорость движения.

### 2.1.3 Исследования «способа 3» организации левого поворота

Третий способ организации движения левого поворота заключается в движении левого и прямого потока из одной полосы в одной фазе регулирования.

Явным примером организации данного типа движения в г. Воронеж является перекресток Ленинский проспект – ул. Серафимовича (рисунок 28).

Рядом с перекрестком расположено большое количество объектов притяжения АО «Воронежский Завод Полупроводниковых Приборов-Сборка», АЗС «ВТК», Трехсвятительский храм, жилые комплексы, которые в значительной степени увеличивают транспортный и пешеходный поток(рисунок 29).



Рисунок 28 – Спутниковый снимок участка УДС Ленинский проспект – улица Серафимовича (г. Воронеж)

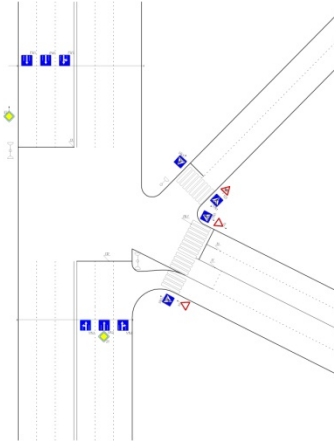


Рисунок 29 – Геометрическая схема перекрестка Ленинский проспект – улица Серафимовича

Состояние проезжей части Ленинский проспект и улицы Серафимовича удовлетворительное, для движения пешеходов имеются тротуары. Освещение улиц выполнено люминесцентными лампами на железобетонных опорах. Геометрическая характеристика объекта является основной для проведения всех натуральных обследований транспортной характеристики

На исследуемом пересечении для регулирования движения установлены: транспортные светофоры (Т.1).

Согласно требованиям правил дорожного движения и ГОСТов [15,69,84] на объекте установлены следующие дорожные знаки:

- Предупреждающие знаки: 1.23 «Дети»;
- Знаки приоритета: 2.1 «Главная дорога»; 2.4 «Уступи дорогу»;

- Знаки особых предписаний: 5.15.2 «Направление движения по полосам»; 5.19.1-5.19.2 «Пешеходный переход».

По Ленинскому проспекту по 3 полосы для движения в прямом и обратном направлении. Ширина каждой полосы составляет 3.75 метра. Встречные потоки разделены двойной сплошной линией разметки (1.3). По пути приближения к месту пересечения, длина штрихов разметки увеличивается, прерывистая линия (1.6) предупреждающая о приближении к сплошной линии разметки (1.1). Так же имеется пешеходный переход (1.14.1)

По улице Серафимовича по 1 полосе для движения в прямом и обратном направлении. Ширина каждой полосы составляет 3.5 метра. По пути приближения к месту пересечения, длина штрихов разметки увеличивается, прерывистая линия (1.6) предупреждающая о приближении к сплошной линии разметки (1.1). Возле пересечения на Ленинский проспект нанесена стоп-линия (1.12), указывающая место остановки при запрещающем сигнале светофора (регулирующего).

По улице Ленинградская по 2 полосы для движения в прямом и обратном направлении. Ширина каждой полосы составляет 3.5 метра. По пути приближения к месту пересечения, длина штрихов разметки увеличивается, прерывистая линия (1.6) предупреждающая о приближении к сплошной линии разметки (1.1). Возле пересечения на Ленинский проспект нанесена стоп-линия (1.12), указывающая место остановки при запрещающем сигнале светофора (регулирующего).

Для оценки существующей ситуации на выбранных объектах исследования в специализированном программном продукте Aimsun 7.0. [87] выполнена процедура моделирования с целью анализа существующей ситуации и определения основных параметров транспортного потока при осуществлении левоповоротного движения – задержки транспортных средств, длина очереди на рассматриваемой полосе и скорость движения автомобилей.

При использовании специализированного программного продукта основным вопросом является достоверность полученных результатов, в связи с этим следующим этапом исследования является проверка адекватности создаваемой модели, которую возможно определить используя процедуру валидации.

## 2.2 Моделирование объектов исследования – проверка адекватности моделирования

Используемый продукт моделирования Aimsun [87] основан на микроскопическом подходе. Поведение каждого автомобиля корректируется во времени в зависимости от смены полос, характера и времени движения и т.д. В программном продукте имеются такие элементы транспортной системы как: автомобили разного класса, детекторы транспорта. Состояние этих систем постоянно меняется в течении процесса создания модели. Такие элементы как светофорный объект, входы и выходы транспортных средств изменяются дискретно в заданный момент моделирования[88-90].

Этапы моделирования транспортной системы состоят из 4 шагов:

1. задача и цель моделирования;
2. разработка модели;
3. создание сценария моделирования, т.е. имитация;
4. обработка результатов и анализ модели.

Для создания транспортной модели исследуемого пересечения были собраны необходимые исходные данные: геометрия данного пересечения (ширина полос проезжей части, радиусы закруглений); интенсивность транспортных средств по направлениям; состав транспортного потока (легковые автомобили, грузовые, автобусы, троллейбусы и т.д.); наличие светофорного объекта и его цикл; данные пешеходного потока (интенсивность, направление) [91].

После сбора исходных данных приступаем к созданию модели в программном обеспечении Aimsun [87] поэтапно.

Первым этапом создания модели является построение улично–дорожной сети [92]. Подложку, заранее выполненную в AutoCAD, импортируем в Aimsun. На полученный импортированный чертеж наносим проезжую часть, состоящую из секций и соединений между секциями. Для каждой полосы движения определяем количество полос и их ширину. Создаем узел соединения между секциями и

определяем направления движения по каждой полосе, а также разрешенные маневры – повороты и перестроения.

На втором этапе построения транспортной модели вводим транспортный и пешеходный потоки. В программу вносим данные об интенсивности транспортных средств, указывая тип и количество автомобилей (легковые, грузовые, автобусы, троллейбусы), указывая маршруты их движения. Для пешеходного потока вносим данные о количестве и направлении движения пешеходов.

Третьим этапом является регулирование дорожного движения на пересечении. На созданном узле определяем конфликтные зоны, вводим правила приоритета проезда перекрестка, знаки «стоп» и уступи дорогу, а также разрешенную скорость на полосах. Вводим светофорное регулирование - желтый сектор, настраиваем время длительности цикла, указываем время зеленого и красного сигналов, определяем фазовые переходы. По результатам чего получаем готовую имитационную модель (рисунок 30).

После создания транспортной модели открываем вкладку динамический сценарий, запускаем новый эксперимент и создаем репликацию модели. Переходим к анализу модели и получению необходимых данных.

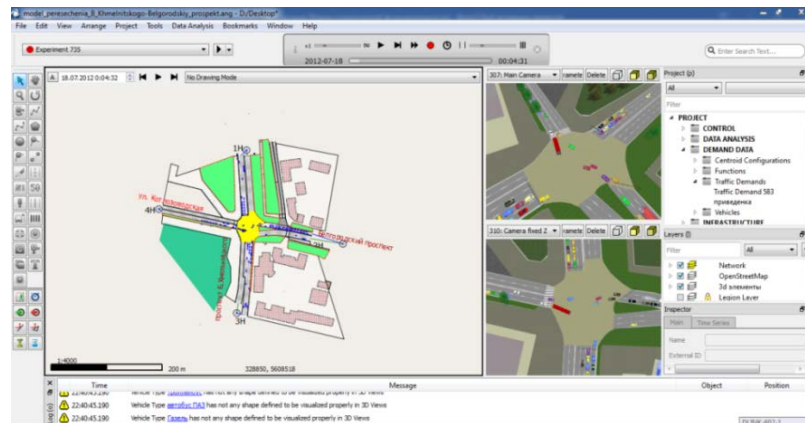
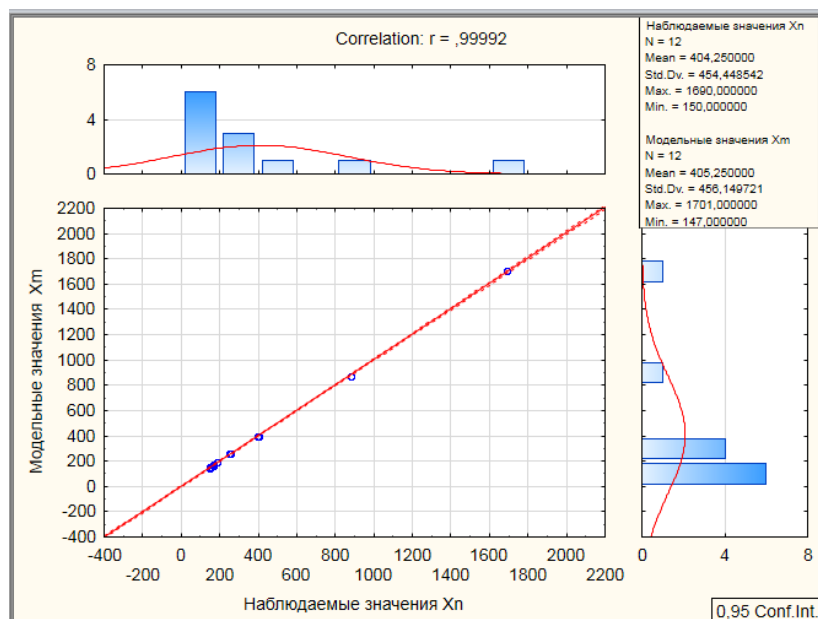


Рисунок 30 – Пример имитационной модели

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 [93]. При помощи программного комплекса STATISTIKA предназначенного для проведения статистического анализа опреде-

лим коэффициент корреляции наблюдаемых значений ( $X_n$ ), и модельных значений ( $X_m$ ) (рисунок 31).



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 31 – Определение коэффициента корреляции

Корреляционный анализ позволил выявить статистические зависимости между натурными и модельными параметрами интенсивности (рисунок 31). Параметры интенсивности модельные ( $X_m$ ) коррелируют с наблюдаемыми значениями ( $X_n$ ). Коэффициент корреляции Пирсона  $r_{xy}=0,98$  (на уровне значимости 5%). Так как  $r_{xy}>0,9$  корреляционная связь считается прямой, весьма высокой, следовательно, построенная транспортная модель является адаптивной в использовании и на ней можно проводить исследования.

В результате проверки адекватности моделирования возможным становится использование полученных результатов, далее с целью оценки существующей транспортной ситуации на исследуемых объектах произведем оценку основных характеристик транспортно левоповоротного потока по следующим параметрам – задержки транспортных средств, длина очереди и скорость движения автомобилей.



## 2.3 Оценка основных характеристик транспортного потока на исследуемых объектах

### 2.3.1 Оценка по задержкам транспортных средств

Задержки – потери времени связанные со снижением скорости транспортного потока, а также вынужденные остановки перед пересечениями. Длительные задержки в движении называются заторами [95, 96]. Общие потери времени для транспортного потока оцениваются по следующей формуле:

$$T_{\Delta} = N_a t_{\Delta} T \quad (26)$$

где  $N_a$ -приведенная интенсивность транспортного потока, авт/ч;  $t_{\Delta}$  - средняя суммарная задержка одного автомобиля, с;  $T$ -продолжительность наблюдения, в час.

Транспортные задержки на отдельных участках и узлах УДС:

$$K_z = \frac{t_{\phi}}{t_p} \quad (27)$$

где  $t_{\phi}$ - фактическое время нахождения ТС в пути, с;  $t_p$  – расчетное время нахождения в пути, с.

Для определения задержки на регулируемом перекрёстке, сравнивается время проезда ТС через перекресток с определенной интенсивностью движения и работающим светофорном объекте. Интенсивность движения близка к нулю и проезд должен осуществляться на зеленый сигнал. Другим способом определения задержки на перекрестке является подсчет числа стоящих транспортных средств на входе перекрестка через равные промежутки времени.

Средняя задержка транспортных средств на регулируемом перекрестке:

$$t_{\Delta j} = \frac{n_{cti} t_{инт}}{n_{дв}} \quad (28)$$

где,  $j$ – номер направления движения;  $n_{cti}$  – суммарное число транспортных средств, остановившихся перед перекрестком в течение интервала (15 с) за 5 минут;  $n_{дв}$  – суммарное число транспортных средств, проехавших перекресток без остановки за 5 минут;  $t_{инт}$  – интервал измерений 15 с.

Для точности измерения, исследование ведется двумя наблюдателями. Первый наблюдатель ведет подсчет по 15 - секундным промежуткам, учитывая количество стоящих автомобилей. Второй наблюдатель подсчитывает число проехавших без остановки и остановившихся автомобилей за каждую минуту.

Средняя максимальная задержка одного транспортного средства не должна превышать двух минут. Если задержка превышает время две минуты, то состояние движения транспортного потока относится к заторовому [97].

Когда запрос на трафик превышает пропускную способность подъезда к регулируемому перекрестку в начале работы зеленого сигнала светофора, образуются очереди. Очередь образуется в случаях: прибытия транспортных средств во время красной фазы, из-за чего некоторые автомобили не успевают пересечь перекресток в течение зеленой фазы светофора; прием оплаты за проезд или парковку и т.д.

Моделирование первого объекта исследования – Бульвара Победы – улица Антонова-Овсенко (рисунок 23) показало что среднее значение условной задержки транспортных средств по направлению, предназначенному для левопоротного движения под дополнительный сигнал светофора (зеленую стрелку) за 26 циклов составил 308,52 с (5мин 14с). Максимальная транспортная задержка составляет 9 мин, минимальная 1мин 5с (рисунок 32).

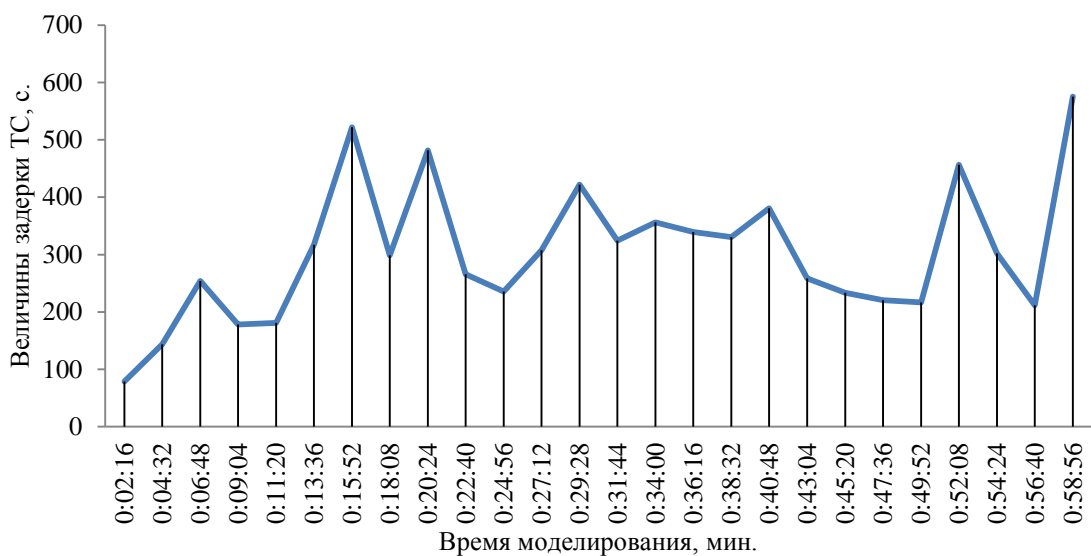


Рисунок 32 – Изменение величины задержки транспортных средств на первом объекте исследования («способ 1»)

По второму объекту исследования ул. Ленинградская – ул. Брусилова (рисунок 26) среднее значение задержек транспортных средств левоповоротного направления за 25 циклов составляет 373,9 с. Максимальная транспортная задержка составляет 15 мин, минимальная 2 мин 7 с (рисунок 33).

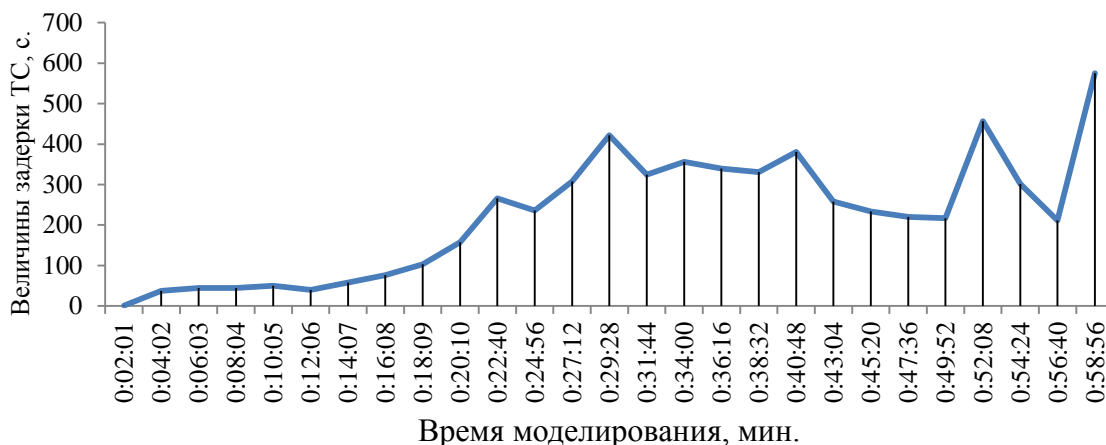


Рисунок 33 – Изменение величины задержки транспортных средств на втором объекте исследования («способ 2»)

На третьем объекте исследования Ленинский проспект – улица Серафимовича (рисунок 28) среднее значение задержек транспортных средств левоповоротного направления за 27 циклов составляет 6,21 с (рисунок 34).



Рисунок 34 – Изменение величины задержки транспортных средств на третьем объекте исследования («способ 3»)

### 2.3.2 Оценка по скорости движения транспортных средств

Скорость движения является важным показателем движения транспортного потока. Согласно отраслевому дорожному методическому документу ОДМ 218.2.020-2012 [98] скорости движения разделяют на: расчетную, мгновенную, эксплуатационную, техническую и скорость свободного движения.

В расчетных скоростях рассчитываются геометрические элементы проезжей части при разработках проектов при строительстве автомобильных дорог. Мгновенные скорости различают 15, 50 и 85 %-ной обеспеченности [99, 100]. Процент обеспеченности показывает разные скорости движения транспортных средств. Медленно движущиеся автомобили – 15%; средняя мгновенная скорость транспортных средств в потоке – 50%; скорость не превышаемая основной частью транспортного потока – 85%. При выборе средств организации дорожного движения обычно применяется скорость обеспеченности 85%.

Согласно правилам дорожного движения [69] скорость транспортных средств в населенных пунктах разрешается движение не более 60 км/ч, в жилых зонах и на дворовых территориях не более 20 км/ч. Вне населенных пунктов движение разрешается легковым автомобилям и грузовым автомобилям с разрешенной максимальной массой не более 3,5 т со скоростью не более 110 км/ч, на других дорогах не более 90 км/ч. Автобусам и мотоциклам не более 90 км/ч, грузовым автомобилям перевозящим людей и транспортным средствам перевозящим детей - скорость движения не более 60 км/ч.

Анализ скоростей движения на первом объекте исследования Бульвара Победы – улица Антонова-Овсеенко (рисунок 23) по «способу 1» организации левоповоротного потока показал что средняя скорость транспортных средств левоповоротного направления за 26 циклов составила 20,9 км/ч (рисунок 35). Наибольший показатель скорости транспортных средств при проезде по направлению, предназначенному для левоповоротного движения под дополнительный сигнал светофора (зеленую стрелку) составил 45 км/ч, наименьший 25 км/ч. Скорость проезда является допустимой и не нарушает ПДД РФ [69].



Рисунок 35 –Изменение средней скорости движения левоповоротного направления в каждом цикле на первом объекте исследования («способ 1»)

На втором объекте исследования ул. Ленинградская – ул. Брусилова (рисунок 26) средние значение скорости транспортных средств левоповоротного направления (рисунок 36) за 25 циклов составила 22,89 км/ч.

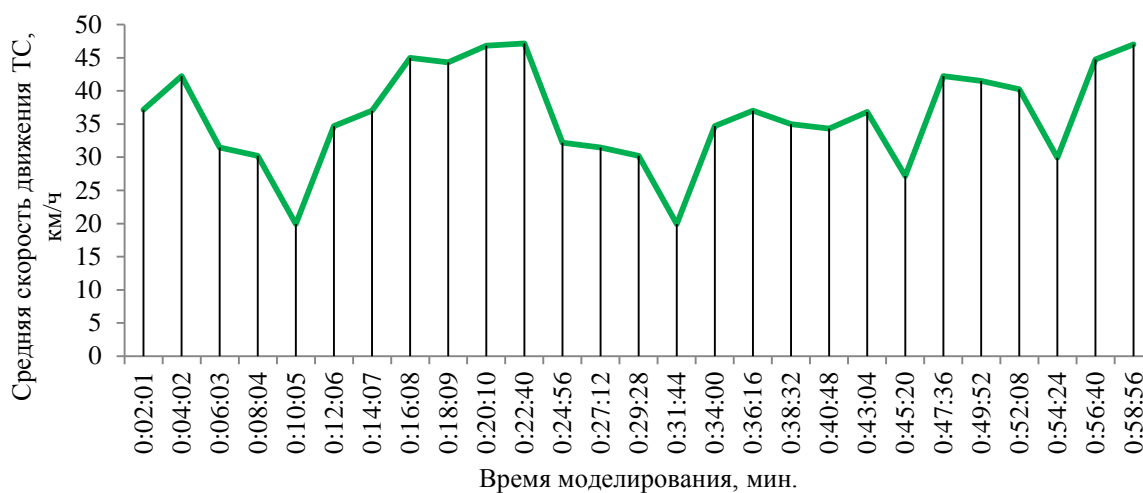


Рисунок 36 –Изменение средней скорости движения левоповоротного направления в каждом цикле на втором объекте исследования («способ 2»)

В ходе моделирования движения на третьем объекте исследования Ленинский проспект – улица Серафимовича (рисунок 28) установлено что средняя скорость транспортных средств левоповоротного направления (рисунок 37) за 27 циклов составила 28,06 км/ч.

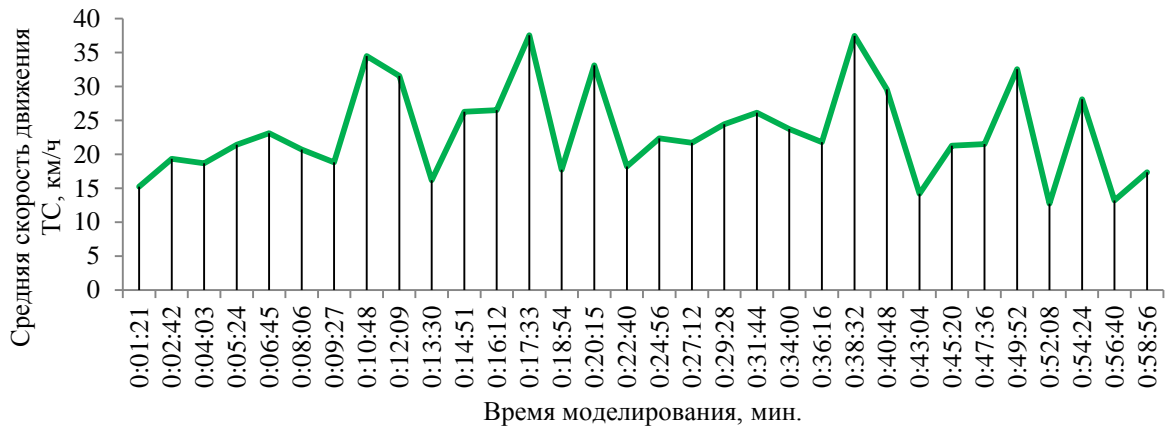


Рисунок 37 – Изменение средней скорости движения левоповоротного направления в каждом цикле на третьем объекте исследования («способ 3»)

### 2.3.3 Оценка по длине очереди

Длина очереди перед регулируемым перекрестком подразумевает формирование числа ТС на одном подъезде с двумя фазами сигналов [101]. Для планирования длины очереди можно оценить, учитывая среднюю плотность автомобилей в очереди:

$$QL = \frac{T \cdot (v - c)}{N \cdot d_s} \quad (29)$$

где  $QL$  – длина очереди (км);  $T$  – продолжительность периода анализа (час);  $v$  – запрос на трафик (авт./ч);  $c$  – пропускная способность (авт./ч);  $N$  – количество полос;  $d_s$  – средняя плотность автомобилей в очереди (авт./км/пол.).

Применяя из кинетической теории соотношения между плотностью, количеством временно остановившихся авто и временем поездки для зависимости

между скоростью и плотностью можно получить формулы для расчета характеристик транспортного потока.

В некоторых случаях необходимо внешнее представление, когда проверяется модель с точки зрения специалистов, насколько она является адекватной. В процессе проверки адекватности модели специалисты применяют графическое представление данных, а также проверяют гипотезы о распределениях. Доказательством точности имитационной модели является графическое представление промежуточных результатов и выходных данных, анимация процесса моделирования.

На первом объекте исследования Бульвара Победы – улица Антонова-Овсеенко (рисунок 23) по «способу 1» организации левоповоротного потока показал что средняя максимальная длина очереди транспортных средств по направлению, предназначенному для левоповоротного движения под дополнительный сигнал светофора (зеленую стрелку) за 26 циклов составляет 69 авт (рисунок 38).

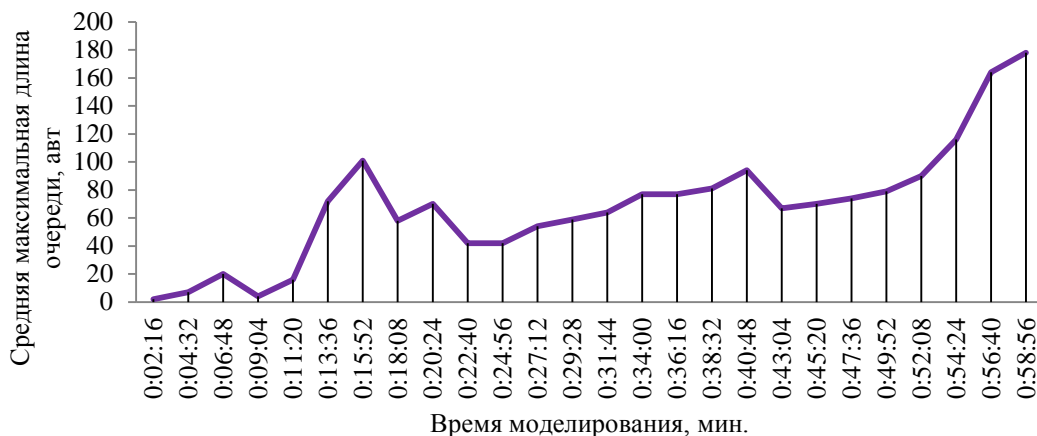


Рисунок 38 – Средняя максимальная длина очереди ТС левоповоротного направления в каждом цикле на первом объекте исследования («способ 1»)

Среднее значение максимальной длины очереди транспортных средств левоповоротного направления на втором объекте исследования ул. Ленинградская – ул. Брусилова (рисунок 26) за 25 циклов составила 25 авт. (рисунок 39).



Рисунок 39 – Средняя максимальная длина очереди ТС левоповоротного направления в каждом цикле на втором объекте исследования («способ 2»)

В ходе моделирования движения на третьем объекте исследования Ленинский проспект – улица Серафимовича (рисунок 28) установлено среднее значение максимальной длины очереди транспортных средств левоповоротного направления за 27 циклов составило 29 авт. (рисунок 40).



Рисунок 40 – Средняя максимальная длина очереди ТС левоповоротного направления в каждом цикле на третьем объекте исследования («способ 3»)



В результате анализа основных параметров транспортного потока – скорости движения автомобилей, задержек транспортных средств, длины очереди установлено что на каждом из исследуемых перекрестков с различными способами организации движения левоповоротного потока наблюдаются заторовые ситуации, которые свидетельствуют о неэффективности используемого способа организации дорожного движения, а именно способа организации левоповоротного движения на перекрестке. В связи с выявленными характеристиками и оценки транспортной ситуации на перекрестках, необходимым мероприятием в рамках диссертационной работы является разработка научного подхода к выбору необходимо способа организации движения левоповоротного потока с учетом полученных результатов.

#### **2.4 Вывод по главе 2**

Анализ основных загруженных перекрестков г. Воронеж показал, что на сегодняшний день в связи с высоким уровнем загрузки дорожной сети на большинстве регулируемых перекрестках возникают сложные дорожные ситуации, которые выражают в высоких значениях транспортных характеристик. В результате исследования транспортной сети г. Воронеж определены три основных способа организации левоповоротного движения на участках сети с использованием принудительно управления:

1. Организация левого поворота из специализированной полосы в специализированной фазе регулирования;
2. Организацией левого поворота из специализированной полосы с движением в основной фазе регулирования;
3. Организацией левого поворота совмещенного в одной полосе с прямым потоком в основной фазе регулирования.

В результате моделирования перекрестков с различными способами организации движения левоповоротного потока были получены основные характеристики параметров движения автомобилей – длина очереди, скорость движения и за-

держки транспортных средств, так среднее значение длины очереди на объектах исследования находится в пределах от 25 до 65 авт, скорость движения – от 20 до 28 км/ч, задержки транспортных средств от 6 до 128 с. Полученные данные свидетельствуют о затруднительной транспортной ситуации для движения левоповоротного потока на определенных объектах исследования, которая заключается в неэффективности организации движения данного направления.

В связи с выполненным анализом необходима разработка научного способа выбора рациональной схемы организации движения левоповоротного потока на регулируемых участках дорожной сети, что позволит повысить эффективность на существующих объектах и рационально подходить к выбору необходимого способа управления на стадии проектирования регулируемых участков.

## ГЛАВА 3 ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ ТЕОРЕТИКО-МЕТОДИЧЕСКОГО ПОДХОДА ВВОДА ОБОСОБЛЕННОГО ЛЕВОГО ПОВОРОТА

### 3.1 Разработка практических рекомендаций по вводу дополнительной фазы – левого поворота

В результате выполненного обзора научных источников, посвященных вводу специализированной левоповоротной полосы и фазы регулирования, было установлено что на ввод данного мероприятия оказывает влияние аварийность участка дорожной сети и интенсивность левоповоротного транспортного потока. Отечественные источники рекомендуют ввод при интенсивности более 120 авт/ч [16, 86]. Анализ зарубежных источников показал, что подход при вводе специализированной фазы левого поворота более подробен и основан на сопоставлении параметров интенсивности и аварийности (рисунок 41) [102-106]. Проводя идентификацию представленной блок-схемы (рисунок 41) можно сказать, что перед тем, чтобы определить необходимость специализации левоповоротной полосы в отдельной фазе регулирования, необходимо выполнить оценку аварийности рассматриваемого участка, так если в течение года произошло более 3 аварий связанных с выполнением левого поворота, то необходимо производить ввод дополнительной фазы регулирования. Если же данная аварийность не выполнена, то необходима оценка объекта исследования по видимости, которая заключается во времени поворота ТС, которое должно быть более 5,5 с., необходима специализация, в противном случае требует переход к следующему этапу представленному в блок-схеме (рисунок 41), а именно анализ количества полос для организации левого поворота. Если их более 2-х, то необходима специализация (выделение фазы регулирования), если же их менее 2-х, то аналогично ранее рассматриваемому этапу, переходим к анализу количества полос организованных при встречном движении. Если на объекте исследования организовано более 4-х полос для сквозного движения, то необходима специализация, менее 4-х, выполняется ана-

лиз интенсивности левого поворота, которая заключается в 2 авт/цикл. При не обеспечении данной интенсивности необходим анализ интенсивности и скорости движения встречного потока.

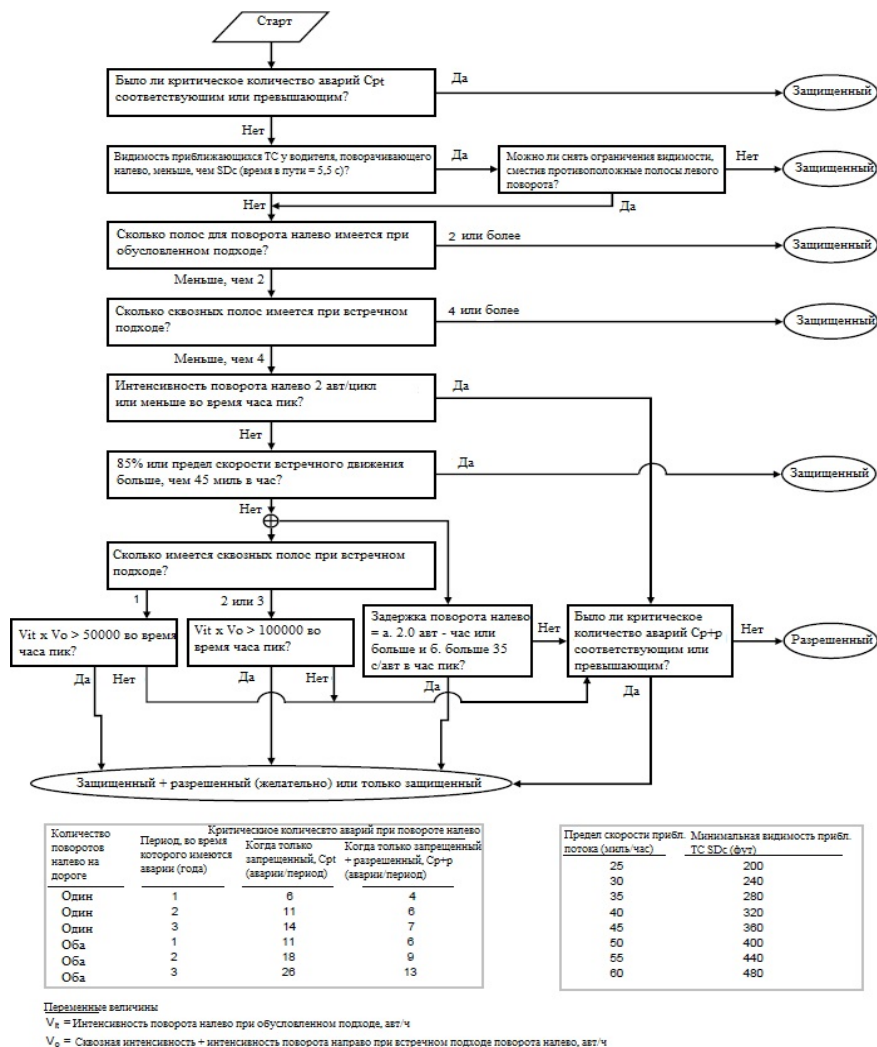


Рисунок 41 – Рекомендации по определению потенциальной потребности в фазе поворота налево

Представленные рекомендации, заключенные в исследовании следующих параметров:

1. Процент поворота налево и интенсивность встречного движения;
2. Количество встречных полос;
3. Длина цикла;
4. Скорость встречного движения;

5. Видимость;
6. Количество аварий, дают возможность оценить необходимость ввода специализированной левоповоротной фазы регулирования.

В результате анализа основных регулируемых перекрестков г. Воронежа, было установлено, что на сегодняшний день имеется несколько способов организации движения левоповоротного потока, которые заключаются в следующем:

1. Организация движения левого поворота совместно с прямым движением из одной полосы в одной фазе регулирования («способ 1») (рисунок 42);
2. Организация движения левого поворота из специализированной полосы в одной фазе регулирования («способ 2») (рисунок 43);
3. Организация левого поворота из специализированной полосы совместно с использованием «удлиненной фазы регулирования» («способ 3») (рисунок 44);
4. Организация левого поворота из специализированной полосы в специализированной фазе регулирования («способ 4») (рисунок 45).

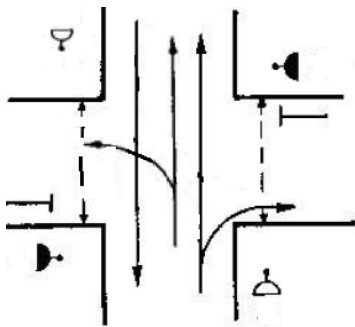


Рисунок 42 – Организация левого поворота «способ 1»

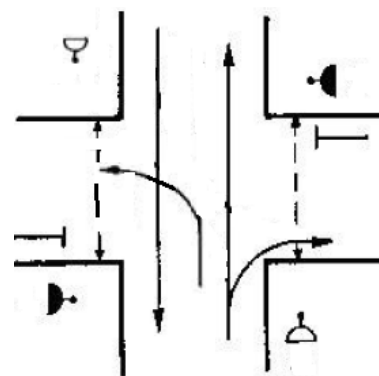


Рисунок 43 – Организация левого поворота «способ 2»

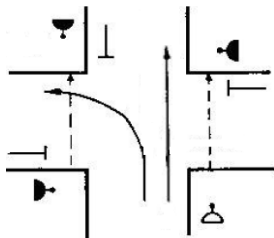


Рисунок 44 – Организация левого поворота «способ 3»

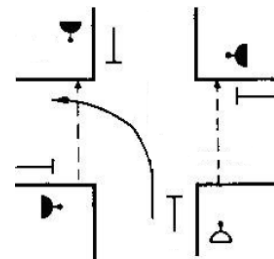


Рисунок 45 – Организация левого поворота «способ 4»

Представленные способы организации движения левого поворота довольно различны и требуют разработки обоснованного описания ввода каждого из них. В представленных научных источниках не существует строго регламентированных требований по выбору каждого из них (рисунок 42-45).

В рамках диссертационного исследования с целью улучшения транспортной ситуации на регулируемых участках было получено 2 патента на изобретение (приложение А). Патент № 2491648 «Светофор», изобретение относится к свето-технике и предназначено для использования при регулировании движения автотранспорта. В светофоре имеются секции для определенных сигналов, представляющие собой корпус с крышкой и противосолнечным козырьком. Секции соединены между собой резьбовыми пустотелыми втулками, через которые пропущены провода. На крышке смонтировано оптическое устройство, состоящее из отражателя, цветного светофильтра, резинового кольца-уплотнителя и подвижного стакана с электролампой. Патент № 2690138 «Транспортный светофор» изобретение относится к области регулирования движения автомобильного транспорта. Транспортный светофор состоящий из трех отдельных секций излучателей, снабженных противосолнечными козырьками, и двух дополнительных выдвижных секций. Выдвижные секции имеют противосолнечные козырьки и установлены на направляющих с возможностью выдвижения из-за отдельной секции излучателя зеленого свечения и задвижения за нее в горизонтальном направлении. Дополнительные выдвижные секции снабжены левым и правым электроприводами с шестернями перемещения секций в горизонтальном направлении.

Исследование основных регулируемых перекрестков г. Воронежа, показали, что при различных способах организации движения изменяются основные параметры транспортного потока, а именно скорость движения, длина очереди и задержки автомобилей. С целью разработки обоснованного способа выбора необходимой организации левого поворота необходима оценка изменения основных параметров транспортного потока.

Для выполнения оценки изменения данных параметров (скорости, задержки, длины очереди) необходим анализ их изменения при различных сочетаниях

интенсивности транспортного потока левоповоротного  $N_1$  и встречного конфликтующего  $N_2$ . С использованием ранее рассмотренных параметров, представленных в блок-схеме (рисунок 41) установлено что необходим анализ изменения данных для двухполосных и однополосных направлений конфликтующего потока, в связи с тем, что при организации движения из трех и более полос возникает высокий риск возникновения аварийной ситуации. В связи с этим, анализ изменения параметров выполнен для сочетаний интенсивности левого поворота и конфликтующего прямого потока из одной и двух полос с различным шагом сочетаний интенсивности.

Исходя из того, что интенсивность левого поворота  $N_1$  и интенсивность конфликтующего потока  $N_2$  являются основными величинами, которые влияют на выбор способа организации дорожного движения, то с помощью программного продукта моделирования Aimsun [87] для каждого соотношения  $N_1$  к  $N_2$  можно определить задержки, максимальную длину очереди и скорость. Для построения матрицы данных задан следующий шаг для  $N_1$  - 50 ед/ч, а для  $N_2$  – 250 ед/ч.

В ходе проведения модельных экспериментов были определены изменения скорости, задержек и максимальной длины очереди для конфликтующего потока с одной полосой (рисунок 46-48, таблица 10-12) и отдельно для двух полос (рисунок 49-51, таблица 13-15).

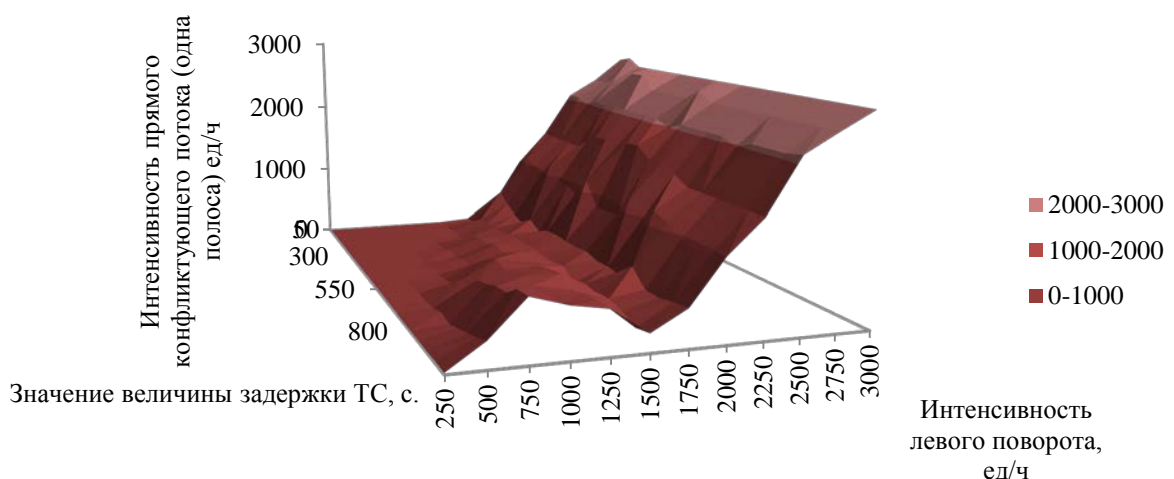


Рисунок 46 – Изменение задержек при отношении интенсивностей  $N_1$  к  $N_2$  одной полосы

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 задержек – 918,19 с. В большинстве соотношений интенсивностей  $N_1$  и  $N_2$  задержки в модели имеют прямую зависимость и имеют 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 (рисунок 46, таблица 10).

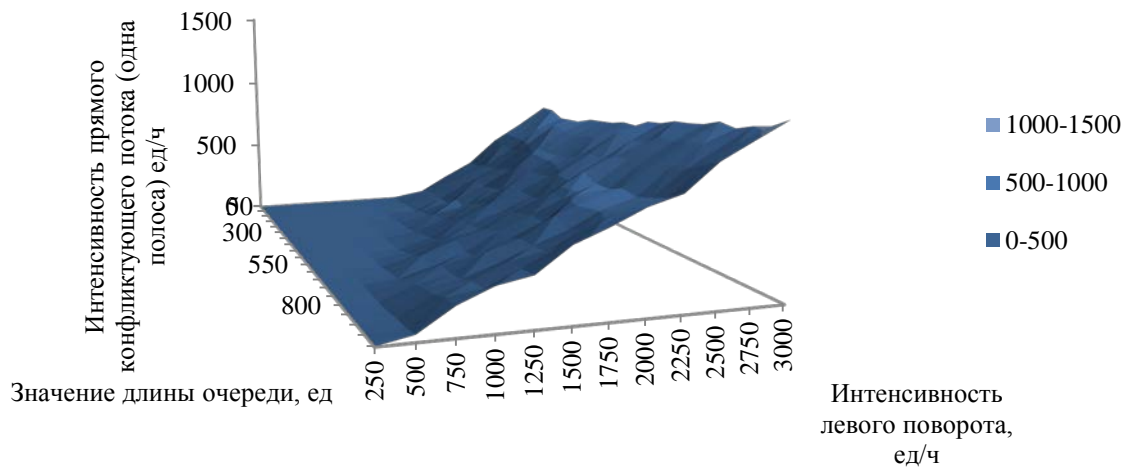


Рисунок 47 – Изменение длины очереди при отношении интенсивностей  $N_1$  к  $N_2$  одной полосы



Таблица 10 – Значения величины задержки при сочетании  $N_1$  и  $N_2$  (одна полоса)

$N_1 \backslash N_2$	50	100	150	200	250	300	350	400	450	500	550	600	650	700	750	800	850	900	950	1000
250	2,77	4,33	4,26	5,03	5,58	7,03	6,74	7,17	7,73	7,28	9,22	9,15	11,03	11,15	14,76	15,37	16,39	16,43	24,24	22,09
500	4,34	5,04	7,24	7,58	7,42	10,23	10,95	11,8	14,28	14,5	16,11	18,6	22,05	36,98	89,36	54,11	114,94	177,46	242,09	319,29
750	6,66	7,34	10,32	11,56	12,54	18,69	19,44	24,56	40,44	37,83	67,68	99	264,62	259,56	455,65	499,41	570,59	597,68	738,25	756,98
1000	9,14	10,85	14,78	14,96	18,9	35,74	97,81	70,91	140,24	117,53	278,1	407,19	495,69	444,66	500,69	559,4	544,45	547,58	557,34	621,63
1250	16,01	21,42	28,42	23,68	60,52	186,86	240,9	230,18	324,61	284,37	357,13	473,85	419,35	462,76	517,99	554,9	445,64	485,99	545,63	543,35
1500	44,15	62,01	185,55	181,3	198,75	218,79	263,22	274,25	286,64	300,67	290,58	288,2	332,51	212,81	294,62	270,04	306,66	263,12	177,09	229,48
1750	240,18	528,21	405,78	302,22	242,71	383,77	286,57	371,65	388,92	386,56	386,56	416,34	373,16	386,54	365,86	571,42	381,33	381,42	434,18	470,97
2000	953,13	1067,9	1014,5 1	964,26	1119,7 1	956,25	946,61	853,25	1154,1 2	853,35	853,39	883,45	1155,2 2	958,59	1149,9 8	1092,4 9	958,95	944,32	944,33	1027,7
2250	1419,7 9	1423,0 7	1420,0 3	1420,0 5	1420,0 6	1550,7 2	1661,7 1	1682,4 8	1621,0 7	1726,7 7	1751,8 6	1607,8 9	1630,7 3	1535,1 1	1426,7 7	1426,7 7	1426,7 7	1426,7 7	1426,7 7	1426,7 7
2500	2060,2 6	2061,1 1	1975,0 8	2061,5	2057,8 5	2061,6 1	2061,6 1	2061,7	2061,7 2	2061,7 4	1987,8 1	2061,7 7	2061,7 8	2061,7 8	2061,7 9	1976,8 3	2061,7 7	2061,8 1	2061,8 1	2102,4 3
2750	2310,4 7	2310,5 3	2361,7	2344,6 4	2533,5 3	2545,3 7	2344,6 9	2344,6 9	2344,7	2344,7	2478,3	2344,7 1	2344,7 1	2344,7 1	2344,7 3	2344,7 3	2344,7 3	2344,7 4	2344,7 4	2344,7 4
3000	2644,9 7	2693,8	2576,0 9	2576,0 9	2576,0 9	2576,1 1	2576,1 1	2576,1 2	2576,1 2	2576,1 2	2576,1 2	2576,1 2	2576,0 8	2576,0 8	2576,0 8	2576,0 8	2576,0 8	2576,0 8	2576,0 9	2576,0 9

Таблица 11 –Значения длины очереди при сочетании  $N_1$  и  $N_2$  (одна полоса)

$N_1 \backslash N_2$	50	100	150	200	250	300	350	400	450	500	550	600	650	700	750	800	850	900	950	1000
250	0,47	0,47	0,6	0,57	0,75	0,78	0,95	0,95	1,08	1,22	1,25	1,22	1,4	1,52	1,97	2,02	1,82	1,92	2,48	2,35
500	1,05	1,05	1,15	1,12	1,17	1,2	1,22	1,27	1,38	1,4	1,45	1,48	1,57	1,62	4,18	2,03	6,55	18,72	25,68	44,5
750	1,6	1,62	1,63	1,6	1,63	1,73	1,73	1,7	1,8	1,87	1,87	2,67	16,03	21,47	72,18	85,9	119,8	133,67	174,92	181,32
1000	2,28	2,32	2,3	2,33	2,2	2,35	2,43	2,85	10,7	7,92	31,28	60,8	112,7	84,58	142,82	138,15	155,4	196,5	203,65	271,05
1250	3,6	3,95	3,62	3,02	4,18	18,73	17,85	30,4	59,07	72,9	112,03	156	196,47	160	180,45	255,65	230,83	289,85	298,25	311
1500	7,32	7,6	17,52	12,78	48,07	57,2	106,82	105,62	145,05	186,5	193,88	206,33	257,12	278,05	277,62	320,62	320,3	330,43	407,18	462,48
1750	36,28	92,25	97,83	95,25	94,13	166,2	141,45	210,45	235,17	285,87	266,78	308,18	340,3	369,93	367,78	448,85	402,72	438,45	497,55	545,63
2000	155,45	183,75	212,25	209,05	260,08	255,87	278,68	295,02	370,42	368,05	360,13	386,53	463,48	460,32	520,42	528,87	507,75	533,72	573,18	642,12
2250	262,97	273,88	301,85	308,93	342,78	370,83	446,25	423,85	437,32	456,73	512,05	512,7	589,33	546,92	546,15	588,35	571,5	602,25	638,18	702,25
2500	442,52	442,55	423,75	456,65	492,02	523,75	524,53	529,65	546,67	589,28	637,53	632,2	684,07	689,73	697,23	727,13	739,48	760,98	820,12	871,8
2750	567,98	567,98	584,62	578,2	670,9	647,25	643,75	663,75	686,28	693,15	784,82	752,42	764,88	828,42	830,3	865,57	870,4	878,87	935,07	980,98
3000	704,7	708,75	665,07	676,38	684,7	729,55	742,83	757,25	787,12	789,2	843,25	858,83	897,83	910,52	931,2	973,5	956,58	996,82	1023,35	1087,4

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 с. В большинстве соотношений интенсивностей  $N_1$  и  $N_2$  длина очереди в модели имеют прямую зависимость и имеют выраженную восходящую тенденцию (рисунок 47, таблица 11).

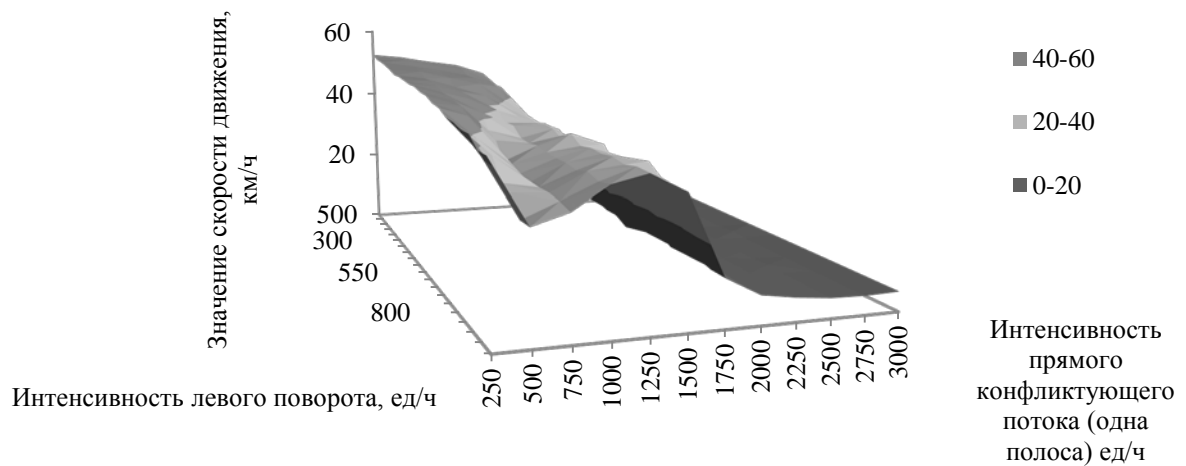


Рисунок 48 – Изменение скорости при отношении интенсивностей  $N_1$  к  $N_2$  одной полосы

Минимальное значение скорости транспортных средств составляет 4,75 км/ч при отношении  $N_1 = 750$  ед/ч к  $N_2 = 2750$  ед/ч, максимальное значение составляет 52,55 км/ч при отношении  $N_1 = 1000$  ед/ч к  $N_2 = 3000$  ед/ч, а среднее значение скорости ТС – 23,35 км/ч. В большинстве соотношений интенсивностей  $N_1$  и  $N_2$  скорость ТС в модели имеют обратную зависимость и имеют выраженную нисходящую тенденцию с коррекцией вверх и локальным минимумом скорости 26,7 км/ч при соотношении  $N_1 = 950$  ед/ч к  $N_2 = 500$  ед/ч (рисунок 48, таблица 12).



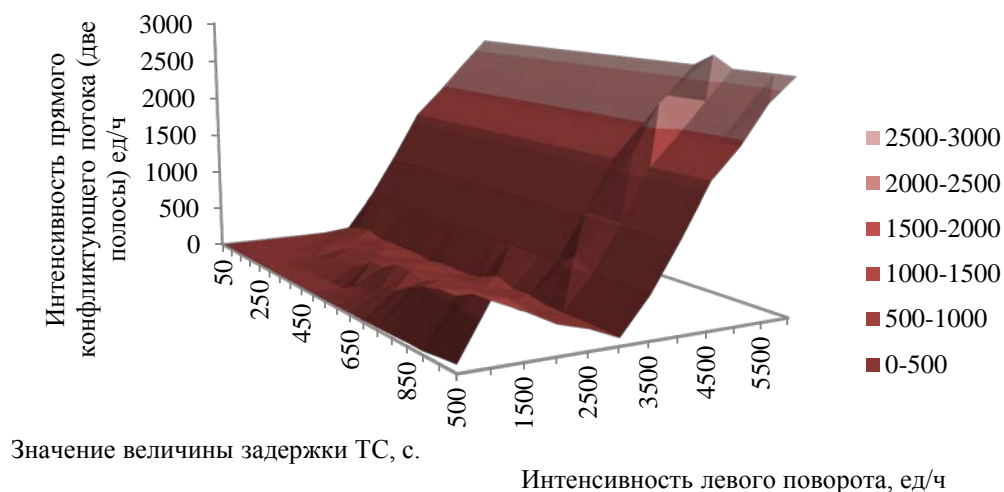


Рисунок 49 – Изменение задержек при отношении интенсивностей  $N_1$  к  $N_2$  двух ПОЛОС

Минимальное значение задержек транспортных средств составляет 2,69 с. при отношении  $N_1 = 50$  ед/ч к  $N_2 = 500$  ед/ч, максимальное значение составляет 2778,28 с. при отношении  $N_1 = 800$  ед/ч к  $N_2 = 6000$  ед/ч, а среднее значение задержек – 919,99 с. В большинстве соотношений интенсивностей  $N_1$  и  $N_2$  задержки в модели имеют прямую зависимость и имеют выраженную восходящую тенденцию с коррекцией вниз и локальным максимумом задержек 667,9 с. при соотношении  $N_1 = 1000$  ед/ч к  $N_2 = 1000$  ед/ч (рисунок 49, таблица 13).

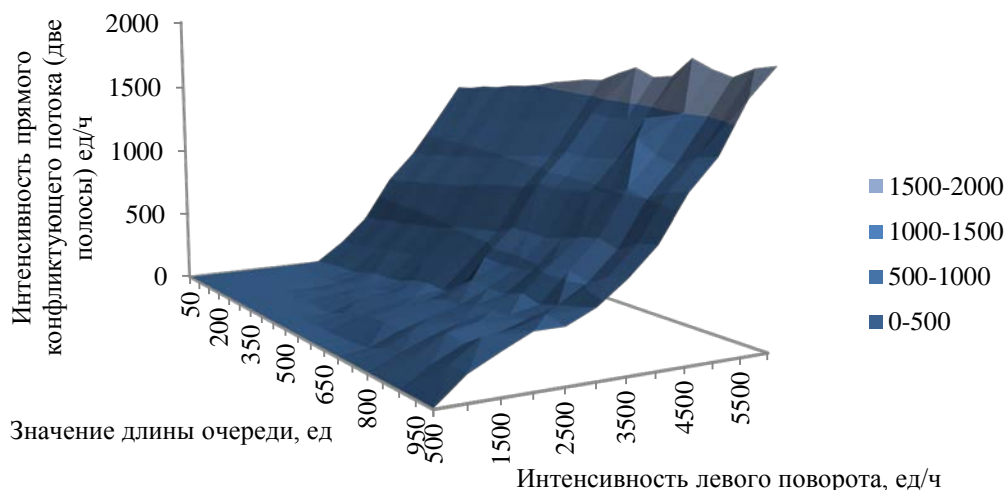


Рисунок 50 – Изменение длины очереди при отношении интенсивностей  $N_1$  к  $N_2$  двух ПОЛОС

Таблица 13 – Значения величины задержки при сочетании  $N_1$  и  $N_2$  (две полосы)

$N_1 \backslash N_2$	50	100	150	200	250	300	350	400	450	500	550	600	650	700	750	800	850	900	950	1000	
500	2,69	3,64	5,9	5,68	6,11	8,58	8,67	9,3	11,46	11,29	13,75	14,75	19,39	19,16	24,4	29,28	38,93	38,53	67,69	90,22	
1000	4,14	4,96	7,73	9,45	10,3	16,29	21,18	20,36	32,14	30,69	126,23	170,83	239,45	298,46	417,19	504,42	554,05	559,63	659,71	667,9	
1500	5,92	7,39	11,52	16,8	19,28	86,25	152,42	164,51	187,06	305,49	307,43	418,22	415,15	369,29	460,78	455,53	502,49	499,35	568,37	512,55	
2000	8,73	10,67	20,97	100,85	65,11	171,65	178,92	236,66	243,93	257,38	261,27	285,45	305,29	286,65	294,17	276,12	304,94	309,21	352,22	331,94	
2500	14,56	41,39	78,97	94,86	116,52	164,45	180,19	142,78	178,33	208,45	147,4	160,37	197,36	196,81	206,47	222,1	190,25	209,02	216,1	234,22	
3000	51,21	115,57	138,66	84,85	94,98	83,41	90,95	62,02	95,1	99,94	96,75	120,99	223,14	147,99	154,15	115,55	107,64	107,81	102,92	87,96	
3500	490,77	490,77	490,77	490,77	490,77	490,77	490,77	490,77	490,77	490,77	490,77	490,77	490,77	490,77	490,77	490,77	624,1	490,77	490,77	490,77	490,77
4000	1025,7 2	1025,7 2	1025,7 2	1025,7 2	1025,7 2	1025,7 2	1025,7 2	1025,7 2	1025,7 2	1025,7 2	1025,7 2	1025,7 2	1025,7 2	1025,7 2	1025,7 2	1025,7 2	1035,9 6	1025,7 2	1025,7 2	1025,7 2	1025,7 2
4500	1608,9	1608,9	1608,9	1608,9	1608,9	1608,9	1608,9	1608,9	1608,9	1608,9	1608,9	1608,9	1608,9	1608,9	1608,9	1608,9	1686,8 8	1608,9	1608,9	1608,9	1608,9
5000	1938,1 8	1938,1 8	1938,1 8	1938,1 8	1938,1 8	1938,1 8	1938,1 8	1938,1 8	1938,1 8	1938,1 8	1938,1 8	1938,1 8	1938,1 8	1938,1 8	1938,1 8	1938,1 8	2262,3 2	1938,1 8	1938,1 8	1938,1 8	1938,1 8
5500	2299,0 3	2299,0 3	2299,0 3	2299,0 3	2299,0 3	2299,0 3	2299,0 3	2299,0 3	2299,0 3	2299,0 3	2299,0 3	2299,0 3	2299,0 3	2299,0 3	2299,0 3	2299,0 3	2299,0 3	2299,0 3	2299,0 3	2299,0 3	2371,4 2
6000	2642,9 4	2642,9 4	2642,9 4	2642,9 4	2642,9 4	2642,9 4	2642,9 4	2642,9 4	2642,9 4	2642,9 4	2642,9 4	2642,9 4	2642,9 4	2642,9 4	2642,9 4	2642,9 4	2778,2 8	2642,9 4	2642,9 4	2642,9 4	2642,9 4

Таблица 14 –Значения длины очереди при сочетании  $N_1$  и  $N_2$  (две полосы)

$N_1 \backslash N_2$	50	100	150	200	250	300	350	400	450	500	550	600	650	700	750	800	850	900	950	1000
500	0,18	0,22	0,35	0,35	0,47	0,68	0,78	0,82	0,97	1,07	1,12	1,17	1,25	1,37	1,8	2,05	1,9	2,18	2,82	5,13
1000	0,85	0,82	0,97	0,9	0,97	1,12	1,1	1,22	1,23	1,35	2,32	8,37	18,67	34,35	84,9	101,4	134,98	134,15	183,28	177,22
1500	1,42	1,58	1,6	1,52	1,5	1,62	7,13	10,67	11,87	57,83	81,6	120,55	133,58	123,47	185,72	181,48	253,57	230,08	323,67	279,33
2000	2,33	2,58	2,48	9,38	2,53	31,2	38,73	75,35	91,77	110,18	129,67	170,37	181,07	183,98	218,75	245,88	291,45	262,22	342	374,63
2500	3,93	5,37	4,7	10,65	20,7	61,02	78,03	97,95	114,18	159,35	171,28	192,65	233,65	240,9	283,92	295,77	307,27	331,18	405,28	374,75
3000	11,38	25,83	42,47	45,48	77,28	110,57	112,87	133,28	178,23	200,48	188,82	220,9	348,68	329,42	333,02	382,15	350,27	391,47	425,23	465,7
3500	153,9	166,13	194,28	205,68	235,67	250,02	275,47	313,33	337,98	366,35	378,62	444,92	432,47	448,23	472,8	549,82	549,77	512,43	583,97	614,33
4000	339,88	352,23	380,25	391,77	421,77	436,27	461,77	499,97	524,38	552,78	565,1	631,48	636,28	634,7	659,48	709,97	736,42	699,2	770,62	801,15
4500	639,63	652,07	680,27	691,68	721,9	736,53	762,07	799,93	824,62	853,23	865,65	931,97	919,55	935,18	960,03	985,25	1036,98	999,58	1071,08	1101,78
5000	844,35	856,78	885,03	896,58	926,72	941,32	966,87	1004,87	1029,55	1058,18	1070,63	1136,93	1124,52	1140,17	1164,97	1326,97	1241,92	1204,63	1276,07	1306,8
5500	1108,4	1120,9	1149,08	1160,62	1190,82	1205,4	1230,98	1269	1293,67	1322,32	1334,72	1401,03	1388,58	1404,32	1429,18	1463,93	1506,1	1468,68	1540,37	1651,17
6000	1385,17	1397,65	1425,88	1437,42	1467,57	1482,12	1507,8	1545,73	1570,42	1599,18	1611,47	1677,78	1734,18	1681,15	1705,98	1842,18	1782,85	1745,6	1817,17	1847,8

Минимальное значение длины очереди транспортных средств составляет 0,18 авт. при отношении  $N_1 = 50$  ед/ч к  $N_2 = 500$  ед/ч, максимальное значение составляет 1847,8 авт. при отношении  $N_1 = 1000$  ед/ч к  $N_2 = 6000$  ед/ч, а среднее значение длины очереди ТС - 540,11 авт. В большинстве соотношений интенсивностей  $N_1$  и  $N_2$  длина очереди в модели имеют прямую зависимость и имеют выраженную восходящую тенденцию (рисунок 50, таблица 14).

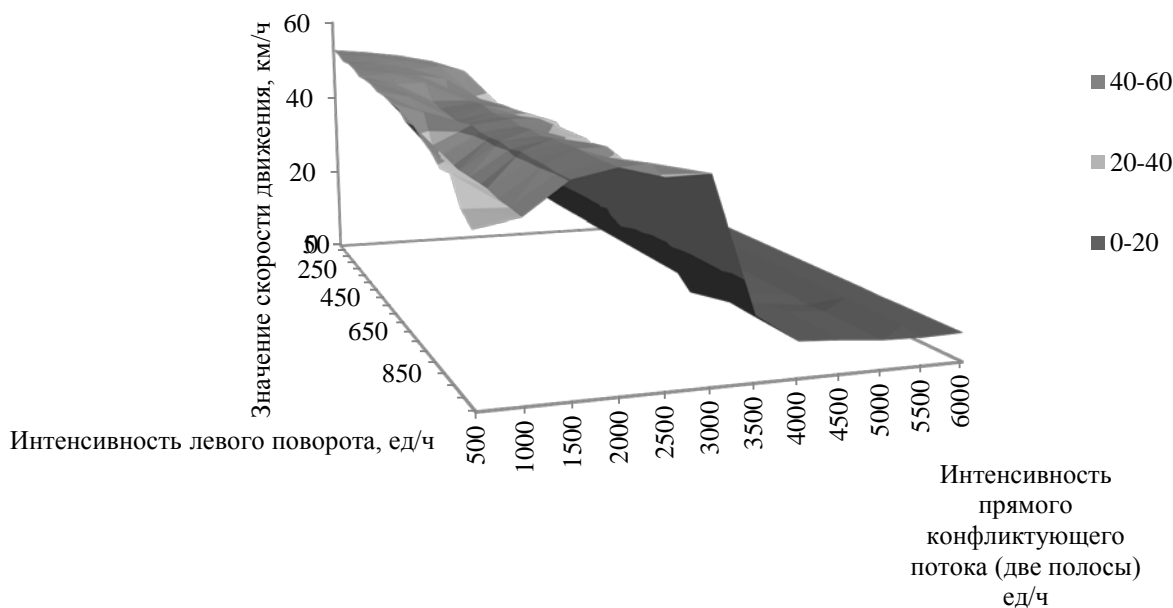


Рисунок 51 – Изменение скорости при отношении интенсивностей  $N_1$  к  $N_2$  двух полос

Минимальное значение скорости транспортных средств составляет 5,45 км/ч при отношении  $N_1 = 800$  ед/ч к  $N_2 = 5000$  ед/ч, максимальное значение составляет 52,7 км/ч при отношении  $N_1 = 1000$  ед/ч к  $N_2 = 3000$  ед/ч, а среднее значение скорости ТС – 24,29 км/ч. В большинстве соотношений интенсивностей  $N_1$  и  $N_2$  скорость ТС в модели имеют обратную зависимость и имеют выраженную нисходящую тенденцию с коррекцией вверх и локальными минимумами скорости 36,37 км/ч при соотношении  $N_1 = 200$  ед/ч к  $N_2 = 2000$  ед/ч и 32,59 км/ч при соотношении  $N_1 = 1000$  ед/ч к  $N_2 = 500$  ед/ч (рисунок 51, таблица 15).



Таблица 15 –Значения скоростей движения при сочетании  $N_1$  и  $N_2$  (две полосы)

$N_1 \backslash N_2$	50	100	150	200	250	300	350	400	450	500	550	600	650	700	750	800	850	900	950	1000
500	52,70	52,23	50,94	51,04	50,39	49,16	49,08	48,7	47,75	47,63	46,86	46,51	44,6	44,72	42,95	41,62	39,47	39,91	34,69	32,59
1000	51,93	51,55	50,18	49,57	49,07	47,02	45,96	45,64	43,44	43,62	37,25	36,13	34,42	35,02	34,82	34,33	35,34	34,6	34,45	34,11
1500	50,81	50,17	48,5	47,62	46,42	42,61	41,67	41,29	40,65	40,91	41,4	40,7	40,59	40,82	40,25	40,86	40,57	40,57	40,18	40,21
2000	49,06	48,48	45,73	36,37	43,46	42,43	42,75	42,88	42,06	41,9	42,41	41,63	41,98	41,54	42,06	41,99	42,13	41,96	41,86	41,94
2500	46,15	40,53	40,16	39,93	39,79	41,04	40,97	38,58	40,32	41,25	40,17	39,32	39,67	38,4	40,6	40,98	39,09	39,67	41,13	39,73
3000	37,24	29,43	32,33	33,41	29,99	33,53	37,4	38,32	36,16	32,29	37,14	35,09	22,47	26,47	30,61	31,57	32,57	32,57	32,24	39,95
3500	13,16	13,16	13,16	13,16	13,16	13,16	13,16	13,16	13,16	13,16	13,16	13,16	13,16	13,16	13,16	13,16	10,23	13,16	13,16	13,16
4000	7,34	7,34	7,34	7,34	7,34	7,34	7,34	7,34	7,34	7,34	7,34	7,34	7,34	7,34	7,34	7,34	7,39	7,34	7,34	7,34
4500	6,8	6,8	6,8	6,8	6,8	6,8	6,8	6,8	6,8	6,8	6,8	6,8	6,8	6,8	6,8	6,8	6,39	6,8	6,8	6,8
5000	6,01	6,01	6,01	6,01	6,01	6,01	6,01	6,01	6,01	6,01	6,01	6,01	6,01	6,01	6,01	6,01	5,45	6,01	6,01	6,01
5500	6,3	6,3	6,3	6,3	6,3	6,3	6,3	6,3	6,3	6,3	6,3	6,3	6,3	6,3	6,3	6,3	6,3	6,3	6,3	5,75
6000	5,97	5,97	5,97	5,97	5,97	5,97	5,97	5,97	5,97	5,97	5,97	5,97	5,97	5,97	5,97	5,97	5,87	5,97	5,97	5,97

В результате определения основных параметров транспортного потока при сочетании интенсивностей движения левого потока и прямого конфликтующего потока для одной и двух полос, можно стало определить возможные диапазоны изменения скорости движения, величины задержки и длины очереди, что является основополагающими параметрами при определении необходимого способа организации движения левоповоротного потока.

С целью определения значений параметров для каждого возможного сочетания, в рамках диссертационного исследования предлагается перейти к системе коэффициентов соотношений, каждый из которых будет интерпретироваться определенными значениями рассмотренных параметров (длины очереди, скорости движения, задержки). Полученные значения коэффициентов, представлены в таблице 16 и таблице 17.

Таблица 16 – Значение коэффициента отношения  $N_1$  и  $N_2$  (одна полоса)

$N_1 \backslash N_2$	50	100	150	200	250	300	350	400	450	500	550	600	650	700	750	800	850	900	950	1000
250	0,20	0,40	0,60	0,80	1,00	1,20	1,40	1,60	1,80	2,00	2,20	2,40	2,60	2,80	3,00	3,20	3,40	3,60	3,80	4,00
500	0,10	0,20	0,30	0,40	0,50	0,60	0,70	0,80	0,90	1,00	1,10	1,20	1,30	1,40	1,50	1,60	1,70	1,80	1,90	2,00
750	0,07	0,13	0,20	0,27	0,33	0,40	0,47	0,53	0,60	0,67	0,73	0,80	0,87	0,93	1,00	1,07	1,13	1,20	1,27	1,33
1000	0,05	0,10	0,15	0,20	0,25	0,30	0,35	0,40	0,45	0,50	0,55	0,60	0,65	0,70	0,75	0,80	0,85	0,90	0,95	1,00
1250	0,04	0,08	0,12	0,16	0,20	0,24	0,28	0,32	0,36	0,40	0,44	0,48	0,52	0,56	0,60	0,64	0,68	0,72	0,76	0,80
1500	0,03	0,07	0,10	0,13	0,17	0,20	0,23	0,27	0,30	0,33	0,37	0,40	0,43	0,47	0,50	0,53	0,57	0,60	0,63	0,67
1750	0,03	0,06	0,09	0,11	0,14	0,17	0,20	0,23	0,26	0,29	0,31	0,34	0,37	0,40	0,43	0,46	0,49	0,51	0,54	0,57
2000	0,03	0,05	0,08	0,10	0,13	0,15	0,18	0,20	0,23	0,25	0,28	0,30	0,33	0,35	0,38	0,40	0,43	0,45	0,48	0,50
2250	0,02	0,04	0,07	0,09	0,11	0,13	0,16	0,18	0,20	0,22	0,24	0,27	0,29	0,31	0,33	0,36	0,38	0,40	0,42	0,44
2500	0,02	0,04	0,06	0,08	0,10	0,12	0,14	0,16	0,18	0,20	0,22	0,24	0,26	0,28	0,30	0,32	0,34	0,36	0,38	0,40
2750	0,02	0,04	0,05	0,07	0,09	0,11	0,13	0,15	0,16	0,18	0,20	0,22	0,24	0,25	0,27	0,29	0,31	0,33	0,35	0,36
3000	0,02	0,03	0,05	0,07	0,08	0,10	0,12	0,13	0,15	0,17	0,18	0,20	0,22	0,23	0,25	0,27	0,28	0,30	0,32	0,33

$$K_1 = \frac{N_1}{N_2} = n = \{t_n = x_n; l_n = y_n; v_n = z_n\} \quad (30)$$

где  $K_1$  – коэффициент отношения  $N_1$  к  $N_2$ ;  $N_1$  – интенсивность движения левого поворота, ед/ч;  $N_2$  – интенсивность движения прямого конфликтующего потока, движущегося по одной полосе, ед/ч;  $n$  – значение коэффициента отношения (0.02...4.0);  $t_1$  – время задержки ТС, с;  $x_1$  – значение времени задержки, для заданного соотношения интенсивностей, с;  $l_1$  – длина очереди ТС, ед.;  $y_1$  – значение дли-

ны очереди, для заданного соотношения интенсивности, ед.;  $v_n$  – скорость движения, км/ч;  $z_n$  – значение скорости движения, для заданного соотношения интенсивности, км/ч.

Таблица 17 – Значение коэффициента отношения  $N_1$  и  $N_2$  (две полосы)

$N_1 \backslash N_2$	50	100	150	200	250	300	350	400	450	500	550	600	650	700	750	800	850	900	950	1000
500	0,1	0,20	0,30	0,40	0,50	0,60	0,70	0,80	0,90	1,00	1,10	1,20	1,30	1,40	1,50	1,60	1,70	1,80	1,90	2,00
1000	0,05	0,10	0,15	0,20	0,25	0,30	0,35	0,40	0,45	0,50	0,55	0,60	0,65	0,70	0,75	0,80	0,85	0,90	0,95	1,00
1500	0,03	0,07	0,10	0,13	0,17	0,20	0,23	0,27	0,30	0,33	0,37	0,40	0,43	0,47	0,50	0,53	0,57	0,60	0,63	0,67
2000	0,03	0,05	0,08	0,10	0,13	0,15	0,18	0,20	0,23	0,25	0,28	0,30	0,33	0,35	0,38	0,40	0,43	0,45	0,48	0,50
2500	0,02	0,04	0,06	0,08	0,10	0,12	0,14	0,16	0,18	0,20	0,22	0,24	0,26	0,28	0,30	0,32	0,34	0,36	0,38	0,40
3000	0,02	0,03	0,05	0,07	0,08	0,10	0,12	0,13	0,15	0,17	0,18	0,20	0,22	0,23	0,25	0,27	0,28	0,30	0,32	0,33
3500	0,01	0,03	0,04	0,06	0,07	0,09	0,10	0,11	0,13	0,14	0,16	0,17	0,19	0,20	0,21	0,23	0,24	0,26	0,27	0,29
4000	0,01	0,03	0,04	0,05	0,06	0,08	0,09	0,10	0,11	0,13	0,14	0,15	0,16	0,18	0,19	0,20	0,21	0,23	0,24	0,25
4500	0,01	0,02	0,03	0,04	0,06	0,07	0,08	0,09	0,10	0,11	0,12	0,13	0,14	0,16	0,17	0,18	0,19	0,20	0,21	0,22
5000	0,01	0,02	0,03	0,04	0,05	0,06	0,07	0,08	0,09	0,10	0,11	0,12	0,13	0,14	0,15	0,16	0,17	0,18	0,19	0,20
5500	0,01	0,02	0,03	0,04	0,05	0,05	0,06	0,07	0,08	0,09	0,10	0,11	0,12	0,13	0,14	0,15	0,15	0,16	0,17	0,18
6000	0,01	0,02	0,03	0,03	0,04	0,05	0,06	0,07	0,08	0,08	0,09	0,10	0,11	0,12	0,13	0,13	0,14	0,15	0,16	0,17

$$K_1 = \frac{N_1}{N_2} = n = \{t_n = x_n; l_n = y_n; v_n = z_n\} \quad (31)$$

где  $K_1$  – коэффициент отношения  $N_1$  к  $N_2$ ,  $N_1$  – интенсивность движения левого поворота, ед/ч;  $N_2$  – интенсивность движения прямого конфликтующего потока, движущегося по двум полосам, ед/ч;  $n$  – значение коэффициента отношения (0.01...2.0);  $t_l$  – время задержки ТС, с;  $x_l$  – значение времени задержки, для заданного соотношения интенсивностей, с;  $l_l$  – длина очереди ТС, ед.;  $y_l$  – значение длины очереди, для заданного соотношения интенсивности, ед.;  $v_n$  – скорость движения, км/ч;  $z_n$  – значение скорости движения, для заданного соотношения интенсивности, км/ч.

Сложность использования представленных коэффициентов заключается в совпадении некоторых значений коэффициентов, для которых характерны различные значения исследуемых параметров, в связи с этим, следующим этапом диссертационного исследования, является разработка алгоритма принятия решения для ввода ранее рассмотренных способов (рисунок 42-45) организации движения левого поворота в зоне регулируемого перекрестка.

### 3.2 Математический анализ изменения основных характеристик транспортного потока при исследовании конфликта «левый поворот-прямой конфликтующий поток»

Для определения необходимого способа организации движения на РП, из четырех рассмотренных ранее (рисунок 42-45) необходимо интерпретировать полученные значения задержек ТС с существующими уровнями обслуживания РП, согласно нормативному документу [107] (таблица 18).

Таблица 18 – Уровень обслуживания ТС на РП [107]

Уровень обслуживания	Задержка регулирования (с/прив.ед)
A	$\leq 10$
B	10 – 20
C	20 – 35
D	35 – 55
E	55 – 80
F	$> 80$

Уровень обслуживания A: Небольшая задержка регулирования – до 10 (с/прив.ед.). Достигается, когда большая часть автомобилей прибывает к перекрестку и проезжает его на зеленый сигнал.

Уровень обслуживания B: Величина задержки регулирования находится в границах от 10 до 20 (с/прив.ед.). Достигается при достаточно хорошей прогрессии (когда большая часть автомобилей прибывает на зеленый сигнал) или коротком цикле регулирования. Число остановившихся автомобилей возрастает по сравнению с уровнем обслуживания A.

Уровень обслуживания C: Величина задержки регулирования находится в границах от 20 до 35 (с/прив.ед.). Достигается при длинном цикле регулирования, плохой прогрессии. Число остановившихся автомобилей значительно, но, тем не менее, большая часть автомобилей проезжают перекресток без остановок.

Уровень обслуживания D: Величина задержки регулирования находится в границах от 35 до 55 (с/прив.ед.). Почти все автомобили останавливаются. Наличие высокого отношения интенсивности движения к пропускной способности. Количество циклов с перенасыщением (коэффициент насыщения больше 1) очень велико.

Уровень обслуживания E: Величина задержки регулирования находится в границах от 55 до 80 (с/прив.ед.). В большей части циклов наблюдается перенасыщение (коэффициент насыщения больше 1).

Уровень обслуживания F: Величина задержки регулирования находится в границах от 80 и более (с/прив.ед.). Такой уровень обслуживания рассматривается как неприемлемый для большинства водителей [107].

В зависимости от того, какие существуют задержки транспортных средств на объекте исследования, то для построения алгоритма выбора способа организации дорожного движения левоповоротного потока следует дифференцировать задержки по уровню обслуживания транспортных средств.

Из полученного массива данных по задержкам (таблица 10, 13) определены данные, соответствующие определенным интервалам уровня обслуживания (таблица 19). Для уровня обслуживания A характерна небольшая задержка регулирования – до 10 с, которая достигается, когда большая часть автомобилей прибывает к перекрестку и проезжает его на зеленый сигнал. Значения задержек, соответствующие этому уровню обслуживания, представлены с помощью программного продукта CurveExpert Professional [108] (рисунок 52).

В результате выборки можно сделать вывод о максимальных значениях интенсивности левоповоротного потока  $N_1$  и прямого конфликтующего потока  $N_2$ :

$$\left\{ \begin{array}{l} N_1 \in 50 \dots 400 \\ N_2 \in 500 \dots 2000 \end{array} \right. \xrightarrow{t_n} 2.69 \dots 9.30 \rightarrow A \quad (32)$$

где  $N_1$  – интенсивность движения левого поворота, ед/ч;  $N_2$  – интенсивность движения прямого конфликтующего потока, движущегося по одной полосе, ед/ч;  $t_n$  – время задержки ТС соотношения  $n$  ( $N_1/N_2$ ), с; A – уровень удобства.

Математическая модель будет иметь следующий вид:

$$y = a + bx_1 + cx_2 + dx_1^2 + ex_2^2 + fx_1^3 + gx_2^3 + hx_1x_2 + ix_1^2x_2 + jx_1x_2^2 \quad (33)$$

где  $x_1$  – интенсивность левоповоротного потока, ед/ч;  $x_2$  – интенсивность конфликтующего потока, ед/ч;  $y$  – задержки транспортных средств при сочетании интенсивностей  $N_1$  и  $N_2$ , с;  $a \dots j$  – параметры функции (рисунок 53).

Таблица 19 – Матрица значений интенсивностей, характерных для уровня обслуживания А

$N_1 \backslash N_2$	50	50	50	50	100	100	100	150	150	200	200	250	300	350	400
500	2.69														
1000		4.14													
1500			5.92												
2000				8.73											
500					3.64										
1000						4.96									
1500							7.39								
500								5.90							
1000									7.73						
500										5.68					
1000											9.45				
500												6.11			
500													8.58		
500														8.67	
500															9.30

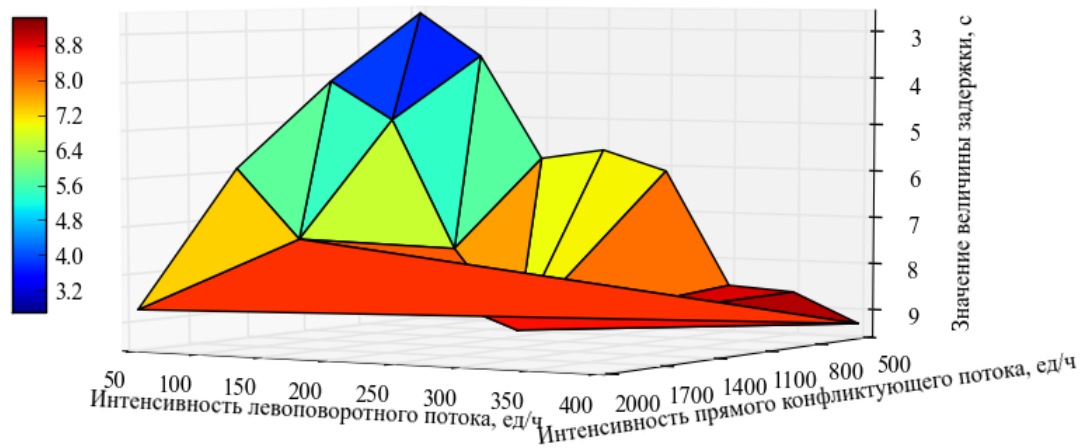


Рисунок 52 – Графическое представление изменения величины задержек при различных сочетаниях  $N_1$  и  $N_2$  для уровня обслуживания А

## Overview

Name	Full Cubic
Kind	Regression
Family	Polynomial
Equation	$y = a + b*x1 + c*x2 + d*x1^2 + e*x2^2 + f*x1^3 + g*x2^3 + h*x1*x2 + i*x1^2*x2 + j*x1*x2^2$
# of Indep. Vars	2
Weighting	Default
Standard Error	0.739374214137
Correlation Coeff. (r)	0.978710
Coeff. of Determination (r^2)	0.957873405849
DOF	5
AICC	28.462282

## Parameters

	Value	Std Err	Range (95% confidence)
a	0.490156	9.445580	-23.790479 to 24.770791
b	0.034747	0.099331	-0.220590 to 0.290085
c	0.001400	0.025626	-0.064473 to 0.067274
d	-0.000129	0.000282	-0.000855 to 0.000598
e	0.000001	0.000019	-0.000049 to 0.000051
f	0.000000	0.000000	-0.000001 to 0.000001
g	0.000000	0.000000	-0.000000 to 0.000000
h	-0.000012	0.000200	-0.000526 to 0.000502
i	0.000000	0.000000	-0.000001 to 0.000001
j	-0.000000	0.000000	-0.000000 to 0.000000

## Covariance Matrix

	a	b	c	d	e	f	g	h	i	j
a	163.203181	-1.483932	-0.430430	0.003256	0.000308	-0.000002	-0.000000	0.003022	-0.000004	-0.000001
b	-1.483932	0.018048	0.003563	-0.000047	-0.000002	0.000000	0.000000	-0.000034	0.000000	0.000000
c	-0.430430	0.003563	0.001201	-0.000007	-0.000001	0.000000	0.000000	-0.000008	0.000000	0.000000
d	0.003256	-0.000047	-0.000007	0.000000	0.000000	-0.000000	-0.000000	0.000000	-0.000000	-0.000000
e	0.000308	-0.000002	-0.000001	0.000000	0.000000	-0.000000	-0.000000	0.000000	-0.000000	-0.000000
f	-0.000002	0.000000	0.000000	-0.000000	-0.000000	0.000000	0.000000	-0.000000	0.000000	0.000000
g	-0.000000	0.000000	0.000000	-0.000000	-0.000000	0.000000	0.000000	-0.000000	0.000000	0.000000
h	0.003022	-0.000034	-0.000008	0.000000	0.000000	-0.000000	-0.000000	0.000000	-0.000000	-0.000000
i	-0.000004	0.000000	0.000000	-0.000000	-0.000000	0.000000	0.000000	-0.000000	0.000000	0.000000
j	-0.000001	0.000000	0.000000	-0.000000	-0.000000	0.000000	0.000000	-0.000000	0.000000	0.000000

Рисунок 53 – Отчет по данным математической модели для уровня обслуживания А

Для уровня обслуживания В величина задержки регулирования находится в границах от 10 до 20 с. Из полученного массива данных по задержкам (таблица 10, 13) определены данные, соответствующие определенным интервалам уровня обслуживания (таблица 20). Значения задержек, соответствующие этому уровню обслуживания, представлены с помощью программного продукта CurveExpert Professional [108], число остановившихся автомобилей возрастает по сравнению с уровнем обслуживания А (рисунок 54).

Таблица 20 – Матрица значений интенсивностей, характерных для уровня обслуживания В

$N_1 \backslash N_2$	50	100	150	200	250	250	300	450	500	550	600	650	700
2500	14.56												
2000		10.67											
1500			11.52										
1500				16.80									
1000					10.30								
1500						19.28							
1000							16.29						
500								11.46					
500									11.29				
500										13.75			
500											14.75		
500												19.39	
500													19.16

Выполненная выборка по полученным значениям (таблица 10, 13) позволяет сделать вывод о максимальных значениях интенсивности левоповоротного потока  $N_1$  и прямого конфликтующего потока  $N_2$ :

$$\left\{ \begin{array}{l} N_1 \in 50 \dots 700 \\ N_2 \in 500 \dots 2500 \end{array} \right. \xrightarrow{t_n} 10.30 \dots 19.39 \rightarrow B \quad (34)$$

где  $N_1$  – интенсивность движения левого поворота, ед/ч;  $N_2$  – интенсивность движения прямого конфликтующего потока, движущегося по одной полосе, ед/ч;  $t_n$  – время задержки ТС соотношения  $n$  ( $N_1/N_2$ ), с; B – уровень удобства.

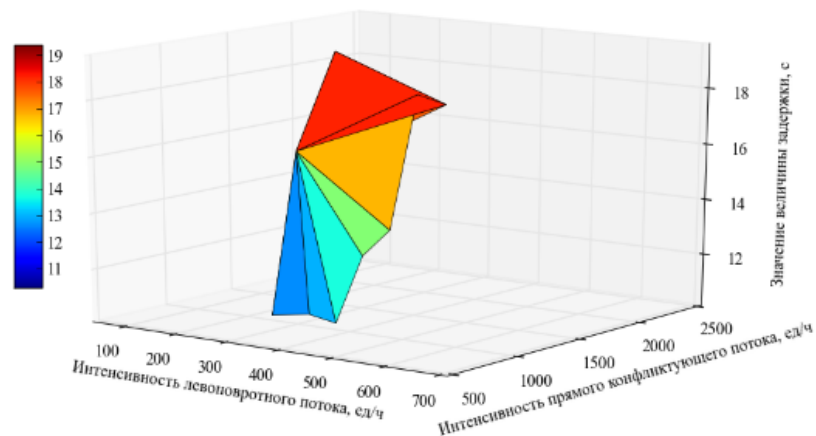


Рисунок 54 – Графическое представление изменения величины задержек при различных сочетаниях  $N_1$  и  $N_2$  для уровня обслуживания В



Математическая модель для уровня обслуживания В будет иметь следующий вид:

$$y = a + bx_1 + cx_2 + dx_1^2 + ex_2^2 + fx_1^3 + gx_2^3 \quad (35)$$

где  $x_1$  – интенсивность левоповоротного потока, ед/ч;  $x_2$  – интенсивность конфликтующего потока, ед/ч;  $y$  – задержки транспортных средств при сочетании интенсивностей  $N_1$  и  $N_2$ , с;  $a \dots g$  – параметры функции (рисунок 55).

### Overview

Name	Simplified Cubic
Kind	Regression
Family	Polynomial
Equation	$y = a + b*x1 + c*x2 + d*x1^2 + e*x2^2 + f*x1^3 + g*x2^3$
# of Indep. Vars	2
Weighting	Default
Standard Error	1.4931373239
Correlation Coeff. (r)	0.950407
Coeff. of Determination (r^2)	0.903273013661
DOF	6
AICC	26.371398

### Parameters

	Value	Std Err	Range (95% confidence)
a	-53.252946	12.364371	-83.507472 to -22.998420
b	0.170493	0.078490	-0.021564 to 0.362551
c	0.056349	0.027730	-0.011505 to 0.124202
d	-0.000239	0.000222	-0.000783 to 0.000304
e	-0.000026	0.000018	-0.000069 to 0.000017
f	0.000000	0.000000	-0.000000 to 0.000001
g	0.000000	0.000000	-0.000000 to 0.000000

### Covariance Matrix

	a	b	c	d	e	f	g
a	68.571641	0.020334	-0.106738	-0.000315	0.000060	0.000000	-0.000000
b	0.020334	0.002763	-0.000672	-0.000008	0.000000	0.000000	-0.000000
c	-0.106738	-0.000672	0.000345	0.000002	-0.000000	-0.000000	0.000000
d	-0.000315	-0.000008	0.000002	0.000000	-0.000000	-0.000000	0.000000
e	0.000060	0.000000	-0.000000	-0.000000	0.000000	0.000000	-0.000000
f	0.000000	0.000000	-0.000000	-0.000000	0.000000	0.000000	-0.000000
g	-0.000000	-0.000000	0.000000	0.000000	-0.000000	-0.000000	0.000000

Рисунок 55 – Отчет по данным математической модели для уровня обслуживания В [108]

Для уровня обслуживания С величина задержки регулирования находится в границах от 20 до 35 с. Из полученного массива данных по задержкам (таблица 10, таблица 13) определены данные, соответствующие определенным интервалам

уровня обслуживания (таблица 21). Значения задержек, соответствующие этому уровню обслуживания, представлены с помощью программного продукта CurveExpert Professional [108] (рисунок 56).

Таблица 21 – Матрица значений интенсивностей, характерных для уровня обслуживания С

$N_1 \backslash N_2$	150	350	400	450	500	750	800
2000	20.97						
1000		21.18					
1000			20.36				
1000				32.14			
1000					30.69		
500						24.40	
500							29.28

Выполненная выборка по полученным значениям (таблица 10, 13) позволяет сделать вывод о максимальных значениях интенсивности левоповоротного потока  $N_1$  и прямого конфликтующего потока  $N_2$ :

$$\begin{cases} N_1 \in 150 \dots 800 \\ N_2 \in 500 \dots 2000 \end{cases} \Rightarrow t_n \rightarrow 20.36 \dots 32.14 \rightarrow C \quad (36)$$

где  $N_1$  – интенсивность движения левого поворота, ед/ч;  $N_2$  – интенсивность движения прямого конфликтующего потока, движущегося по одной полосе, ед/ч;  $t_n$  – время задержки ТС соотношения  $n$  ( $N_1/N_2$ ), с;  $C$  – уровень удобства.

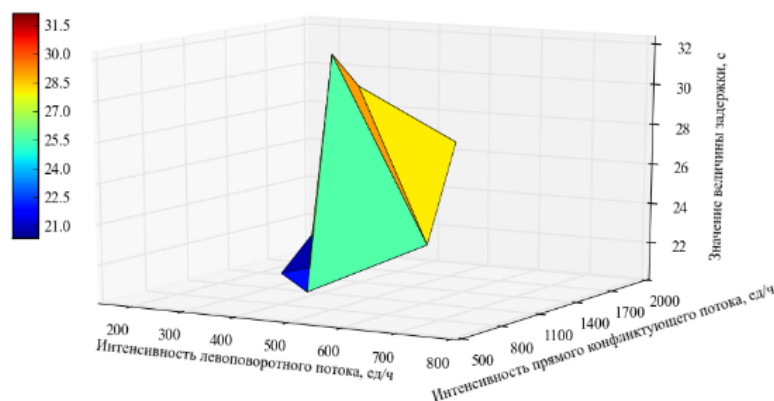


Рисунок 56 – Графическое представление изменения величины задержек при различных сочетаниях  $N_1$  и  $N_2$  для уровня обслуживания С

Математическая модель для уровня обслуживания С будет иметь следующий вид:

$$y = \frac{x_1 x_2}{a + bx_1 + cx_2} \quad (37)$$

где  $x_1$  – интенсивность левоповоротного потока, ед/ч;  $x_2$  – интенсивность конфликтующего потока, ед/ч;  $y$  – задержки транспортных средств при сочетании интенсивностей  $N_1$  и  $N_2$ , с;  $a, b, c$  – параметры функции (рисунок 57).

Overview			
Name	Reciprocal Linear		
Kind	Regression		
Family	Miscellaneous		
Equation	$y = x_1 x_2 / (a + b x_1 + c x_2)$		
# of Indep. Vars	2		
Weighting	Default		
Standard Error	2.98796144088		
Correlation Coeff. (r)	0.874752		
Coeff. of Determination (r <sup>2</sup> )	0.765191421584		
DOF	4		
AICC	18.406969		
Parameters			
	Value	Std Err	
a	28786.710667	8966.078905	
b	-14.565622	9.332296	
c	-6.139976	4.407644	
		Range (95% confidence)	
a		3892.884779 to 53680.536554	
b		-40.476230 to 11.344987	
c		-18.377558 to 6.097606	
Covariance Matrix			
	a	b	c
a	9004407.387428	-9226.270496	-4330.643630
b	-9226.270496	9.754996	4.319807
c	-4330.643630	4.319807	2.176021

Рисунок 57 – Отчет по данным математической модели для уровня обслуживания С

Для уровня обслуживания D величина задержки регулирования находится в границах от 35 до 55 с. Из полученного массива данных по задержкам (таблица 10,13) определены данные, соответствующие определенным интервалам уровня обслуживания (таблица 22). Значения задержек, соответствующие этому уровню

обслуживания, представлены с помощью программного продукта CurveExpert Professional [108] (рисунок 58).

Таблица 22 – Матрица значений интенсивностей, характерных для уровня обслуживания D

$N_1 \backslash N_2$	50	100	850	900
3000	51.21			
2500		41.39		
500			38.93	
500				38.53

Выполненная выборка по полученным значениям (таблица 10, 13) позволяет сделать вывод о максимальных значениях интенсивности левоповоротного потока  $N_1$  и прямого конфликтующего потока  $N_2$ :

$$\begin{cases} N_1 \in 50 \dots 900 \\ N_2 \in 500 \dots 3000 \end{cases} \xrightarrow{t_n} 38.53 \dots 51.21 \rightarrow D \quad (38)$$

где  $N_1$  – интенсивность движения левого поворота, ед/ч;  $N_2$  – интенсивность движения прямого конфликтующего потока, движущегося по одной полосе, ед/ч;  $t_n$  – время задержки ТС соотношения  $n$  ( $N_1/N_2$ ), с; D – уровень удобства.

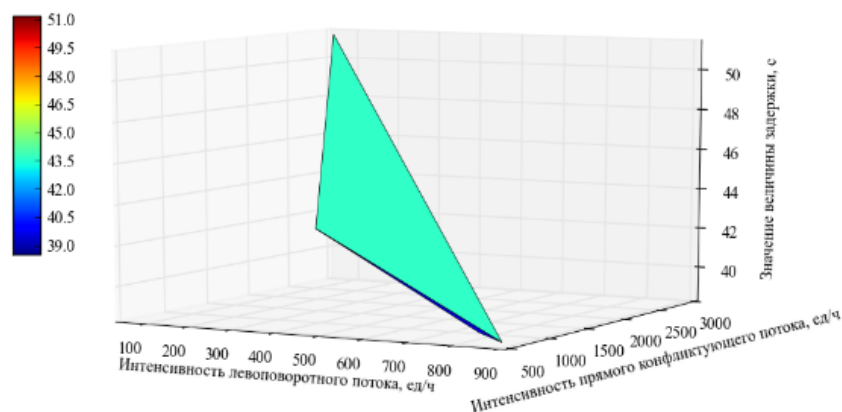


Рисунок 58 – Графическое представление изменения величины задержек при различных сочетаниях  $N_1$  и  $N_2$  для уровня обслуживания D

Математическая модель для уровня обслуживания D будет иметь следующий вид:

$$y = a + x_1^b x_2^c \quad (39)$$

где  $x_1$  – интенсивность левоповоротного потока, ед/ч;  $x_2$  – интенсивность конфликтующего потока, ед/ч;  $y$  – задержки транспортных средств при сочетании интенсивностей  $N_1$  и  $N_2$ , с;  $a \dots c$  – параметры функции (рисунок 59).

Overview			
Name	Power Model D		
Kind	Regression		
Family	Power		
Equation	$y = a + x_1^b + x_2^c$		
# of Indep. Vars	2		
Weighting	Default		
Standard Error	0.282393742145		
Correlation Coeff. (r)	0.999622		
Coeff. of Determination (r <sup>2</sup> )	0.999244835275		
DOF	1		
AICC	0.339199		
Parameters			
	Value	Std Err	Range (95% confidence)
a	38.724066	0.201450	36.164405 to 41.283726
b	-1.900307	0.159040	-3.921105 to 0.120491
c	1.243841	0.077296	0.261702 to 2.225979
Covariance Matrix			
	a	b	c
a	0.508889	-0.198346	0.091843
b	-0.198346	0.317179	-0.154002
c	0.091843	-0.154002	0.074921

Рисунок 59 – Отчет по данным математической модели для уровня обслуживания D

Для уровня обслуживания E величина задержки регулирования находится в границах от 55 до 80 с. Из полученного массива данных по задержкам (таблица 10, 13) определены данные, соответствующие определенным интервалам уровня обслуживания (таблица 23). Значения задержек, соответствующие этому уровню

обслуживания, представлены с помощью программного продукта CurveExpert Professional [108] (рисунок 60).

Таблица 23 – Матрица значений интенсивностей, характерных для уровня обслуживания E

$N_1 \backslash N_2$	150	250	950
2500	78.97		
2000		65.11	
500			67.69

Выполненная выборка по полученным значениям (таблица 10, 13) позволяет сделать вывод о максимальных значениях интенсивности левоповоротного потока  $N_1$  и прямого конфликтующего потока  $N_2$ :

$$\left\{ \begin{array}{l} N_1 \in 150 \dots 950 \\ N_2 \in 500 \dots 2500 \end{array} \right. \xrightarrow{t_n} 65.11 \dots 78.97 \rightarrow E \quad (40)$$

где  $N_1$  – интенсивность движения левого поворота, ед/ч;  $N_2$  – интенсивность движения прямого конфликтующего потока, движущегося по одной полосе, ед/ч;  $t_n$  – время задержки ТС соотношения  $n$  ( $N_1/N_2$ ), с; E – уровень удобства.

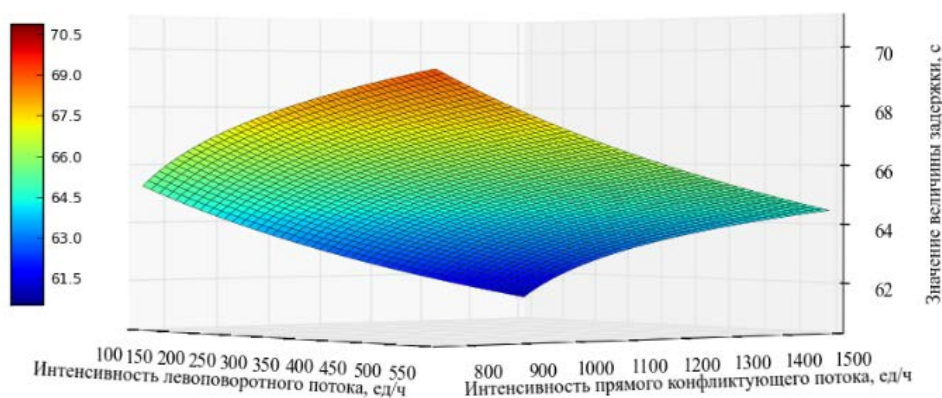


Рисунок 60 – Графическое представление изменения величины задержек при различных сочетаниях  $N_1$  и  $N_2$  для уровня обслуживания E

Математическая модель для уровня обслуживания E будет иметь следующий вид:

$$y = a \cdot (x_1^b + x_2^c) \quad (41)$$

где  $x_1$  – интенсивность левоповоротного потока, ед/ч;  $x_2$  – интенсивность конфликтующего потока, ед/ч;  $y$  – задержки транспортных средств при сочетании интенсивностей  $N_1$  и  $N_2$ , с;  $a, b, c$  – параметры функции (рисунок б1).

### Overview

Name	Power Model A
Kind	Regression
Family	Power
Equation	$y = a * (x1^b + x2^c)$
# of Indep. Vars	2
Weighting	Default
Standard Error	0.000000
Correlation Coeff. (r)	1.000000
Coeff. of Determination (r^2)	1.0
DOF	0
AICC	-181.400300

### Parameters

	Value	Std Err	Range (95% confidence)
a	66.400000	0.000000	nan to nan
b	-34.978461	0.000000	nan to nan
c	22.724256	0.000000	nan to nan

### Covariance Matrix

	a	b	c
a	0.500000	0.000000	-0.005084
b	-0.036207	7830451930045.835938	-5014737592798.917969
c	0.018103	-5014737592798.917969	3211512355773.249023

Рисунок б1 – Отчет по данным математической модели для уровня обслуживания E

Для уровня обслуживания F величина задержки регулирования является наивысшей и значение ее принимает свыше 80 с. Из полученного массива данных по задержкам (таблица 10, 13) определены данные, соответствующие определенным интервалам уровня обслуживания (таблица 24). В связи с тем, что по данно-



му уровню обслуживания, количество данных является максимальным, матрица представлена с учетом допустимого предела по выбранному шагу интенсивности для левого поворота и прямого конфликтующего потока. Значения задержек, соответствующие этому уровню обслуживания, представлены с помощью программного продукта CurveExpert Professional [108] (рисунок 62).

Таблица 24 – Матрица значений интенсивностей, характерных для уровня обслуживания F

$N_1 \backslash N_2$	50	50	50	50	50	...	$\lim N_1$ 1000
3500	490.77						
4000		1025.72					
4500			1608.90				
5000				1938.18			
5500					2299.03		
...						...	
$\lim N_2$ 6000							...

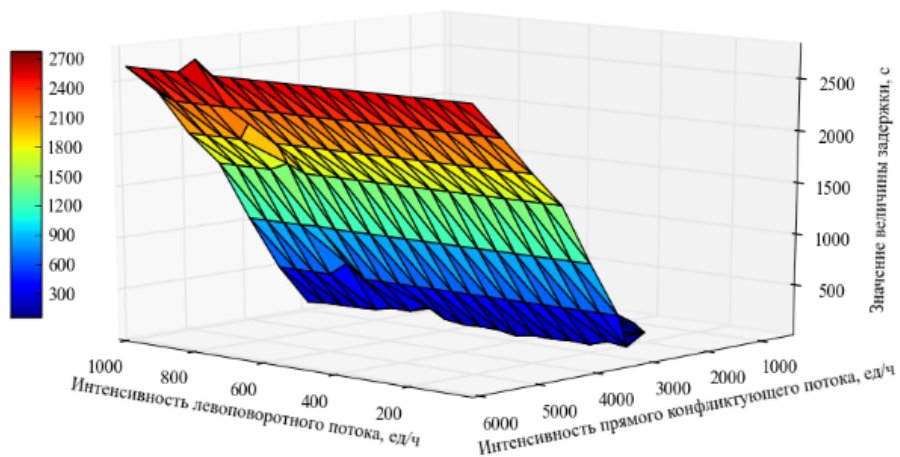


Рисунок 62 – Графическое представление изменения величины задержек при различных сочетаниях  $N_1$  и  $N_2$  для уровня обслуживания F

Выполненная выборка по полученным значениям (таблица 10, 13) позволяет сделать вывод о максимальных значениях интенсивности левоповоротного потока  $N_1$  и прямого конфликтующего потока  $N_2$ :



$$\left\{ \begin{array}{l} N_1 \in 50 \dots 1000 \\ N_2 \in 3500 \dots 6000 \end{array} \right. \xrightarrow{t_n} > 80 \rightarrow F \quad (42)$$

где  $N_1$  – интенсивность движения левого поворота, ед/ч;  $N_2$  – интенсивность движения прямого конфликтующего потока, движущегося по одной полосе, ед/ч;  $t_n$  – время задержки ТС соотношения  $n$  ( $N_1/N_2$ ), с;  $F$  – уровень удобства.

Математическая модель для уровня обслуживания  $F$  будет иметь следующий вид:

$$y = a + bx_1 + cx_2 + dx_1^2 + cx_2^2 + fx_1^3 + gx_2^3 + hx_1x_2 + ix_1^2x_2 + jx_1x_2^2 \quad (43)$$

где  $x_1$  – интенсивность левоповоротного потока, ед/ч;  $x_2$  – интенсивность конфликтующего потока, ед/ч;  $y$  – задержки транспортных средств при сочетании интенсивностей  $N_1$  и  $N_2$ , с;  $a \dots j$  – параметры функции (рисунок 63).

В результате выполненного математического анализа данных, были определены основные пределы по сочетанию критических интенсивностей для левого поворота и прямого конфликтующего потока, характеризуемые коэффициентом соотношения. Каждый полученный коэффициент можно описать соответствующим значением характеристики транспортного потока (длины очереди, величины задержки и скорости движения). Исследование изменения данных показателей при использовании светофорного регулирования и сопоставление полученных данных со значением величины задержки, характерной для соответствующего уровня обслуживания, в ходе выполнения исследования позволило определить соответствующие области, характеризуемые начальными параметрами – интенсивностью и определить соответствующие области для каждого уровня. Для каждого уровня обслуживания, по результату математического анализа определена математическая модель и ее основные параметры.

## Overview

Name	Full Cubic
Kind	Regression
Family	Polynomial
Equation	$y = a + b*x1 + c*x2 + d*x1^2 + e*x2^2 + f*x1^3 + g*x2^3 + h*x1*x2 + i*x1^2*x2 + j*x1*x2^2$
# of Indep. Vars	2
Weighting	Default
Standard Error	157.936281778
Correlation Coeff. (r)	0.985520
Coeff. of Determination (r^2)	0.971248804124
DOF	188
AICC	2013.323985

## Parameters

	Value	Std Err	Range (95% confidence)
a	1316.969924	443.078819	442.924868 to 2191.014980
b	0.823564	1.165557	-1.475687 to 3.122815
c	-1.651279	0.246450	-2.137443 to -1.165115
d	0.000078	0.001376	-0.002636 to 0.002791
e	0.000545	0.000053	0.000441 to 0.000650
f	-0.000000	0.000001	-0.000002 to 0.000001
g	-0.000000	0.000000	-0.000000 to -0.000000
h	-0.000264	0.000302	-0.000860 to 0.000331
i	0.000000	0.000000	-0.000000 to 0.000000
j	0.000000	0.000000	-0.000000 to 0.000000

## Covariance Matrix

	a	b	c	d	e	f	g	h	i	j
a	7.870425	-0.017773	-0.004021	0.000015	0.000001	-0.000000	-0.000000	0.000005	-0.000000	-0.000000
b	-0.017773	0.000054	0.000007	-0.000000	-0.000000	0.000000	0.000000	-0.000000	0.000000	0.000000
c	-0.004021	0.000007	0.000002	-0.000000	-0.000000	0.000000	0.000000	-0.000000	0.000000	0.000000
d	0.000015	-0.000000	-0.000000	0.000000	0.000000	-0.000000	-0.000000	0.000000	-0.000000	-0.000000
e	0.000001	-0.000000	-0.000000	0.000000	0.000000	-0.000000	-0.000000	0.000000	-0.000000	-0.000000
f	-0.000000	0.000000	0.000000	-0.000000	-0.000000	0.000000	0.000000	-0.000000	0.000000	0.000000
g	-0.000000	0.000000	0.000000	-0.000000	-0.000000	0.000000	0.000000	-0.000000	0.000000	0.000000
h	0.000005	-0.000000	-0.000000	0.000000	0.000000	-0.000000	-0.000000	0.000000	-0.000000	-0.000000
i	-0.000000	0.000000	0.000000	-0.000000	-0.000000	0.000000	0.000000	-0.000000	0.000000	0.000000
j	-0.000000	0.000000	0.000000	-0.000000	-0.000000	0.000000	0.000000	-0.000000	0.000000	0.000000

Рисунок 63 – Отчет по данным математической модели для уровня обслуживания F

В дальнейшем, с целью практического применения полученных результатов, был разработан алгоритм выбора необходимого способа организации движения для левоповоротного потока в зоне регулируемого перекрестка.

### **3.3 Разработка алгоритма определения необходимого способа организации движения левого поворота в зоне регулируемого перекрестка**

В ходе выполненного литературного обзора в главе 1 было установлено, что на сегодняшний день не существует научно обоснованного подхода к выбору необходимого способа организации движения левоповоротного потока при использовании светофорного регулирования. По результату натурного исследования основных регулируемых перекрестков г. Воронеж определено, что во многих случаях схемы организации рассматриваемого направления (левого поворота) являются несовершенными, что подтверждается повышенными транспортными характеристиками. Научное исследование процесса движения и детальное рассмотрение конфликта «левый поворот – прямой конфликтующий поток» позволило определить изменение основных характеристик транспортного потока, таких как время задержки, скорость движения и длина очереди. С целью упрощения использования полученных результатов в пользование предлагается ввести коэффициент соотношения, значение которого будет охарактеризовано определёнными числовыми данными транспортного потока.

Дальнейшим результатом разработанного метода, а именно подхода с использованием введенного коэффициента соотношения явился анализ соответствующих пределов по уровню обслуживания, характеризуемым своеобразным значением задержки транспортных средств. По каждому уровню обслуживания была получена математическая модель, определяющая зависимость параметров интенсивности рассматриваемого конфликта и значения задержки автомобилей [109]. В результате выполненного математического анализа и полученных зависимостей на следующем этапе был разработан алгоритм выбора необходимого способа организации движения левого поворота в зоне регулируемого перекрестка (рисунок 64), (таблица 25).

По результату анализа изменения основных величин транспортного потока при исследовании конфликта «левый поворот-прямой конфликтующий поток» таких как скорость, длина очереди и величина задержки, в пользовании предлагает-

ся ввести коэффициент соотношения, который и будет служить основной величиной при выборе необходимого способа организации движения левого поворота на регулируемом перекрестке. Каждое значение коэффициента будет охарактеризовано соответствующим значением основных величин, которые будут наблюдаться на перекрестке. Связав полученное значение коэффициента со значением величины задержки автомобилей, возможно определить уровень обслуживания на перекрестке и тем самым определить необходимый способ организации движения, что подробно отображено в таблице 25.

При организации движения на регулируемом участке по «способу 1» предполагается возможность движения транспортных средств осуществляющих движение налево совместно с прямо движущимся транспортным потоком из одной полосы в одной фазе регулирования. При данном способе организации движения на перекрестке будет обеспечен уровень обслуживания  $A$  при котором величина задержки автомобилей не будет превышать 10 с, данный способ возможен при различных сочетаниях интенсивности рассматриваемого конфликта, при котором интенсивность левого поворота  $N_1$  будет находиться в пределах от 50 до 400 ед/ч ( $N_{1min} \geq 50$ ,  $N_{1max} \leq 400$ ), интенсивность прямого конфликтующего потока  $N_2$  будет находиться в пределах от 500 до 2000 ед/ч ( $N_{2min} \geq 500$ ,  $N_{2max} \leq 2000$ ). В зависимости от полученного сочетания интенсивностей определен коэффициент соотношения, характеризуемый определенным значением транспортной задержки, которая по описываемому «способу 1» не превышает 10 с. Определенные коэффициенты соотношения для данного способа будут находиться в соответствующих для каждого сочетания интенсивностей пределах от 0,03 до 0,8 ( $k_{N1/N2} \in 0,03 \dots 0,8$ ). Каждый коэффициент характеризуется соответствующим значением:

- задержки ( $t_n$ ), то они соответственно будут измеряться в пределах от 2,69 до 9,45 ( $t_n \in 2,69 \dots 9,45$ );
- длина очереди ( $l_n$ ), для рассматриваемого способа организации движения изменяется от 0,85 до 2,33 авт ( $l_n \in \approx 1 \dots 3$ );
- скорость движения ( $v_n$ ), аналогично рассматриваемым величинам изменяется в пределах от 48,7 до 52,7 км/ч ( $v_n \in 48,7 \dots 52,7$ ).

При организации данного способа движения левого поворота совместно с прямым по результатам анализа установлено, что будет достигнут уровень обслуживания А, в котором задержка не превышает 10 с.

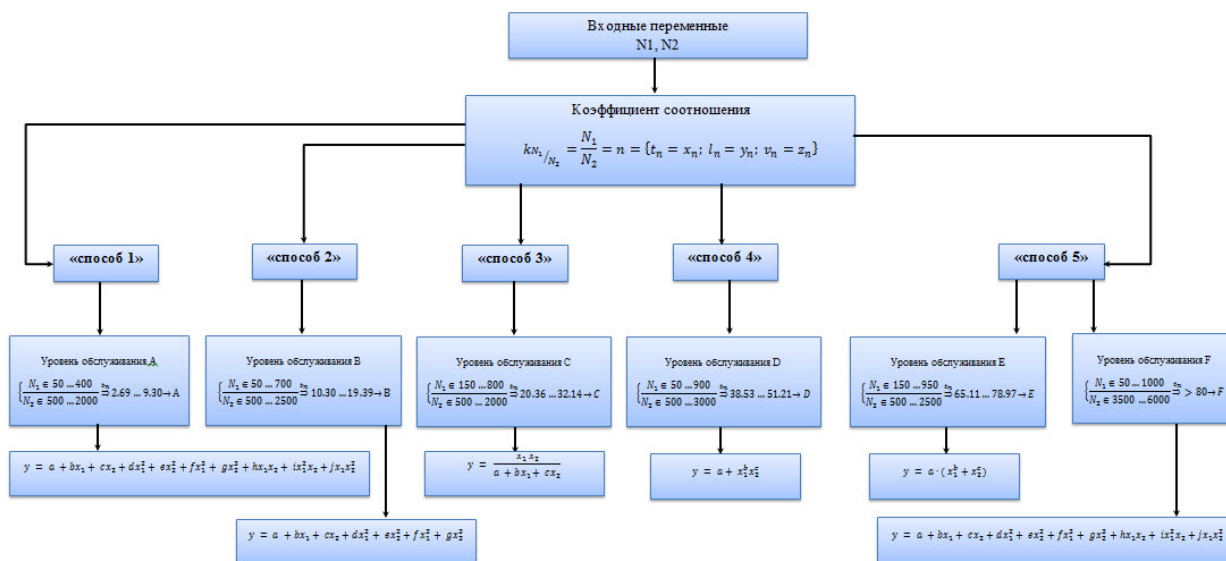
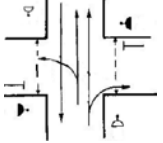
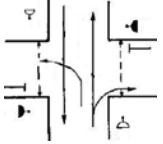
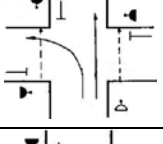
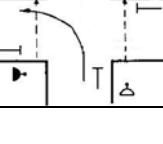


Рисунок 64 – Предлагаемый алгоритм выбора необходимого способа организации движения левоповоротного потока на регулируемом перекрестке

При организации второго способа «способа 2» на регулируемом перекрестке рекомендуется выделить специализированную полосу для транспортных средств движущихся налево, в связи с тем, что при заданных сочетаниях интенсивности рассматриваемого конфликта (таблица 16) достигается уровень В, при котором величина задержки находится в пределе от 10 до 20 с. С целью снижения заторовых ситуаций и улучшения транспортной ситуации на перекрестке необходимо выделить полосу для выполнения рассматриваемого маневра, но исключить возможность специализации фазы, т.е. разрешить движение в одной фазе регулирования совместно с прямым и конфликтующим прямым потоком транспортных средств. При данном способе организации движения на перекрестке будет обеспечен уровень обслуживания В, данный способ возможен при различных сочетаниях интенсивности рассматриваемого конфликта, при котором интенсивность левого поворота  $N_1$  будет находиться в пределе от 50 до 700 ед/ч ( $N_{1min} \geq 50$ ,  $N_{1max} \leq 700$ ), интенсивность прямого конфликтующего потока  $N_2$  будет находиться в пределе от 500 до 2500 ед/ч ( $N_{2min} \geq 500$ ,  $N_{1max} \leq 2500$ ).

Таблица 25 – Способы организации движения левоповоротного потока по уровням обслуживания

Тип	Схема движения	Пороговые значения, ед/ч	Коэффициент	Задержки, с	Длина очереди, авт	Скорость, км/ч	Уравнение	Уровень обслуживания
1 способ		1) $N_2 = 500, N_1 = 50-400$ ; 2) $N_2 = 1000, N_1 = 50-200$ ; 3) $N_2 = 1500, N_1 = 50-100$ ; 4) $N_2 = 2000, N_1 = 50$	1) 0,1 - 0,8; 2) 0,05 - 0,2; 3) 0,03 - 0,07; 4) 0,03	1) 2,69 - 9,3; 2) 4,14 - 9,45; 3) 5,92 - 7,39; 4) 8,73	1) 0,18 - 0,82; 2) 0,85 - 0,9; 3) 1,42 - 1,58; 4) 2,33	1) 52,7 - 48,7; 2) 51,93 - 49,57; 3) 50,81 - 50,17; 4) 49,06	$y = a + bx_1 + cx_2 + dx_1^2 + ex_2^2 + fx_1^3 + gx_2^3 + hx_1x_2 + ix_1^2x_2 + jx_1x_2^2$	A ( $\leq 10$ с)
2 способ		1) $N_2 = 500, N_1 = 450-700$ ; 2) $N_2 = 1000, N_1 = 250-300$ ; 3) $N_2 = 1500, N_1 = 150-250$ ; 4) $N_2 = 2000, N_1 = 100$ ; 5) $N_2 = 2500, N_1 = 50$	1) 0,9 - 1,4; 2) 0,25 - 0,3; 3) 0,1 - 0,17; 4) 0,05; 5) <b>0,02</b>	1) 11,46 - 19,16; 2) 10,3 - 16,29; 3) 11,52 - 19,28; 4) 10,67; 5) <b>14,56</b>	1) <b>0,97 - 1,37</b> ; 2) 0,97 - 1,12; 3) 1,5 - 1,6; 4) 2,58; 5) <b>3,93</b>	1) <b>47,75 - 44,72</b> ; 2) 49,07 - 47,02; 3) 48,5 - 46,42; 4) 48,48; 5) <b>46,15</b>	$y = a + bx_1 + cx_2 + dx_1^2 + ex_2^2 + fx_1^3 + gx_2^3$	B (10-20 с)
3 способ		1) $N_2 = 500, N_1 = 750-800$ ; 2) $N_2 = 1000, N_1 = 350-500$ ; 3) $N_2 = 2000, N_1 = 150$	1) 1,5 - 1,6; 2) 0,35 - 0,5; 3) <b>0,08</b>	1) 24,4 - 29,28; 2) 21,18 - 30,69; 3) <b>20,97</b>	1) <b>1,8 - 2,05</b> ; 2) 1,1 - 1,35; 3) <b>2,48</b>	1) <b>42,95 - 41,62</b> ; 2) 45,96 - 43,62; 3) <b>45,73</b>	$y = \frac{x_1 x_2}{a + bx_1 + cx_2}$	C (20-35 с)
4 способ		1) $N_2 = 500, N_1 = 850-900$ ; 2) $N_2 = 2500, N_1 = 100$ ; 3) $N_2 = 3000, N_1 = 50$	1) 1,7 - 1,8; 2) 0,04; 3) <b>0,02</b>	1) 38,53 - 38,93; 2) 41,39; 3) <b>51,21</b>	1) <b>1,9 - 2,18</b> ; 2) 5,37; 3) <b>11,38</b>	1) <b>39,91 - 39,47</b> ; 2) 40,53; 3) <b>37,24</b>	$y = a + x_1^b x_2^c$	D (35 -55 с)
5 способ	Запрет выполнения маневра «левоповорот», организация вне зоны перекрестка	1) $N_2 = 1500, N_1 = 100$ ; 2) $N_2 = 1250, N_1 = 250$ ; 3) $N_2 = 1000, N_1 = 400$ ; 4) $N_2 = 750, N_1 = 550$	1) 0,07; 2) 0,2; 3) 0,4; 4) 0,73	1) 62,01; 2) 60,52; 3) 70,91; 4) 67,68	1) 7,6; 2) 4,18; 3) 2,85; 4) 31,87.	1) 34,5; 2) 39,39; 3) 39,74; 4) 37,59	$y = a \cdot (x_1^b + x_2^c)$	E (55 -80 с)
		1) $N_2 = 1750-3000, N_1 = 50-100$ ; 2) $N_2 = 1500-3000, N_1 = 150-250$ ; 3) $N_2 = 1250-3000, N_1 = 300$ ; 4) $N_2 = 1000-3000, N_1 = 350$ ; 5) $N_2 = 1250-3000, N_1 = 400$ ; 6) $N_2 = 1000-3000, N_1 = 450-550$	1) 0,02-0,06; 2) 0,05-0,17; 3) 0,1-0,24; 4) 0,12-0,35; 5) 0,13-0,32; 6) 0,15-0,55	1) 240,18-2644,97; 2) 181,3-2576,1; 3) 186,86-2576,1; 4) 97,81-2576,1; 5) 230,18-2576,1; 6) 140,24-2576,1	1) 36,28-708,75; 2) 12,78-684,7; 3) 18,73-729,55; 4) 2,43-742,83; 5) 30,4-757,25; 6) 7,92-843,25	1) 5,16-16,62; 2) 5-33,53; 3) 5-30,75; 4) 4,99-37,34; 5) 4,76-38,22; 6) 4,76-37,52	$y = a + bx_1 + cx_2 + dx_1^2 + cx_2^2 + fx_1^3 + gx_2^3 + hx_1x_2 + ix_1^2x_2 + jx_1x_2^2$	F (>80 с)

В зависимости от полученного сочетания интенсивностей определен коэффициент соотношения, характеризуемый определенным значением транспортной задержки, которая по описываемому «способу 2» находится в пределе от 10 до 20 с. Определенные коэффициенты соотношения для данного способа будут находиться в соответствующих для каждого сочетания интенсивностей пределах от 0,02 до 1,4 ( $k_{N_1/N_2} \in 0,02 \dots 1,4$ ). Каждый коэффициент характеризуется соответствующим значением:

- задержки ( $t_n$ ), которые изменяются в пределе 10,3 до 19,28 ( $t_n \in 10,3 \dots 19,28$ );
- длина очереди ( $l_n$ ), для рассматриваемого способа организации движения изменяется от 0,97 до 3,93 авт. ( $l_n \in \approx 1 \dots 4$ );
- скорость движения ( $v_n$ ), аналогично рассматриваемым величинам изменяется в пределе от 46,15 до 49,07 км/ч ( $v_n \in 46,15 \dots 49,07$ ).

При организации данного способа движения левого поворота по специализированной полосе по результатам анализа установлено, что будет достигнут уровень обслуживания В, в котором задержка составит от 10 до 20 с.

Использование полученных значений при «способе 3», подразумевает специализацию левоповоротного потока в отдельной полосе и удлинение фазы регулирования, в связи с тем что для данного способа организации движения будет обеспечен уровень обслуживания С, характеризуемый значением задержки в пределе от 20 до 35 с.. Целесообразно будет выделить дополнительное время для движения рассматриваемого потока с возможностью движения прямого направления – удлинение фазы регулирования. Реализация «способа 3» возможна при различных сочетаниях интенсивности рассматриваемого конфликта, при котором интенсивность левого поворота  $N_1$  будет находиться в пределе от 150 до 800 ед/ч ( $N_{1min} \geq 150$ ,  $N_{1max} \leq 800$ ), интенсивность прямого конфликтующего потока  $N_2$  будет находиться в пределе от 500 до 2000 ед/ч ( $N_{2min} \geq 500$ ,  $N_{2max} \leq 2000$ ). В зависимости от полученного сочетания интенсивностей определен коэффициент соотношения, характеризуемый определенным значением транспортной задержки, которая по описываемому «способу 3» находится в пределе от 20 до 35 с. Определенные ко-

ээффициенты соотношения для данного способа будут находиться в соответствующих для каждого сочетания интенсивностей пределах от 0,08 до 1,6 ( $k_{N_1/N_2} \in 0,08 \dots 1,6$ ). Каждый коэффициент характеризуется соответствующим значением:

- задержки ( $t_n$ ), которые изменяются в пределе от 20,97 до 30,69 ( $t_n \in 20,97 \dots 30,69$ );
- длина очереди ( $l_n$ ), для рассматриваемого способа организации движения изменяется от 1,1 до 2,48 авт. ( $l_n \in \approx 1 \dots 3$ );
- скорость движения ( $v_n$ ), аналогично рассматриваемым величинам изменяется в пределе от 41,62 до 45,96 км/ч ( $v_n \in 41,62 \dots 45,96$ ).

При организации данного способа движения левого поворота по специализированной полосе с удлинённой фазой регулирования по результатам анализа установлено, что будет достигнут уровень обслуживания  $C$ , в котором задержка составит от 20 до 35 с.

Четвёртый способ организации движения левого поворота на регулируемом перекрестке «способ 4» подразумевает под собой специализацию левого поворота в отдельной фазе регулирования, в связи с тем что полученные значения задержек при анализе рассматриваемого конфликта становятся довольно высоки, автомобили вынуждены простаивать большую часть времени, что значительно ухудшает как транспортную, так и экологическую ситуацию на регулируемом участке. При данном способе организации движения на перекрестке будет обеспечен уровень обслуживания  $D$  при котором величина задержки автомобилей будет находиться в пределе от 35 до 55 с., данный способ возможен при различных сочетаниях интенсивности рассматриваемого конфликта, при котором интенсивность левого поворота  $N_1$  будет находиться в пределе от 50 до 900 ед/ч ( $N_{1min} \geq 50, N_{1max} \leq 900$ ), интенсивность прямого конфликтующего потока  $N_2$  будет находиться в пределе от 500 до 3000 ед/ч ( $N_{2min} \geq 500, N_{2max} \leq 3000$ ). В зависимости от полученного сочетания интенсивностей определен коэффициент соотношения, характеризуемый определенным значением транспортной задержки, которая по описываемому «способу 4» находится в пределе от 35 до 55 с. Определенные коэффициенты соотношения



для данного способа будут находиться в соответствующих для каждого сочетания интенсивностей пределах от 0,02 до 1,8 ( $k_{N_1/N_2} \in 0,02 \dots 1,8$ ). Каждый коэффициент характеризуется соответствующим значением:

- задержки ( $t_n$ ), то они соответственно будут измеряться в пределах от 38,53 до 51,21 ( $t_n \in 38,53 \dots 51,21$ );
- длина очереди ( $l_n$ ), для рассматриваемого способа организации движения изменяется от 1,9 до 11,38 авт. ( $l_n \in \approx 2 \dots 12$ );
- скорость движения ( $v_n$ ), аналогично рассматриваемым величинам изменяется в пределе от 37,24 до 40,53 км/ч ( $v_n \in 37,24 \dots 40,53$ ).

При организации данного способа движения левого поворота по специализированной полосе в отдельной фазе регулирования по результатам анализа установлено, что будет достигнут уровень обслуживания D, в котором задержка составит от 35 до 55 с.

Заключительный способ организации движения «способ 5», необходим в том случае, когда при рассматриваемом конфликте «левый поворот – прямой конфликтующий поток» достигается уровень обслуживания E, характеризуемый пределом величины задержки от 55 до 80 с и уровень F, при котором задержка превышает значения 80 с. При получении таких высоких значений на регулируемом перекрестке не рекомендуется выделять специализированную полосу для левого поворота и специализировать фазу регулирования. В данном случае рекомендуется рассмотреть вариант реконструкции перекрестка с выносом рассматриваемого маневра за пределы регулируемого участка. Рассматривая каждый уровень, можно сказать что при достижении уровня E, интенсивность левого поворота  $N_1$  будет находиться в пределе от 100 до 550 ед/ч ( $N_{1min} \geq 100$ ,  $N_{1max} \leq 550$ ), интенсивность прямого конфликтующего потока  $N_2$  будет находиться в пределе от 750 до 1500 ед/ч ( $N_{2min} \geq 750$ ,  $N_{1max} \leq 1500$ ). Определенные коэффициенты соотношения для данного способа будут находиться в соответствующих для каждого сочетания интенсивностей пределах от 0,07 до 0,73 ( $k_{N_1/N_2} \in 0,07 \dots 0,73$ ). Каждый коэффициент характеризуется соответствующим значением:

- задержки ( $t_n$ ), которые изменяются в пределе от 60,52 до 70,91 ( $t_n \in 60,52 \dots 70,91$ );
- длина очереди ( $l_n$ ), для рассматриваемого способа организации движения изменяется от 2,85 до 31,87 авт. ( $l_n \in \approx 3 \dots 32$ );
- скорость движения ( $v_n$ ), аналогично рассматриваемым величинам изменяется в пределе от 34,5 до 39,74 км/ч ( $v_n \in 34,5 \dots 39,74$ ).

При достижении уровня  $F$ , интенсивность левого поворота  $N_1$  будет находиться в пределе от 50 до 550 ед/ч ( $\infty$ ) ( $N_{1\min} \geq 50$ ,  $N_{1\max} \leq 550$  ( $(\infty) \rightarrow \lim_{\infty} 700$ )), интенсивность прямого конфликтующего потока  $N_2$  будет находиться в пределе от 1000 до 3000 ед/ч ( $N_{2\min} \geq 1000$ ,  $N_{2\max} \leq 3000$ ). Определенные коэффициенты соотношения для данного способа будут находиться в соответствующих для каждого сочетания интенсивностей пределах от 0,02 до 0,55 ( $k_{N_1/N_2} \in 0,02 \dots 0,55$ ). Каждый коэффициент характеризуется соответствующим значением:

- задержки ( $t_n$ ), которые изменяются в пределе от 97,81 до 2644,97 ( $t_n \in 97,81 \dots 2644,97$ );
- длина очереди ( $l_n$ ), для рассматриваемого способа организации движения изменяется от 2,43 до 843,25 авт ( $l_n \in \approx 3 \dots 844$ );
- скорость движения ( $v_n$ ), аналогично рассматриваемым величинам изменяется в пределе от 4,76 до 38,22 км/ч ( $v_n \in 4,76 \dots 38,22$ ).

Полученные пределы для основных характеристик транспортного потока показали, что значения их довольно существенны. Так высокие значения задержек транспортных средств и как следствие высокая длина очереди и низкая скорость движения свидетельствуют о нецелесообразности обустройства дополнительной фазы регулирования для транспортных средств движущихся налево.

В результате выполненного математического анализа рассматриваемого конфликта, был разработан алгоритм выбора необходимого способа организации движения на регулируемом участке, выполнено подробное обоснование выбора и рассмотрены основные параметры изменения характеристик транспортного потока. С целью апробации разработанного алгоритма на основных нагруженных пе-

реквестках г. Воронеж выполнен эксперимент по определению необходимого способа организации движения левого поворота.

### **3.4 Апробация разработанного алгоритма**

В главе 2 был выполнен полный анализ рассматриваемых перекрестков г. Воронеж с использованием различных способов организации движения левоповоротного потока, так рассмотрены следующие виды перекрестков:

1. «Способ 1» Ленинский проспект – улица Серафимовича;
2. «Способ 2» улица Ленинградская - улица Брусилова;
3. «Способ 4» бульвар Победы – улица Антонова-Овсеенко.

Результатом исследований, явились натурные и транспортные характеристики по рассматриваемым участкам и моделирование процесса движения на них с помощью специализированного программного продукта обеспечения Aimsun [87].

В результате исследования было установлено, что на сегодняшний день схемы организации движения левого поворота являются не эффективными, в связи, с чем на перекрестках наблюдаются заторовые ситуации и многие транспортные характеристики имеют повышенное и пониженное значение [110]. С целью улучшения транспортной ситуации и плавного распределения транспортного потока, а именно гармоничного движения транспортных средств, осуществляющих поворот налево, был апробирован разработанный алгоритм (рисунок 64). Более подробно рассмотрим процесс реализации на перекрестке улица Ленинградская – улица Брусилова.

Рассмотрим задержки и скорость транспортных средств в модели перекрестка улица Ленинградская – улица Брусилова до изменения организации движения левого поворота (рисунок 65), в которой есть специализированная полоса для левого поворота.

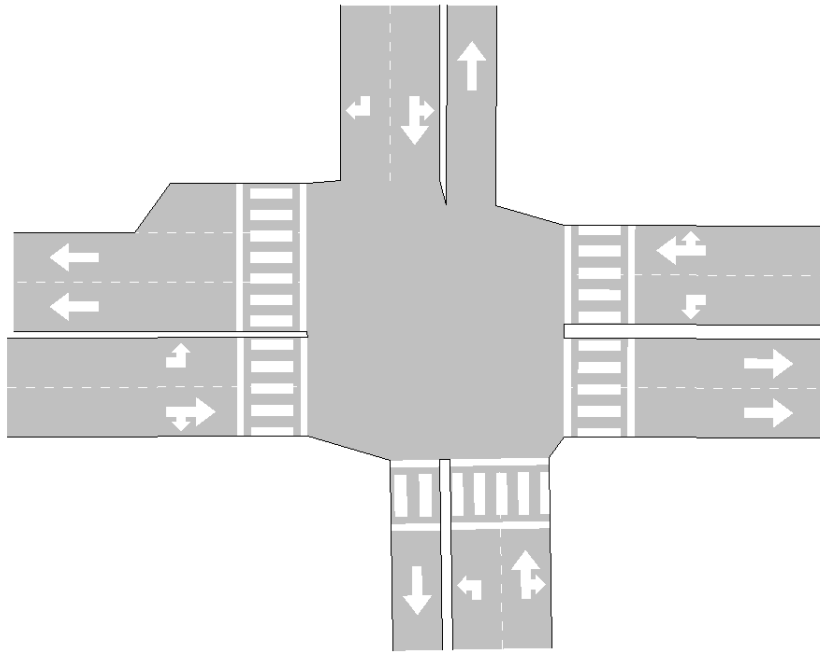


Рисунок 65 – Модель перекрестка улица Ленинградская – улица Брусилова до изменения организации движения левого поворота

Входные параметры: интенсивность левого поворота  $N_1 = 87$  ед/ч, Интенсивность встречного потока  $N_2 = 1665$  ед/ч. После запуска модели перекрестка с интенсивностями  $N_1$  и  $N_2$  получаем средние значения задержек (рисунок 66) и скорости ТС (рисунок 67) по всему перекрестку.

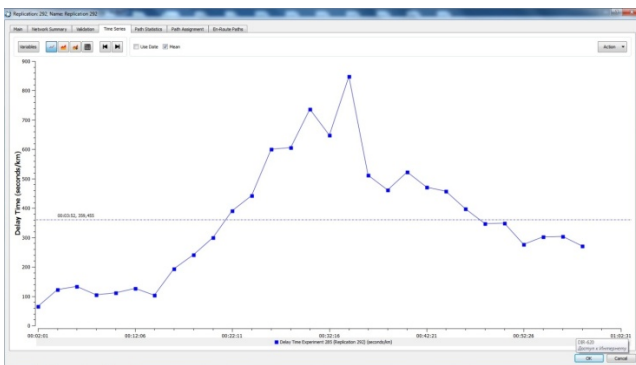


Рисунок 66 – Значения задержек на перекрестке улица Ленинградская – улица Брусилова до изменения организации движения левого поворота

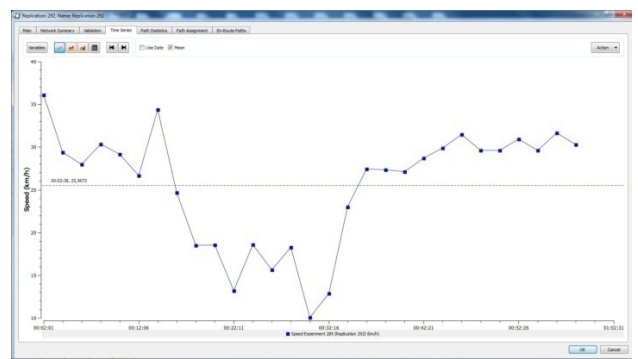


Рисунок 67 – Значения скорости на перекрестке улица Ленинградская – улица Брусилова до изменения организации движения левого поворота

Среднее значение задержек составляет 360,19 с, а среднее значение скорости ТС – 25,54 км/ч.

Чтобы подтвердить работу алгоритма по выбору способа организации дорожного движения левоповоротного потока, необходимо изменить интенсивность встречного потока  $N_2$ .

Входные параметры: интенсивность левого поворота  $N_1 = 87$  ед/ч, интенсивность встречного потока  $N_2 = 800$  ед/ч. Сочетание  $N_1 = 87$  ед/ч и  $N_2 = 800$  ед/ч включается в пороговые значения  $N_2 = 500$  ед/ч,  $N_1 = 50-400$  ед/ч, которые характерны для уровня обслуживания А, где разрешено движение левоповоротного потока совместно с прямым потоком из одной полосы движения в одной фазе регулирования (рисунок 68).

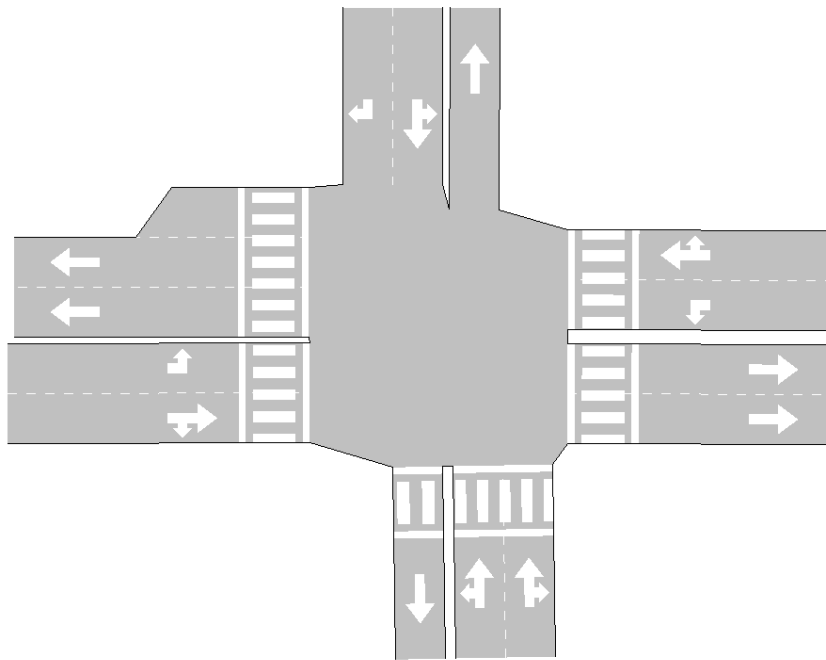


Рисунок 68 – Модель перекрестка улица Ленинградская – улица Брусилова после изменения организации движения левого поворота

После запуска модели перекрестка с интенсивностями  $N_1$  и  $N_2$  получаем средние значения задержек (рисунок 69) и скорости ТС (рисунок 70) по всему перекрестку после реорганизации.

Среднее значение задержек составляет 129,84 с, а среднее значение скорости ТС – 29,81 км/ч.

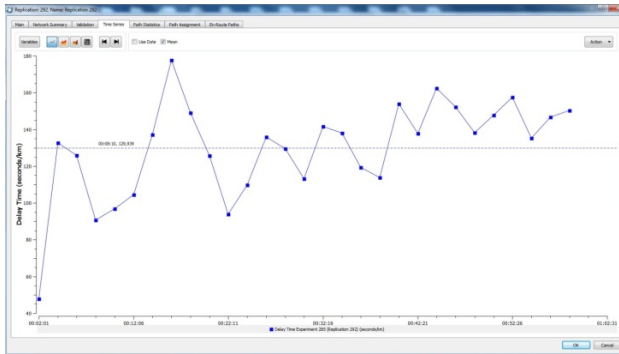


Рисунок 69 – Значения задержек на перекрестке улица Ленинградская – улица Брусилова после реорганизации движения левого поворота

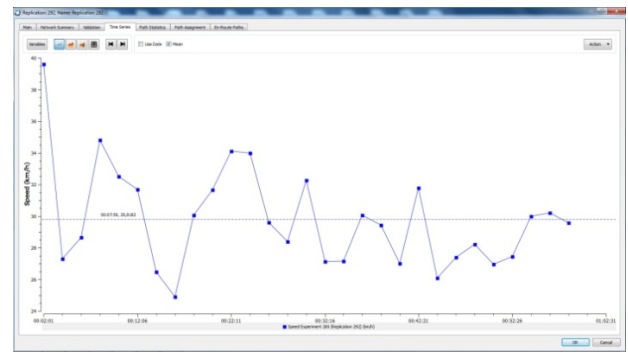


Рисунок 70 – Значения скорости на перекрестке улица Ленинградская – улица Брусилова после реорганизации движения левого поворота

Из проведенного эксперимента следует, что при интенсивностях  $N_1 = 87$  ед/ч и  $N_2 = 800$  ед/ч, которые входят в пороговые значения уровня обслуживания А, целесообразно использовать первый способ организации левого поворота (движение левоповоротного потока совместно с прямым потоком из одной полосы движения в одной фазе), так как после внедрения данного способа для этих интенсивностей средняя величина задержек уменьшилась на 63,95%, а средняя величина скорости увеличилась на 16,71% (таблица 26).

Таблица 26 – Показатели транспортного потока до и после реорганизации существующей схемы ОДД

Характеристика транспортного потока	Показатели транспортного потока при существующей схеме ОДД	Показатели транспортного потока после реорганизации существующей схемы
Задержки, с	360,19	329,84
Скорость, км/ч	25,54	29,81

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

Аналогичным образом была выполнена апробация алгоритма на остальных исследуемых участках (таблица 27).

Таблица 27 – Результаты апробации алгоритма выбора необходимого способа организации движения левоповоротного потока на основных перекрестках г. Воронеж

№ участка	Наименование участка	Существующий способ организации движения левоповоротного потока	Параметры конфликта «левый поворот-прямой конфликтующий поток» $N_1$ и $N_2$	Рекомендуемый способ организации движения левого поворота
1	Ленинский проспект – улица Серафимовича	«способ 1»	$N_1 = 150$ ед/ч $N_2 = 1000$ ед/ч	«способ 2»
2	улица Ленинградская - улица Брусиллова	«способ 2»	$N_1 = 87$ ед/ч $N_2 = 800$ ед/ч	«способ 1»
3	бульвар Победы – улица Антонова-Овсеенко	«способ 4»	$N_1 = 390$ ед/ч $N_2 = 600$ ед/ч	«способ 3»

В результате апробации разработанного алгоритма, были получены изменения основных параметров транспортного потока после изменения схемы организации движения, более подробно эффект от изменения и применения разработанного алгоритма рассмотрен в главе 4.

### 3.5 Выводы по главе 3

В главе 3 было выполнено исследование конфликта «левый поворот – прямой конфликтующий поток», определены основные значения транспортных характеристик и области их изменения. В результате выполненного математического анализа данных, были определены основные пределы по сочетанию критиче-

ских интенсивностей для левого поворота и прямого конфликтующего потока, характеризующиеся коэффициентом соотношения. Каждый полученный коэффициент можно описать соответствующим значением характеристики транспортного потока (длины очереди, величины задержки и скорости движения). Исследование изменения данных показателей при использовании светофорного регулирования и сопоставление полученных данных со значением величины задержки, характерной для соответствующего уровня обслуживания, в ходе выполнения исследования позволило определить соответствующие области, характеризующиеся начальными параметрами – интенсивностью и определить соответствующие области для каждого уровня. Для каждого уровня обслуживания, по результату математического анализа определена математическая модель и ее основные параметры.

Обосновано использование различных способов организации движения левого поворота в зоне регулируемого перекрестка:

1. «Способ 1» предполагает возможность движения транспортных средств осуществляющих движение налево совместно с прямо движущимся транспортным потоком из одной полосы в одной фазе регулирования. При данном способе организации движения на перекрестке будет обеспечен уровень обслуживания А при котором величина задержки автомобилей не будет превышать 10 с.. Данный способ возможен при различных сочетаниях интенсивности рассматриваемого конфликта, при котором интенсивность левого поворота  $N_1$  будет находиться в пределах от 50 до 400 ед/ч ( $N_{1min} \geq 50$ ,  $N_{1max} \leq 400$ ), интенсивность прямого конфликтующего потока  $N_2$  будет находиться в пределах от 500 до 2000 ед/ч ( $N_{2min} \geq 500$ ,  $N_{1max} \leq 2000$ ).

2. «Способ 2» - на регулируемом перекрестке рекомендуется выделить специализированную полосу для транспортных средств движущихся налево, в связи с тем, что при заданных сочетаниях интенсивности рассматриваемого конфликта достигается уровень В, при котором величина задержки находится в пределах от 10 до 20 с. Интенсивность левого поворота  $N_1$  будет находиться в пределах от 50 до 700 ед/ч ( $N_{1min} \geq 50$ ,  $N_{1max} \leq 700$ ), интенсивность прямого конфликтующего потока  $N_2$  будет находиться в пределах от 500 до 2500 ед/ч ( $N_{2min} \geq 500$ ,  $N_{1max} \leq 2500$ ).



3. «Способ 3» - специализация левоповоротного потока в отдельной полосе и удлинение фазы регулирования, в связи с тем что для данного способа организации движения будет обеспечен уровень обслуживания  $C$ , характеризуемый значением задержки в пределе от 20 до 35 с.. Целесообразно будет выделить дополнительное время для движения рассматриваемого потока с возможностью движения прямого направления – удлинение фазы регулирования. Реализация «способа 3» возможна при различных сочетаниях интенсивности рассматриваемого конфликта, при котором интенсивность левого поворота  $N_1$  будет находиться в пределе от 150 до 800 ед/ч ( $N_{1min} \geq 150$ ,  $N_{1max} \leq 800$ ), интенсивность прямого конфликтующего потока  $N_2$  будет находиться в пределе от 500 до 2000 ед/ч ( $N_{2min} \geq 500$ ,  $N_{1max} \leq 2000$ ).

4. «Способ 4» подразумевает под собой специализацию левого поворота в отдельной фазе регулирования, в связи с тем что полученные значения задержек при анализе рассматриваемого конфликта становятся довольно высоки, автомобили вынуждены простаивать большую часть времени, что значительно ухудшает как транспортную, так и экологическую ситуацию на регулируемом участке. При данном способе организации движения на перекрестке будет обеспечен уровень обслуживания  $D$  при котором величина задержки автомобилей будет находиться в пределе от 35 до 55 с. Данный способ возможен при различных сочетаниях интенсивности рассматриваемого конфликта, при котором интенсивность левого поворота  $N_1$  будет находиться в пределе от 50 до 900 ед/ч ( $N_{1min} \geq 50$ ,  $N_{1max} \leq 900$ ), интенсивность прямого конфликтующего потока  $N_2$  будет находиться в пределе от 500 до 3000 ед/ч ( $N_{2min} \geq 500$ ,  $N_{1max} \leq 3000$ ).

5. «Способ 5», необходим в том случае, когда при рассматриваемом конфликте «левый поворот – прямой конфликтующий поток» достигается уровень обслуживания  $E$ , характеризуемый пределом величины задержки от 55 до 80 с и уровень  $F$ , при котором задержка превышает значения 80 с. При получении таких высоких значений на регулируемом перекрестке не рекомендуется выделять специализированную полосу для левого поворота и специализировать фазу регулирования. В данном случае рекомендуется рассмотреть вариант реконструкции пе-

реквестка с выносом рассматриваемого маневра за пределы регулируемого участка. Рассматривая каждый уровень, можно сказать что при достижении уровня E, интенсивность левого поворота  $N_1$  будет находиться в пределе от 100 до 550 ед/ч ( $N_{1min} \geq 100$ ,  $N_{1max} \leq 550$ ), интенсивность прямого конфликтующего потока  $N_2$  будет находиться в пределе от 750 до 1500 ед/ч ( $N_{2min} \geq 750$ ,  $N_{1max} \leq 1500$ ).

При достижении уровня F, интенсивность левого поворота  $N_1$  будет находиться в пределе от 50 до 550 ед/ч ( $\infty$ ) ( $N_{1min} \geq 50$ ,  $N_{1max} \leq 550$  ( $(\infty) \rightarrow \lim_{\infty} 700$ )), интенсивность прямого конфликтующего потока  $N_2$  будет находиться в пределе от 1000 до 3000 ед/ч ( $N_{2min} \geq 1000$ ,  $N_{1max} \leq 3000$ ).

Апробация разработанного алгоритма была произведена на основных регулируемых перекрестках г. Воронежа, экономический эффект от использования (внедрения) описан в главе 4.

## ГЛАВА 4. ПРАКТИЧЕСКАЯ РЕАЛИЗАЦИЯ И ЭКОНОМИЧЕСКИЙ АНАЛИЗ ПРЕДЛАГАЕМЫХ МЕРОПРИЯТИЙ

### 4.1 Оценка изменения величины задержки транспортного потока на исследуемых участках г. Воронежа

В результате выполненного исследования был разработан алгоритм выбора необходимого способа организации движения левого поворота в зоне регулируемого перекрестка, основанного на анализе изменения основных характеристик транспортного потока при рассмотрении конфликта «левый поворот – прямой конфликтующий поток». Для оценки выполненного исследования и предлагаемого к выработке алгоритма выбора, на территории г. Воронеж произведена практическая реализация алгоритма и выполнен экономический анализ предлагаемых мероприятий по результатам оценки изменения величины задержки транспортных средств и снижения расхода топлива на регулируемых перекрестках.

Исследования основных затруднительных для движения перекрестков с возможностью поворота налево позволили определить 10 наиболее проблематичных участков (таблица 28, рисунок 71).

Таблица 28 – Исследуемые перекрестки с различными способами организации движения левого поворота (г. Воронеж)

№ п/п	Наименование перекрестка	Способ организации движения левоповоротного потока
1	Ленинский проспект – ул. Минская	«способ 1»
2	Ленинский проспект – ул. Серафимовича	«способ 1»
3	ул. Димитрова – ул. Калачеевская	«способ 1»
4	ул. Ворошилова – ул. Бахметьева	«способ 1»
5	ул. Ворошилова – ул. Матросова	«способ 1»
6	ул. Ленинградская – ул. Брусилова	«способ 2»
7	ул. Минская – ул. Остужева	«способ 2»
8	Ленинский проспект – ул. Брусилова	«способ 3»
9	ул. Антонова-Овсеенко – бульвар Победы	«способ 4»
10	ул. Димитрова – ул. Волгоградская	«способ 4»

Для наглядности расположения определенных регулируемых участков с использованием приложения «Яндекс. Конструктор карт» на карту г. Воронежа нанесены метки с обозначением объектов исследования (рисунок 71).

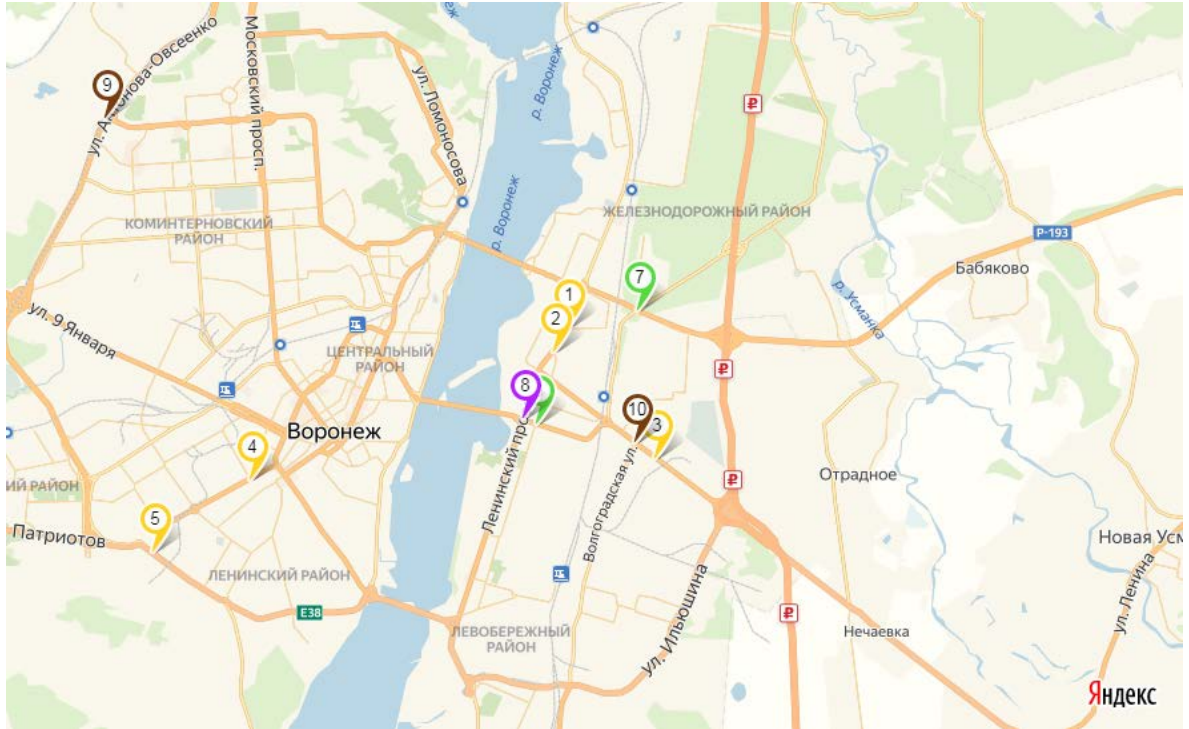


Рисунок 71 – Расположение объектов исследования (г. Воронеж)

где желтая метка (1-5) – «способ 1»; зеленая метка (6-7) – «способ 2»; фиолетовая метка (8) – «способ 3»; коричнева метка (9-10) – «способ 4»

Одним из основных показателей эффективности движения транспорта является величина задержки, согласно определению она характеризует собой как косвенные затраты водителей (потери времени, испытываемый дискомфорт, утомляемость), так и прямые затраты, а именно расход топлива при холостых оборотах двигателя на остановках. В свою очередь длительные задержки на регулируемых перекрестках свидетельствуют о неэффективности используемого режима или изначально неэффективно определенной схемы организации движения (пофазный разъезд).

В Aimsun [87], задержка управления определяется по формуле:

$$d = d_1 PF + d_2 + d_3 \quad (44)$$

где:  $d_1$  – однородная задержка, с/ТС;  $PF$  – коэффициент корректировки возможности беспрепятственного движения;  $d_2$  – случайная задержка, с/ТС;  $d_3$  – остаточная задержка, с/ТС.

Так как  $d_1$  подсчитывается путем интегрирования профиля модулей очереди, то значение  $PF$  принято 1. Таким образом, задержка в программе подсчитывается как сумма трех составляющих, аналогично классическому подсчету по формуле Ф. Вебстера [2]:

$$t_{\Delta p} = \frac{T_u(1-\lambda)^2}{2(1-\lambda x)} + \frac{x^2}{2N(1-x)} - 0,65 \left( \frac{T_u}{N^2} \right)^{1/3} x^{(2+5\lambda)} \quad (45)$$

где  $t_{\Delta p}$  – средняя задержка за цикл, с;  $T_u$  – длина цикла регулирования, с;  $x$  – степень насыщения;  $\lambda$  – отношение длительности разрешающего сигнала к циклу;  $N$  – интенсивность движения транспортных средств в рассматриваемом направлении, ед/с.

Отношение продолжительности разрешающего сигнала к продолжительности цикла, определяется для каждой фазы регулирования по формуле:

$$\lambda = \frac{t_{oj}}{T_u} \quad (46)$$

В ходе натурного обследования определенных регулируемых участков с использованием программы имитационного моделирования Aimsun [87] определены значения средней величины задержки, наблюдаемой на каждом перекрестке в пиковые периоды (таблица 29).

В результате апробации разработанного алгоритма выбора необходимого способа организации движения левоповоротного потока на основании значений интенсивностей рассматриваемого конфликта «левый поворот-прямой конфликтующий поток» были определены значения коэффициентов соотношения и в результате выработки алгоритма предложен новый способ организации движения левоповоротного потока. С целью оценки эффективности предлагаемого мероприятия в продукте имитационного моделирования Aimsun [87] были определены зна-

чения средней величины задержки при предлагаемом способе (рисунок 72). Результаты выполненного эксперимента представлены в таблице 30.

Таблица 29 – Существующие значения средней величины задержки на исследуемых регулируемых перекрестках

№ п/п	Наименование перекрестков	Существующий способ организации	Существующее значение задержки ТС, t
1	Ленинский проспект – ул. Минская	«способ 1»	63,28
2	Ленинский проспект – ул. Серафимовича	«способ 1»	225,27
3	ул. Димитрова – ул. Калачевская	«способ 1»	79,32
№ п/п	Наименование перекрестков	Существующий способ организации	Существующее значение задержки ТС, t
4	ул. Ворошилова – ул. Бахметьева	«способ 1»	205,26
5	ул. Ворошилова – ул. Матросова	«способ 1»	97,42
6	ул. Ленинградская – ул. Брусилова	«способ 2»	125,17
7	ул. Минская – ул. Остужева	«способ 2»	87,42
8	Ленинский проспект – ул. Брусилова	«способ 3»	373,38
9	ул. Антонова-Овсеенко – бульвар Победы	«способ 4»	308,52
10	ул. Димитрова – ул. Волгоградская	«способ 4»	206,14

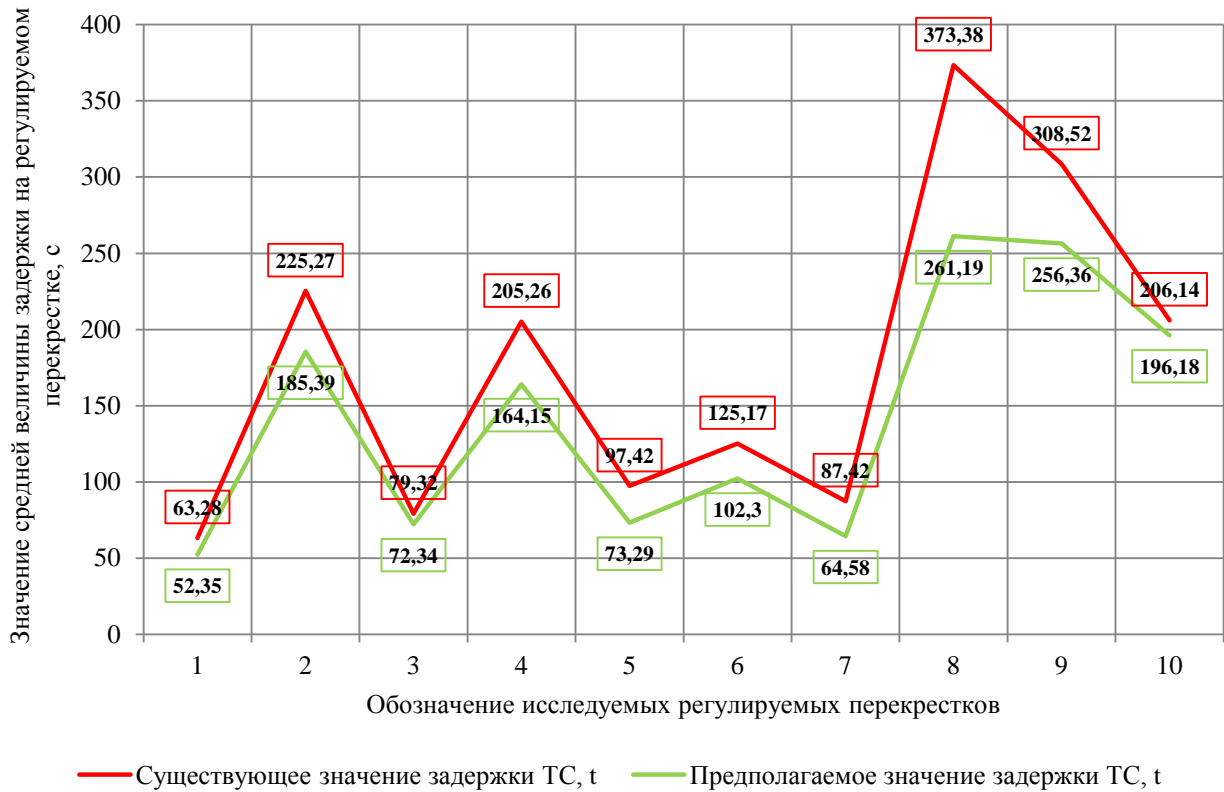


Рисунок 72 – Графики изменения средней величины задержки до и после изменения способа организации движения левоповоротного потока

В ходе моделирования и апробации алгоритма на перекрестках №3 (ул. Димитрова – ул. Калачеевская) и №10 (ул. Димитрова – ул. Волгоградская) установлено что по результату анализа конфликта «левый поворот-прямой конфликтующий поток» не требует изменения способа организации, в связи с перерасчетом цикла регулирования было получено снижение средней величины задержки (рисунок 72, таблица 30).

Таблица 30 – Оценка изменения средней величины задержки транспортных средств на исследуемых регулируемых перекрестках (г. Воронеж)

№ п/п	Наименование перекрестков	Существующий способ организации	Существующее значение задержки ТС, t (сек.)	Параметры конфликта «левый поворот-прямой конфликтующий поток» $N_1$ и $N_2$	Рекомендуемый способ организации движения левого поворота	Предполагаемое значение задержки ТС, t (сек)	Снижение средней величины задержки, сек	Изменение величины задержки, %
1	Ленинский проспект – ул. Минская	«способ 1»	63,28	$N_1 = 123$ ед/ч $N_2 = 1842$ ед/ч	«способ 3»	52,35	10,93	-17%
2	Ленинский проспект – ул. Серафимовича	«способ 1»	225,27	$N_1 = 151$ ед/ч $N_2 = 1073$ ед/ч	«способ 2»	185,39	39,88	-18%
3	ул. Димитрова – ул. Калачеевская	«способ 1»	79,32	$N_1 = 107$ ед/ч $N_2 = 892$ ед/ч	«способ 1»	72,34	6,98	-9%
4	ул. Ворошилова – ул. Бахметьева	«способ 1»	205,26	$N_1 = 168$ ед/ч $N_2 = 2075$ ед/ч	«способ 3»	164,15	41,11	-20%
5	ул. Ворошилова – ул. Матросова	«способ 1»	97,42	$N_1 = 89$ ед/ч $N_2 = 1756$ ед/ч	«способ 2»	73,29	24,13	-25%
6	ул. Ленинградская – ул. Брусилова	«способ 2»	125,17	$N_1 = 87$ ед/ч $N_2 = 800$ ед/ч	«способ 1»	102,3	22,87	-18%
7	ул. Минская – ул. Остужева	«способ 2»	87,42	$N_1 = 189$ ед/ч $N_2 = 1590$ ед/ч	«способ 3»	64,58	22,84	-26%
8	Ленинский проспект – ул. Брусилова	«способ 3»	373,38	$N_1 = 278$ ед/ч $N_2 = 2000$ ед/ч	«способ 4»	261,19	112,19	-30%
9	ул. Антонова-Овсеенко – бульвар Победы	«способ 4»	308,52	$N_1 = 390$ ед/ч $N_2 = 600$ ед/ч	«способ 3»	256,36	52,16	-17%
10	ул. Димитрова – ул. Волгоградская	«способ 4»	206,14	$N_1 = 490$ ед/ч $N_2 = 1284$ ед/ч	«способ 4»	196,18	9,96	-5%



По результатам анализа средней величины задержки на всех исследуемых перекрестках установлено, что минимальное значение средней величины задержки составляет 63,28 с (для перекрестка Ленинский проспект – ул. Минская), максимальное значение составляет 373,38 с (для перекрестка Ленинский проспект – ул. Брусилова), среднее значение для всех исследуемых перекрестков составляет 177,12 с. В ходе выработки алгоритма и анализа соотношения интенсивностей рассматриваемого конфликта «левый поворот-прямой конфликтующий поток» для рассматриваемых участков кроме пересечений №3 и №10 предложены наиболее рациональные способы организации движения левоповоротного потока. Результатом улучшения транспортной ситуации является снижение величины задержки на всех исследуемых перекрестках в среднем на 19%. Так минимально наблюдаемое значение задержки составляет 52,35 с, максимальное 261,19 и среднее по всем пересечениям 142,81 с.

Для оценки снижения расхода топлива в связи с изменением величины задержки и изменения способа организации движения левоповоротного потока в рамках диссертационного исследования выполнен анализ изменения расхода топлива на исследуемых регулируемых перекрестках г. Воронеж.

#### **4.2 Оценка изменения расхода топлива на исследуемых участках г. Воронежа**

В программе имитационного моделирования Aimsun [87], расход топлива оценивается на основе линейной комбинации полного пробега, задержек и остановок. Полученное значение расхода топлива, включает топливо, затрачиваемое во время движения, при холостых оборотах и в периоды ускорения и торможения. Математическая модель определения расхода топлива согласно исследованиям Х. Лорикса и К. Вэлиса [111] выглядит следующим образом:

$$F = k_{i1} \cdot TT + k_{i2} \cdot D + k_{i3} \cdot S \quad (47)$$

где  $F$  – расход топлива, л/ч;  $TT$  – полный пробег автомобиля на участке моделирования – км/ч;  $D$  – полная задержка, авт/ч;  $S$  – полное количество остановок в

час;  $K_{ij}$  – коэффициенты модели, служащие функциями крейсерской скорости ( $V_i$ ) на каждом сегменте  $i$  [112].

С помощью программы имитационного моделирования Aimsun были получены значения расхода топлива по каждому рассматриваемому участку при организации движения по существующему способу и предлагаемому способу организации движения левоповоротного направления в зоне регулируемого перекрестка.

В результате анализа расхода топлива на всех исследуемых перекрестках было установлено, что при существующем способе организации движения левоповоротного потока средний расход топлива составил 815,5 литров, при внедрении предлагаемых способов организации движения, основанных на анализе конфликта «левый поворот-прямой конфликтующий поток» значения расхода топлива в среднем на всех перекрестках снизилось и составило 734,2 литров ( $\downarrow 10\%$ ) (таблица 31, рисунок 73).

Экономия топлива будет определена согласно формуле:

$$\mathcal{E}_{мон.} = PACX_{сущ.} - PACX_{пол.} \quad (48)$$

где  $PACX_{сущ.}$  - средний расход топлива при существующем способе организации движения левоповоротного потока, л/ч;  $PACX_{пол.}$  - средний расход топлива при организации предлагаемого способа движения левоповоротного потока, л/ч.

Таблица 31 – Оценка изменения расхода топлива на исследуемых регулируемых перекрестках (г. Воронеж)

№ п/п	Наименование перекрестков	Существующий способ организации	Существующее значение расхода топлива $PACX_{\text{суц}}$ , литр	Рекомендуемый способ организации движения левого поворота	Предполагаемое значение расхода топлива $PACX_{\text{пред}}$ , литр	Экономия топлива, $E_{\text{топ}}$ , литр	Экономия топлива, %
1	Ленинский проспект – ул. Минская	«способ 1»	893	«способ 3»	724	169	19%
2	Ленинский проспект – ул. Серафимовича	«способ 1»	817	«способ 2»	692	125	15%
3	ул. Димитрова – ул. Калачеевская	«способ 1»	782	«способ 1»	705	77	10%
4	ул. Ворошилова – ул. Бахметьева	«способ 1»	935	«способ 3»	897	38	4%
5	ул. Ворошилова – ул. Матросова	«способ 1»	901	«способ 2»	832	69	8%
6	ул. Ленинградская – ул. Брусилова	«способ 2»	854	«способ 1»	765	89	10%
7	ул. Минская – ул. Остужева	«способ 2»	635	«способ 3»	584	51	8%
8	Ленинский проспект – ул. Брусилова	«способ 3»	823	«способ 4»	754	69	8%
9	ул. Антонова-Овсеенко – бульвар Победы	«способ 4»	781	«способ 3»	698	83	11%
10	ул. Димитрова – ул. Волгоградская	«способ 4»	734	«способ 4»	691	43	6%

Таким образом, экономия топлива на всех исследуемых перекрестках составит 813 литр/ч.

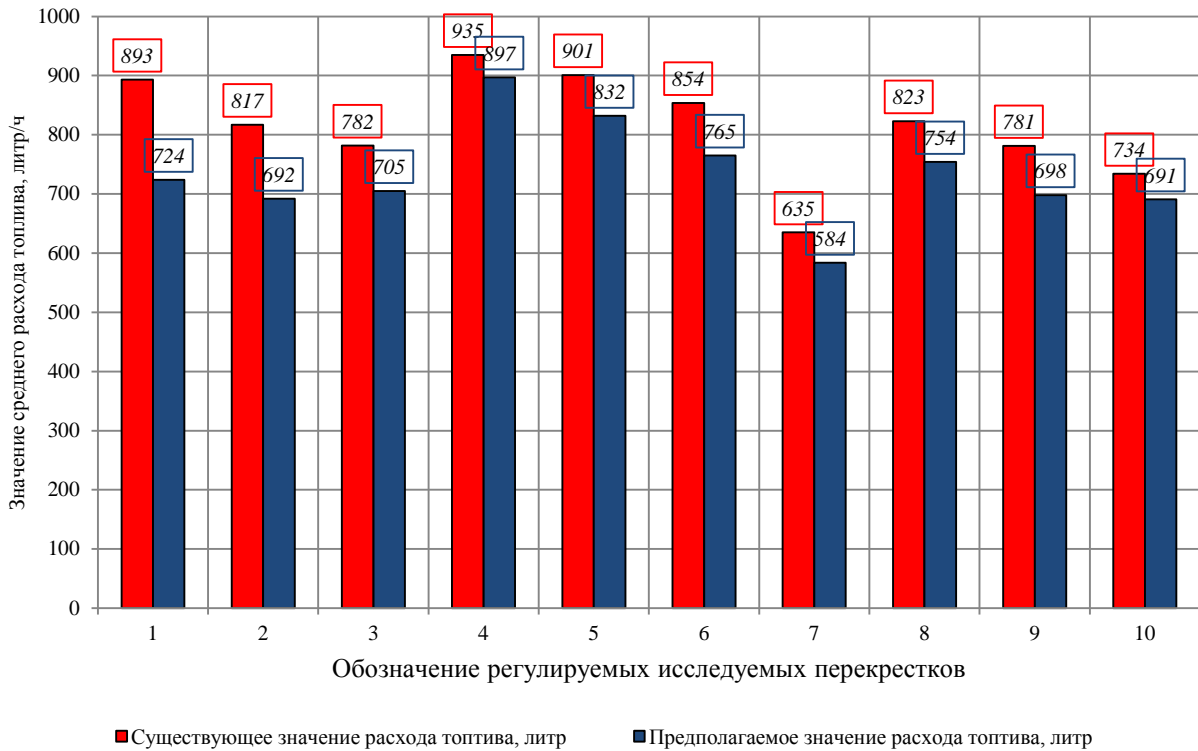


Рисунок 73 – График изменения расхода топлива при существующем и предлагаемом способе организации движения левоповоротного потока на исследуемых перекрестках (г. Воронеж)

Годовой экономический эффект будет определен:

$$\mathcal{E}_{год} = \mathcal{E}_{мон} \cdot C_{АИ-92} \cdot K_n \cdot D \quad (49)$$

где  $\mathcal{E}_{мон}$  - экономия топлива, литр./час;  $C_{АИ-92}$  - стоимость 1л. бензина марки АИ-92, руб;  $K_n$  - коэффициент неравномерности транспортного потока 0,1...0,36;  $D$  - количество дней в году.

Для расчета годового экономического эффекта, согласно натурным исследованиям  $K_n = 0,25$  [113]. Расчет годовой экономии топлива был произведен с использованием средней стоимости бензина АИ-92 – 42,00 руб.

Расчет годовой экономии на рассматриваемых пересечениях составил более 3 млн. руб. в год. Несмотря на тот факт, что на двух исследуемых перекрестках согласно исследованиям и апробации предлагаемого к выработке алгоритма не

требуется изменение способа организации движения левоповоротного потока, за счет изменения режима регулирования на них также наблюдается снижение расхода топлива (таблица 31), (рисунок 73).

Таблица 32 – Оценка изменения расхода топлива на исследуемых регулируемых перекрестках (г. Воронеж)

№ п/п	Наименование перекрестков	Существующее значение расхода топлива, литр	Предполагаемое значение расхода топлива, литр	Экономия топлива, литр	Экономия топлива, руб.
1	Ленинский проспект – ул. Минская	893	724	169	647693
2	Ленинский проспект – ул. Серафимовича	817	692	125	479063
3	ул. Димитрова – ул. Калачеевская	782	705	77	295103
4	ул. Ворошилова – ул. Бахметьева	935	897	38	145635
5	ул. Ворошилова – ул. Матросова	901	832	69	264443
6	ул. Ленинградская – ул. Брусилова	854	765	89	341093
7	ул. Минская – ул. Остужева	635	584	51	195458
8	Ленинский проспект – ул. Брусилова	823	754	69	264443
9	ул. Антоново-Овсеенко – бульвар Победы	781	698	83	318098
10	ул. Димитрова – ул. Волгоградская	734	691	43	164798

В результате изменения существующего способа организации движения левоповоротного потока на исследуемых перекрестках, происходит снижения задержек транспортных средств и как следствие, снижение расхода топлива, что в денежном эквиваленте составляет 3 115 823 руб.

Для оценки изменения снижения вредных выбросов в атмосферу, в рамках диссертационного исследования выполнена оценка изменения вредных выбросов при изменении способа организации движения левоповоротного потока на регулируемых участках г. Воронеж.

### 4.3 Снижение потерь от загрязнения воздуха

Народнохозяйственные потери от загрязнения воздуха  $C_3$  вредными веществами, поступающими в атмосферу с отработавшими газами от автомобилей в течение года на определенном участке магистрали согласно исследованиям Корчагина В.А [114], определяется с учетом удельного выброса вредных веществ (ВВ), и оценивается т/1000 км пробега или г/1 км пробега:

$$C_3 = \frac{0,365LN_{\text{пик}}m}{k_H} \sum D_{y_{oi}} C_{y_{oi}} b_i \quad (50)$$

где  $L$  - длина магистрали, км;  $N_{\text{пик}}$  - интенсивность движения автомобилей определенного типа в час пик, авт/ч;  $m$  - коэффициент, учитывающий увеличение расхода топлива при движении с частыми остановками;  $k_H$  - коэффициент неравномерности движения ( $k_H = 0,1$ );  $D_{y_{oi}}$  - удельный выброс  $i$ -го вредного вещества;  $C_{y_{oi}}$  - удельный ущерб от выброса  $i$ -го вредного вещества, р/1 т вещества;  $b_i$  - коэффициент, учитывающий влияние технического состояния транспортного средства на выброс вредных веществ (при отсутствии данных можно принимать  $b_i = 1$ ).

Согласно инструкции по расчету вредных выбросов [115] при сгорании 1 кг бензина для легковых автомобилей экологического класса выше Евро 1, удельный выброс основных загрязняющих веществ составляет:

1. Оксид углерода ( $CO$ ) – 21,5 г./кг.
2. Углеводороды в пересчете на  $CH_{1,85}$  (включая  $VOC$ , содержащиеся в топливных испарениях) ( $VOC$ ) – 2,4 г./кг.
3. Оксиды азота в пересчете на  $NO_2$  ( $NO_x$ ) – 5,8 г./кг.
4. Диоксид серы ( $SO_2$ ) – 0,54 г./кг.
5. Диоксид углерода ( $CO_2$ ) - 3120 г./кг.

Зная расход топлива на каждом из рассматриваемых пересечений и номинальное значение при сгорании 1 кг топлива [114], определено значение вредных веществ при существующем и предлагаемом способе организации движения левоповоротного потока (таблица 6). Согласно полученным данным на всех исследуемых перекрестках происходит снижение вредных выбросов. Так при использовании предлагаемых способов организации движения левоповоротного потока в

течение года возможно снизить выброс окиси углерода на 21,161 т., углеводорода на 2,363 т., окислов азота на 5,708 т. и сернистого ангидрида на 0,53 т.

Таблица 33 – Значения сокращения основных вредных веществ при использовании существующего и предлагаемого способа организации движения левоповоротного потока на исследуемых перекрестках (г. Воронеж)

№ п/п	Наименование пересечения	Δ окись углерода, т./год	Δ углеводорода, т./год	Δ окислы азота, т./год	Δ сернистый ангидрид, т./год
1	Ленинский проспект – ул. Минская	1,074	0,120	0,290	0,027
2	Ленинский проспект – ул. Серафимовича	1,082	0,121	0,292	0,027
3	ул. Димитрова – ул. Калачеевская	1,902	0,212	0,513	0,048
4	ул. Ворошилова – ул. Бахметьева	2,127	0,237	0,574	0,053
5	ул. Ворошилова – ул. Матросова	2,766	0,309	0,746	0,069
6	ул. Ленинградская – ул. Брусилова	3,114	0,348	0,840	0,078
7	ул. Минская – ул. Остужева	0,857	0,096	0,231	0,022
8	Ленинский проспект – ул. Брусилова	1,568	0,175	0,423	0,039
9	ул. Антоново-Овсеенко – бульвар Победы	4,820	0,538	1,300	0,121
10	ул. Димитрова – ул. Волгоградская	1,851	0,207	0,499	0,046

При использовании предлагаемого способа организации левоповоротного потока на исследуемых перекрестках, была снижена концентрация ВВ на 9% , что в целом улучшит экологическую ситуацию в г. Воронеж.

#### 4.4 Выводы по главе 4

Экономическая эффективность проведенного мероприятия по выбору эффективного способа организации движения левоповоротного потока с учетом анализа конфликта «левый поворот-прямой конфликтующий поток» с учетом анализа изменения основных характеристик транспортного потока (скорость, длина очереди, задержки транспортных средств) определена с учетом изменения задержек транспортных средств, снижения расхода топлива и концентрации вредных выбросов в атмосферу:

1. Изменение величины задержек на всех исследуемых пересечениях г. Воронеж показало отклонение при существующем и предлагаемом способе организации движения левоповоротного потока в среднем на 19%.

2. В результате использования предлагаемого алгоритма выбора необходимого способа организации движения левоповоротного потока на исследуемых перекрестках, в зависимости от изменения средней величины интенсивности на перекрёстке, возможным стало максимально снизить задержку на 112,19 с (30%) и минимально на 9 с (5%).

3. Экономия топлива на всех исследуемых перекрестках составила 813 литр, в результате годовой экономической оценки она составила более 3 млн.руб.

4. Предлагаемый метод выбора необходимого способа организации движения левоповоротного потока в зоне регулируемого перекрестка в совокупности со снижением задержек и снижением расхода топлива позволяет снизить концентрацию вредных выбросов, а именно снизить выброс окиси углерода на 21,161 т., углеводорода на 2,363 т., окислов азота на 5,708 т. и сернистого ангидрида на 0,53 т. и в целом снизить концентрацию вредных веществ на 9%, что в значительной мере положительно отразится на экологической обстановке в городе Воронеж.



## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В диссертационном исследовании получены следующие основные результаты, совокупность которых свидетельствует о достижении поставленной цели и решении сформулированных задач:

1. Разработаны научные подходы и методика ввода необходимого способа организации движения левого поворота. В результате выполненного математического анализа данных, были определены основные пределы по сочетанию критических интенсивностей для левого поворота и прямого конфликтующего потока, характеризуемые коэффициентом соотношения. Каждый полученный коэффициент можно описать соответствующим значением характеристики транспортного потока (длины очереди, величины задержки и скорости движения). Исследование изменения данных показателей при использовании светофорного регулирования и сопоставление полученных данных со значением величины задержки, характерной для соответствующего уровня обслуживания, в ходе выполнения исследования позволило определить соответствующие области, характеризуемые начальными параметрами – интенсивностью и определить соответствующие области для каждого уровня. Для каждого уровня обслуживания, по результату математического анализа определена математическая модель и ее основные параметры.

2. Обосновано использование различных способов организации движения левого поворота в зоне регулируемого перекрестка:

«Способ 1» предполагается возможность движения транспортных средств, осуществляющих движение налево совместно с прямо движущимся транспортным потоком из одной полосы в одной фазе регулирования. При данном способе организации движения на перекрестке будет обеспечен уровень обслуживания  $A$  при котором величина задержки автомобилей не будет превышать 10 с., данный способ возможен при различных сочетания интенсивности рассматриваемого конфликта, при котором интенсивность левого поворота  $N1$  будет находиться в пределах от 50 до 400 ед/ч ( $N1_{min} \geq 50$ ,  $N1_{max} \leq 400$ ), интенсивность прямого конфликтующего потока  $N2$  будет находиться в пределах от 500 до 2000 ед/ч ( $N2_{min} \geq 500$ ,  $N1_{max} \leq 2000$ ).

«Способ 2» - на регулируемом перекрестке рекомендуется выделить специализированную полосу для транспортных средств движущихся налево, в связи с тем, что при заданных сочетаниях интенсивности рассматриваемого конфликта достигается уровень В, при котором величина задержки находится в пределах от 10 до 20 с. Интенсивность левого поворота N1 будет находиться в пределах от 50 до 700 ед/ч ( $N1_{min} \geq 50$ ,  $N1_{max} \leq 700$ ), интенсивность прямого конфликтующего потока N2 будет находиться в пределах от 500 до 2500 ед/ч ( $N2_{min} \geq 500$ ,  $N1_{max} \leq 2500$ ).

«Способ 3» - специализация левоповоротного потока в отдельной полосе и удлинение фазы регулирования, в связи с тем, что для данного способа организации движения будет обеспечен уровень обслуживания С, характеризуемый значением задержки в пределах от 20 до 35 с. Целесообразно будет выделить дополнительное время для движения рассматриваемого потока с возможностью движения прямого направления – удлинение фазы регулирования. Реализация «способа 3» возможна при различных сочетаниях интенсивности рассматриваемого конфликта, при котором интенсивность левого поворота N1 будет находиться в пределах от 150 до 800 ед/ч ( $N1_{min} \geq 150$ ,  $N1_{max} \leq 800$ ), интенсивность прямого конфликтующего потока N2 будет находиться в пределах от 500 до 2000 ед/ч ( $N2_{min} \geq 500$ ,  $N1_{max} \leq 2000$ ).

«Способ 4» подразумевает под собой специализацию левого поворота в отдельной фазе регулирования, в связи с тем, что полученные значения задержек при анализе рассматриваемого конфликта становятся довольно высокими, автомобили вынуждены простаивать большую часть времени, что значительно ухудшает как транспортную, так и экологическую ситуацию на регулируемом участке. При данном способе организации движения на перекрестке будет обеспечен уровень обслуживания D при котором величина задержки автомобилей будет находиться в пределах от 35 до 55 с. Данный способ возможен при различных сочетаниях интенсивности рассматриваемого конфликта, при котором интенсивность левого поворота N1 будет находиться в пределах от 50 до 900 ед/ч ( $N1_{min} \geq 50$ ,  $N1_{max} \leq 900$ ), интенсивность прямого конфликтующего потока N2 будет находиться в пределах от 500 до 3000 ед/ч ( $N2_{min} \geq 500$ ,  $N1_{max} \leq 3000$ ).

«Способ 5», необходим в том случае, когда при рассматриваемом конфликте «левый поворот – прямой конфликтующий поток» достигается уровень обслуживания  $E$ , характеризуемый пределом величины задержки от 55 до 80 с и уровень  $F$ , при котором задержка превышает значения 80 с. При получении таких высоких значений на регулируемом перекрестке не рекомендуется выделять специализированную полосу для левого поворота и специализировать фазу регулирования. В данном случае рекомендуется рассмотреть вариант реконструкции перекрестка с выносом рассматриваемого маневра за пределы регулируемого участка. Рассматривая каждый уровень, можно сказать, что при достижении уровня  $E$ , интенсивность левого поворота  $N1$  будет находиться в пределах от 100 до 550 ед/ч ( $N1_{min} \geq 100$ ,  $N1_{max} \leq 550$ ), интенсивность прямого конфликтующего потока  $N2$  будет находиться в пределах от 750 до 1500 ед/ч ( $N2_{min} \geq 750$ ,  $N1_{max} \leq 1500$ ). При достижении уровня  $F$ , интенсивность левого поворота  $N1$  будет находиться в пределах от 50 до 550 ед/ч ( $\infty$ ) ( $N1_{min} \geq 50$ ,  $N1_{max} \leq 550$  ( $(\infty) \rightarrow \lim_{\infty} 700$ )), интенсивность прямого конфликтующего потока  $N2$  будет находиться в пределах от 1000 до 3000 ед/ч ( $N2_{min} \geq 1000$ ,  $N1_{max} \leq 3000$ ).

3. В результате использования предлагаемого алгоритма выбора необходимого способа организации движения левоповоротного потока на исследуемых перекрестках, в зависимости от изменения средней величины интенсивности на перекрестке, возможным стало максимально снизить задержку на 112,19 с (30%) и минимально на 9 с (5%). Экономия топлива на всех исследуемых перекрестках составила 813 литр, в результате годовой экономической оценки она составила более 3 млн.руб.

4. Предлагаемый метод выбора необходимого способа организации движения левоповоротного потока в зоне регулируемого перекрестка в совокупности со снижением задержек и снижением расхода топлива позволяет снизить концентрацию вредных выбросов, а именно снизить выброс окиси углерода на 21,161 т., углекислого газа на 2,363 т., окислов азота на 5,708 т. и сернистого ангидрида на 0,53 т. и в целом снизить концентрацию вредных веществ на 9%, что в значительной мере положительно отразится на экологической обстановке в городе Воронеж.

**СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ**

1. Highway Capacity Manual // TRB, Washington, DC, - 2000. – 1134 p.
2. Кременец, Ю. А. Технические средства организации дорожного движения : учебник / Ю. А. Кременец, М. П. Печерский, М. Б. Афанасьев. – М.: ИКЦ «Академкнига», 2005. – 279 с.
3. Левашев, А. Г. Проектирование регулируемых пересечений : учеб. пособие / А. Г. Левашев, А. Ю. Михайлов, И. М. Головных. – Иркутск : Изд-во ИрГТУ, 2007. – 208 с.
4. Signalized Intersection Capacity Method. NCHRP Project 3-28(2). JHK & Associates, Tucson, Ariz., Feb. 1983.
5. Signalized Intersection Capacity Study. Final Report, NCHRP, Project 3-28(2). JHK & Associates, Tucson, Ariz., Dec. 1982.
6. Berry, D. S. Other Methods for Computing Capacity of Signalized Intersections. Presented at the 56th Annual Meeting of the Transportation Research Board, Washington, D.C., Jan. 1977.
7. Berry, D. S., and P. K. Gandhi. Headway Approach to Intersection Capacity // In Highway Research Record 453, HRB, National Research Council, Washington, D.C., 1973, pp. 56–60.
8. Miller, A. J. The Capacity of Signalized Intersections in Australia // Australian Road Research Bulletin.
9. Australian Road Research Board, Kew, Victoria, Australia, 1968.
10. Webster, F. V., and B. M. Cobbe. Traffic Signals. Her Majesty's Stationery Office, London, England, 1966.
11. Petersen, B. E., and E. Imre. Swedish Capacity Manual. Stockholm, Sweden, Feb. 1977.
12. American Association of State Highway and Transportation Officials. A Policy on Geometric Design of Highways and Streets. Washington, D.C., 1990.
13. Koepke F. J., Levinson H. S. NCHRP Report 348: Access Management Guidelines for Activity Centers. TRB, National Research Council, Washington, D.C., 1992.

14. Harwood D. W., Pietrucha M. T., Wooldridge M. D., Brydia R. E., Fitzpatrick K. NCHRP Report 375: Median Intersection Design. TRB, National Research Council, Washington, D.C., 1995.
15. ГОСТ Р 52289-2004 Технические средства организации дорожного движения. Правила применения дорожных знаков, разметки, светофоров, дорожных ограждений и направляющих устройств : национальный стандарт РФ. - утв. 15 декабря 2004 г. - N 120-ст.
16. ОДМ 218.6.003-2011. Отраслевой дорожный методический документ. Методические рекомендации по проектированию светофорных объектов на автомобильных дорогах / РОСАВТОДОР. - М. : Федеральное дорожное агентство. М.: 2013. - 69 с.
17. Капитанов, В. Т. Управление транспортными потоками в городах / В. Т. Капитанов, Е. Б. Хилажев. – М. : Транспорт, 1985. – 144 с.
18. Капитанов, В. Т. Методика расчета светофорного цикла / В. Т. Капитанов, С. В. Шауро. – М. : МВД СССР ВНИИБД, 1989. – 50 с.
19. Клинковштейн, Г. И. Организация дорожного движения / Г. И. Клинковштейн, М. Б. Афанасьев. – М. : Транспорт, 1997. – 230 с.
20. Власов, А. А. Адаптивные системы управления дорожным движением в городах : монография / А. А. Власов. – Пенза : Изд-во ПГУАС, 2012. – 162 с.
21. Печерский, М. П. Автоматизированные системы управления дорожным движением / М. П. Печерский, В. Г. Хорович. – М. : Транспорт, 1979. – 175 с.
22. ГОСТ Р 52399—2005. Геометрические элементы автомобильных дорог. Национальный стандарт РФ. - утв. Приказом Ростехрегулирования от 22.11.2005 N 297-ст.
23. СНиП II-К.3-62. Строительные нормы и правила. Часть II, раздел К. Гл. 3. Улицы, дороги и площади населенных мест. Нормы проектирования. Дата введения 1963-07-01. - URL: <http://docs.cntd.ru/document/1200072835>.
24. Клинковштейн, Г. И. Организация дорожного движения : учеб. для вузов / Г. И. Клинковштейн, М. Б. Афанасьев. - 5-е изд., перераб. и доп. –М. : Транспорт, 2001. – 247 с.

25. СНИП2.05.02– 85 Автомобильные дороги / Минстрой России .– утв. постановлением Госстроя СССР от 17 декабря 1985 г. N 233, с изм. и доп. М.:ГУПЦПП,1997. – 55 с.
26. Левашев, А. Г. Состояние методов расчета регулируемых пересечений / А. Г. Левашев, А. Ю. Михайлов // Вестник Иркутского государственного технического университета. - 2003. - № 3-4 (15-16). - С. 71-76.
27. Федотова, Е. В. Светофорное регулирование. Определение структуры светофорного цикла / Е. В. Федотова, Т. И. Михеева, С. В. Михеев // ИТ& ТРАНСПОРТ : сборник научных статей. – Самара : НПЦ "Интеллектуальные транспортные системы, 2017. - С. 89-98.
28. Денисов, Г. А. Повышение эффективности управления движением в транспортных узлах путем применения адаптивных исполнительных элементов / Г. А. Денисов, В. П. Белокуров, Д. В. Лихачев // Автотранспортное предприятие. - 2012. - № 6. - С. 16-18.
29. Ершов, Е. П. Технические средства организации движения: светофоры. Дорожная разметка : учебное пособие / Е. П. Ершов, Н. К. Клепик, Ю. Я. Комаров ; Федеральное агентство по образованию, Волгоградский гос. технический ун-т. - Волгоград : ВолгГТУ, 2009. - 52 с.
30. Коновалова, Т. В.Транспортная инфраструктура : учебное пособие / Т. В. Коновалова, И. Н. Котенкова. - Краснодар : Изд. дом - Юг, 2013. - 256 с.
31. Врубель, Ю. А. О потоке насыщения / Ю. А. Врубель ; Белорус. политехн. ин-т. – Минск, 1988. - 7 с. - Деп. ВЦБНТИМинавтотранса РСФСР, № 663 –ат 89.
32. Webster, F. V Traffic Signal Settings. - London, England : Her Majesty's Stationery Office, 1958.
33. Брайловский, Н. О. Управление движением транспортных средств / Н. О. Брайловский, Б. И. Грановский. – М.: Транспорт, 1975. – 112 с.
34. Васильев, А. П. Управление движением на автомобильных дорогах / А. П. Васильев, М. И. Фримштейн. – М. : Транспорта, 1979. – 296 с.
35. Kimber, R. Hollis E. Traffic Queues and Delays at Road Junctions // TRRL Laboratory Report. – 1979. - 909, U.K.

36. Spicer B.R. Variation in vehicle conflicts at T- junctions and comparison with recorded collisions // TRRL Suppl. Rept. – 1980. - N 557. - p. 90-106.
37. Akçelik R. Time-Dependent Expressions for Delay Stop Rate and Queue Length at Traffic Signals. Australian Road Research Board, Internal Report, AIR 67-1., 1980.
38. Akcelik R. Traffic signals: capacity and timing analysis. Australian Road Research Board Research Report, ARR, 1981, No.123. - 109p.
39. Miller A. J. Australian Road Capacity Guide -Provisional Introduction and Signalized Intersections. Australian Road Research Board Bulletin No.4, Superseded by ARRB report ARR No. 123, 1981.
40. H. Li, D. Wang, and Z. Qu, Research on the optimal method of cycle length for signalized intersection // Proceedings of the 8th International Conference on Applications of Advanced Technologies in Transportation Engineering. - pp. 371–376, May 2004.
41. Parking Standards Design and Good Practice, Essex Planning Officers Association, September 2009.
42. Tarko A. P. Uncertainty in saturation flow prediction. Proceedings of the Fourth International Symposium on Highway Capacity, Maui, Hawaii, June 27 – July 1, 2000, pp. 310-321.
43. Transportation Research Board, Highway Capacity Manual, National Research Council, Washington, DC, USA, 2010.
44. Day C. M., Bullock D. M., Sturdevant J. R. Cycle-length performance measures: revisiting and extending fundamentals // Transportation Research Record. – 2009. - Vol. 2128. - pp. 48–57.
45. Cheng D., Tian Z. Z., Messer C. J. Development of an improved cycle length model over the Highway Capacity Manual 2000 Quick Estimation Method // Journal of Transportation Engineering. -2005. - Vol. 131, N 12. - pp. 890–897.
46. Lan C. J. New optimal cycle length formulation for pretimed signals at isolated intersections // Journal of Transportation Engineering. 2004. - Vol. 130, N 5/ - pp. 637–647.

47. Han L. D., Li J.-M. Short or long-which is better? Probabilistic approach to cycle length optimization // *Transportation Research Record: Journal of the Transportation Research Board.* – 2007. - Vol. 2035. - pp. 150–157.
48. W. Ma, X. Yang, W. Pu, Liu Y. Signal timing optimization models for two-stage midblock pedestrian crossing // *Transportation Research Record*, 2010. - Vol. 2264. - pp. 133–144.
49. Chang T. H., Lin J.-T. Optimal signal timing for an oversaturated intersection», *Transportation Research Part B: Methodological.* – 2000. - Vol. 34, no. 6. - pp. 471-491.
50. Putha R., Quadrifoglio L., Zechman E. Comparing ant colony optimization and genetic algorithm approaches for solving traffic signal coordination under oversaturation conditions // *Computer-Aided Civil and Infrastructure Engineering.* – 2012. - Vol. 27, no. 1. - pp. 14–28.
51. Zhao L., Peng X., L. Li, Li, Z. A fast signal timing algorithm for individual oversaturated intersections // *IEEE Transactions on Intelligent Transportation Systems.* – 2011. - Vol. 12, no. 1. - pp. 280–283.
52. H. Li, D. Wang, Z. Qu, Research on the optimal method of cycle length for signalized intersection // *Proceedings of the 8th International Conference on Applications of Advanced Technologies in Transportation Engineering*, May 2004. - pp. 371–376.
53. X. Li, G. Li, S.-S. Pang, X. Yang, and J. Tian, Signal timing of intersections using integrated optimization of traffic quality, emissions and fuel consumption: a note // *Transportation Research Part D: Transport and Environment.* – 2004. - Vol. 9, no. 5. - pp. 401–407.
54. Ma D., Nakamura H. Cycle length optimization at isolated signalized intersections from the viewpoint of emission // *Traffic and Transportation Studies.* – 2010. - Vol. 383. - pp. 275–284.
55. Park B., Roupail N. M., Sacks J. Assessment of stochastic signal optimization method using microsimulation // *Transportation Research Record.* – 2001. - Vol. 1748. - pp. 40-45.



56. Kim J., Lee J., Chang M. Performance comparison between artificial neural network and analytical models for real-time cycle length design // *Transportation Research Record: Journal of the Transportation Research Board.* – 2006. - Vol. 1988. - pp. 102-115.
57. Yang X.-G., Zhao J., Wang T. Optimal cycle calculation method of signal control at Roundabout // *China Journal of Highway and Transport.* - 2008. - Vol. 21, no. 6, pp. - 90-95.
58. Kotusevski, G. A. Review of Traffic Simulation Software / G. Kotusevski, K. A. Hawick. - Technical Report CSTN-095, July 23, 2009.
59. Kim J., Lee J., Chang M. Performance comparison between artificial neural network and analytical models for real-time cycle length design // *Transportation Research Record: Journal of the Transportation Research Board.* – 2006. - Vol. 1988. - pp. 102-115.
60. Цариков, А. А. Пути повышения пропускной способности и безопасности движения поворотных маневров / А. А. Цариков // *Вестник Сибирской государственной автомобильно-дорожной академии.* - 2009. - № 3 (13). - С. 31-36.
61. Цариков, А. А. Развитие методов расчета регулируемых узлов на улично-дорожной сети / А. А. Цариков // *Вестник Уральского государственного университета путей сообщения.* - 2009. - № 3-4. - С. 118-123.
62. Цариков, А. А. Развитие методов расчета регулируемых узлов на улично-дорожной сети города : автореферат дис. ... кандидата технических наук : 05.22.01 / Цариков Алексей Алексеевич; [Место защиты: Ур.гос. ун-т путей сообщ.]. - Екатеринбург, 2010. - 18 с.
63. Поляков, А. А. Городское движение и планировка улиц / А. А. Поляков. - М.-Л. ; Госстройиздат, 1953. - 251 с.
64. Поляков, А. А. Методика расчета потребной ширины проезжей части улиц на подходах к перекресткам / А. А. Поляков // *Научные труды АКХ.* – 1950. - Вып. Д.
65. Поляков, А. А. Организация движения на улицах и дорогах / А. А. Поляков. - М. : Транспорт, 1965. - 376 с.

66. Поляков А. А. Основы транспортных расчетов по развитию путей сообщения города : автореферат на соискание ученой степени доктора технических наук/ А. А. Поляков. - М., 1956. – 27 с.
67. Цариков, А. А. Совершенствование организации движения при выполнении левых поворотов [электронный ресурс] - URL: [http://www.waksman.ru/Russian/Streets\\_net/2005/tsa.htm](http://www.waksman.ru/Russian/Streets_net/2005/tsa.htm)
68. Руководство по регулированию дорожного движения в городах. - М. : Стройиздат, 1974. – 97 с.
69. Постановление Правительства РФ от 23.10.1993 N 1090 О Правилах дорожного движения» (вместе с Основными положениями по допуску транспортных средств к эксплуатации и обязанности должностных лиц по обеспечению безопасности дорожного движения). - ред. от 23.12.2017 // ИПС КонсультантПлюс – Режим доступа: [http://www.consultant.ru/document/cons\\_doc\\_LAW\\_2709/](http://www.consultant.ru/document/cons_doc_LAW_2709/)
70. McShane, W. R., Ross, R. P. Traffic Engineering, Prentice Hall, Englewood Cliffs, 1990, New Jersey.
71. Asante S. A., Ardekani S. A., Williams J. C. 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.
72. Robert L. Gordon, Warren Tighe P. E. Traffic Control Systems Handbook, FHWA-HOP-06-006. U.S. Department of Transportation, Federal Highway Administration, Washington, DC. October 2005.
73. MnDOT Traffic Signal Timing and Coordination Manual May. – 2013. - pp. 305.
74. Владимиров, В. А. Инженерные основы организации дорожного движения / В. А. Владимиров, Г. Д. Загородников, Л. Н. Малов. - М. : Стройиздат, 1975. – 455 с.
75. Паспорт программы комплексного развития транспортной инфраструктуры городского округа город Воронеж на период до 2020 года
76. Официальный сайт Росстат. – Режим доступа: <http://voronezhstat.gks.ru>

77. Градостроительный кодекс Российской Федерации от 29.12.2004 N 190-ФЗ (ред. от 27.12.2019) : офиц. текст // ИПС КонсультантПлюс. - Режим доступа: [http://www.consultant.ru/document/cons\\_doc\\_LAW\\_51040/](http://www.consultant.ru/document/cons_doc_LAW_51040/)

78. Федеральный закон от 06.10.2003 № 131-ФЗ (ред. от 27.12.2019) «Об общих принципах организации местного самоуправления в Российской Федерации» [Электронный ресурс] // ИПС Консультант Плюс. - Режим доступа: [http://www.consultant.ru/document/cons\\_doc\\_LAW\\_44571/](http://www.consultant.ru/document/cons_doc_LAW_44571/)

79. Постановление Правительства Российской Федерации от 25.12.2015 № 1440 Об утверждении требований к программам комплексного развития транспортной инфраструктуры поселений, городских округов» [Электронный ресурс] // ИПС Консультант Плюс. - Режим доступа: [http://www.consultant.ru/document/cons\\_doc\\_LAW\\_191595/](http://www.consultant.ru/document/cons_doc_LAW_191595/)

80. Устав городского округа город Воронеж, принятый постановлением Воронежской городской Думы от 27.10.2004 № 150-І.

81. Генеральный план городского округа город Воронеж, утвержденный решением Воронежской городской Думы от 19.12.2008 № 422-ІІ

82. Распоряжение Правительства РФ от 08.01.2018 N 1-р «Об утверждении Стратегии безопасности дорожного движения в Российской Федерации на 2018 - 2024 годы» [Электронный ресурс] // ИПС Консультант Плюс. - Режим доступа: [http://www.consultant.ru/document/cons\\_doc\\_LAW\\_288413/](http://www.consultant.ru/document/cons_doc_LAW_288413/)

83. Приказ Министерства транспорта РФ от 17 марта 2015 г. N 43 «Об утверждении Правил подготовки проектов и схем организации дорожного движения» [Электронный ресурс] // ИПС Гарант. - Режим доступа: <https://base.garant.ru/71093350/>

84. ГОСТ Р 52290-2004. Национальный стандарт Российской Федерации. Технические средства организации дорожного движения. Знаки дорожные. Общие технические требования" (утв. и введен в действие Приказом Ростехрегулирования от 15.12.2004 N 121-ст)

85. ГОСТ Р 51256-2018 Технические средства организации дорожного движения. Разметка дорожная. Классификация. Технические требования

86. ГОСТ Р 52282-2004 Технические средства организации дорожного движения. Светофоры дорожные. Типы и основные параметры. Общие технические требования. Методы испытаний.
87. Aimsun Version 7.0. (R10631). Copyright (C) 1997-2011 TSS-Transport Simulation Systems.
88. Гусев, В. А. Различные подходы к моделированию транспортных потоков / В. А. Гусев // Ресурсоэнергоэффективные технологии в строительном комплексе региона. - 2014. - № 4. - С. 360-364.
89. Кураксин А. А. Совершенствование методов оценки эффективности организации дорожного движения на основе применения технологии мезоскопического моделирования транспортных потоков : специальность 05.22.10 : автореферат дис. ... кандидата технических наук / Кураксин Антон Александрович ; [Место защиты: Орлов. гос. ун-т]. Орел, 2017. - 18 с.
90. Зеликов, В. А. Анализ теоретических подходов математического моделирования динамики транспортных потоков / В. А. Зеликов // Вестник Московского государственного университета леса - Лесной вестник. - 2007. - № 4 (53). - С. 148-151.
91. Бурлуцкая, А. Г. Параметры для проверки адекватности моделирования / А. Г. Бурлуцкая, Ю. В. Семикопенко, А. Г. Шевцова // Проблемы исследования систем и средств автомобильного транспорта: сборник статей. - Вып.1. - Тула: Изд-во ТулГУ, 2017. – С. 444.
92. Якимов, М. Р. Транспортное планирование: создание транспортных моделей городов / М. Р. Якимов : монография. - М. : Логос, 2013. - С. 21-23.
93. Зырянов, В. В. Методы оценки адекватности результатов моделирования / В. В. Зырянов // Инженерный вестник Дона. - 2013. - № 2 (25). - С. 132.
94. Официальный сайт [http://statsoft.ru/products/STATISTICA\\_Base](http://statsoft.ru/products/STATISTICA_Base)
95. Михайлов, А. Ю. Современные тенденции проектирования и реконструкции улично-дорожных сетей городов / А. Ю. Михайлов, И. М. Головных. – Новосибирск : Наука, 2004. – 267 с.
96. Сильянов, В. В. Теория транспортных потоков в проектировании дорог и организации движения / В. В. Сильянов. – М. : Транспорт, 1977. – 303 с.

97. Лихачев, Д. В. Управление транспортными потоками на пересечении дорог и УДС городов / Д. В. Лихачев, С. В. Писарева, Г. А. Денисов // Актуальные направления научных исследований XXI века: теория и практика : сборник научных трудов по материалам международной заочной научно-практической конференции. - Воронеж, 2015. - № 5, ч. 2 (16-2). - С. 292-296.
98. ОДМ 218.2.020-2012 Методические рекомендации по оценке пропускной способности автомобильных дорог : / РОСАВТОДОР. – М., 2012. - 143 с.
99. Иларионов, В. А. Экспертиза дорожно-транспортных происшествий / В. А. Иларионов. - М. : Транспорт, 1989. – 124 с.
100. Шутов, А. И. Безопасность транспортных средств : учеб.пособие / А. И. Шутов, А. Е. Боровской, И. А. Новиков, И. А. Щетинина. – Белгород : Изд-во БГТУ им. В.Г. Шухова, 2006. – 47 с.
101. Лагерев, Р. Ю. Алгоритм управления магистральными улицами высших категорий // Авиамашиностроение и транспорт Сибири - 2015 : сборник научных трудов студентов и преподавателей Института авиамашиностроения и транспорта / Иркутский государственный технический университет; отв. ред. А. С. Потапов. - Иркутск, 2015. - С. 168-173.
102. 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. –Р. 1-6.
103. Asante, S. A., Ardekani S. A., Williams J. C. 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.
104. Traffic Signal Preemption for Emergency Vehicles: A Cross-Cutting Study, Putting the First in First Response» FHWA, NHTSA, Washington D.C., January 2006.
105. 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.

106. Federal Highway Administration, Mitretek Systems. Best Practices for Road Weather Management. Version 2.0. CityofClearwater, FloridaWeather-RelatedSignalTiming, 2010.

107. Методические рекомендации по разработке и реализации мероприятий по организации дорожного движения. Организация дорожного движения на регулируемых пересечениях. – М., 2017. – 91 с.

108. Программный продукт CurveExpert Professional 2.6.5

109. Жигадло, А. П. Новый подход к вводу дополнительной левоповоротной секции светофорного регулирования / А. П. Жигадло, С. В. Дорохин, Д. В. Лихачев // Вестник Сибирского государственного автомобильно-дорожного университета. - 2019. - Т. 16, № 4 (68). - С. 432-445.

110. Лихачев, Д. В. Исследование процесса ввода специализированной левоповоротной фазы регулирования / Д. В. Лихачев, С. В. Дорохин // Мир транспорта и технологических машин. - 2018. - № 2 (61). - С. 40-47.

111. Robertson, D. I. TRANSYT: Traffic Network Study Tool // Fourth International Symposium on the Theory of Traffic Flow. - Karlsruhe, Germany, 1968.

112. Lorick H. C., Wallace C. E., Jamagin R. E. Analysis of Fuel Consumption and Platoon Dispersion Models / University of Florida Transportation Research Center, Report No. UF-TRC-U32-TR-02, 1980.

113. Котухов, А. Н. Экономика дорожного движения : учеб. пособие / А. Н. Котухов, Е. А. Новописный. – Белгород : Изд-во БГТУ им. В.Г. Шухова, 2009. – 235 с.

114. Корчагин, В. А. Оценка эффективности инженерных решений : учебное пособие / В. А. Корчагин, Ю. Н. Ризаева ; под ред. В. А. Корчагина. – Липецк : ЛГТУ, 2008. – 160 с.

115. Расчетная инструкция (методика) по инвентаризации выбросов загрязняющих веществ от автотранспортных средств на территории крупнейших городов. – Изд-во:Автополюс-плюс, 2008. – 78 с.

## ПРИЛОЖЕНИЕ А

(справочное)

### Акты внедрения

«УТВЕРЖДАЮ»

Начальник управления ГИБДД ГУ  
МВД России по Воронежской области  
кандидат технических наук  
полковник полиции

Е.В. Шаталов

«16» декабря 2019 г.

#### АКТ ВНЕДРЕНИЯ

результатов научно-исследовательской работы

**Настоящим актом подтверждается,** что результаты диссертационной работы Лихачева Дмитрия Валерьевича «Повышение эффективности левоповоротного движения в зоне регулируемого перекрестка», выполненной на кафедре автомобилей и сервиса ФГБОУ ВО «Воронежский государственный лесотехнический университет имени Г.Ф. Морозова» внедрены в работе подразделения Управления государственной инспекции по субъекту РФ службы УГИБДД по Воронежской области.

**Вид внедренных результатов:** алгоритм выбора необходимого способа организации движения левоповоротного потока в зоне регулируемого перекрестка.

**Характеристика масштаба внедрения:** улично-дорожная сеть г. Воронеж (регулируемые и проектируемые перекрестки).


**Форма внедрения:** рекомендации к определению эффективного способа организации движения левоповоротного потока в зоне регулируемого перекрестка.

#### **Новизна результатов НИР:**

1. Способы организации движения левоповоротного потока в зоне регулируемого перекрестка.
2. Учет изменения основных характеристик транспортного потока – задержки автомобилей, скорость движения, длина очереди.
3. Оценка конфликта «левый поворот-прямой конфликтующий поток».

**Социальный и научно-технический эффект:** в результате использования предлагаемого алгоритма выбора необходимого способа организации движения левоповоротного потока на исследуемых перекрестках в зависимости от изменения средней величины интенсивности на перекрестке возможным стало максимально снизить задержку на 112,19 с (30%) и минимально на 9 с (5%), что в целом оказывает положительное влияние на безопасность дорожного движения.

Начальник отдела ДН УГИБДД ГУ  
МВД России по Воронежской области  
подполковник полиции

  
С.И. Гуринов

## Продолжение приложения А

УТВЕРЖДАЮ  
Проректор по науке  
и инновациям  
ФГБОУ ВО ВГЛТУ  
им. Г.Ф. Морозова  
д.э.н., профессор

  
С.С. Морковина  
«15» ноября 2019 г.



УТВЕРЖДАЮ  
Начальник ОГИБДД  
УМВД России по г. Воронежу  
подполковник полиции

  
А.А. Астанин  
«15» ноября 2019 г.



## АКТ

внедрения методики выбора необходимого способа организации движения левоповоротного потока в зоне регулируемого перекрестка на регулируемых перекрестках города Воронеж

Мы ниже подписавшиеся, комиссия в составе:  
от ОГИБДД УМВД России по г.Воронежу:

Астанин Андрей Александрович – начальник ОГИБДД УМВД России по г. Воронежу;

Бирюков Евгений Владимирович – заместитель начальника ОГИБДД УМВД России по г. Воронежу;

от Воронежского государственного лесотехнического университета имени Г.Ф. Морозова, далее ВГЛТУ им. Г.Ф. Морозова:

Морковина Светлана Сергеевна - д.э.н., профессор, проректор по науке и инновациям;

Дорохин Сергей Владимирович – д.т.н., доцент, декан автомобильного факультета;

Лихачев Дмитрий Валерьевич – аспирант, старший преподаватель кафедры организации перевозок и безопасности движения.

Составили данный акт о том, что аспирантом Лихачевым Д.В. передан комплект документации к внедрению методики выбора необходимого способа организации движения левоповоротного потока в зоне регулируемого перекрестка на регулируемых перекрестках центральной части города Воронеж, позволяющей снизить задержки транспортных средств и обеспечить пропускную способность.



## Продолжение приложения А

Комиссия в вышеперечисленном составе единогласно одобрила результаты исследования и приняла к внедрению предоставленную методику выбора. Согласно которой на пересечениях г. Воронежа предлагается использовать следующие способы организации левоповоротного движения:

№ п/п	Наименование перекрестков	Существующий способ организации	Рекомендуемый способ организации движения левого поворота
1	Ленинский проспект – ул. Минская	«способ 1»	«способ 3»
2	Ленинский проспект – ул. Серафимовича	«способ 1»	«способ 2»
3	ул. Димитрова – ул. Калачеевская	«способ 1»	«способ 1»
4	ул. Ворошилова – ул. Бахметьева	«способ 1»	«способ 3»
5	ул. Ворошилова – ул. Матросова	«способ 1»	«способ 2»
6	ул. Ленинградская – ул. Брусилова	«способ 2»	«способ 1»
7	ул. Минская – ул. Остужева	«способ 2»	«способ 3»
8	Ленинский проспект – ул. Брусилова	«способ 3»	«способ 4»
9	ул. Антоново-Овсеенко – бульвар Победы	«способ 4»	«способ 3»
10	ул. Димитрова – ул. Волгоградская	«способ 4»	«способ 4»

1. «Способ 1» предполагается возможность движения транспортных средств осуществляющих движение налево совместно с прямо движущимся транспортным потоком из одной полосы в одной фазе регулирования. При данном способе организации движения на перекрестке будет обеспечен уровень обслуживания А, при котором величина задержки автомобилей не будет превышать 10 с., данный способ возможен при различных сочетаниях интенсивности рассматриваемого конфликта, при котором интенсивность левого поворота  $N_1$  будет находиться в пределе от 50 до 400 ед/ч ( $N_{1min} \geq 50$ ,

## Продолжение приложения А

$N_{1max} \leq 400$ ), интенсивность прямого конфликтующего потока  $N_2$  будет находиться в пределе от 500 до 2000 ед/ч ( $N_{2min} \geq 500$ ,  $N_{1max} \leq 2000$ ).

2. «Способ 2» - на регулируемом перекрестке рекомендуется выделить специализированную полосу для транспортных средств движущихся налево, в связи с тем, что при заданных сочетаниях интенсивности рассматриваемого конфликта достигается уровень В, при котором величина задержки находится в пределе от 10 до 20 с. Интенсивность левого поворота  $N_1$  будет находиться в пределе от 50 до 700 ед/ч ( $N_{1min} \geq 50$ ,  $N_{1max} \leq 700$ ), интенсивность прямого конфликтующего потока  $N_2$  будет находиться в пределе от 500 до 2500 ед/ч ( $N_{2min} \geq 500$ ,  $N_{1max} \leq 2500$ ).

3. «Способ 3» - специализация левоповоротного потока в отдельной полосе и удлинение фазы регулирования, в связи с тем, что для данного способа организации движения будет обеспечен уровень обслуживания С, характеризуемый значением задержки в пределе от 20 до 35 с., целесообразно будет выделить дополнительное время для движения рассматриваемого потока с возможностью движения прямого направления – удлинение фазы регулирования. Реализация «способа 3» возможна при различных сочетаниях интенсивности рассматриваемого конфликта, при котором интенсивность левого поворота  $N_1$  будет находиться в пределе от 150 до 800 ед/ч ( $N_{1min} \geq 150$ ,  $N_{1max} \leq 800$ ), интенсивность прямого конфликтующего потока  $N_2$  будет находиться в пределе от 500 до 2000 ед/ч ( $N_{2min} \geq 500$ ,  $N_{1max} \leq 2000$ ).

4. «Способ 4» подразумевает под собой специализацию левого поворота в отдельной фазе регулирования, в связи с тем, что полученные значения задержек при анализе рассматриваемого конфликта становятся довольно высоки, автомобили вынуждены простаивать большую часть времени, что значительно ухудшает как транспортную, так и экологическую ситуацию на регулируемом участке. При данном способе организации движения на перекрестке будет обеспечен уровень обслуживания D, при котором величина задержки автомобилей будет находиться в пределе от 35 до 55 с., данный способ возможен при различных сочетаниях интенсивности рассматриваемого конфликта, при котором интенсивность левого поворота  $N_1$  будет находиться в пределе от 50 до 900 ед/ч ( $N_{1min} \geq 50$ ,  $N_{1max} \leq 900$ ), интенсивность прямого конфликтующего потока  $N_2$  будет находиться в пределе от 500 до 3000 ед/ч ( $N_{2min} \geq 500$ ,  $N_{1max} \leq 3000$ ).

5. «Способ 5», необходим в том случае, когда при рассматриваемом конфликте «левый поворот – прямой конфликтующий поток» достигается уровень обслуживания E, характеризуемый пределом величины задержки от 55 до 80 с и уровень F, при котором задержка превышает значения 80 с. При



## Продолжение приложения А

получении таких высоких значений на регулируемом перекрестке не рекомендуется выделять специализированную полосу для левого поворота и специализировать фазу регулирования. В данном случае рекомендуется рассмотреть вариант реконструкции перекрестка с выносом рассматриваемого маневра за пределы регулируемого участка. Рассматривая каждый уровень, можно сказать, что при достижении уровня Е, интенсивность левого поворота  $N_1$  будет находиться в пределе от 100 до 550 ед/ч ( $N_{1min} \geq 100$ ,  $N_{1max} \leq 550$ ), интенсивность прямого конфликтующего потока  $N_2$  будет находиться в пределе от 750 до 1500 ед/ч ( $N_{2min} \geq 750$ ,  $N_{1max} \leq 1500$ ).

При достижении уровня F, интенсивность левого поворота  $N_1$  будет находиться в пределе от 50 до 550 ед/ч ( $N_{1min} \geq 50$ ,  $N_{1max} \leq 550$ ), интенсивность прямого конфликтующего потока  $N_2$  будет находиться в пределе от 1000 до 3000 ед/ч ( $N_{2min} \geq 1000$ ,  $N_{1max} \leq 3000$ ).

Предложенная методика выбора необходимого способа организации движения левоповоротного потока в зоне регулируемого перекрестка на пересечениях центральной части города Воронеж позволяют снизить задержки транспортных средств и обеспечить пропускную способность в наиболее затруднительные для движения периоды времени.

**Ожидаемый эффект от внедрения:** применение предоставленной методики выбора необходимого способа организации движения левоповоротного потока в зоне регулируемого перекрестка на пересечениях центральной части города Воронежа позволят снизить задержки транспортных средств на 30% (максимально наблюдаемое значение), обеспечить годовую экономию топлива около 813 литров и снизить количество вредных выбросов на 9%.

От ОГИБДД УМВД России по г. Воронежу:

заместитель начальника отдела ГИБДД  
УМВД России по г. Воронежу



Е.В. Бирюков

от ВГЛУ им. Г.Ф. Морозова:

д.т.н., доцент, декан автомобильного  
факультета



С.В. Дорохин

аспирант, старший преподаватель  
кафедры организации перевозок и  
безопасности движения



Д.В. Лихачев

## Продолжение приложения А

УТВЕРЖДАЮ

Директор МБУ «ЦОДД»

К.В. Иванников

2019 г.



## АКТ ВНЕДРЕНИЯ

Настоящим актом подтверждаю, что результаты диссертационного исследования Лихачева Дмитрия Валерьевича «Повышение эффективности левоповоротного движения в зоне регулируемого перекрестка», выполненного на кафедре автомобилей и сервиса ФГБОУ ВО «Воронежский государственный лесотехнический университет имени Г.Ф. Морозова» внедрены в работе Муниципального бюджетного учреждения городского округа город Воронеж «Центр организации дорожного движения».

Вид внедренных результатов: Обосновано использование различных способ организации движения левого поворота в зоне регулируемого перекрестка: «Способ 1» предполагается возможность движения транспортных средств осуществляющих движение налево совместно с прямо движущимся транспортным потоком из одной полосы в одной фазе регулирования. «Способ 2» - на регулируемом перекрестке рекомендуется выделить специализированную полосу для транспортных средств движущихся налево. «Способ 3» - специализация левоповоротного потока в отдельной полосе и удлинение фазы регулирования. «Способ 4» подразумевает под собой специализацию левого поворота в отдельной фазе регулирования. «Способ 5» - запрет выполнения маневра «левый поворот», организация вне зоны перекрестка.

1. «Способ 1» предполагается возможность движения транспортных средств осуществляющих движение налево совместно с прямо движущимся транспортным потоком из одной полосы в одной фазе регулирования. При данном способе организации движения на перекрестке будет обеспечен уровень обслуживания А при котором величина задержки автомобилей не будет превышать 10 с., данный способ возможен при различных сочетания интенсивности рассматриваемого конфликта, при котором интенсивность левого поворота  $N_1$  будет находиться в пределах от 50 до 400 ед/ч ( $N_{1min} \geq 50$ ,  $N_{1max} \leq 400$ ), интенсивность прямого конфликтующего потока  $N_2$  будет находиться в пределах от 500 до 2000 ед/ч ( $N_{2min} \geq 500$ ,  $N_{1max} \leq 2000$ ).

2. «Способ 2» - на регулируемом перекрестке рекомендуется выделить специализированную полосу для транспортных средств движущихся налево,

## Продолжение приложения А

в связи с тем, что при заданных сочетаниях интенсивности рассматриваемого конфликта достигается уровень В, при котором величина задержки находится в пределе от 10 до 20 с. Интенсивность левого поворота  $N_1$  будет находиться в пределе от 50 до 700 ед/ч ( $N_{1min} \geq 50$ ,  $N_{1max} \leq 700$ ), интенсивность прямого конфликтующего потока  $N_2$  будет находиться в пределе от 500 до 2500 ед/ч ( $N_{2min} \geq 500$ ,  $N_{1max} \leq 2500$ ).

3. «Способ 3» - специализация левоповоротного потока в отдельной полосе и удлинение фазы регулирования, в связи с тем что для данного способа организации движения будет обеспечен уровень обслуживания С, характеризуемый значением задержки в пределе от 20 до 35 с., целесообразно будет выделить дополнительное время для движения рассматриваемого потока с возможностью движения прямого направления – удлинение фазы регулирования. Реализация «способа 3» возможна при различных сочетания интенсивности рассматриваемого конфликта, при котором интенсивность левого поворота  $N_1$  будет находиться в пределе от 150 до 800 ед/ч ( $N_{1min} \geq 150$ ,  $N_{1max} \leq 800$ ), интенсивность прямого конфликтующего потока  $N_2$  будет находиться в пределе от 500 до 2000 ед/ч ( $N_{2min} \geq 500$ ,  $N_{1max} \leq 2000$ ).

4. «Способ 4» подразумевает под собой специализацию левого поворота в отдельной фазе регулирования, в связи с тем что полученные значения задержек при анализа рассматриваемого конфликта становятся довольно высоки, автомобили вынуждены простаивать большую часть времени что значительно ухудшает как транспортную, так и экологическую ситуацию на регулируемом участке. При данном способе организации движения на перекрестке будет обеспечен уровень обслуживания D при котором величина задержки автомобилей будет находиться в пределе от 35 до 55 с., данный способ возможен при различных сочетания интенсивности рассматриваемого конфликта, при котором интенсивность левого поворота  $N_1$  будет находиться в пределе от 50 до 900 ед/ч ( $N_{1min} \geq 50$ ,  $N_{1max} \leq 900$ ), интенсивность прямого конфликтующего потока  $N_2$  будет находиться в пределе от 500 до 3000 ед/ч ( $N_{2min} \geq 500$ ,  $N_{1max} \leq 3000$ ).

5. «Способ 5», необходим в том случае, когда при рассматриваемом конфликте «левый поворот – прямой конфликтующий поток» достигается уровень обслуживания Е, характеризуемый пределом величины задержки от 55 до 80 с и уровень F, при котором задержка превышает значения 80 с. При получении таких высоких значений на регулируемом перекрестке не рекомендуется выделять специализированную полосу для левого поворота и специализировать фазу регулирования. В данном случае рекомендуется рассмотреть вариант реконструкции перекрестка с выносом



рассматриваемого маневра за пределы регулируемого участка. Рассматривая каждый уровень, можно сказать что при достижении уровня Е, интенсивность левого поворота  $N_1$  будет находиться в пределе от 100 до 550 ед/ч ( $N_{1min} \geq 100$ ,  $N_{1max} \leq 550$ ), интенсивность прямого конфликтующего потока  $N_2$  будет находиться в пределе от 750 до 1500 ед/ч ( $N_{2min} \geq 750$ ,  $N_{1max} \leq 1500$ ).

При достижении уровня F, интенсивность левого поворота  $N_1$  будет находиться в пределе от 50 до 550 ед/ч ( $\infty$ ) ( $N_{1min} \geq 50$ ,  $N_{1max} \leq 550$  ( $\infty \rightarrow \lim_{\infty} 700$ )), интенсивность прямого конфликтующего потока  $N_2$  будет находиться в пределе от 1000 до 3000 ед/ч ( $N_{2min} \geq 1000$ ,  $N_{1max} \leq 3000$ ).

Предложенная методика выбора необходимого способа организации движения левоповоротного потока в зоне регулируемого перекрестка на пересечениях центральной части города Воронеж позволяют снизить задержки транспортных средств и обеспечить пропускную способность в наиболее затруднительные для движения периоды времени.

Характеристика масштаба внедрения: улично-дорожная сеть городского округа город Воронеж.

Формы внедрения: использование аналитических зависимостей, полученных Лихачевым Д.В. позволит производить изменения в способы организации движения левоповоротного движения.

В результате использования предлагаемого алгоритма выбора необходимого способа организации движения левоповоротного потока на исследуемых перекрестках в зависимости от изменения средней величины интенсивности на перекрестке возможным стало максимально снизить задержку транспортных средств.

Заместитель директора



УТВЕРЖДАЮ  
 Ректор Федерального государственного  
 бюджетного образовательного учреждения  
 высшего образования «Воронежский  
 государственный лесотехнический университет  
 имени Г.Ф. Морозова»  
 М.В. Драпалюк  
 «30» августа 2019 г.

#### АКТ ВНЕДРЕНИЯ

Результатов научных исследований в учебный процесс

Заказчик: Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Воронежский государственный лесотехнический университет имени Г.Ф. Морозова», кафедра организации перевозок и безопасности движения.

Настоящим актом подтверждаю, что результаты диссертационного исследования Лихачева Дмитрия Валерьевича «Повышение эффективности левоповоротного движения в зоне регулируемого перекрестка», выполненного на кафедре автомобилей и сервиса ФГБОУ ВО «Воронежский государственный лесотехнический университет имени Г.Ф. Морозова» внедрены в учебный процесс.

Вид внедренных результатов: применение алгоритма выбора необходимого способа организации движения левоповоротного потока в зоне регулируемого перекрестка.

Формы внедрения: результаты исследований используются в учебном процессе при изучении дисциплин «Технические средства организации движения», «Организация дорожного движения» студентами обучающимся по направлению 23.03.01 Технология транспортных процессов (уровень бакалавриата) и дисциплины магистратуры «Безопасность транспортного процесса» студентов обучающихся по направлению подготовки 23.04.01 Технология транспортных процессов (уровень магистратуры), а так же при выполнении выпускных квалификационных работ студентами выше указанных направлений.

Эффективность практической реализации: повышение качества подготовки специалистов в области управления транспортными процессами и повышения безопасности дорожного движения.

Заведующий кафедрой организации  
 перевозок и безопасности движения,  
 д.т.н., доцент

В.А. Зеликов



## ПРИЛОЖЕНИЕ Б

(справочное)

## Объекты интеллектуальной собственности

РОССИЙСКАЯ ФЕДЕРАЦИЯ



ПАТЕНТ

НА ИЗОБРЕТЕНИЕ

№ 2491648

СВЕТОФОР

Патентообладатель(ли): *Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего профессионального образования "Воронежская государственная лесотехническая академия" (RU)*

Автор(ы): *см. на обороте*

Заявка № 2012106089

Приоритет изобретения 20 февраля 2012 г.

Зарегистрировано в Государственном реестре изобретений Российской Федерации 27 августа 2013 г.

Срок действия патента истекает 20 февраля 2032 г.

Руководитель Федеральной службы  
по интеллектуальной собственности

Б.П. Симонов





РОССИЙСКАЯ ФЕДЕРАЦИЯ

**ПАТЕНТ**

НА ИЗОБРЕТЕНИЕ

№ 2690138

**Транспортный светофор**

Патентообладатель: *Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования "Воронежский государственный лесотехнический университет имени Г.Ф. Морозова" (RU)*

Авторы: *Денисов Геннадий Александрович (RU), Зеликов Владимир Анатольевич (RU), Струков Юрий Вячеславович (RU), Злобина Наталья Ивановна (RU), Лихачев Дмитрий Валерьевич (RU)*

Заявка № 2018104913

Приоритет изобретения 08 февраля 2018 г.

Дата государственной регистрации в

Государственном реестре изобретений

Российской Федерации 30 мая 2019 г.

Срок действия исключительного права

на изобретение истекает 08 февраля 2038 г.

Руководитель Федеральной службы  
по интеллектуальной собственности

*Г.П. Ивлиев* Г.П. Ивлиев

