

Министерство науки и высшего образования Российской Федерации

Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение
высшего образования
«Оренбургский государственный университет»

На правах рукописи



КОТЕНКОВА Ирина Николаевна

**МЕТОДИКА СОВЕРШЕНСТВОВАНИЯ ТРАНСПОРТНОГО
ОБСЛУЖИВАНИЯ ГОРОДСКОГО НАСЕЛЕНИЯ ЗА СЧЁТ
ОБЕСПЕЧЕНИЯ ПРИОРИТЕТНОГО ДВИЖЕНИЯ
ТРАНСПОРТА ОБЩЕГО ПОЛЬЗОВАНИЯ**

2.9.5. Эксплуатация автомобильного транспорта

Диссертация на соискание учёной степени
кандидата технических наук

Научный руководитель –
доктор технических наук, доцент
Рассоха Владимир Иванович

Оренбург – 2025

СОДЕРЖАНИЕ

Введение.....	4
1 Анализ состояния вопроса. Обоснование актуальности темы исследования.	
Обзор литературных источников	9
1.1 Социально-экономическая значимость городского пассажирского транспорта в обеспечении условий развития городских территорий	9
1.2 Анализ факторов, определяющих эффективность организации приоритетного движения городского пассажирского транспорта	14
1.3 Обзор научных работ, нормативной и технологической документации по теме исследования.....	19
1.4 Выводы по первому разделу, цель и задачи исследования	36
2 Теоретическая часть исследования.....	38
2.1 Описание критерия оценки целесообразности организации выделенной полосы ГПТОП на участке городской дорожной сети	38
2.2 Математическое описание влияния выделенной полосы городского пассажирского транспорта общего пользования на эффективность функционирования участка дорожной сети	47
2.3 Алгоритм оценки влияния выделенной полосы для пассажирского транспорта общего пользования на среднюю скорость передвижения пассажира в рамках рассматриваемого участка дорожной сети.....	63
2.4 Выводы по второму разделу	68
3 Методы экспериментальных исследований	70
3.1 Описание плана экспериментальных исследований	70
3.2 Определение перечня входных параметров, необходимых для моделирования средней скорости передвижения пассажира в рамках рассматриваемого участка дорожной сети.....	71
3.3 План проведения натурного обследования. Определение объёма выборки исследуемых объектов	73
3.4 Оценка значимости (ранжирование) исследуемых параметров	75
3.5 Планирование модельного эксперимента	76
3.6 Выводы по третьему разделу	79
4 результаты оценки влияния выделенной полосы ГПТОП на пропускную	

способность участка дорожной сети	80
4.1 Исходные данные для моделирования пропускной способности участка дорожной сети. Ранжирование исходных параметров.....	80
4.2 Результаты моделирования пропускной способности участка дорожной сети с учётом организации выделенной полосы пассажирского транспорта общего пользования.....	89
4.3 Анализ результатов моделирования	97
4.4 Оценка влияния мероприятий по обеспечению приоритетного движения транспортных средств городского пассажирского транспорта общего пользования на технико-экономические показатели его работы	100
4.5 Выводы по четвёртому разделу	106
5 оценка эффективности внедрения результатов исследования	108
5.1 Применение разработанной методики в отношении дорожной сети города Краснодара	108
5.2 Расчёт показателей эффективности проектных решений.....	112
5.3 Описание перспективных направлений дальнейших исследований	117
5.4 Выводы по пятому разделу	119
Общие выводы и рекомендации	121
Список использованных источников	124
Приложение А	141
Приложение Б	142

ВВЕДЕНИЕ

В крупных и крупнейших городах России с каждым годом становится всё более острой проблема повышения уровня загрузки улично-дорожной сети. Особенно это касается центральной части городов. Старый исторический центр крупного города, как правило, имеет радиальную, радиально-кольцевую или смешанную планировочные схемы дорожной сети. В городах более поздней постройки – прямоугольную схему. Большинство улиц имеет две или три полосы для движения, шириной 3 – 3,5 м каждая. При функциональном зонировании территории города можно видеть, что его центральная часть обычно является административным центром, также здесь расположены социальные объекты и офисные здания. Кроме того, в центральной части города можно выделить селитебную зону, представленную малоэтажной застройкой или частным сектором.

Таким образом, центр города является объектом тяготения для жителей периферийных районов, которые осуществляют передвижения к местам приложения труда, учёбы, с культурно-бытовыми целями. Согласно результатам анализа транспортной подвижности населения (на примере г. Краснодара), более 25% передвижений осуществляется с использованием личного автотранспорта. Темпы роста автомобилизации значительно превосходят уровень развития транспортной инфраструктуры города. А в центральной части городов, в условиях сложившейся застройки, реконструкция проездов части, в том числе её уширение, часто является невозможной.

Кроме того, в центральной части города обычно является актуальной проблема организации парковочных пространств. При большом количестве объектов тяготения можно наблюдать дефицит парковочных мест. Эта проблема приводит к тому, что одна из полос движения занята припаркованными автомобилями, что существенно снижает пропускную способность улицы.

В результате уровень загрузки дорожной сети города увеличивается, что приводит к значительным потерям времени и снижению скорости сообщения.

Единственным эффективным решением данной проблемы является снижение интенсивности транспортного потока, достичь которого возможно использованием транспортных средств с наибольшей провозной способностью. Это возможно, если пользователи личных автомобилей начнут передвигаться на городском пассажирском транспорте общего пользования (ГПТОП).

Для популяризации ГПТОП среди населения необходимо, чтобы использование автобусов было пассажирам экономически выгодно (затраты на передвижения ГПТОП должны быть меньше, чем затраты на передвижение личным автомобилем), чтобы обеспечивался необходимый уровень комфорта, и чтобы скорость сообщения ГПТОП была сравнима со скоростью сообщения при использовании личного автотранспорта.

Сейчас в городских условиях скорость движения автобуса на маршруте меньше, чем скорость легкового автомобиля. К тому же, у автобуса больше время разгона и набора скорости, больше времени затрачивается на маневрирование. С учётом времени, затрачиваемого на посадку и высадку пассажиров на остановочных пунктах, скорость сообщения ГПТОП существенно ниже скорости сообщения личного автотранспорта. Поэтому увеличение скорости сообщения ГПТОП на дорожной сети города является одной из самых актуальных проблем городского транспортного комплекса [1, 52, 71, 73, 78].

Для решения данной проблемы используются обособленные полосы для движения маршрутных транспортных средств, по которым, в соответствии с требованиями Правил дорожного движения, запрещено передвижение неприоритетных автомобилей, а также их парковка. ГПТОП, движущийся по выделенным полосам, получает приоритетное право движения, что позволяет увеличить скорость сообщения.

На практике решения об оборудовании выделенных полос для движения ГПТОП часто принимаются без оснований, без учёта характеристик дорожной сети, пропускной способности улиц, характеристик транспортного потока, разрозненно и бессистемно. В таком случае выделение полос приоритетного движения для ГПТОП является не только неэффективным, но и ещё сильнее

усугубляет имеющиеся проблемы.

Исходя из обозначенной проблемы, существует потребность в разработке и определении критериев целесообразности выделения полос для движения ГПТОП с учётом всех сопутствующих факторов.

Решению этой проблемы и посвящена диссертация.

Содержание диссертации соответствует направлениям исследований паспорта научной специальности 2.9.5. Эксплуатация автомобильного транспорта по следующим пунктам:

2. «Совершенствование планирования, организации и управления перевозками пассажиров и грузов, технического обслуживания, ремонта и сервиса автомобилей с использованием программно-целевых и логистических принципов, методов оптимизации»;

3. «Исследование закономерностей, разработка моделей, алгоритмов и специального программного обеспечения в решении задач проектирования, организации, планирования, управления и анализа транспортного процесса»;

5. «Организация и управление грузовыми и пассажирскими автомобильными перевозками, автотранспортными потоками, транспортное планирование и моделирование».

Исходя из основных положений, представленных во вводной части работы, определён **объект исследования** – процесс передвижения населения в условиях городской дорожной сети.

Предметом исследования являются закономерности параметров пассажиропотоков от условий организации движения транспортных средств в рамках городской дорожной сети.

Научную новизну исследования составляют следующие теоретические и методические положения, выносимые на защиту:

- критерий оценки целесообразности организации выделенных полос для движения ГПТОП, отличающийся от известных возможностью учёта изменения пассажиропотоков на смежных участках дорожной сети;

- методика оценки целесообразности организации выделенных полос для движения ГПТОП, отличающаяся от известных учётом совокупных пассажиропотоков, сформированных на локальном участке дорожной сети;

- рекомендации по организации выделенных полос для движения ГПТОП, основанные на установленной области их целесообразного применения, построенной в координатном пространстве, сформированном наиболее значимыми факторами.

Практическая значимость результатов исследования заключается в разработке методики, позволяющей:

- определить целесообразность обеспечения приоритетных условий движения ГПТОП;

- обосновать целесообразность организации выделенных полос для движения ГПТОП;

- определить эффективность мероприятий по обеспечению приоритетных условий движения ГПТОП.

Внедрение результатов работы. Результаты выполненной научной работы внедрены в государственном казённом учреждении Краснодарского края «Центр организации дорожного движения», в ООО «Центр дорожных инноваций» (г. Краснодар) и в учебный процесс ФГБОУ ВО «Кубанский государственный технологический университет» и ФГБОУ ВО «Оренбургский государственный университет» при подготовке специалистов по направлению 23.03.01 Технология транспортных процессов и специальности 23.05.01 Наземные транспортно-технологические средства.

Апробация работы. Результаты работы обсуждались и получили одобрение на: XIX-ой всероссийской с международным участием и XX-ой международной научно-практических конференциях «Прогрессивные технологии в транспортных системах» (г. Оренбург, 2024, 2025 гг.); XX международной научно-технической конференции «Актуальные вопросы организации автомобильных перевозок, безопасности движения и эксплуатации транспортных средств» (г. Саратов, 2025 г.); международной научно-

практической конференции «Интегрированные транспортные решения: вызовы современности и перспективы будущего» (г. Краснодар, 2025 г.).

Публикации. Основные положения и результаты диссертации отражены в 10-и печатных работах, в числе которых 3 статьи в журналах, входящих в перечень рецензируемых научных изданий, рекомендованных ВАК, а также в 3 свидетельствах о государственной регистрации программ для ЭВМ.

Структура и объём работы. Диссертация состоит из введения, пяти разделов, общих выводов и рекомендаций, списка использованных источников из 134 наименований и приложений, изложенных на 145 страницах машинописного текста, включая 16 рисунков и 16 таблиц.

В диссертации использованы следующие аббревиатуры:

ГПТОП – городской пассажирский транспорт общего пользования;

ТС – транспортное средство (только в некоторых рисунках и таблицах).

1 АНАЛИЗ СОСТОЯНИЯ ВОПРОСА. ОБОСНОВАНИЕ АКТУАЛЬНОСТИ ТЕМЫ ИССЛЕДОВАНИЯ. ОБЗОР ЛИТЕРАТУРНЫХ ИСТОЧНИКОВ

1.1 Социально-экономическая значимость городского пассажирского транспорта в обеспечении условий развития городских территорий

Городской транспорт, предназначенный для перевозки пассажиров, представлен различными группами.

К первой группе можно отнести транспортные средства личного пользования. Это легковые автомобили, мототранспорт, велосипеды, средства индивидуальной мобильности. Провозная способность личного транспорта невелика, что обусловлено индивидуальным использованием – при вместимости легкового автомобиля 5 – 7 пассажиров, в подавляющем большинстве случаев, данный вид транспорта перевозит одного-двух пассажиров.

Вторая группа – это городской пассажирский транспорт общего пользования (ГПТОП). В зависимости от размеров городской территории, численности населения, географического положения в разных городах используются различные виды ГПТОП [4, 7, 17, 82, 83, 96]. Весь ГПТОП можно разделить на традиционный, который используется в большинстве населенных пунктов, и нетрадиционный, который в силу своих конструктивных особенностей и условий эксплуатации используется в ограниченном количестве.

В городах со сложным рельефом (Владивосток) для транспортировки пассажиров используют фуникулёры.

В городах, по территориям которых проходят внутренние водные пути (Новосибирск, Санкт-Петербург), работает речной трамвай.

Монорельсовый транспорт города Москвы – единственная монорельсовая система в России, протяженностью 4,7 км.

Метротрам (Волгоград) – подземный скоростной трамвай, передвигающийся по обособленным путям, но пересекающий городские улицы.

Канатная дорога (Нижний Новгород) – используется для переправы через Волгу.

Высокоскоростные лодки на воздушной подушке (Самара) перевозят пассажиров по льду.

Кроме того, в настоящее время активно проводятся испытания беспилотного пассажирского транспорта. Беспилотные автомобили такси совершили уже около 100 тыс. поездок в Сириусе, Иннополисе, Ясенево.

Из традиционных видов ГПТОП можно выделить метрополитен (обособленные транспортные пути), трамвай (передвигается как по обособленным путям, так и совместно с другими видами городского транспорта), троллейбус и автобус (передвигаются по проезжей части городских улиц и дорог). Кроме автобуса к городскому автомобильному транспорту также относятся маршрутные такси и легковые такси. Эти виды транспорта обеспечивают основной объём перевозок пассажиров.

Графическая система городского транспорта представлена в работе Беловой А.М. [10], рисунок 1.1.

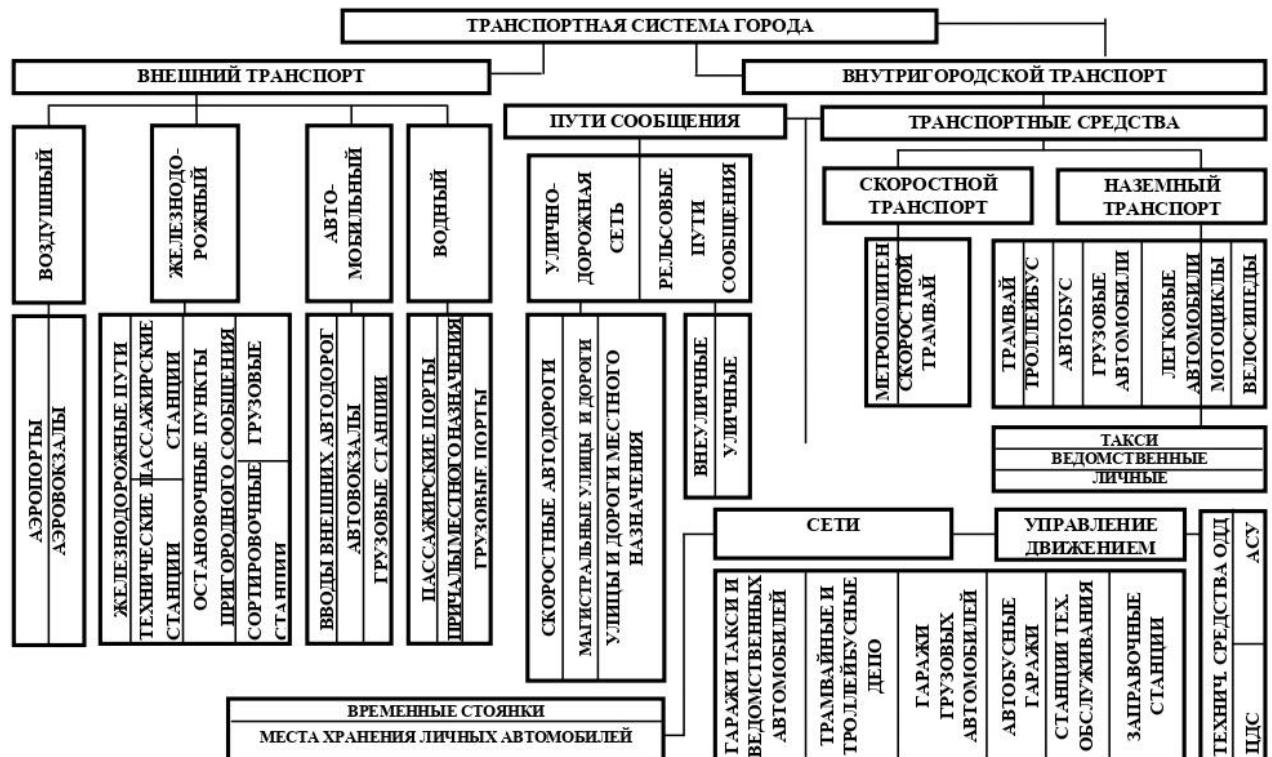


Рисунок 1.1 – Система городского транспорта [10]

Традиционные виды городского пассажирского транспорта можно разделить в зависимости от типа двигателя – городской электротранспорт (трамвай, троллейбус, электробус) и автомобильный транспорт (автобусы, маршрутные такси). Городской электротранспорт более экологичен и предпочтителен для крупных городов. Автомобильный транспорт более универсален, незаменим в населенных пунктах со слабо развитой транспортной инфраструктурой.

В зависимости от используемых путей сообщения можно выделить уличный транспорт (автобусы, троллейбусы), внеуличный (метрополитен), на обособленном полотне (трамвай).

По скоростному режиму можно выделить скоростные транспортные средства (скоростные трамваи, метрополитен, автобусы экспресс) и транспортные средства, движущиеся в режиме городского транспорта.

Эффективность работы ГПТОП определяется несколькими факторами.

Во-первых, это уровень развития транспортной инфраструктуры населенного пункта и организации движения маршрутного транспорта: протяженность городских улиц и дорог, плотность маршрутной сети, расстояние между остановочными пунктами, транспортная обеспеченность и доступность, наличие и техническое состояние остановочных пунктов, подходы к остановочным пунктам [38, 48, 71].

Во-вторых, это технико-эксплуатационные характеристики подвижного состава: вместимость, техническое состояние, скорость, интервал движения, количество транспортных средств на маршруте.

В-третьих, это уровень спроса на транспортные услуги. Для более наглядного определения транспортного спроса и подвижности населения строят матрицы корреспонденций, показывающие преимущественные направления передвижений жителей города. Транспортная подвижность населения зависит от численности различных групп (трудящиеся, учащиеся, несамодеятельное население), а также от времени года (сезонный спрос на транспортные услуги). Также неравномерно происходит распределение транспортного спроса по

территории города, по часам суток, дням недели и т.д.

В-четвертых, это организация дорожного движения и характеристики дорожной сети и транспортного потока: наличие дорожных знаков, разметки, светофорных объектов, выделенных полос движения, заездных карманов, автоматизированных систем управления дорожным движением, обеспечение активного и пассивного приоритета ГПТОП, уровень загрузки дорожной сети, пропускная способность и т.д.

В-пятых, это система финансирования ГПТОП: брутто- или нетто-контракты, наличие и объем дотаций и субсидий, величина тарифа, наличие льготного тарифа и т.д.

В настоящее время во многих крупных и крупнейших городах, а также городских агломерациях ведётся интенсивная застройка территорий, которые зачастую не были изначально запланированы, как селитебные. При этом места приложения труда, учебные заведения и объекты социальной сферы расположены преимущественно в центральной части города. В связи с этим, значительно увеличился приток легковых автомобилей на дорожную сеть, что влечёт за собой повышение уровня загрузки дорожной сети центральной части городов и снижение скорости сообщения транспортных средств.

Связь районов новой застройки и центральной части города осуществляется в уже существующей дорожной сети. Развитие транспортной инфраструктуры возможно в новых микрорайонах. При проектировании дорожной сети в зонах застройки учитывают перспективную интенсивность транспортного потока. Основная проблема возникает на входе транспортных потоков из периферийных районов в центральную часть города. Соотношение интенсивности транспортных потоков и пропускной способности существующей дорожной сети показывает высокий уровень загрузки магистральных улиц.

Реконструкция дорожной сети центральной части городов со сложившейся застройкой является труднореализуемой, а зачастую и просто невозможной. Поэтому единственный вариант снижения уровня загрузки при невозможности

увеличения пропускной способности проезжей части – это снижение интенсивности движения транспортных потоков [3, 14, 15, 103].

Очевидно, что популяризация ГПТОП среди населения позволит увеличить пассажиропоток на маршрутах ГПТОП и снизить интенсивность движения индивидуальных транспортных средств [11].

Как показывают исследования А.В. Гузенко, Н.А. Ковалёвой, Н.Н. Якунина [35, 54, 109, 110], коэффициент наполняемости легковых автомобилей в городах, как правило, не превышает 1,5. При уровне загрузки дорожной сети более 0,75 личный транспорт и транспорт общего пользования движутся с одинаковыми скоростями в связанном потоке (даже с учётом времениостояния пассажирского транспорта на остановочных пунктах). Однако, суммарное время передвижения жителей, например, от дома до места работы на 15-25% больше при использовании пассажирского транспорта общего пользования. В то же время суммарные удельные затраты на одного пассажира для сравниваемой поездки на личном автомобиле в 5 – 10 раз больше, чем на автобусе.

Для привлечения жителей к пользованию ГПТОП необходимо обеспечить три фактора: комфорт, доступную стоимость передвижения и снижение времени в пути по сравнению с индивидуальным транспортом. Третий фактор необходимо рассматривать с учётом времени подхода к остановочным пунктам ожидания ГПТОП, и также с учётом поиска парковки для индивидуального транспорта и пешего движения к пункту назначения. В крупных и крупнейших городах всё более актуальным становится вопрос организации приоритетного движения ГПТОП [79, 112].

1.2 Анализ факторов, определяющих эффективность организации приоритетного движения городского пассажирского транспорта

Для оценки эффективности функционирования выделенных полос для ГПТОП и для определения целесообразности выделения полос для приоритетного движения ГПТОП необходимо определить критерии ввода выделенных полос, а также условия, которые должны соблюдаться при предоставлении приоритетного права проезда ГПТОП.

В настоящее время не существует нормативно-правовой базы по вопросам организации выделения полос для движения маршрутных транспортных средств на дорожной сети города. Критерии ввода выделенных полос для ГПТОП, описанные в совместной работе Е.А. Лебедева и В.И. Рассохи с участием автора [60], представлены на рисунке 1.2. К ним относятся: интенсивность транспортного потока, количество полос на рассматриваемом участке дорожной сети, значение величины пассажиропотока и т.д. Кроме того, факторами, которые также должны учитываться, являются: перспективная интенсивность транспортного потока и перспективная пропускная способность.

Количество полос для движения ТС в одном направлении	
Значение величины пассажиропотока на рассматриваемом участке	
Значение существующей интенсивности транспортного потока на рассматриваемом участке	Городской пассажирский транспорт
	Неприоритетные виды транспорта
Пропускная способность рассматриваемого участка	
Уровень загрузки рассматриваемого участка	Существующий
	Перспективный, с учётом приоритетного движения ГПТОП
Затраты времени на передвижение по рассматриваемому участку	Существующий
	Перспективный, с учётом приоритетного движения ГПТОП

Рисунок 1.2 – Критерии ввода выделенных полос для ГПТОП

Количество полос для движения в одном направлении является определяющим при принятии решения о приоритетном движении ГПТОП. Если количество полос движения в одном направлении менее двух – организация выделенной полосы возможна только при наличии дублирующей улицы, на которую можно перенаправить неприоритетные транспортные потоки [80]. Количество полос и их ширина определяют пропускную способность рассматриваемого участка. В зависимости от геометрических характеристик улицы, наличия пересечений со светофорным регулированием, продольного уклона проезжей части, состояния дорожного покрытия, наличия разделительной полосы и других факторов пропускная способность улицы может изменяться [30, 76, 77, 125, 126]. При вводе выделенной полосы для ГПТОП пропускная способность оставшихся полос должна быть достаточной для движения неприоритетного транспорта. Если при вводе выделенной полосы возникает высокий уровень загрузки неприоритетных полос, необходимо рассмотреть возможность перенаправления транспортных потоков по другим участкам дорожной сети.

Интенсивность транспортного потока (приоритетных и не приоритетных видов транспорта) определяет требования к пропускной способности рассматриваемого участка дорожной сети. Также необходимы данные по перспективной интенсивности транспортного потока, особенно в зонах активно расширяющейся жилой застройки. Как правило, рассматривают прогнозную интенсивность транспортных потоков на срок 20-25 лет.

Величина пассажиропотока на рассматриваемом участке и затраты времени пассажиров на передвижение по рассматриваемому участку позволяют определить экономическую эффективность мероприятий по организации приоритетного движения ГПТОП. Чем выше величина пассажиропотока, тем больше суммарное время, затрачиваемое пассажирами на передвижение по данному участку дорожной сети. Сравнивая движение транспортного средства в свободных условиях и в период высокой загрузки, можно рассчитать суммарные задержки времени пассажиров, передвигающихся на данном участке дорожной

сети. Организация приоритетного движения ГПТОП позволяет повысить его скорость сообщения и снизить экономический ущерб от потери времени.

К обязательным условиям функционирования ГПТОП на выделенных полосах можно отнести сохранение пропускной способности улицы для прочих видов транспорта и сокращение задержек времени для транспортных средств ГПТОП [59, 97, 100, 104, 105] (рисунок 1.3).



Рисунок 1.3 – Условия функционирования ГПТОП в условиях организации выделенных полос

Наибольший эффект от организации выделенных полос обеспечивается при их сочетании с другими мероприятиями, направленными на обеспечение приоритетного движения ГПТОП. Например, целесообразно рассмотреть вопросы обеспечения приоритетного проезда перекрестков ГПТОП, корректировки циклов светофорного регулирования с учётом движения маршрутных транспортных средств, возможность использования выделенной полосы неприоритетными транспортными средствами в зависимости от дорожно-транспортной ситуации.

Способы реализации предоставления приоритетного права движения ГПТОП [19, 27, 29, 36, 50, 66, 67, 85, 101] показаны на рисунке 1.4.

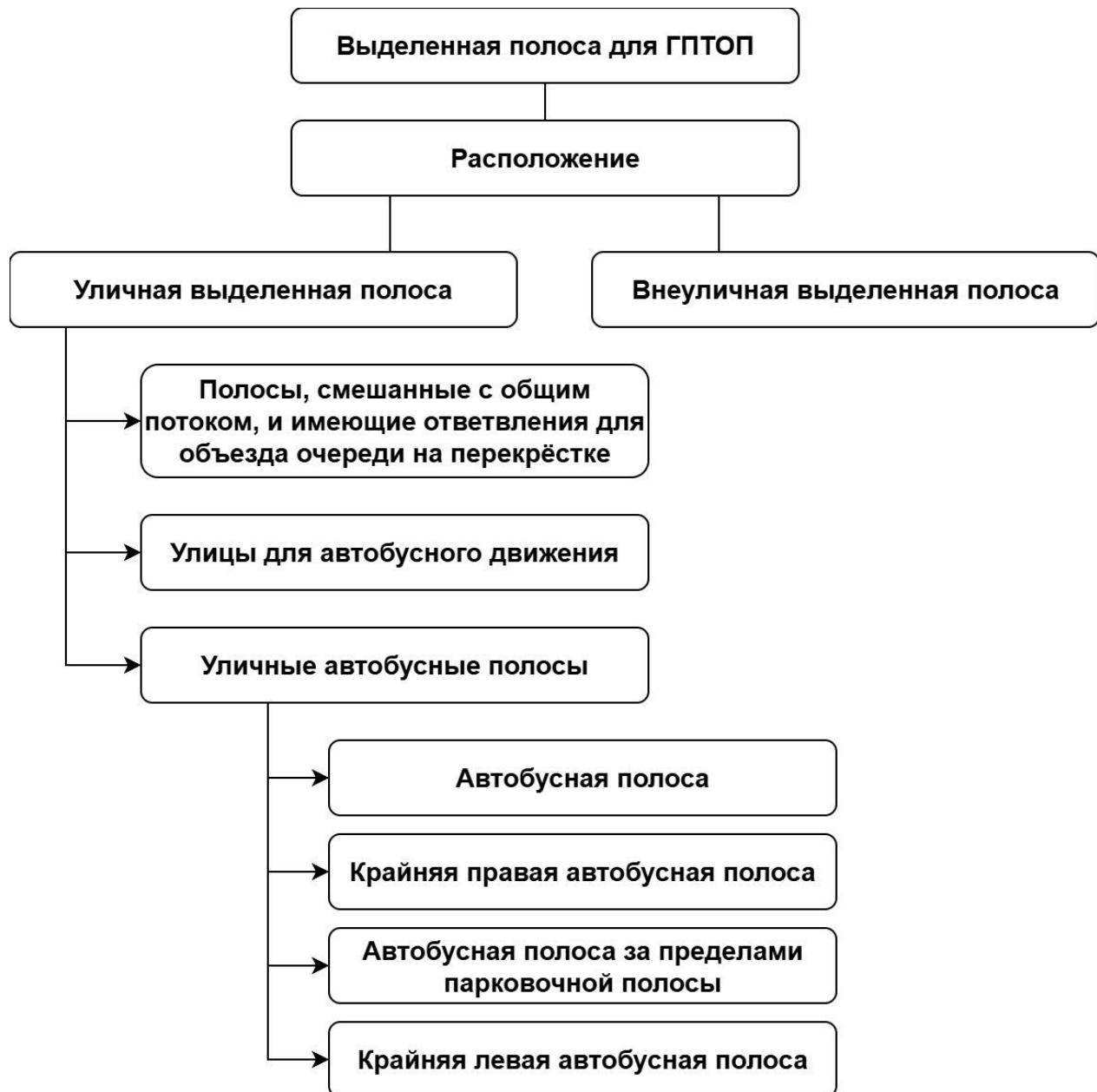


Рисунок 1.4 – Способы реализации предоставления приоритетного права движения ГПТОП

В зависимости от расположения выделенной полосы может быть несколько способов её обустройства. Внеуличная выделенная полоса не связана с основной проезжей частью. Уличная полоса находится на основной проезжей части, чаще это – крайняя правая полоса; такое расположение обеспечивает более лёгкое маневрирование, но возникают сложности с осуществлением левого поворота. Также выделенная полоса может быть крайняя левая или располагаться в боковом проезде.

Способы организации приоритетного движения ГПТОП можно разделить на активный приоритет, подразумевающий изменение длительности основных тактов светофорного регулирования при приближении автобуса к перекрестку, и пассивный приоритет, устанавливающий режим светофорного регулирования с учётом ГПТОП на определенных участках [27, 43, 67, 101] (рисунок 1.5).



Рисунок 1.5 – Способы организации приоритетного движения ГПТОП

Пассивный приоритет может быть реализован посредством увеличения длительности разрешающего сигнала светофора для того направления, с которого осуществляется преимущественное движение маршрутного транспортного средства. Также практикуется разнесение стоп-линий для приоритетного транспортного потока и неприоритетного, чтобы обеспечить первоочередной проезд перекрестка маршрутным транспортом.

Активный приоритет может быть организован путём увеличения длительности разрешающего сигнала светофора для того направления, с которого осуществляется приближение маршрутного транспортного средства или вводом специальной фазы для пропуска ГПТОП.

1.3 Обзор научных работ, нормативной и технологической документации по теме исследования

В настоящее время наблюдаются значительные различия в темпах роста автомобилизации регионов Российской Федерации. Наибольший рост происходит в Москве, Санкт-Петербурге, Московской области и Краснодарском крае. Также рост числа автомобилей наблюдается в краевых и областных центрах регионов Российской Федерации.

Темпы роста автомобилизации обусловлены, в том числе, ростом и развитием городских территорий. Увеличение численности населения и социально-экономические условия влекут за собой и рост количества транспортных средств, приходящихся на 1000 жителей. При этом темпы развития дорожной сети существенно отстают от уровня автомобилизации. При росте протяженности дорожной сети на 20% рост автомобилизации превышает 85% и увеличивается ежегодно [40, 49, 55, 58]. Пропускная способность дорожной сети в большинстве случаев остается неизменной – уширения наблюдаются на незначительных участках, а в зоне плотной городской застройки реконструкция дорожной сети чаще всего является невозможной. Очевидно, что характеристики дорожной сети не соответствуют существующей и перспективной интенсивности транспортных потоков в городах. Вследствие этого возникают заторовые ситуации на отдельных участках дорожной сети и на транспортной сети города. Кроме этого, наблюдается ухудшение экологического состояния города из-за негативного воздействия автомобилей. Это проявляется как в выбросах отработавших газов, так и в шумовом воздействии транспортного потока.

Все вышеперечисленное приводит к неэффективной работе дорожной сети города и неудовлетворительным условиям передвижения. Одной из основных проблем, связанных с повышением уровня загрузки дорожной сети, является снижение скорости движения по улицам города. В свободных условиях средняя скорость транспортного потока в городе составляет 55-60 км/ч (в зависимости от

режимов светофорного регулирования и количества светофорных объектов). В пиковые периоды на отдельных участках дорожной сети скорость транспортного потока снижается до 10-15 км/ч [8, 25, 34, 53, 125].

Скорость сообщения ГПТОП также снижается – с 25-30 км/ч в свободных условиях до 5-10 км/ч в пиковые периоды. При этом с учётом времени, затрачиваемого на посадку и высадку пассажиров, а также времени подхода к остановочным пунктам, передвижение по городу на личном автомобиле сокращает время, затрачиваемое на поездку, более чем на 50% (на примере г. Краснодара) [55, 58]. Кроме того, наблюдаются частые отклонения от графика следования по маршруту ГПТОП. В совокупности с уровнем комфорта, который наблюдается в транспорте общего пользования (отсутствие мест для сидения в пиковые периоды, большое количество стоящих пассажиров и прочие неудобства) осуществить популяризацию ГПТОП среди населения, обладающего личными транспортными средствами, достаточно проблематично [10, 15, 25, 79, 112].

Цикличность движения ГПТОП (как и любого транспортного средства) заключается в последовательности элементов: разгон – движение – остановка. Остановки могут быть как запланированные (для посадки и высадки пассажиров), так и по причине дорожно-транспортной ситуации (запрещающий сигнал светофора, затор, препятствие на проезжей части).

С учётом такой цикличности скорость ГПТОП может увеличиться при соблюдении некоторых условий:

- увеличение расстояния между остановками, то есть увеличение длины перегона между остановочными пунктами и увеличение расстояния между светофорными объектами либо приоритет на пересечении со светофорным регулированием;

- сокращение времени остановки; при остановке на запрещающий сигнал светофора это достигается путём корректировки цикла светофорного регулирования (активный приоритет), при приближении ГПТОП длительность запрещающего сигнала с данного направления сокращается; при остановке для

посадки и высадки пассажиров это достигается путём конструктивных изменений подвижного состава (ширина входного портала, низкий пол).

Таким образом, увеличить скорость ГПТОП можно системной работой в двух направлениях – совершенствовании организации дорожного движения и предоставлении приоритетного права проезда.

На скорость движения транспортного потока и на безопасность движения существенное влияние оказывает нехватка парковочных пространств на основных магистралях города. В результате наблюдается большое количество транспортных средств, припаркованных на полосах движения, в том числе и на выделенных полосах для маршрутного транспорта, и часто в два ряда. В результате этого водители, движущиеся по крайней правой полосе, вынуждены часто перестраиваться в соседние полосы движения для объезда припаркованных транспортных средств.

Так как ГПТОП чаще всего передвигается по крайней правой полосе (вне зависимости от того, является она выделенной или нет), большое количество манёвров перестроения приходится именно на маршрутный транспорт. С учётом габаритов и низкой маневренности ГПТОП, такой режим движения существенно снижает скорость сообщения маршрутных транспортных средств. И даже на тех участках дорожной сети, где предусмотрены выделенные полосы для ГПТОП, из-за нарушений правил дорожного движения водителями личного транспорта, маршрутные транспортные средства не могут обеспечить конкурентоспособную скорость сообщения [22, 19, 25, 26, 30, 44].

Кроме того, большое количество перестроений и объездов влечёт за собой аварийные ситуации.

В данных условиях преимущества имеет тот ГПТОП, который движется по обособленному полотну (например, трамвай), при этом движение других транспортных средств по данному участку должно быть запрещено. На участках движения рельсового транспорта, где также осуществляется движение легковых автомобилей, маршрутный транспорт вынужден простоять в заторах из-за помех, создаваемых другими транспортными средствами. Это же касается

пересечений обособленного полотна с проездной частью – в заторовых ситуациях нередко водитель легкового автомобиля выезжает на перекресток на разрешающий сигнал светофора, но из-за затора не может вовремя завершить проезд зоны перекрестка и создаёт помехи для движения рельсового транспорта. Также помехой часто являются припаркованные легковые автомобили, находящиеся слишком близко к трамвайному полотну. Все это снижает скорость сообщения ГПТОП и приводит к нарушению графика движения и снижению уровня качества транспортного обслуживания населения [79, 93, 95].

При этом ГПТОП значительно безопаснее легкового автотранспорта. По статистике, уровень аварийности и тяжесть последствий ДТП для пассажиров, передвигающихся на ГПТОП, на 80-90% ниже, чем для водителей и пассажиров личных автомобилей. Кроме того, ГПТОП является ключевым элементом социальной, индустриальной и транспортной инфраструктуры современного города, обеспечивающим устойчивое развитие городской транспортной системы [2, 19, 25, 33, 37, 42, 49, 68, 84].

Мобильность сегодня является ключевым фактором развития общества и личности. Все большую популярность приобретают средства индивидуальной мобильности, позволяющие осуществлять проезд «от двери до двери» без задержек. Но транспортная инфраструктура не обеспечивает удобство и безопасность использования средств индивидуальной мобильности, законодательная база пока не проработана в нужной мере и процесс интеграции этих средств в систему городского транспорта идёт недостаточно быстро. Кроме того, возможность и частота использования средств индивидуальной мобильности зависит от многих факторов – от возраста и социального статуса пользователя, от погодных условий и т.д. Поэтому большинство жителей предпочитают использование личного автотранспорта для максимально быстрого и комфорtnого передвижения по городу. Сложность заключается в том, что с увеличением уровня автомобилизации, который в настоящее время наблюдается в крупных и крупнейших городах, использование автомобильного транспорта далеко не всегда обеспечивает мобильность. Несоответствие

интенсивности транспортного потока и пропускной способности дорожной сети вынуждает искать возможности уменьшения количества транспортных средств на улицах города. И здесь единственным выходом из ситуации является ГПТОП, обладающий значительно большей провозной способностью по сравнению с автомобильным транспортом.

По примеру городов с хорошо развитой эффективной транспортной системой можно увидеть, что наибольшей мобильности можно достичь, только передвигаясь на маршрутном транспорте. Некоторые районы города закрыты для въезда легковых автомобилей или в эти районы организован платный въезд. Организуется система перехватывающих парковок с удобной пересадкой на ГПТОП. Маршрутный транспорт передвигается по выделенным полосам или по обособленным путям (в том числе и автомобильный). При этом исключено использование выделенных полос неприоритетными видами транспорта для движения или парковки. Скорость движения ГПТОП в 1,5-2 раза превышает скорость движения индивидуального транспортного средства в потоке. Поэтому жители города независимо от финансового или социального статуса для передвижения используют преимущественно ГПТОП – это быстрее, удобнее, дешевле. Но для достижения такого уровня качества транспортного обслуживания населения необходимо создать эффективную и надёжно функционирующую систему городского транспорта, обеспечивающую высокую скорость сообщения, необходимый уровень комфорта, соблюдение графика и интервалов движения, минимальные затраты времени и усилий на подходы к остановочным пунктам и ожидание транспорта [38, 75, 80, 91, 121].

При обеспечении этих критериев, с учётом задержек времени для неприоритетного транспорта и сложностей с организацией парковочных пространств в центральной части городов и в селитебных зонах, жители города для передвижения будут в большинстве случаев выбирать ГПТОП.

В настоящее же время, с учётом затрат времени на подход к остановочному пункту, не всегда комфортных условий ожидания транспорта (значительная доля остановочных пунктов не оборудована комфортными

павильонами и площадками ожидания), а также особенностей посадки и высадки пассажиров (часто автобус останавливается далеко от посадочной площадки, подъём в салон автобуса вызывает сложности у маломобильных групп населения), отсутствия достаточного количества мест для сидения (большая часть пассажиров едет стоя, причем отсутствует комфортная площадь для размещения стоящих пассажиров, а над сидящими пассажирами нависают стоящие с сумками и рюкзаками), и низкой скорости сообщения, большинство жителей, имеющих личные автомобили, выбирает для передвижения именно их. При существующем уровне качества транспортного обслуживания, человек, осуществивший поездку в ГПТОП, особенно в пиковое время, подвергается так называемой транспортной усталости, и по прибытии к месту приложения труда или учёбы не может трудиться максимально эффективно.

Снижение уровня загрузки и повышение пропускной способности дорожной сети может быть достигнуто в результате ее реконструкции (что не всегда возможно в зоне капитальной застройки), запрета уличных парковок (при этом нет необходимого количества внеуличных паркингов), перераспределения транспортных потоков (возможно на ограниченных участках дорожной сети), совершенствования организации дорожного движения (не всегда позволяет добиться желаемого эффекта).

Таким образом, снижение уровня загрузки дорожной сети эффективнее всего достигается сокращением количества транспортных средств, одномоментно находящихся на проезжей части, а, следовательно, приоритетного выбора ГПТОП в качестве основного средства передвижения по территории города.

Это подтверждается мировым опытом, накопленным в течение последних десятилетий странами с высоким уровнем автомобилизации, и свидетельствующим о необходимости прямого или косвенного ограничения использования индивидуального транспорта при сохранении общего уровня подвижности населения, являющейся характеристикой свободы личности [5, 10, 15, 22, 63].

Реализация приоритетного движения ГПТОП преследует цели обеспечить безопасность движения на маршрутах следования, снижение затрат времени пассажиров, повышение скорости сообщения и качества транспортного обслуживания. Для этого организуются обособленные пути сообщения, выделенные полосы, активный приоритет ГПТОП путём корректировки цикла светофорного регулирования, приоритет при проезде перекрестков, приоритет при въезде в центральную (или наиболее загруженную) часть города. При этом ухудшаются условия для движения неприоритетных видов транспорта, снижается пропускная способность проездной части, что также должно способствовать выбору ГПТОП в качестве основного способа передвижения [3, 70, 100, 104].

На первоначальном этапе проведённого исследования выполнен обзор научных работ, нормативной и методической документации в области организации приоритетного движения ГПТОП.

Одной из первых фундаментальных работ в рассматриваемом вопросе стала научная работа С.И. Смирнова [94], который впервые решил задачу предварительной оценки изменения среднего времени проезда транспортными средствами (ТС) различных типов в связи с выделением полосы приоритетного движения для ГПТОП. Автор также:

- учёл её месторасположение на проездной части, интенсивность и состав потока неприоритетных ТС, особенности проявления их динических качеств на конкретном перегоне;

- обосновал целесообразность коррекции стандартной методики расчёта цикла регулирования на изолированном перекрестке при выраженной неравномерности стоимости задержек ТС с учётом стоимости задержки пассажиров, пропускаемых в разных фазах;

- разработал и использовал метод расчёта оптимальных величин основных тактов, минимизирующих общую стоимость задержек ТС и пассажиров;

- разработал методику расчёта изменения общей стоимости задержек ТС и пассажиров в связи с использованием метода разнесенных стоп-линий с учётом

деформации цикла регулирования, вызванной увеличением соответствующего фазового коэффициента.

В этом же направлении проводил свои исследования и М.Р. Якимов [105, 107, 107, 105], который разработал методику определения целесообразности выделения обособленной полосы для движения общественного транспорта на участке дорожной сети. Критерием целесообразности ввода полосы приоритетного движения было выбрано превышение суммарных задержек участников движения при выделенной полосе для движения общественного транспорта относительно суммарных задержек, когда общественный транспорт движется в общем потоке.

Схожие исследования проводились и О.В. Поповой [85], которая провела обоснование критериев качества управления транспортными потоками с учётом приоритетного движения ГПТОП, а также разработала методику организации и планирования приоритетного движения ГПТОП, ориентированную на оптимизацию этих критериев.

А.М. Белова в своих работах: предложила классификацию условий и критериев целесообразности выделения полос для движения ГПТОП [10]; обосновала интегральный показатель, применяемый при оценке необходимости выделения приоритетной полосы для движения ГПТОП, отличающийся учётом потерь времени пассажиров ГПТОП на перегонах рассматриваемого маршрута в период наибольшей интенсивности движения транспорта; разработала методику обоснования целесообразности выделения полос для движения ГПТОП, которая позволяет оценить целесообразность обеспечения приоритетного движения ГПТОП с точки зрения потерь времени пассажиров ГПТОП, водителей и пассажиров личного транспорта на перегонах маршрута в период наибольшей интенсивности движения транспорта [10, 24].

Немаловажным является вопрос изменения характеристик транспортных потоков при организации приоритетного движения автобусов, который изучил Ю.В. Голеницкий [29]. Он рассматривал закономерности возникновения различных режимов приоритетного регулирования, структуру основных

вариантов работы регулируемого пересечения в приоритетном режиме, зависимости между частотой каждого режима приоритетного регулирования и интенсивностью движения автобусов; зависимости между задержкой пассажиров и частотой движения маршрутных автобусов при различных методах организации приоритетного регулирования; параметры эффективности приоритетного регулирования при определении местоположения автобуса с помощью навигационных систем.

Другой аспект этой проблемы рассмотрели в своих исследованиях Д.Х. Нестеренко и Ле Дик Лонг, которые проанализировали модель влияния структуры транспортного потока на время проезда участка маршрутной дорожной сети, основанную на определении соотношения пассажирских автотранспортных средств в транспортном потоке [70, 79]. Алгоритм повышения привлекательности услуг городского пассажирского автомобильного транспорта, отличающийся учётом комплекса факторов, оцениваемых по уровню обслуживания движения участка маршрутной дорожной сети; закономерности влияния доли автобусов в транспортном потоке на время проезда участка маршрутной дорожной сети и на коэффициент загрузки дороги движением также были рассмотрены в рамках указанных исследований. Кроме того, была выявлена тенденция применения систем скоростных автобусных перевозок с целью решения задачи повышения конкурентоспособности пассажирского транспорта в крупных городах и проанализирован опыт разрешения конфликтных ситуаций между транспортными средствами и маршрутным автомобильным транспортом, движущимся по выделенным полосам, на пересечениях в одном уровне. Также было рассмотрено влияние пешеходного движения и совершения манёвров на задержку автомобилей на пересечении [70, 68, 79].

А.А. Бурлуцкий, А.В. Косцов, Ю.Л. Власов, Е.В. Фомин, В.А. Зеер в своих работах [13, 14, 19, 59, 72, 101, 102] установили корреляционные зависимости для магистральных улиц и дорог крупного города, отражающие изменение средних скоростей движения легковых автомобилей и автобусов от

интенсивности транспортного потока и числа полос движения проезжей части; зависимости скоростей сообщения автомобилей и подвижного состава ГПТОП как в условиях движения подвижного состава ГПТОП в смешанном транспортном потоке, так и в условиях его движения по выделенным полосам от уровней загрузки городских магистральных улиц; закономерности между параметрами транспортных потоков и параметрами программы перевозок городского пассажирского транспорта, на основе которых сформулировали критерии необходимости выделения полосы приоритетного движения для ГПТОП.

С другой стороны, В.В. Зырянов, А.А. Мирончук, Дж. Вигас и Б. Лю в своих работах [45, 50, 76, 77, 129, 133] описали структуру, алгоритм, параметры работы и возможности и особенности интеграции системы приоритетных полос прерывного действия с городской интеллектуальной транспортной системой, а также исследовали эффективные условия применения приоритетных полос прерывного действия и использование компонентов интеллектуальных транспортных систем для внедрения полосы прерывного движения [46, 46].

Учёные из разных стран работают над организацией приоритетного движения ГПТОП через регулируемые перекрестки. И.Т. Гварамия [27] разработал метод автоматического пропуска ГПТОП через пересечения со светофорным регулированием. На основе разработанных алгоритмов управления светофорной сигнализации была определена эффективность светофорного регулирования и получено оптимальное время продления цикла регулирования с учётом конфликтующих сторон движения. Данное направление исследований нашло отражение в трудах И.П. Димовой, Н.Н. Дудникова, К.А. Синько и С.Г. Курганского, П.С Рожина [38, 43, 67].

Актуальным вопросом является возможность функционального объединения приоритетных полос ГПТОП с другими элементами поперечного профиля и транспортной инфраструктуры. Т. Черрет, Ф. Маклауд, G. Robins и другие авторы [115, 120, 126] в своих работах рассмотрели возможность функционального объединения приоритетных полос ГПТОП и полос для

движения грузового транспорта. Цзя Ху, Чжэси Лянь, Сюсюэ Сан [118, 122, 132] в своих работах исследовали динамическое распределение права проезда для ГПТОП с учётом устойчивости транспортной системы. С одной стороны, это обеспечивает абсолютный приоритет автобусов, контролируя подключенные автоматизированные транспортные средства (АТС), чтобы они не мешали автобусам. С другой стороны, это может повысить устойчивость транспортной системы, выделяя право проезда для АТС с высокой потребностью в поворотах. Р. Дюбе, Д. Дэйлисан и другие авторы [116, 117] в своих работах исследовали повышение эффективности использования дорог для реалистичных комбинаций смешанного движения АТС и интеллектуальных транспортных средств. Предыдущие исследования были сосредоточены на стратегиях управления полосой движения в условиях одиночного транспортного средства, игнорируя взаимодействие АТС с соседними АТС и интеллектуальными транспортными средствами. Р. Дюбе, Д. Дэйлисан [116, 117] предложили мультиагентную систему обучения нейросети, подключённой к интеллектуальной системе управления движением, что способствует рациональному использованию приоритетных полос движения с учётом комфорта вождения, эффективности движения и безопасности при перестроении.

Результаты практического внедрения разработок Р. Дюбе, Д. Дэйлисана [116, 117] демонстрируют, что предлагаемая система значительно повышает эффективность дорожного движения, особенно когда уровень проникновения автоматизированных транспортных средств составляет менее 40%, а полуавтономные транспортные средства составляют 50% от общего числа остальных транспортных средств. Эта система превосходит традиционные стратегии управления движением, сокращая среднее время ожидания и увеличивая среднюю скорость [76, 77, 99].

А.А. Фадюшин, Д.С. Карманов в своём исследовании [100] рассматривают вопросы повышения эффективности функционирования городского общественного пассажирского транспорта за счёт выбора оптимальных

параметров полосы для маршрутных транспортных средств.

И.И. Шлиппе, Л.Е. Чернобаева и А.В. Ахтеров в своей работе [104] анализируют эффективность применения выделенной полосы общественного транспорта. Оценка эффективности производится через экономическую оценку свободного времени пассажира.

Е. Элокда, К. Цендер, К. Чанг [119] исследуют существующие подходы к ограничению доступа к управляемой полосе приоритетного движения, в частности, это плата за проезд. Исследуется соотношение стоимости проезда по приоритетной полосе и доходы различных классов населения. Таким образом, управление большей частью узких мест может быть эффективным социально, а не экономически.

Ю. Хадас и О. Нахум [120] разработали многоцелевую модель для выбора оптимальной сети приоритетных полос движения ГПТОП, которая: максимизирует общую экономию времени в пути; обеспечивает сбалансированность терминалов отправления и назначения; минимизирует бюджет строительства. В отличие от широко используемых одноцелевых моделей, которые необходимо выполнять множество раз, чтобы предоставить ответственному лицу возможные решения, многоцелевые модели демонстрируют полный набор возможных и оптимальных решений при однократном выполнении.

Сайд Асад Баглу, Мажид Сарви, Авиша Цедер в своей работе [127] анализируют способы определения перегруженных участков дорожной сети для организации приоритетного движения ГПТОП. Для этого определяется коэффициент полезного действия, основанный на количестве транзитных пассажиров и уровне загруженности. Затем возникает задача найти наилучшее подмножество этих улиц, чтобы выделить полосу для движения ГПТОП. Она сформулирована как двухуровневая задача нелинейного программирования со смешанными целыми числами, в которой переменные решения являются двоичными, чтобы на соответствующей дороге была выделена исключительная транзитная полоса или нет. Негативные последствия сводятся к минимуму на

верхнем уровне, представленном общим временем в пути (личным транспортом и ГПТОП), затрачиваемым на сеть. Нижний уровень учитывает распределение трафика по двум категориям транспорта, чтобы учесть влияние приоритетного ГПТОП на частные виды транспорта.

Ряд учёных анализировали общие вопросы организации приоритетного движения ГПТОП. В.Р. Вучик [25] в своих исследованиях анализировал организацию движения городского пассажирского транспорта в различных городах мира, в том числе с использованием приоритетных полос движения для ГПТОП. В.М. Власов, Ф.В. Акопов, А.Э. Горев в своих работах [3, 19, 30, 30] рассматривали возможность организации приоритетного движения ГПТОП с централизованным управлением, основные проблемы в организации приоритетного движения ГПТОП по выделенным полосам, повышение эффективности использования общественного транспорта за счёт выделенных полос.

Вопросами целесообразности оборудования выделенных полос для ГПТОП занимались Ф.В. Акопов, А.М. Белова, О.В. Попова, М.Р. Якимов, а также Ю.Д. Шелков, Ю.А. Кременец и другие авторы [3, 10, 85, 98, 105]. Их подходы к определению целесообразности ввода приоритетного движения ГПТОП различны.

Так, Ю.Д. Шелков критерием целесообразности оборудования полосы приоритетного движения ГПТОП считает интенсивность транспортного потока и интенсивность движения ГПТОП, а также число полос движения. В зависимости от значения этих показателей определяется и тип выделенной полосы (крайняя правая, крайняя левая, реверсивная) [98].

Ф.В. Акопов критерием целесообразности ввода выделенных полос для ГПТОП считает сокращение суммарных затрат времени участников движения. При этом учитываются длина участка дорожной сети, на котором планируется оборудование выделенной полосы, интенсивность транспортного потока и ГПТОП на данном участке до и после ввода выделенной полосы, пассажиропоток до и после ввода выделенной полосы, скорость движения до и

после ввода выделенной полосы. Критерием эффективности оборудования выделенной полосы считается доля участников дорожного движения, отказавшихся от передвижения на легковом автомобиле в пользу ГПТОП [3, 9, 21].

О.В. Попова в качестве критерия возможности ввода выделенной полосы считает соотношение величин пропускной способности рассматриваемого участка дорожной сети и интенсивности транспортного потока на данном участке. При этом учитываются интенсивность ГПТОП на данном участке, распределение транспортных средств на проезжей части, а также количество полос движения. Критерием эффективности ввода выделенной полосы считается сокращение суммарных затрат времени на передвижение участниками движения [85].

М.Р. Якимов [105] в качестве критерия целесообразности ввода выделенной полосы считает общее время задержек движения для всех участников до и после оборудования выделенной полосы ГПТОП. При этом учитываются интенсивность транспортного потока и ГПТОП, количество полос движения, пропускная способность рассматриваемого участка дорожной сети, наполнение подвижного состава ГПТОП и наполнение легкового автотранспорта. Эффективность ввода выделенной полосы определяется по соотношению суммарного времени задержек движения до и после организации приоритетного движения ГПТОП.

А.М. Белова в качестве критерия целесообразности ввода выделенной полосы предлагает использовать интегральный показатель, учитывающий как уровень загрузки участков дорожной сети, так и пассажиронапряжённость на данном участке. Показателем эффективности ввода приоритетного движения ГПТОП является значение потерь времени пассажиров ГПТОП на перегонах рассматриваемого участка до и после ввода выделенной полосы [10].

Моделированием приоритетного движения ГПТОП в различных условиях занимались Цицокас Димитриос, Кувелас Анастасиос, Цинью Lo, Солмаз Разми Рада, Ханин Фарах, Хенк Таалеа, Робель Деста, Мурат Байрак [116, 123, 130],

которые в своих работах рассмотрели моделирование и оптимизацию проектирования сети выделенных автобусных полос в условиях динамической загруженности дорог; исследовали возможность создания совместных выделенных полос для легковых автомобилей и автобусов; рассматривали проблему неоднородных транспортных потоков, влияющих на эффективность перевозок, а также рассмотрели проектирование и эксплуатацию выделенных полос для подключенных и автоматизированных транспортных средств на автомагистралях; рассмотрели экспериментальный подход с использованием среды микросимуляции для разработки модели дорожного движения с выделенными полосами; изучили различные комбинации обычных транспортных средств и беспилотного транспорта, логики вождения и геометрических модификаций, необходимых для работы беспилотного транспорта, а также проблему привязки при оптимизации местоположения выделенных автобусных полос в сети.

Матейс Шенмакерс, Дуджуан Янг, Элен Элкода, Ханин Фарах [119, 122, 130, 131] изучили поведенческую адаптацию к управлению автомобилем при движении рядом с автоматизированными транспортными средствами по выделенной полосе на автомагистралях.

Из нормативной документации в области организации приоритетного движения ГПТОП можно выделить только Указания по организации приоритетного движения транспортных средств общего пользования - первое в нашей стране издание, обобщившее наряду с практическими методами создания приоритета транспорта общего пользования результаты ряда научных разработок [98].

Другой нормативно-правовой документации в данной области в Российской Федерации в настоящее время нет.

В сфере организации пассажирских перевозок и дорожного движения можно выделить следующие нормативно-правовые документы:

- СП 42.13330.2016. Градостроительство. Планировка и застройка городских и сельских поселений;

- СП 34.13330.2021. Свод правил. Автомобильные дороги. (СНиП 2.05.02-85*);
- СП 396.1325800.2018. Улицы и дороги населенных пунктов. Правила градостроительного проектирования;
- ГОСТ Р 52289-2019. Технические средства организации дорожного движения. Правила применения дорожных знаков, разметки, светофоров, дорожных ограждений и направляющих устройств;
- ГОСТ Р 51825-2001. Услуги пассажирского автомобильного транспорта. Общие требования;
- ГОСТ Р 51004-96. Услуги транспортные. Пассажирские перевозки. Номенклатура показателей качества;
- Распоряжение Министерства транспорта РФ от 31 января 2017 г. № НА-19-р «Об утверждении социального стандарта транспортного обслуживания населения при осуществлении перевозок пассажиров и багажа автомобильным транспортом и городским наземным электрическим транспортом»;
- Федеральный закон «Об организации регулярных перевозок пассажиров и багажа автомобильным транспортом и городским наземным электрическим транспортом в Российской Федерации и о внесении изменений в отдельные законодательные акты Российской Федерации» от 13.07.2015 N 220-ФЗ;
- Федеральный закон от 08.11.2007 N 259-ФЗ (ред. от 19.10.2023) «Устав автомобильного транспорта и городского наземного электрического транспорта» (с изм. и доп., вступ. в силу с 01.03.2025);
- Приказ Министерства транспорта РФ от 31 июля 2020 г. № 282 «Об утверждении профессиональных и квалификационных требований, предъявляемых при осуществлении перевозок к работникам юридических лиц и индивидуальных предпринимателей», указанных в абзаце первом пункта 2 статьи 20 Федерального закона «О безопасности дорожного движения»;
- Приказ Министерства транспорта РФ от 30 апреля 2021 г. № 145 «Об утверждении Правил обеспечения безопасности перевозок автомобильным транспортом и городским наземным электрическим транспортом»;

- Приказ Министерство транспорта РФ от 28 октября 2020 г. № 440 «Об утверждении требований к тахографам, устанавливаемым на транспортные средства, категорий и видов транспортных средств, оснащаемых тахографами, правил использования, обслуживания и контроля работы тахографов, установленных на транспортные средства»;

- Приказ Министерства транспорта РФ от 16 октября 2020 г. № 424 «Об утверждении Особенностей режима рабочего времени и времени отдыха, условий труда водителей автомобилей»;

- Постановление Правительства РФ от 27 мая 2023 г. № 837 «О внесении изменений в Основные положения по допуску транспортных средств к эксплуатации и обязанности должностных лиц по обеспечению безопасности дорожного движения».

По результатам обзора выявлено, что в настоящее время малоизучены следующие вопросы:

- приоритетный проезд ГПТОП через перекресток, в том числе при изменении геометрических характеристик проезжей части или схемы организации дорожного движения;

- организация левоповоротного движения или разворота ГПТОП на пересечении при движении по крайней правой или центральной выделенной полосе;

- организация посадки и высадки пассажиров при оборудованной центральной или крайней левой выделенной полосе;

- обеспечение пропуска транспортного потока, совершающего поворот и пересекающего при этом выделенную полосу для ГПТОП;

- организации проезда к объектам, находящимся на рассматриваемом участке, подъезд к которым невозможен без заезда на выделенную полосу;

- максимально эффективного использования выделенных полос с учётом их фактической пропускной способности, интенсивности движения ГПТОП, количества остановочных пунктов, пассажиропотока, времени посадки-высадки пассажиров.

Работы перечисленных исследователей сформировали научно-методическую базу, позволяющую решить актуальные проблемы и прикладные задачи в области организации приоритетного движения ГПТОП. Практическая реализация результатов научных работ указанных авторов послужила основой для разработки организационно-технологических решений, направленных на повышение эффективности функционирования ГПТОП и городских транспортных систем в целом.

Выполненный анализ позволил сделать заключение о возможности и целесообразности организации приоритетного движения ГПТОП для решения задачи повышения эффективности функционирования городской транспортной системы.

Практическая реализация предполагает разработку методики определения условий ввода и эффективного функционирования выделенных полос для приоритетного движения ГПТОП. Разработка данной методики, а также составление алгоритма её применения составляет задачу, решаемую во втором разделе диссертационной работы.

1.4 Выводы по первому разделу, цель и задачи исследования

На основании вышеизложенного материала сформулирована цель исследования – повышение эффективности использования городской дорожной сети на основе обеспечения приоритетных условий движения городского пассажирского транспорта общего пользования.

На основании результатов литературного обзора и общей логики научного исследования, определены задачи, решение которых обеспечивает достижение поставленной цели:

- анализ существующих условий и критериев целесообразности выделения полос для движения ГПТОП;
- разработка показателя эффективности использования городской дорожной сети;

- разработка методики оценки целесообразности организации выделенной полосы для движения ТС ГПТОП на локальном участке городской дорожной сети;
- выявление условий, определяющих целесообразность организации выделенных полос для движения ГПТОП;
- оценка социально-экономического эффекта от внедрения результатов исследования.

2 ТЕОРЕТИЧЕСКАЯ ЧАСТЬ ИССЛЕДОВАНИЯ

2.1 Описание критерия оценки целесообразности организации выделенной полосы ГПТОП на участке городской дорожной сети

Определение и оценка пропускной способности на участках дорожной сети города является все более актуальной в условиях увеличивающегося уровня автомобилизации и роста городских территорий.

Современные города все чаще сталкиваются с проблемой организации движения транспортных потоков высокой интенсивности, когда особенно важно эффективное управление транспортными потоками в центральной части городов, где затруднена или невозможна реконструкция дорожной сети.

Для оценки пропускной способности необходимо учитывать различные взаимодополняющие критерии, объединенные в систему, так как традиционные методы оценки в существующих реалиях часто оказываются недостаточными для объективной и многомерной оценки пропускной способности различных элементов дорожной сети.

На сегодняшний день существует ряд методов оценки пропускной способности участков городской дорожной сети, различающихся по применяемому аппарату и целям исследования. Классификационная схема критериев оценки пропускной способности дорожной сети приведена на рисунке 2.1.

Плотность дорожной сети позволяет оценить оснащённость рассматриваемой территории путями сообщения посредством следующих показателей: протяженность дорожной сети на 1 км² площади рассматриваемого района; протяженность дорожной сети на одного жителя; количество транспортных средств на 1 км протяженности дорожной сети; годовой пробег на 1 км протяженности дорожной сети.



Рисунок 2.1 – Критерии оценки пропускной способности дорожной сети

Эти показатели имеют большое значение для транспортного планирования и градостроительства, но не отражают динамику дорожно-транспортной ситуации.

Известны критерии оценки пропускной способности сети, ориентированные на её потенциал. Так, в работах М.Г. Крестмейна [65] приведён относительный показатель пропускной способности, измеряемый соотношением количества автомобилей и площади территории района города (авт./ч на 1 га). Данный показатель эффективен для проведения сравнительного анализа оценки пропускной способности дорожной сети различных территорий.

Основным показателем, используемым в настоящее время для оценки

потенциала существующей дорожной сети при фактически проводимых исследованиях, является коэффициент загрузки движением Z . Данный показатель определяется отношением фактической интенсивности движения к практической пропускной способности участка дороги. Чем выше значение коэффициента загрузки – тем более насыщенный поток. При приближении значения коэффициента к 1 снижается скорость движения, затрудняется маневрирование.

Другой широко известный критерий оценки потенциала сети – это уровень обслуживания. Данный показатель учитывает фактическую интенсивность движения, плотность и задержки транспортных потоков.

В настоящее время в Российской Федерации сформировалась определенная система подходов к оценке пропускной способности, каждый из которых применяется для решения конкретных задач (рисунок 2.2).



Рисунок 2.2 – Методологии анализа пропускной способности в Российской Федерации

Нормативно-коэффициентный подход, формализованный в Отраслевой дорожной методике (ОДМ) 218.2.020-2012 [80], долгое время был и, несмотря на официальную отмену (Распоряжение Росавтодора №1414-р от 05.05.2022), во многом остаётся ключевым документом в практической деятельности

проектировщиков и экспертов в Российской Федерации. Преимущества данного подхода в его простоте. Кроме того, в настоящее время отсутствует новая официальная методология, которая могла бы заменить данную нормативно-методическую базу. Указанная методология основана на концепции базовой пропускной способности – теоретически максимального количества транспортных средств, которое может пропустить одна полоса движения в течение часа в идеальных (эталонных) условиях. Для многополосной автомобильной дороги эта базовая величина пропускной способности принималась равной 2000 легк. авт/ч/полоса.

Поскольку реальные условия всегда отличаются от идеальных, расчётная пропускная способность P определяется путём последовательной корректировки базового значения с помощью серии эмпирических коэффициентов. Основным критерием оценки является коэффициент загрузки движением Z , рассчитываемый как отношение фактической (или прогнозируемой) интенсивности движения N к расчётной пропускной способности P :

$$Z = N / P. \quad (2.1)$$

Согласно методике, в зависимости от величины Z даётся оценка режима движения от «Свободного» до «Перегруженного». Данная методика проста в использовании и позволяет оперативно оценивать загрузку локальных участков. Кроме того, она дает возможность формализованного учёта геометрических параметров дорожной сети. К недостаткам метода следует отнести тот факт, что он не учитывает стохастическую природу транспортных потоков и динамическое изменение дорожных условий. В условиях затора, при снижении интенсивности транспортного потока из-за достижения предельной плотности, результаты расчётов коэффициента загрузки не отражают фактическую ситуацию. Методику можно применить только для изолированного участка дорожной сети (например, перегона), при этом она не учитывает пропускную способность смежных участков, которая имеет большое значение [51].

Определяемое соотношение интенсивности движения и пропускной способности участка дорожной сети также не учитывает скорость движения и задержки транспортных потоков, наличие светофорного регулирования (в том числе адаптивного) и предоставление приоритета ГПТОП.

Таким образом, использование данной методики в условиях современных городов целесообразно дополнить имитационными и сетевыми моделями.

В современных условиях более оптимальным является сетевой (теоретико-оптимизационный) подход. Данный подход позволяет оценивать пропускную способность не на изолированном участке, а на дорожной сети в целом, с учётом взаимосвязи и взаимозависимости характеристик и свойств транспортных потоков на различных её участках. Данный подход развивался в последние десятилетия отечественными учёными А.В. Горевым, С. Макаршиповым, Р.М. Ахаяном и другими [30, 30, 64]. Основной принцип подхода заключается в том, что пропускная способность дорожной сети рассматривается в рамках всей сети, а не локальных её участков. При этом на различных участках могут действовать определенные ограничения, накладываемые элементами участка сети.

В рамках данного подхода все передвижения по дорожной сети наглядно отображаются в виде графа. Учёт транспортного спроса реализован через матрицу корреспонденций, которая отражает транспортную подвижность между ключевыми точками. Такой подход позволяет моделировать не абстрактные транспортные потоки, а фактические, с учётом их характеристик и распределения в пространстве. Реализация подхода возможна посредством применения программного обеспечения имитационного моделирования, которое позволяет решать оптимизационные задачи. Кроме этого, используются специализированные геоинформационные системы для привязки графа к карте и использования различных атрибутов, а также для визуального представления результатов моделирования.

Описываемый сетевой подход является эффективным аналитическим инструментом для обеспечения комплексной оценки дорожной сети города, но при этом он требует высокой точности и достоверности исходных данных, а

также сложных расчётов и моделирования, для чего необходимы специалисты высокой квалификации.

В последние десятилетия всё большую популярность в России и за рубежом для решения задач в области организации движения и распределения транспортных потоков приобретают методы имитационного моделирования. Имитационное моделирование позволяет визуализировать движение транспортных потоков, учитывая множество сопутствующих факторов, а также наглядно показать, как именно будет работать система с заданными параметрами. Метод позволяет не только произвести оценку усредненных транспортных потоков в рамках заданной транспортной сети, но и продемонстрировать движение каждой единицы транспортного потока на каждом конкретном участке. Для моделирования на микроуровне используется программное обеспечение, такое как PTV Vissim, AnyLogic, Aimsun Micro, Eclipse SUMO, Ритм3. Моделирование на уровне макромоделей осуществляется при помощи программ PTV Visum, Aimsun Macro, TransCAD. Отечественные разработки (например, Парамикс или Ритм3) разрабатываются для импортозамещения и часто ориентированы на специфические требования российских нормативов и условий движения.

Современное развитие методов оценки пропускной способности неразрывно связано с внедрением интеллектуальных транспортных систем и использованием подхода, основанного на данных (Data-Driven). Этот подход представляет собой качественно новый этап в анализе транспортных систем, основанный на сборе, обработке и анализе больших массивов данных в реальном времени. Основная идея подхода заключается в переходе от теоретического моделирования и расчётов к принятию решений на основе фактических данных о работе транспортной системы. В отличие от других методов, Data-Driven подход опирается на непрерывный мониторинг транспортных потоков; использует технологии Big Data и машинного обучения для анализа; позволяет получать актуальную информацию о состоянии дорожной сети в режиме, близком к реальному времени; обеспечивает высокую

точность за счёт использования реальных, а не модельных данных.

По результатам анализа производится визуализация и представление результатов – создание интерактивных карт и дашбордов для оперативного принятия решений. В России Data-Driven подход реализован в рамках создания и обеспечения работоспособности систем адаптивного управления движением в крупных городах (Москва, Санкт-Петербург, Казань), которые позволяют динамически настраивать параметры светофорных объектов на основе текущей загрузки.

Особенностями данного подхода являются зависимость от качества и полноты исходных данных; необходимость обеспечения кибербезопасности и защиты персональных данных; высокие требования к вычислительным ресурсам и инфраструктуре; необходимость интеграции с существующими системами управления.

Примером зарубежных методик оценки пропускной способности является Highway Capacity Manual (HCM) (США) – «Золотой стандарт». HCM представляет собой комплексную методологию, признанную мировым эталоном в области анализа транспортных систем. Основной акцент в HCM делается на качестве транспортного обслуживания (Level of Service, LOS) с точки зрения пользователя. Ключевой критерий – Уровень обслуживания (LOS) – качественная характеристика условий движения, градуированная по шестиуровневой шкале от A (лучшие условия) до F (критические условия). HCM использует три уровня анализа: операционный, проектный и планировочный. Подход включает в себя современные разработки, такие как методы анализа сетевых эффектов и распространения заторов; улучшенные модели для двухполосных автомобильных дорог; интеграция мультимодального транспорта; учёт взаимодействия между автомагистралями и городскими улицами.

Европейские подходы к оценке пропускной способности характеризуются значительным разнообразием, отражающим национальные особенности транспортных систем и градостроительной политики. В отличие от унифицированного американского подхода HCM, европейские методики

демонстрируют адаптацию к местным условиям и требованиям. Несмотря на существенные различия, европейские методики демонстрируют общие тенденции: устойчивое развитие; безопасность движения; интеллектуальные системы; гармонизация стандартов.

Проведенный анализ позволяет заключить, что оценка пропускной способности городской дорожной сети эволюционировала от простых нормативных расчётов к сложному, многокритериальному и системному анализу.

На смену устаревшему, но всё еще применяемому нормативно-коэффициентному подходу приходят современные методы, интегрирующие в себя сетевой анализ, позволяющий оценить пропускную способность системы в целом, и имитационное моделирование, дающее возможность с высокой точностью смоделировать и проанализировать работу сети в различных сценариях. Современные методы знаменуют переход от реагирования на проблемы к их прогнозированию и предупреждению.

Таким образом, современная эффективная методология оценки пропускной способности должна базироваться не на одном отдельном подходе, а на их комплексном и взаимодополняющем применении: использование сетевых моделей для стратегического планирования, имитационного моделирования для детальной проработки проектов, нормативных методов для вспомогательных расчётов и Data-Driven систем для мониторинга и верификации. Именно такой интегральный путь позволяет получить наиболее полную и достоверную оценку возможностей городской транспортной инфраструктуры и принять обоснованные решения для её развития.

Проанализировав эффективные системы работы городского пассажирского транспорта на примере крупных и крупнейших городов, можем определить факторы, способствующие увеличению популяризации маршрутного транспорта общего пользования. Организация выделенной полосы для движения транспортных средств ГПТОП традиционно рассматривается в качестве мероприятия по повышению эффективности транспортного обслуживания

населения, применяемого в отношении проблемных участков дорожной сети, имеющих недостаточную пропускную способность. На таких участках в часы пиковых транспортных потоков регулярно формируются транспортные заторы. Принимаем, что вопрос целесообразности организации выделенной полосы рассматривается в отношении такого участка. При этом принято, что на предшествующих и последующих смежных участках дорожной сети пропускная способность выше максимальной интенсивности движения, то есть транспортные заторы не формируются. Также следует учесть, что при формировании заторов происходит перераспределение транспортных потоков между улицами – дублёрами, что целесообразно рассмотреть в рамках проводимого исследования. Исходя из этого, в качестве моделируемого объекта в работе принят участок городской дорожной сети, представляющий собой перегон между пересечениями городских улиц, в конце которого расположен светофорный объект. При организации выделенной полосы на городской улице с несколькими регулируемыми пересечениями осуществляется последовательное моделирование локальных участков, состоящих из перегонов между пересечениями.

Исходя из результатов литературного обзора, в качестве критерия оценки целесообразности организации выделенной полосы на участке городской дорожной сети предложено использовать величину изменения средней скорости передвижения пассажиров всех транспортных средств в рамках рассматриваемого участка Δv_{CP} .

С учётом того, что при организации выделенной полосы для движения транспортных средств ГПТОП зачастую снижается пропускная способность полос, предназначенных для движения других транспортных средств, возможно перераспределение транспортных потоков по параллельным улицам-дублёрам. Исходя из этого, целесообразно определение принятого критерия, как изменение средней скорости передвижения пассажира, установленного в отношении всей совокупности односторонних городских улиц. Данное условие описывается неравенством:

$$v_{CP.+П} > v_{CP.-П}, \quad (2.2)$$

где $v_{CP.+П}$ – средняя скорость передвижения пассажиров при схеме организации движения с выделенной полосой для движения ГПТОП, км/ч;

$v_{CP.-П}$ – средняя скорость передвижения пассажиров при схеме организации движения без выделенной полосы для движения ГПТОП, км/ч.

Оценка изменения средней скорости передвижения пассажиров, а следовательно, и целесообразность организации выделенной полосы для движения транспортных средств ГПТОП, может быть выполнена, исходя из величины $\Delta v_{CP.П}$, определяемой по формуле:

$$\Delta v_{CP.П} = v_{CP.+П} - v_{CP.-П}. \quad (2.3)$$

При $\Delta v_{CP} > 0$, организация выделенной полосы для движения ГПТОП целесообразна. При отрицательном значении данного показателя организация выделенной полосы нецелесообразна.

2.2 Математическое описание влияния выделенной полосы городского пассажирского транспорта общего пользования на эффективность функционирования участка дорожной сети

Как было отмечено выше, в качестве критерия оценки эффективности функционирования участка дорожной сети, в рамках проводимого исследования, целесообразно использовать изменение средней скорости передвижения пассажиров в пределах рассматриваемого участка $\Delta v_{CP.П}$. Предполагается учёт скорости передвижения пассажиров, перевозимых всеми видами наземного транспорта, как общего, так и индивидуального пользования. Целесообразность организации выделенной полосы для движения транспортных средств ГПТОП оценивается, исходя из характера влияния данного мероприятия на значение

указанного показателя. Очевидно, что при увеличении значения v_{CP} реализация мероприятий, направленных на обеспечение приоритетного движения транспортных средств ГПТОП, в том числе организация выделенной полосы, является целесообразной.

Значения средних скоростей передвижения пассажиров определяется как средневзвешенное значение, рассчитанное исходя из скорости движения и средней наполняемости транспортных средств различных категорий, передвигающихся в рамках рассматриваемого участка дорожной сети по совокупности односторонних городских улиц. Вычисление данного показателя при организации выделенной полосы для движения транспортных средств ГПТОП производится по формуле:

$$v_{CP+P} = \frac{\sum_{i=1}^k (\bar{v} \cdot n_i \cdot P_i \cdot \gamma_i + \bar{v}_c \cdot n_{iC} \cdot P_i \cdot \gamma_i) + \sum_{j=1}^m (\bar{v}_p \cdot n_{jP} \cdot P_{jP} \cdot \gamma_{jP})}{\sum_{i=1}^k (n_i \cdot P_i \cdot \gamma_i + n_{iC} \cdot P_i \cdot \gamma_i) + \sum_{j=1}^m (n_{jP} \cdot P_{jP} \cdot \gamma_{jP})}, \quad (2.4)$$

где \bar{v} – средняя скорость движения транспортных средств на рассматриваемом участке дорожной сети вне выделенной полосы, км/ч;

n_i – интенсивность движения транспортных средств i -ой категории на рассматриваемом участке дорожной сети вне выделенной полосы, ед./ч;

P_i – пассажировместимость транспортных средств i -ой категории, пасс.;

γ_i – коэффициент использования пассажировместимости i -ой категории транспортных средств, двигающихся вне выделенной полосы;

\bar{v}_c – средняя скорость движения транспортных средств на смежном участке дорожной сети, не имеющем выделенной полосы ГПТОП, при организации выделенной полосы на рассматриваемом участке, км/ч;

n_{iC} – интенсивность движения транспортных средств i -ой категории на смежном участке дорожной сети при организации выделенной полосы на рассматриваемом участке, ед./ч;

$\bar{v}_{п}$ – средняя скорость сообщения при движении транспортных средств ГПТОП по выделенной полосе, км/ч;

$n_{iП}$ – интенсивность движения транспортных средств j -ой категории, двигающихся по выделенной полосе, ед./ч;

$P_{jП}$ – пассажировместимость транспортных средств j -ой категории, двигающихся по выделенной полосе, пасс.;

$\gamma_{jП}$ – коэффициент использования пассажировместимости j -ой категории транспортных средств, двигающихся по выделенной полосе;

k – количество категорий транспортных средств, движущихся вне выделенной полосы;

m – количество категорий транспортных средств, движущихся по выделенной полосе.

Под смежными участками дорожной сети в работе понимаются сегменты дорожной сети, обеспечивающие альтернативный вариант реализации транспортных корреспонденций рассматриваемого участка для видов транспорта, не относящихся к ГПТОП (рисунок 2.3).

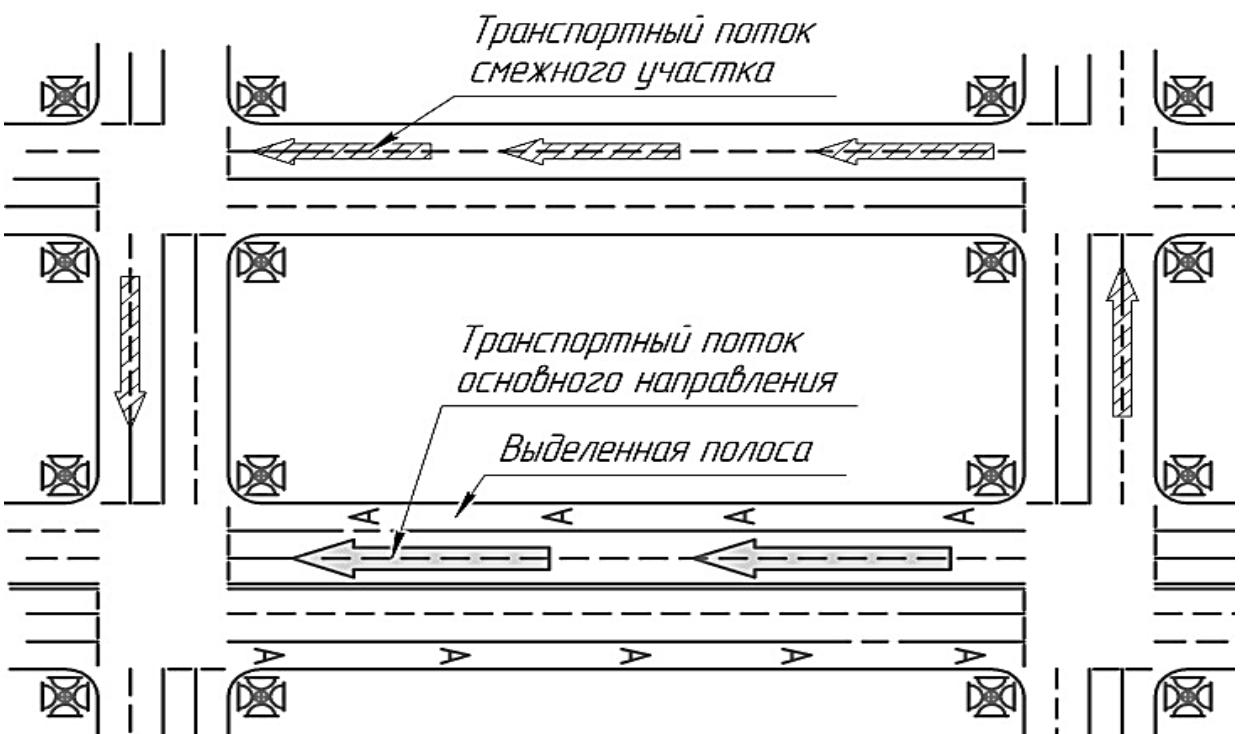


Рисунок 2.3 – Схема фрагмента дорожной сети с основным и смежным участками

Средняя скорость передвижения пассажиров при отсутствии выделенной полосы на рассматриваемом участке дорожной сети определяется по аналогичной формуле, не имеющей слагаемых, учитывающих характер движения транспортных средств по выделенной полосе:

$$v_{CP-\Pi} = \frac{\bar{v} \cdot \left(\sum_{i=1}^k n_i \cdot \Pi_i \cdot \gamma_i + \sum_{j=1}^m n_{j\Pi} \cdot \Pi_{j\Pi} \cdot \gamma_{j\Pi} \right) + \bar{v}_C \cdot \sum_{i=1}^k (n_{iC} \cdot \Pi_i \cdot \gamma_i)}{\sum_{i=1}^k (n_i \cdot \Pi_i \cdot \gamma_i + n_{iC} \cdot \Pi_i \cdot \gamma_i) + \sum_{j=1}^m (n_{j\Pi} \cdot \Pi_{j\Pi} \cdot \gamma_{j\Pi})}. \quad (2.5)$$

Средняя скорость движения транспортных средств, движущихся как в пределах выделенной полосы, так и вне её, определяется с учётом продолжительности остановок, обусловленных характером выполняемой транспортной работы (посадка и высадка пассажиров), так и с учётом остановок, обусловленных особенностями организации движения и наличия транспортных заторов. Исходя из указанных условий, расчёт средней скорости движения транспортных средств на рассматриваемом участке дорожной сети производится по формуле:

$$\bar{v} = \frac{\bar{\Delta t}}{S_{удс}}, \quad (2.6)$$

где $\bar{\Delta t}$ – время, затрачиваемое транспортными средствами i -ой категории на преодоление рассматриваемого участка дорожной сети, час.;

$S_{удс}$ – протяжённость рассматриваемого участка дорожной сети, км.

Показатель интенсивности движения ТС i -ой категории на участке дорожной сети определён для двух условий: насыщенного и ненасыщенного транспортного потока.

При не насыщении транспортного потока интенсивность движения равна численности транспортных средств, поступающих на участок дорожной сети в единицу времени. При насыщении транспортного потока интенсивность движения транспортных средств i -ой категории принимается равной

произведению величины потока насыщения на количество полос, доступных для движения транспортных средств рассматриваемых категорий и доли транспортных средств i -ой категории в общем потоке транспортных средств:

$$n_i = p_1 \cdot b_i \cdot D_i, \quad (2.7)$$

где p_1 – поток насыщения одной полосы рассматриваемого участка дорожной сети, ед./час;

b_i – количество полос, доступных для движения транспортных средств i -ой категории, ед.;

D_i – доля транспортных средств i -ой категории в общем потоке транспортных средств, ед.

В производимых расчётах следует учесть, что при организации выделенной полосы для движения транспортных средств ГПТОП, количество полос, доступных для движения других транспортных средств, сокращается на единицу. Исходя из этого, для транспортных средств, движущихся вне выделенных полос, расчёт интенсивности их движения в условиях насыщения транспортных потоков целесообразно выполнять, исходя из количества доступных для движения полос, определяемых как разность между общим количеством полос и выделенных полос для движения транспортных средств ГПТОП:

$$n_i = p_1 \cdot (b_{общ} - b_{п}) \cdot D_i, \quad (2.8)$$

где $b_{общ}$ – общее количество полос на наиболее нагруженном направлении проезжей части рассматриваемого участка дорожной сети, ед.;

$b_{п}$ – количество выделенных полос для движения транспортных средств ГПТОП (как правило, $b_{п} = 1$), ед.

Интенсивность движения транспортных средств ГПТОП, движущихся в рамках выделенной полосы, определяется, исходя из интервала их движения,

установленного на основе утверждённого расписания для маршрутов, проходящих через рассматриваемый участок дорожной сети. Расчёт производится по формуле:

$$n_{i\Pi} = \sum_{g=1}^G \left(\frac{1}{I_{ig}} \right), \quad (2.9)$$

где I_{ig} – интервал движения пассажирских транспортных средств i -ой категории на g -ом маршруте, час;

G – количество регулярных маршрутов ГПТОП, проходящих через рассматриваемый участок дорожной сети, ед.

В наибольшей степени проблема недостаточной пропускной способности перегруженных участков дорожной сети проявляется в часы пиковых транспортных потоков. Как правило, эти периоды совпадают с периодами максимальных пассажиропотоков на маршрутах ГПТОП, что обуславливает высокую актуальность мероприятий по обеспечению беспрепятственного движения пассажирских транспортных средств именно для периода пиковых нагрузок.

Исходя из этого, оценку влияния мероприятий по обеспечению приоритетного движения пассажирского транспорта, в том числе связанных с организацией выделенной полосы, целесообразно выполнить для периода пиковых транспортных потоков.

Расчёт средней интенсивности движения транспортных средств i -ой категории за рассматриваемый период может быть произведён на основе данных о количестве транспортных средств каждой категории, проезжающих через рассматриваемый участок за рассматриваемый период:

$$\bar{n}_{iT} = \frac{N_{iT}}{T}, \quad (2.10)$$

где N_{iT} – количество транспортных средств i -ой категории, проезжающих через рассматриваемый участок дорожной сети за период времени T , ед.;

T – продолжительность расчётного периода, час.

При известной функции распределения интенсивности транспортных потоков по времени в пределах рассматриваемого периода $n_{it} = f_n(t)$, средняя интенсивность движения транспортных средств i -ой категории может быть определена на основе результатов интегрирования данной функции в пределах периода времени $T = t_2 - t_1$:

$$\bar{n}_{iT} = \frac{\int_{t_1}^{t_2} f_n(t) dt}{t_2 - t_1}. \quad (2.11)$$

Основными категориями транспортных средств, осуществляющими перевозку пассажиров в пределах городской территории, являются легковые автомобили, принадлежащие частным владельцам и транспортные средства ГПТОП. Количество пассажиров, перевозимое данными категориями транспортных средств за единицу времени, пропорционально зависит от двух параметров: интенсивности движения и среднего количества пассажиров, находящихся в салоне транспортных средств. Последний параметр, в свою очередь, зависит от пассажировместимости транспортных средств и коэффициента наполнения салона.

Характерной особенностью транспортного процесса, осуществляемого рассматриваемыми категориями транспортных средств, является то, что для легковых автомобилей среднее значение коэффициента наполнения салона является практически постоянной величиной, не зависящей от времени суток. Исходя из этого, количество пассажиров, перевозимых легковыми автомобилями, пропорционально интенсивности транспортных потоков, определяемой по формулам (2.9) и (2.10).

Для транспортных средств ГПТОП коэффициент наполнения салона изменяется в достаточно широких пределах и в значительной степени зависит от времени суток. Исходя из этого, пассажиропоток для j -ой категории

транспортных средств ГПТОП $\Pi\Pi_j$ на рассматриваемом участке дорожной сети может быть определён на основе результатов интегрирования рассматриваемых переменных величин по формуле:

$$\Pi\Pi_j = \Pi_{j\Pi} \cdot \frac{\int_{t_1}^{t_2} \left(\sum_{a=1}^M \left(\frac{1}{I_{ja}(t)} \right) \right) dt \cdot \int_{t_1}^{t_2} \gamma_j(t) dt}{(t_2 - t_1)^2}, \quad (2.12)$$

где $\Pi_{j\Pi}$ – пассажировместимость j -ой категории транспортных средств ГПТОП, пасс.;

$I_{ja}(t)$ – функция распределения значений интервалов движения транспортных средств i -ой категории ГПТОП по времени суток, час.;

$\gamma_j(t)$ – функция распределения значений коэффициента наполняемости салона транспортных средств j -ой категории ГПТОП по времени суток;

t_2 и t_1 – границы рассматриваемого временного интервала, час.

Исходя из подходов, положенных в основу выражения (2.4), пассажиропоток, перевозимый транспортными средствами j -ой категории ГПТОП на участке дорожной сети, может быть определён из следующего произведения:

$$\Pi\Pi_j = n_{j\Pi} \cdot \Pi_{j\Pi} \cdot \gamma_{j\Pi}. \quad (2.13)$$

Следовательно, справедливо равенство:

$$\Pi_{j\Pi} \cdot \frac{\int_{t_1}^{t_2} \left(\sum_{a=1}^M \left(\frac{1}{I_{ja}(t)} \right) \right) dt \cdot \int_{t_1}^{t_2} \gamma_j(t) dt}{(t_2 - t_1)^2} = n_{j\Pi} \cdot \Pi_{j\Pi} \cdot \gamma_{j\Pi}. \quad (2.14)$$

Подстановкой формул, представленных в данном разделе, в начальную формулу (2.3) получены итоговые выражения для расчёта величины изменения средней скорости передвижения пассажиров, в пределах рассматриваемого

участка дорожной сети, принятой в качестве критерия оценки целесообразности выделенной полосы для движения ГПТОП. Данный критерий определяется для двух вариантов. Первый вариант – движение транспортных средств, не относящихся к ГПТОП, вне выделенной полосы в условиях насыщенного транспортного потока. Второй вариант – движение транспортных средств, не относящихся к ГПТОП, вне выделенной полосы в условиях ненасыщенного транспортного потока.

В условиях насыщенного транспортного потока интенсивность движения транспортных средств,двигающихся вне выделенной полосы, зависит от сочетания множества факторов, определяемых условиями организации движения, и с достаточно высокой точностью может быть определена по результатам натурного эксперимента или на основе результатов имитационного моделирования [8, 12, 86, 124]. Существует методика обобщённого прогнозного расчёта величины потока насыщения, который соответствует данному значению интенсивности движения транспортных средств. Основные положения данной методики приведены в работах [43, 66, 112, 113, 128].

В условиях насыщенного транспортного потока средняя скорость движения транспортных средств различных категорий может быть определена, исходя из величины потока насыщения, установленного для одной полосы рассматриваемого участка дорожной сети и динамического габарита транспортного средства i -ой категории:

$$v_i = L_{di} \cdot M_H, \quad (2.15)$$

где L_{di} – динамический габарит транспортного средства i -ой категории, м;

M_H – величина потока насыщения одной полосы рассматриваемого участка дорожной сети, ед/час.

Динамический габарит транспортного средства определяется [110, 112, 114] как:

$$L_{di} = L_P + L_T + L_B + L_A, \quad (2.16)$$

где L_P – отрезок пути, проходимый транспортным средством за время реакции водителя, м;

L_T – длина тормозного пути, м;

L_B – минимальный необходимый зазор безопасности, м;

L_A – длина транспортного средства, м.

После преобразования с учётом допущения, что зазор безопасности L_B равен длине транспортного средства, выражение (2.16) примет вид [110, 112]:

$$L_{di} = v_i \cdot T_p + \frac{v_i^2}{2 \cdot J_i} + 2L_{Ai}, \quad (2.17)$$

где T_p – время реакции водителя, с;

v_i – скорость движения транспортного средства i -ой категории, м/с;

J_i – среднее замедление транспортного средства i -ой категории при экстренном торможении, м/с²;

L_{Ai} – длина транспортного средства i -ой категории, м.

Подстановкой и последующим преобразованием выражений (2.15) и (2.17) получено квадратное уравнение, решение которого относительно переменной v_i при установленном значении потока насыщения одной полосы M_H позволяет определить значение средней скорости движения транспортного средства i -ой категории на рассматриваемом участке дорожной сети:

$$v_i^2 \cdot \left(-\frac{M_H}{2J} \right) + v_i \cdot (1 - T_p \cdot M_H) - 2L_{Ai} \cdot M_H = 0. \quad (2.18)$$

На основании полученного значения скорости движения транспортных средств, при помощи выражения (2.17) может быть произведён расчёт динамического габарита транспортного средства i -ой категории, двигающегося в заданных условиях организации движения. В условиях разделения транспортных потоков на группировки транспортных средств различных

категорий по полосам проезжей части, использование динамического габарита транспортных средств различных категорий при расчёте средней скорости передвижения пассажира в рамках рассматриваемого участка дорожной сети является предпочтительным.

Исходя из приведённых логических преобразований, для первого варианта транспортной нагрузки (насыщенный транспортный поток) развёрнутое выражение для расчёта изменения средней скорости передвижения пассажиров при насыщенных транспортных потоках как на рассматриваемом, так и на смежном участках дорожной сети, имеет вид:

$$\Delta v_{CP.P.} = \frac{\sum_{i=1}^k ((n_i^+)^2 \cdot L_{di} \cdot \Pi_i \cdot \gamma_i) - \sum_{i=1}^k ((n_i^-)^2 \cdot L_{di} \cdot \Pi_i \cdot \gamma_i) + \left(\frac{v_{\Pi} - \sum_{i=1}^k (L_{di} \cdot n_i^2)}{1000 \cdot \sum_{i=1}^k (n_i)} \right) \cdot \sum_{j=1}^m \left(\sum_{a=1}^M \left(\frac{1}{I_{ia}} \right) \cdot \Pi_{j\Pi} \cdot \gamma_{j\Pi} \right) + \sum_{i=1}^k ((n_{iC}^+)^2 \cdot L_{di} \cdot \Pi_i \cdot \gamma_i) - \sum_{i=1}^k ((n_{iC}^-)^2 \cdot L_{di} \cdot \Pi_i \cdot \gamma_i)}{1000 \cdot \sum_{i=1}^k (\Pi_i \cdot \gamma_i \cdot (n_i^- + n_{iC}^-)) + \sum_{j=1}^m (\Pi_{j\Pi} \cdot \Pi_{j\Pi} \cdot \gamma_{j\Pi})} \quad (2.19)$$

где n_i^+ и n_i^- – интенсивность движения транспортных средств i -ой категории на рассматриваемом участке дорожной сети вне выделенной полосы при её наличии и отсутствии соответственно, ед./ч;

n_{iC}^+ и n_{iC}^- – интенсивность движения транспортных средств i -ой категории на смежном участке дорожной сети при наличии и отсутствии выделенной полосы на рассматриваемом участке соответственно, ед./ч.

В условиях реального городского движения при формировании насыщенных транспортных потоков вне выделенной полосы, на выделенной полосе поток движения транспортных средств ГПТОП, как правило, далёк от насыщения. Исходя из этого, средняя скорость сообщения при движении пассажирских транспортных средств по выделенной полосе может быть определена из выражения:

$$\overline{v_{\Pi}} = \frac{S_{yDC}}{\Delta t}, \quad (2.20)$$

где S_{yDC} – протяжённость рассматриваемого участка дорожной сети, м;

Δt – время, затрачиваемое транспортным средством на преодоление рассматриваемого участка дорожной сети, с.

Время, затрачиваемое транспортным средством на преодоление рассматриваемого участка дорожной сети, складывается из отдельных составляющих, включающих в себя затраты времени на движение и затраты времени, обусловленные задержками. Расчёт производится по формуле:

$$\Delta t = \frac{S_{УДС} - \left(\frac{v_{\text{движ}}^2}{2a^+} + \frac{v_{\text{движ}}^2}{2a^-} \right) \cdot (b + c)}{v_{\text{движ}}} + \left(\frac{v_{\text{движ}}}{a^+} + \frac{v_{\text{движ}}}{a^-} \right) \cdot (b + c) + t_{\Pi} \cdot b + t_{\text{дв}} \cdot c, \quad (2.21)$$

где $v_{\text{движ}}$ – установившаяся скорость движения транспортных средств на рассматриваемом участке дорожной сети, м/с;

a^+ – среднее ускорение автотранспортных средств, $\text{м}^2/\text{с}$;

a^- – среднее замедление автотранспортных средств, $\text{м}^2/\text{с}$;

b – количество остановок транспортных средств на рассматриваемом участке дорожной сети, связанных с посадкой и высадкой пассажиров, ед.;

c – количество остановок транспортных средств на рассматриваемом участке дорожной сети, связанных с условиями организации движения, ед.;

t_{Π} – среднее время, затрачиваемое на посадку и высадку пассажиров, с.;

$t_{\text{дв}}$ – среднее время простав на рассматриваемом участке дорожной сети, связанных с условиями организации движения, с.

Для случая, когда транспортный поток, двигающийся вне выделенных полос, не достигает предела насыщения как до, так и после внедрения выделенной полосы, расчёт изменения средней скорости передвижения пассажира может быть выполнен по формуле:

$$\Delta v_{CP,\Pi} = \frac{\overline{v^+} \cdot \sum_{i=1}^k (n_i^+ \cdot \Pi_i \cdot \gamma_i) - \overline{v^-} \cdot \sum_{i=1}^k (n_i^- \cdot \Pi_i \cdot \gamma_i) + (\overline{v_n^+} - \overline{v_n^-}) \cdot \sum_{j=1}^m (n_{jn} \cdot \Pi_{jn} \cdot \gamma_{jn}) + \overline{v_c^+} \cdot \sum_{i=1}^k (n_{ic}^+ \cdot \Pi_i \cdot \gamma_i) - \overline{v_c^-} \cdot \sum_{i=1}^k (n_{ic}^- \cdot \Pi_i \cdot \gamma_i)}{\sum_{i=1}^k (n_i \cdot \Pi_i \cdot \gamma_i + n_{ic} \cdot \Pi_i \cdot \gamma_i) + \sum_{j=1}^m (n_{jn} \cdot \Pi_{jn} \cdot \gamma_{jn})} \quad (2.22)$$

где $\overline{v^+}$ и $\overline{v^-}$ – средняя скорость движения транспортных средств на

рассматриваемом участке дорожной сети вне выделенной полосы при её наличии и отсутствии соответственно, км/ч;

n_i^+ и n_i^- – интенсивность движения транспортных средств i -ой категории на рассматриваемом участке дорожной сети вне выделенной полосы при её наличии и отсутствии соответственно, ед./ч;

\bar{v}_n^+ и \bar{v}_n^- – средняя скорость движения транспортных средств ГПТОП на рассматриваемом участке дорожной сети при наличии и отсутствии выделенной полосы соответственно, км/ч;

\bar{v}_c^+ и \bar{v}_c^- – средняя скорость движения транспортных средств на смежном участке дорожной сети при наличии и отсутствии выделенной полосы на рассматриваемом участке соответственно, км/ч;

n_{iC}^+ и n_{iC}^- – интенсивность движения транспортных средств i -ой категории на смежном участке дорожной сети при наличии и отсутствии выделенной полосы на рассматриваемом участке соответственно, ед./ч;

Так как организация выделенной полосы приводит к сокращению количества полос, предназначенных для обслуживания транспортного потока, не относящегося к ГПТОП, то возможна ситуация сочетания двух рассмотренных вариантов, когда до организации выделенной полосы транспортный поток был ненасыщенным, а при её организации достиг порога насыщения. Для такого варианта расчёт изменения средней скорости передвижения пассажиров может быть произведён на основе выражения, полученного на основе комбинации формул (2.17) и (2.20):

$$\Delta v_3_{CP,n} = \frac{\sum_{i=1}^k ((n_i^+)^2 \cdot L_{di} \cdot \Pi_i \cdot \gamma_i) - \bar{v}_n^- \cdot \sum_{i=1}^k (n_i^- \cdot \Pi_i \cdot \gamma_i) + \left(\bar{v}_n^- - \frac{\sum_{i=1}^k (L_{di} \cdot n_i^2)}{1000 \cdot \sum_{i=1}^k (n_i)} \right) \cdot \sum_{j=1}^m \left(\sum_{a=1}^M \left(\frac{1}{I_{ia}} \right) \cdot \Pi_{ja} \cdot \gamma_{ja} \right) + \sum_{i=1}^k ((n_{iC}^+)^2 \cdot L_{di} \cdot \Pi_i \cdot \gamma_i) - \bar{v}_c^- \cdot \sum_{i=1}^k (n_{iC}^- \cdot \Pi_i \cdot \gamma_i)}{1000 \cdot \sum_{i=1}^k (\Pi_i \cdot \gamma_i \cdot (n_i^- + n_{iC}^-)) + \sum_{j=1}^m (\Pi_{ja} \cdot \gamma_{ja})} \quad (2.23)$$

Значения потока насыщения (M_n), определяющего предельную величину интенсивности движения транспортных средств, могут быть определены из формул, представленных в работе Н.Н. Дудниковой [43]. В соответствии с

основными положениями данной публикации, значения потока насыщения для одной полосы при движении транспортных средств в прямолинейном направлении могут быть определены на основании данных, представленных в таблице 2.1 [66].

Таблица 2.1 – Значение потока насыщения одной полосы при движении транспортных средств в прямолинейном направлении

Поток насыщения (M_{H1}), ед./час	1850	1920	1970	2075	2475	2700
Ширина полосы движения (B), м	3,0	3,5	3,75	4,2	4,8	5,1

Типовые условия движения транспортных средств в условиях городской дорожной сети характеризуются периодическими остановками транспортного потока на регулируемых пересечениях. Следовательно, происходит снижение величины потока насыщения, обусловленное задержками в периоды разгона потока (разъезда автомобилей) после запрещающих фаз светофорного регулирования. Для заданных условий автор [43] вводит понятия «потерянное время» и «теряемый поток насыщения» в течение «потерянного времени». Н.Н. Дудниковой разработана математическая модель, позволяющая произвести расчёт величины потока насыщения для полосы участка дорожной сети с учётом состава транспортного потока и характера взаимодействия транспортных средств различных классов. Обобщённая формула, описывающая разработанную модель, имеет вид:

$$M_H = M_{H1} \cdot \frac{I_L}{\sum(P_{ij} \cdot I_{ij})} - 30 \cdot \sum_{i=1}^n \left(\frac{t_B^i}{I_{ij}} \cdot P_{ij} \right), \quad (2.24)$$

где M_{H1} – поток насыщения для прямолинейного движения (таблица 2.1), ед./час; I_L – постоянный интервал разъезда легковых автомобилей из очереди в пересечении линии «стоп» на участке светофорного регулирования, с.; P_{ij} – вероятность появления пары транспортных средств i -го типа по j -му; I_{ij} – постоянный интервал разъезда транспортных средств из очереди в

пересечении линии «стоп», i -го типа по j -ому, с.;

t_B^i – потерянное время для i -го вида взаимодействия транспортных средств, с;

n – количество видов взаимодействия.

В публикации Н.Н. Дудниковой [43] приведены зависимости, позволяющие определить значения составляющих формулы (2.24) для заданных условий движения. Рассмотрены четыре варианта взаимодействия транспортных средств различных классов в период разгона после запрещающей фазы светофорного регулирования:

1 – грузовой автомобиль за грузовым;

2 – грузовой автомобиль за легковым;

3 – легковой автомобиль за грузовым;

4 – легковой автомобиль за легковым.

Вероятность практической реализации того или иного варианта взаимодействия определяется структурными параметрами транспортного потока. Принято, что автобус имеет динамические характеристики, схожие с динамическими характеристиками грузового автомобиля. Исходя из этого, транспортные средства ГПТОП не выделены в отдельную группу.

Исходя из вышеизложенного материала, величина изменения средней скорости передвижения пассажира $\Delta v_{CP.P}$, принятая в качестве критерия оценки целесообразности организации выделенной полосы, может быть определена на основе следующей системы выражений:

$$\Delta v_{CP.P} = \begin{cases} \Delta v1_{CP.P}, \text{ если } n^+ = M_H \cdot (b_{общ} - b_{\Pi}) \cdot \frac{t_p}{t_{\Pi}}; \quad n_C^+ = M_{HC} \cdot b_C \cdot \frac{t_{PC}}{t_{\Pi C}} \\ \Delta v2_{CP.P}, \text{ если } n^+ < M_H \cdot (b_{общ} - b_{\Pi}) \cdot \frac{t_p}{t_{\Pi}}; \quad n_C^+ \leq M_{HC} \cdot b_C \cdot \frac{t_{PC}}{t_{\Pi C}} \\ \Delta v3_{CP.P}, \text{ если } n^+ = M_H \cdot (b_{общ} - b_{\Pi}) \cdot \frac{t_p}{t_{\Pi}}; \quad n^- < M_H \cdot b_{общ} \cdot \frac{t_p}{t_{\Pi}}; \quad n_C^+ \leq M_{HC} \cdot b_C \cdot \frac{t_{PC}}{t_{\Pi C}} \end{cases}, \quad (2.25)$$

где M_H – величина потока насыщения одной полосы для заданных условий на рассматриваемом участке дорожной сети, ед/ч;

M_{HC} – величина потока насыщения одной полосы для заданных условий на

смежном участке дорожной сети, ед/ч;

$b_{общ}$ – общее количество полос проезжей части на рассматриваемом участке дорожной сети, ед.;

b_C – количество полос проезжей части на смежном участке дорожной сети, ед.;

b_{Π} – количество выделенных полос для движения транспортных средств ГПТОП (как правило, $b_{\Pi}=1$), ед.;

n^+ и n^- – приведённая интенсивность движения транспортных средств на рассматриваемом участке дорожной сети вне выделенной полосы при её наличии и отсутствии соответственно, ед./ч;

n_C^+ – приведённая интенсивность движения транспортных средств на смежном участке дорожной сети при наличии выделенной полосы на рассматриваемом участке соответственно, ед./ч;

t_P – продолжительность разрешающей фазы регулирования светофорного объекта, расположенного в конце рассматриваемого участка дорожной сети, с.;

$t_{Ц}$ – продолжительность цикла регулирования светофорного объекта, расположенного в конце рассматриваемого участка дорожной сети, с.;

t_{PC} – продолжительность разрешающей фазы регулирования светофорного объекта, расположенного в конце смежного участка дорожной сети, с.;

$t_{ЦС}$ – продолжительность цикла регулирования светофорного объекта, расположенного в конце смежного участка дорожной сети, с.

При проведении расчёта принято допущение, что в случае поступления на рассматриваемый участок дорожной сети транспортных потоков с интенсивностью, превышающей его пропускную способность, происходит перераспределение транспортных потоков на смежный участок дорожной сети. При этом пропускная способность смежного участка должна быть выше интенсивности общего транспортного потока. При невыполнении данного условия ($n_C^+ > M_{HC} \cdot b$), формируется затор как на рассматриваемом, так и на смежном участках дорожной сети. Принимается решение о нецелесообразности

организации выделенной полосы ГПТОП.

Очевидно, что условие целесообразности организации выделенной полосы ГПТОП на рассматриваемом участке дорожной сети определяется неравенством:

$$\Delta v_{CP,II} > 0,$$

что соответствует увеличению средней скорости передвижения пассажира при организации выделенной полосы.

2.3 Алгоритм оценки влияния выделенной полосы для пассажирского транспорта общего пользования на среднюю скорость передвижения пассажира в рамках рассматриваемого участка дорожной сети

Исходя из того, что организация выделенной полосы, как правило, приводит увеличению скорости сообщения транспортных средств общего пользования, при одновременном сокращении пропускной способности части УДС, предназначено для движения индивидуальных транспортных средств, существует обратная зависимость средней скорости перемещения пассажиров индивидуальных транспортных средств и транспортных средств городского пассажирского транспорта общего пользования.

В подавляющем большинстве случаев организация выделенной полосы для движения транспортных средств ГПТОП приводит к повышению средней скорости движения транспортных средств на данном участке и к снижению средней скорости движения транспортных средств, движущихся вне выделенной полосы. Как следствие, в данном случае снижается средняя скорость передвижения пассажиров, находящихся в салонах транспортных средств, не относящихся к ГПТОП.

Целесообразность организации выделенной полосы для движения транспортных средств ГПТОП определяется условием повышения средней скорости передвижения всех пассажиров в рамках рассматриваемого участка

дорожной сети.

Расчёт средней скорости передвижения пассажиров на рассматриваемом участке дорожной сети до и после реализации мероприятий, связанных с организацией выделенной полосы для движения транспортных средств ГПТОП, производится в соответствии методикой, описанной в разделе 2.2. Последовательность действий, позволяющих реализовать данную методику, определяется алгоритмом, схема которого приведена на рисунке 2.4.

Исходными данными для оценки влияния организации выделенной полосы для движения транспортных средств ГПТОП на среднюю скорость передвижения пассажира в рамках рассматриваемого участка дорожной сети является информация, которую можно разделить на четыре блока:

Первый блок – информация о геометрических параметрах участка дорожной сети и о параметрах организации дорожного движения:

- общее количество полос проезжей части;
- средняя ширина полос проезжей части;
- продолжительность циклов светофорного регулирования светофорных объектов, расположенных в пределах рассматриваемого участка;
- продолжительность запрещающих фаз циклов светофорного регулирования светофорных объектов, расположенных в пределах рассматриваемого участка.

Второй блок – аналогичная информация, собираемая в отношении смежного участка дорожной сети. В качестве смежного рассматривается участок, обеспечивающий альтернативное сообщение между начальной и конечной точкой рассматриваемого участка дорожной сети, и воспринимающий транспортные потоки рассматриваемого участка при их перераспределении в случае образования дорожного затора. На основании данных первого и второго информационных блоков производится расчёт значений потока насыщения одной полосы рассматриваемого и смежного участков дорожной сети и расчёт значений совокупных потоков насыщения рассматриваемого и смежного участков дорожной сети.

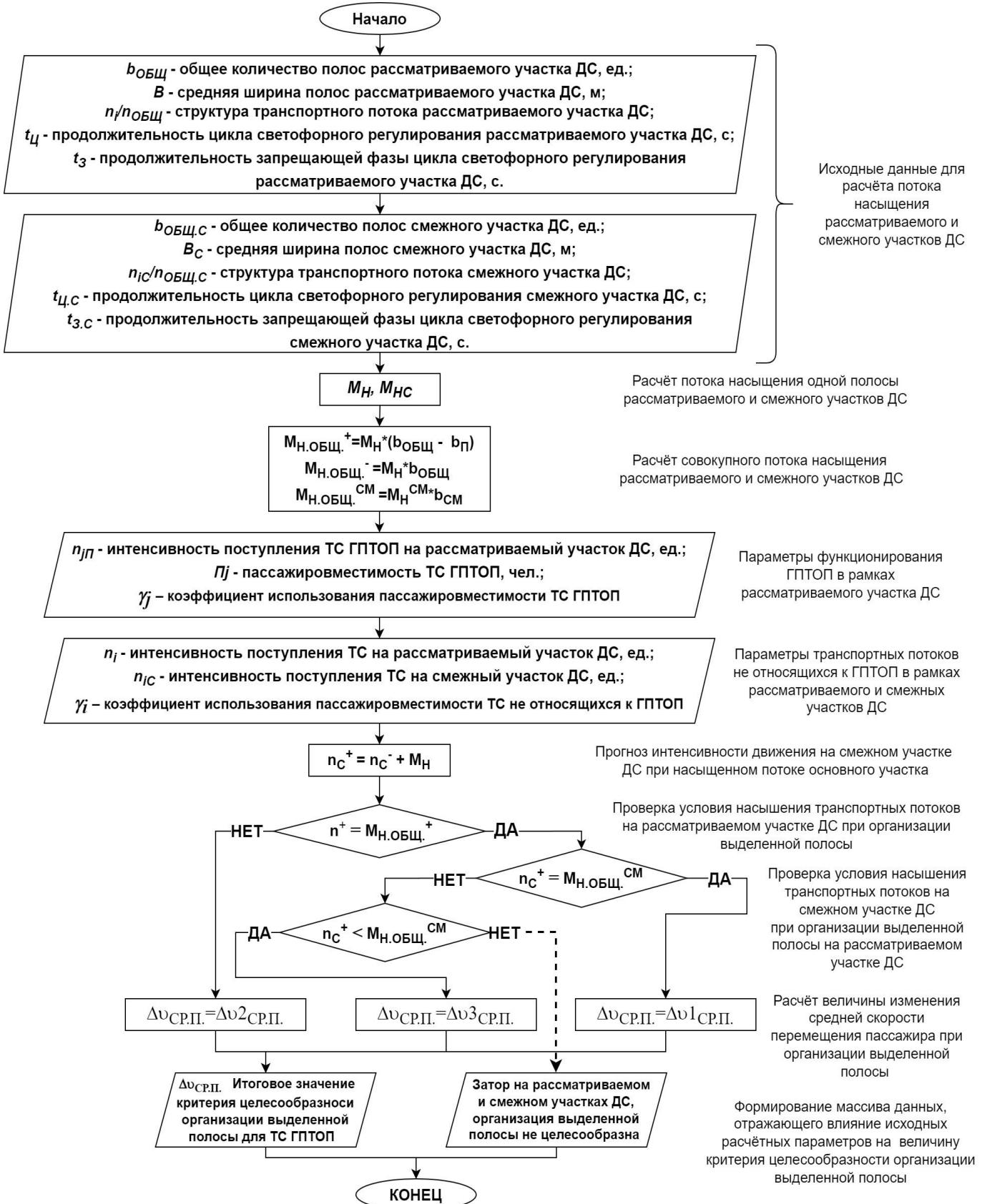


Рисунок 2.4 – Схема алгоритма расчёта изменения средней скорости передвижения пассажира, обусловленного организацией выделенной полосы на рассматриваемом участке дорожной сети

Для рассматриваемого участка поток насыщения рассчитывается для двух вариантов: первый – наличие выделенной полосы ГПТОП; второй – отсутствие выделенной полосы ГПТОП.

Третий блок – информация о параметрах функционирования ГПТОП в рамках рассматриваемого участка дорожной сети:

- средняя интенсивность поступления транспортных средств ГПТОП на рассматриваемый участок дорожной сети в часы пиковых транспортных потоков;

- средняя пассажировместимость транспортных средств ГПТОП, поступающих на рассматриваемый участок дорожной сети в часы пиковых транспортных потоков;

- среднее значение коэффициента использования пассажировместимости транспортных средств ГПТОП.

Четвёртый блок – информация о параметрах транспортных потоков, не относящихся к ГПТОП в рамках рассматриваемого и смежного участков дорожной сети:

- средняя интенсивность поступления транспортных средств (не относящихся к ГПТОП) на рассматриваемый участок дорожной сети;

- средняя интенсивность поступления транспортных средств (не относящихся к ГПТОП) на смежный участок дорожной сети при отсутствии выделенной полосы на рассматриваемом участке дорожной сети;

- средний коэффициент использования пассажировместимости транспортных средств, не относящихся к ГПТОП.

После сбора и анализа указанной информации производится прогнозирование интенсивности движения транспортных средств на смежном участке дорожной сети при условии достижения потока насыщения на рассматриваемом участке, обусловленного снижением его пропускной способности в случае организации выделенной полосы для движения транспортных средств ГПТОП. Прогнозное значение интенсивности движения транспортных средств на смежном участке дорожной сети определяется как

сумма фактической (существующей) интенсивности движения и потока насыщения одной полосы рассматриваемого участка дорожной сети. Прогнозирование производится исходя из предположения, что сокращение числа полос на единицу, в рамках рассматриваемого участка дорожной сети, приведёт к перераспределению всех транспортных средств, ранее двигавшихся по выделенной полосе, на смежный участок.

Следующим шагом реализации разработанной методики, в соответствии с представленным на рисунке 2.4 алгоритмом, является проверка условия насыщения транспортных потоков на рассматриваемом участке дорожной сети при организации выделенной полосы. Данное условие определяется превышением интенсивности поступления (движения) транспортных средств на рассматриваемый участок дорожной сети величины совокупного потока насыщения, установленного для случая, когда на рассматриваемом участке дорожной сети организована выделенная полоса для движения транспортных средств ГПТОП.

Невыполнение указанного условия свидетельствует о том, что пропускная способность рассматриваемого участка дорожной сети позволяет обслужить поступающие на него транспортные потоки как при наличии выделенной полосы для движения транспортных средств ГПТОП, так и при её отсутствии. Далее, для данного случая производится расчёт изменения средней скорости передвижения пассажира, обусловленного организацией выделенной полосы (выражение (2.16)).

В случае, если организация выделенной полосы для движения транспортных средств ГПТОП приводит к снижению пропускной способности рассматриваемого участка дорожной сети ниже интенсивности поступления на него транспортных средств, происходит перераспределение части транспортного потока на смежный участок. Следовательно, целесообразно произвести проверку условия насыщения транспортных потоков на смежном участке. При реализации условия насыщения транспортных потоков смежного участка при помощи выражения (2.13) производится расчёт изменения средней скорости

передвижения пассажира, обусловленного организацией выделенной полосы на рассматриваемом участке.

В случае непревышения порога насыщения транспортными потоками смежного участка, расчёт изменения средней скорости передвижения пассажира на рассматриваемом участке производится при помощи формулы (2.17).

При положительном значении изменения средней скорости передвижения пассажира (формулы (2.13), (2.16), (2.17)) принимается решение о целесообразности организации выделенной полосы.

Если изменённый транспортный поток превышает пороги насыщения как на рассматриваемом, так и на смежном участках дорожной сети, принимается решение о нецелесообразности организации выделенной полосы вследствие высокой вероятности формирования транспортных заторов.

2.4 Выводы по второму разделу

На основе материала, изложенного во втором разделе диссертационной работы, можно сделать заключение о решении второй и третьей поставленных задач.

В рамках решения второй задачи в качестве критерия, определяющего эффективность использования участка городской дорожной сети, предложено использовать среднюю скорость передвижения пассажира в рамках данного участка. Исходя из данного подхода, оценка мероприятий, направленных на совершенствование организации дорожного движения, произведена, исходя из их влияния на данный показатель. Одним из таких мероприятий, оказывающим значительное влияние на среднюю скорость передвижения пассажиров, является организация выделенных полос для движения транспортных средств ГПТОП.

В рамках решения третьей задачи разработана методика оценки целесообразности организации выделенной полосы для движения транспортных средств ГПТОП, исходя из характера влияния данного мероприятия на изменение средней скорости передвижения пассажиров в пределах

рассматриваемого участка дорожной сети.

Материалы, изложенные в разделе, опубликованы в работах автора [5, 57, 62, 41, 89, 90, 92].

3 МЕТОДЫ ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ

3.1 Описание плана экспериментальных исследований

По результатам экспериментальных исследований решается задача определения зависимостей, описывающих характер влияния организации выделенной полосы для движения транспортных средств ГПТОП на изменение средней скорости передвижения пассажира в рамках рассматриваемого участка дорожной сети при различных значениях параметров проезжей части, транспортных потоков и организации дорожного движения.

План экспериментальных исследований включает в себя следующие этапы:

- определение перечня входных параметров, необходимых для моделирования средней скорости передвижения пассажира в рамках рассматриваемого участка дорожной сети;
- определение перечня параметров, исследуемых в процессе натурных обследований;
- выбор методов и разработка плана проведения натурных обследований;
- определение объёмов выборки исследуемых объектов;
- проведение натурных обследований, обработка полученных результатов;
- оценка значимости (ранжирование) исследуемых параметров, исходя из результатов оценки их влияния на среднюю скорость передвижения пассажира в рамках рассматриваемого участка дорожной сети;
- разработка плана модельного эксперимента;
- проведение модельного эксперимента, обработка полученных результатов;
- анализ полученных результатов, оценка их точности и достоверности.

3.2 Определение перечня входных параметров, необходимых для моделирования средней скорости передвижения пассажира в рамках рассматриваемого участка дорожной сети

Как было отмечено выше, предложенную методику оценки целесообразности организации выделенных полос для городского пассажирского транспорта общего пользования на участке дорожной сети возможно реализовать посредством разработки математической модели, которая может быть использована в качестве инструмента для определения характера влияния выделенной полосы на изменение средней скорости передвижения пассажира в рамках рассматриваемого участка дорожной сети.

Условия движения транспортных средств на участке дорожной сети описываются множеством параметров, каждый из которых оказывает определённое влияние на результат, получаемый в процессе моделирования.

Определение зависимостей, отражающих характер влияния всех учитываемых факторов на величину средней скорости передвижения пассажира в рамках рассматриваемого участка дорожной сети, является неоправданно сложной, трудоёмкой задачей, результатом решения которой являются многомерные области, не поддающиеся визуализации и не применимые на практике.

Исходя из этого, целесообразно выделить два – три наиболее значимых параметра, учитываемых разработанной моделью, и исследовать характер их влияния на результаты модельного эксперимента. Остальные параметры целесообразно принять в качестве постоянных или дискретно изменяемых величин, определяемых по средним значениям.

Разделение рассматриваемых параметров на две указанные группы целесообразно произвести на основе результатов анализа диапазона их возможного изменения и степени влияния на значение моделируемого показателя.

Анализ расчётных формул разработанной математической модели

позволил определить полный перечень учитываемых параметров, включающий в себя:

- интенсивность движения транспортных средств ГПТОП в часы пиковых пассажиропотоков (n_P), ед./час;
- средневзвешенная пассажировместимость транспортных средств ГПТОП (\bar{P}_P), пасс.;
- среднее значение коэффициента наполняемости салона транспортного средства ГПТОП ($\bar{\gamma}_P$);
- приведённая интенсивность движения транспортных средств, не относящихся к ГПТОП, на рассматриваемом участке дорожной сети в пиковое время (n), ед./час;
- средневзвешенная пассажировместимость транспортных средств, не относящихся к ГПТОП (\bar{P}), пасс.;
- среднее значение коэффициента наполняемости салона транспортного средства, не относящегося к ГПТОП ($\bar{\gamma}$);
- приведённая интенсивность движения транспортных средств, не относящихся к ГПТОП, на смежном участке дорожной сети в пиковое время (n_C), ед./час;
- ширина полос движения транспортных средств на рассматриваемом участке дорожной сети (B), м;
- продолжительность разрешающей фазы регулирования светофорного объекта, расположенного в конце рассматриваемого участка дорожной сети (t_P), с;
- продолжительность цикла регулирования светофорного объекта, расположенного в конце рассматриваемого участка дорожной сети ($t_{Ц}$), с;
- продолжительность разрешающей фазы регулирования светофорного объекта, расположенного в конце смежного участка дорожной сети (t_{PC}), с;
- продолжительность цикла регулирования светофорного объекта, расположенного в конце смежного участка дорожной сети ($t_{ЦC}$), с.

3.3 План проведения натурного обследования. Определение объёма выборки исследуемых объектов

Для оценки вариативности и характера влияния представленных параметров на величину предложенного критерия оценки целесообразности организации выделенной полосы для движения ГПТОП, необходимо проведение выборочного обследования участков магистральных улиц городской дорожной сети, включённых в маршрутные схемы ГПТОП, имеющих более одной полосы для движения транспортных средств в заданном направлении и оснащённых средствами светофорного регулирования движения.

Выбор участков городской дорожной сети, подвергаемых выборочному натуральному обследованию, основан на подходе, обеспечивающем представительность исследуемой выборки, то есть наличие в выборке участков, отражающих полный спектр ключевых параметров. На основе математического моделирования величины изменения средней скорости пассажиров вследствие организации выделенной полосы предварительно выдвинута гипотеза о том, что ключевыми параметрами, оказывающими наибольшее влияние на среднюю скорость передвижения пассажира в рамках рассматриваемого участка дорожной сети, являются: интенсивность движения транспортных средств ГПТОП и интенсивность движения транспортных средств, не относящихся к ГПТОП.

Исходя из данных предпосылок, первым шагом натурного обследования является определение перечня участков городских улиц, на которых потенциально может быть организована выделенная полоса для движения транспортных средств ГПТОП (участки улиц, включённые в маршрутные схемы ГПТОП и имеющие более одной полосы для движения транспортных средств в одном направлении). Таким образом, может быть сформирована генеральная совокупность объектов исследования. Следует обратить внимание на то, что объектом исследования является не вся улица, а её участок – перегон между регулируемыми пересечениями. К числу объектов каждого участка относится

светофорный объект, расположенный в конце участка. Дополнительно для каждого выбранного участка магистральных улиц определяется смежный участок (при его наличии) – схема объезда, в соответствии с которой происходит перераспределение транспортных потоков при достижении потока насыщения на магистральной улице.

Следующим шагом является выявление, в рамках сформированной генеральной совокупности объектов исследования, участков улиц с максимальной и минимальной интенсивностью движения транспортных средств ГПТОП.

Выбор данного параметра обусловлен относительно невысокой трудоёмкостью его определения (исходя из результатов анализа маршрутных схем и расписаний движения транспортных средств ГПТОП). Таким образом, выявляются диапазоны изменения интенсивности движения транспортных средств ГПТОП.

Установленные диапазоны разбиваются на равные интервалы. Количество интервалов должно обеспечивать дискретное отображение характера (закона) распределения исследуемого параметра, но, в то же время, не должно приводить к появлению пустых интервалов. Для решения данной задачи целесообразно воспользоваться методом Старжеса [18, 28, 131, 134]:

$$k = 1 + 3,32 \cdot \lg(N), \quad (3.1)$$

где k – количество интервалов, ед.;

N – объём выборки, ед.

На следующем этапе производится выбор участков для проведения полного комплексного обследования. Выбор осуществляется случайным образом последовательно из каждого интервала ранее установленного диапазона интенсивности движения пассажирских транспортных средств, начиная с максимальных значений в порядке убывания. Улица, на которой расположен отобранный для исследования участок, исключается из дальнейшего отбора за

исключением случаев, когда данная процедура приводит к обнулению хотя бы одного из интервалов рассматриваемого диапазона. Таким образом, формируется предварительная выборка обследуемых участков.

В отношении всей совокупности основных и смежных участков, включённых в выборку, проводятся натурные обследования, включающие в себя замеры постоянных параметров (продолжительность фаз светофорного регулирования, ширина полос проезжей части и т.д.) и сбор статистических данных о значениях параметров, имеющих вероятностную природу. К числу таких параметров относятся: интенсивность движения транспортных средств (по категориям), пассажировместимость транспортных средств, наполняемость салона транспортного средства. Натурные обследования проводятся в часы пиковых транспортных потоков, в рабочие дни, в периоды отсутствия влияния значимых внешних факторов (школьные каникулы, массовые мероприятия, праздники и т.д.). Продолжительность этапа выборочного обследования – 5 дней. Сбор статистических данных осуществляется путём непосредственного визуального наблюдения.

По результатам обследования для каждого исследуемого фактора устанавливается минимальное, максимальное и среднее значения.

3.4 Оценка значимости (ранжирование) исследуемых параметров

По результатам обследования выборки участков городских улиц в отношении каждого исследуемого параметра определяются: минимальное, максимальное и среднее значения: X_{MIN} , X_{MAX} , \bar{X} .

На следующем этапе оценки строится базовая модель участка городской дорожной сети, все исследуемые параметры которой имеют средние значения.

Далее производится оценка степени влияния каждого вариабельного параметра на величину искомого критерия $\Delta v_{CP,P}$. Критерий оценки определяется как разность значений искомого критерия, установленных при максимальном и минимальном значениях исследуемого параметра:

$$\frac{\Delta(\Delta v_{CP,II})}{\Delta X} = |(\Delta v_{CP,II}(X_{MAX}) - \Delta v_{CP,II}(X_{MIN}))|, \quad (3.2)$$

где $\frac{\Delta(\Delta v_{CP,II})}{\Delta X}$ – критерий оценки степени влияния параметра X на величину исследуемой функции;

$\Delta v_{CP,II}(X_{MAX})$ – значение искомой функции при величине параметра $X = X_{MAX}$;
 $\Delta v_{CP,II}(X_{MIN})$ – значение искомой функции при величине параметра $X = X_{MIN}$.

Сравнение полученных значений отношения величины критерия оценки степени влияния параметра X к величине исследуемой функции позволяет выстроить исследуемые параметры в порядке возрастания (убывания) степени их значимости, то есть произвести ранжирование и выявление наиболее значимых параметров.

В дальнейшем результаты ранжирования используются для определения размерности области исследования, в рамках которой производится построение зависимостей моделируемого критерия от наиболее значимых факторов.

3.5 Планирование модельного эксперимента

Для обеспечения адекватного восприятия и объективного анализа результатов модельного эксперимента его результаты целесообразно представить в виде трёхмерных поверхностей, построенных в пространстве, координаты которого заданы значениями двух наиболее значимых факторов и значениями искомой результирующей функции. При выявлении третьего значимого фактора результаты их совместного влияния интерпретируются в виде четырёхмерной области, визуализация которой может быть произведена посредством отображения серии трёхмерных поверхностей при дискретно изменяющемся третьем параметре.

Схема алгоритма, иллюстрирующего последовательность действий, производимых при проведении модельного эксперимента, приведена на рисунке 3.1.

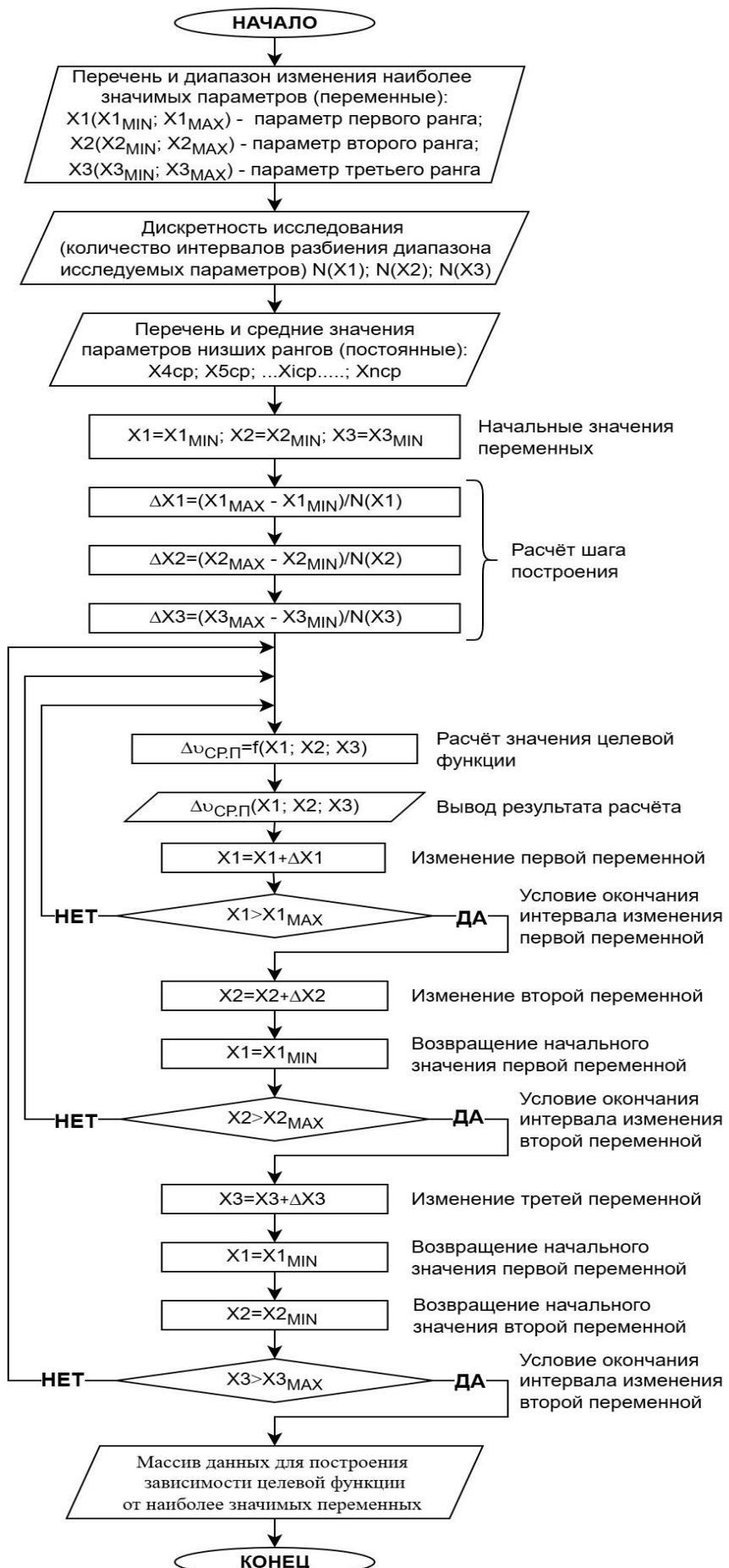


Рисунок 3.1 – Схема алгоритма проведения модельного эксперимента

В соответствии с разработанной схемой, из перечня параметров, оказывающих влияние на результаты моделирования, выбираются три наиболее значимых (параметры наибольшего ранга). Следующим шагом является выбор дискретности исследования, определение количества интервалов, на которые производится разбиение диапазона каждого из значимых параметров. Для остальных параметров (менее значимых) определяются средние значения и принимаются в качестве постоянных коэффициентов при проведении моделирования.

Для формирования многомерной области, отражающей влияние наиболее значимых факторов на величину целевой функции, задаются начальными значениями принятых переменных равными их минимуму из установленного диапазона.

На следующем этапе исполняются три вложенных цикла, в ходе выполнения которых производится последовательное вычисление целевой функции при пошагово изменяющихся с заданной дискретностью переменных.

По итогам модельного эксперимента формируется массив данных, отражающих характер влияния наиболее значимых параметров на величину целевой функции. Полученные данные могут быть проиллюстрированы в виде серии трёхмерных поверхностей, результирующая ось области построения – ось целевого показателя.

Следует обратить внимание на то, что ключевым условием организации выделенной полосы являются положительные значения целевого показателя – изменения средней скорости передвижения пассажира на рассматриваемом участке дорожной сети. Граничным условием является равенство нулю целевого показателя. На основе комбинирования данных, определяющих нулевые значения целевого показателя, определена область целесообразной организации выделенной полосы для движения транспортных средств городского пассажирского транспорта общего пользования. Полученный массив данных позволяет построить трёхмерные поверхности, определяющие сочетание условий, определяющих целесообразность организации выделенной полосы для

ГПТОП.

При выявлении чередующихся интервалов возрастания и убывания функций, полученных по результатам моделирования, целесообразно уточнить положение точки экстремума одним из типовых методов.

3.6 Выводы по третьему разделу

Разработана методика экспериментальных исследований, проведение которых позволит решить четвёртую поставленную задачу исследования: выявление условий, определяющих целесообразность организации выделенных полос для движения транспортных средств ГПТОП при различных значениях наиболее значимых параметров, отражающих фактическое состояние дорожной сети, организации движения, интенсивности транспортных потоков и их структуры.

Базовой частью методики является план модельного эксперимента, в соответствии с которым производится: определение входных и исследуемых параметров; планирование и проведение натурных обследований; ранжирование исследуемых параметров; планирование и проведение модельного эксперимента; обработка полученных данных, анализ полученных результатов и оценка их точности.

Представлено развёрнутое описание действий, позволяющих осуществить практическую реализацию каждого из пунктов разработанного плана.

Материалы, изложенные в разделе, опубликованы в работах автора [41, 62].

4 РЕЗУЛЬТАТЫ ОЦЕНКИ ВЛИЯНИЯ ВЫДЕЛЕННОЙ ПОЛОСЫ ГПТОП НА ПРОПУСКНУЮ СПОСОБНОСТЬ УЧАСТКА ДОРОЖНОЙ СЕТИ

4.1 Исходные данные для моделирования пропускной способности участка дорожной сети. Ранжирование исходных параметров

Проведённые исследования подтвердили необходимость внедрения приоритетного движения ГПТОП в Краснодаре для решения актуальных транспортных проблем.

Перечень входных параметров, используемых в качестве исходных данных для моделирования пропускной способности дорожной сети, представлен в разделе 3.2. В соответствии с планом модельного эксперимента, предусмотрено определение диапазона изменения численных значений данных параметров для условий городского движения и их средних значений. Для решения данной задачи выполнен выборочный анализ расписаний движения транспортных средств на маршрутах ГПТОП города Краснодара, проходящих по участкам улиц, имеющих более одной полосы одного направления, и проведены натурные обследования интенсивности движения транспортных средств, не относящихся к ГПТОП, на тех же участках улиц в часы пиковых транспортных потоков. В качестве объектов натурных обследований выбраны участки городских улиц, представленные в таблице 4.1.

Числовые значения входных параметров, необходимых для моделирования средней скорости передвижения пассажира в рамках участков дорожной сети, включённых в вышеуказанную выборку, представлены в таблицах 4.2 и 4.3.

Таблица 4.1 – Участки городских улиц г. Краснодара, включённые в выборку для проведения натурных обследований

Порядковый номер участка дорожной сети	Описание границ участка дорожной сети	Номера маршрутов ГПТОП, проходящих через участок дорожной сети
1	ул. Красных партизан (от ул. Круговая до ул. Западный обход)	Троллейбус:4; Автобус (класс 4: средний)*: 4, 20, 34, 75, 105а, 120а, 140а.
2	ул. Красных партизан (от ул. Сочинская до ул. Азовская)	Троллейбус:4; Автобус (класс 4: средний): 4, 20, 34, 75, 105а, 114, 131а, 140а, 166а, 174а, 183а, 710; Автобус (класс 5: большой): 10, 119
3	ул. им. Тургенева (от ул. Северная до ул. Артиллерийская)	Автобус (класс 4: средний): 39, 65, 67, 106а, 414
4	ул. Северная (от ул. Коммунаров до ул. Красноармейская)	Троллейбус: 12, 13, 14; Автобус (класс 4: средний): 26, 31, 34, 40, 45, 77, 90; Автобус (класс 5: большой): 2, 10, 46, 93
5	ул. Красная (от ул. Северная до ул. Хакурате)	Автобус (класс 4: средний): 3, 5, 29, 31, 40, 186б, 201; Автобус (класс 5: большой): 2, 2е, 9, 10, 11, 52, 93, 96, 182а
6	ул. Селезнёва (от ул. Ялтинская до ул. Енисейская)	Троллейбус: 13, 14; Автобус (класс 4: средний): 26, 31, 34, 40, 77, 78; Автобус (класс 5: большой): 2, 93
7	ул. Сормовская (от 1-го Онежского проезда до 2-го Онежского проезда)	Троллейбус: 14, 20; Автобус (класс 4: средний): 26, 31, 40, 44, 78, 90; Автобус (класс 5: большой): 10, 89
8	ул. Уральская (от ул. Лизы Чайкиной до ул. Старокубанская)	Автобус (класс 4: средний): 90; Автобус (класс 5: большой): 10, 89

Продолжение таблицы 4.1

1	2	3
9	ул. им. В.Н. Мачуги (от ул. им. Игнатова до ул. им. Дмитрия Благоева)	Троллейбус: 7, 12, 13; Автобус (класс 4: средний): 28, 30, 34, 60, 65, 77, 141а, 161а, 189а; Автобус (класс 5: большой): 2, 93, 103, 114а, 116, 150а, 151а
10	ул. Кубанская набережная (от ул. Ленина до ул. Гимназическая)	Троллейбус: 8; Автобус (класс 4: средний): 65, 95
11	ул. Красная (от ул. Гимназическая до ул. Гоголя)	Автобус (класс 5: большой): 2е
12	Ростовское шоссе (от ул. Зиповская до ул. Солнечная)	Автобус (класс 4: средний): 28, 30, 34, 60, 65, 77, 161а, 189а; Автобус (класс 5: большой): 2, 41, 43, 93, 102а, 103, 114а, 116, 150а, 151а
13	ул. Российской (от ул. Солнечная до ул. Якова Кухаренко)	Автобус (класс 4: средний): 121, 186б; Автобус (класс 5: большой): 52, 107, 154а
14	ул. Восточно-Кругликовская (от ул. Школьная до ул. Кругликовская)	Автобус (класс 4: средний): 45, 51, 78; Автобус (класс 5: большой): 46, 48
15	ул. Школьная (от ул. Филатова до ул. Восточно-Кругликовская)	Автобус (класс 4: средний): 45, 51, 58, 78; Автобус (класс 5: большой): 46, 48

*Классификация по пассажировместимости в соответствии с ГОСТ Р

51189-2004.

Таблица 4.2 – Параметры движения транспортных средств ГПТОП на участках дорожной сети, включённых в выборку исследуемых объектов

Порядковый номер участка дорожной сети	№ маршрута	Интервалы движения ТС ГПТОП, мин.	Интенсивность движения ТС ГПТОП, ед./час	Средневзвешенная пассажировместимость ТС ГПТОП, пасс	Среднее значение коэффициента наполняемости салона ТС ГПТОП, ед.
1	2	3	4	5	6
1	2	3	19	54	0,86
	4	20			
	20	30			
	34	15			
	75	15			
	105a	19			
	120a	60			
	140a	38			
2	4	20	39	68	0,89
	20	30			
	34	15			
	75	15			
	105a	19			
	114	20			
	131a	23			
	140a	38			
	166a	25			
	174a	50			
	183a	19			
	710	23			
	10	14			
	119	30			
3	39	15	17	45	0,95
	65	12			
	67	19			
	106a	23			
	414	33			
4	12	15	48	84	0,91
	13	41			
	14	19			
	26	20			
	31	10			
	34	15			
	40	15			
	45	19			
	77	20			
	90	20			

Продолжение таблицы 4.2

1	2	3	4	5	6
4	2	17			
	10	14			
	46	28			
	93	17			
	3	19			
5	5	18			0,81
	29	19			
	31	10			
	40	15			
	186б	45			
	201	30			
	2	17			
	2e	7			
	9	24			
	10	14			
	11	10			
	52	18			
	93	17			
	96	15			
	182а	20			
6	13	41		30,4	0,91
	14	19			
	26	20			
	31	10			
	34	15			
	40	15			
	77	20			
	78	22			
	2	17			
	93	17			
7	14	19		37	0,93
	20	12			
	26	20			
	31	10			
	40	15			
	44	19			
	78	22			
	90	20			
	10	14			
	89	20			
8	90	20		10,2	0,94
	10	14			
	89	20			
9	7	12		55,7	0,87
	12	15			
	13	37			
	28	17			
	30	15			

Продолжение таблицы 4.2

1	2	3	4	5	6
9	34	15			
	60	15			
	65	12			
	77	20			
	141a	23			
	161a	38			
	189a	25			
	2	17			
	93	17			
	103	20			
	114	20			
	150a	20			
10	151a	30			
	8	14	13	58	0,97
	65	12			
11	95	16			
	2y	7	9	98	0,98
12	28	17			
	30	15			
	34	15			
	60	15			
	65	12	30	81	0,88
	77	20			
	161a	38			
	150a	20			
	151a	30			
13	121	10			
	186б	45			
	52	18	14,4	77	0,89
	107	35			
	154a	30			
14	45	19			
	51	15			
	78	22	15	67	0,86
	46	30			
	48	19			
15	45	19			
	51	15			
	58	13	19,6	65	0,88
	78	22			
	46	30			
	48	19			

Таблица 4.3 – Параметры организации движения и транспортных потоков на участках дорожной сети, включённых в выборку исследуемых объектов

Порядковый номер участка дорожной сети	Приведённая интенсивность движения ТС, не относящихся к ГПТОП (прямое направление), ед./час	Количество полос (прямое направление), ед.	Приведённая интенсивность движения ТС, не относящихся к ГПТОП, на смежном участке дорожной сети (прямое направление), ед./час	Ширина полос движения ТС на рассматриваемом участке дорожной сети, м	Продолжительность разрешающей фазы / полного цикла регулирования светофорного объекта, в конце рассматриваемого участка дорожной сети, с	продолжительность разрешающей фазы / полного цикла регулирования светофорного объекта, в конце смежного участка дорожной сети, с
1	1186	2	461	3,5	65/90	-
2	2792	3	572	3,0	75/110	-
3	718	2	942	3,25	25/90	-
4	3108	3	612	3,0	55/110	35/90
5	3275	4	840	3,5	45/100	55/100
6	1340	2	318	3,25	55/90	25/90
7	2117	2	675	3,5	55/90	25/90
8	4175	3	1450	3,5	35/90	35/90
9	3870	3	2045	3,75	35/90	25/60
10	1840	2	1118	3,25	55/90	25/90
11	1764	2	2450	3,0	55/95	25/60
12	4107	3	1768	3,75	100/145	40/145
13	1464	2	517	3,75	45/95	35/90
14	2273	3	-	4,0	75/120	-
15	2450	2	3146	3,5	55/120	60/120

На основании данных, представленных в таблицах 4.1, 4.2 и 4.3 установлены: диапазоны изменения исследуемых параметров, их средние значения и степень влияния на значение целевой функции. Данные факторы сформировали размерность многомерной области целесообразной организации выделенных полос. Результаты расчёта указанных величин, полученные при помощи программы, реализующей разработанную математическую модель (язык программирования Python), приведены в таблице 4.4.

Таблица 4.4 – Результаты исследования параметров модельного эксперимента

Параметр	Диапазон изменения	Среднее значение	Средняя скорость передвижения пассажира на участке дорожной сети при отсутствии и наличии выделенной полосы для движения ТС ГПТОП*, км/ч			Ранг параметра
			v_{MIN}	v_{MAX}	$ \Delta v $	
Интенсивность движения ТС ГПТОП (n_P), ед./час	от 9 до 62	31,7	19,1	15,1	4	2
			16,4	17,1	0,7	
Средневзвешенная пассажировместимость ТС ГПТОП (\bar{P}_P), пасс.	от 45 до 98	76,4	18,0	16,5	1,5	4
			16,6	16,9	0,3	
Среднее значение коэффициента наполняемости салона ТС ГПТОП ($\bar{\gamma}_P$)	от 0,81 до 0,98	0,96	17,0	17,0	0	8
			16,8	16,8	0	
Приведённая интенсивность движения ТС, не относящихся к ГПТОП, на рассматриваемом участке дорожной сети (n), ед./час	от 718 до 4175	2432	15,0	18,4	3,4	3
			17,7	17,9	0,2	
Количество полос на рассматриваемом участке дорожной сети, ед.	от 2 до 4	2,53	16,2	17,6	0,4	6
			16,6	17,0	0,4	
Ширина полос движения ТС на рассматриваемом участке дорожной сети (B), м	от 3 до 4	3,43	17,0	17,0	0	7
			16,8	17,0	0,2	
Продолжительность цикла регулирования светофорного объекта, рассматриваемого участка дорожной сети (t_D), с	от 90 до 145	102	19,9	19,9	0	5
			18,7	18,2	0,5	

Продолжение таблицы 4.4

1	2	3	4	5	6	7
Отношение продолжительности разрешающей фазы светофорного регулирования к полной продолжительности цикла светофорного регулирования рассматриваемого участка дорожной сети	от 0,28 до 0,72	0,538	10,3	26,9	16,6	1
			14,3	22,1	7,8	
Продолжительность цикла регулирования светофорного объекта, смежного участка дорожной сети ($t_{ЦС}$), с	от 60 до 145	93	19,9	19,9	0	9
			18,6	18,6	0	
Отношение продолжительности разрешающей фазы светофорного регулирования к полной продолжительности цикла светофорного регулирования рассматриваемого участка дорожной сети	от 0,28 до 0,55	0,38	19,9	19,9	0	10
			18,6	18,6	0	

* В верхней строке – при отсутствии выделенной полосы, в нижней строке при наличии выделенной полосы

По результатам исследования параметров модельного эксперимента проведено ранжирование факторов, оказывающих влияние на величину средней скорости передвижения пассажира на рассматриваемом участке дорожной сети.

Установлено, что три наиболее значимых фактора выстраиваются в следующей последовательности в порядке убывания значимости:

1) отношение продолжительности разрешающей фазы светофорного регулирования к полной продолжительности цикла светофорного регулирования

рассматриваемого участка дорожной сети (t_{PC}/t_{CC});

2) интенсивность движения транспортных средств ГПТОП (n_{II});

3) приведённая интенсивность движения транспортных средств, не относящихся к ГПТОП, на рассматриваемом участке дорожной сети (n).

Указанные переменные оказывают решающее влияние на величину принятого в работе целевого показателя, и, как следствие, формируют условия обоснования организации выделенных полос на участке дорожной сети. Исходя из этого, данные показатели формируют наиболее информативную область моделирования, по результатам которого представляется возможным выявить характер их влияния на величину изменения средней скорости передвижения пассажира, обусловленного организацией выделенной полосы для движения транспортных средств ГПТОП.

4.2 Результаты моделирования пропускной способности участка дорожной сети с учётом организации выделенной полосы пассажирского транспорта общего пользования

Для выявления зависимостей, описывающих характер влияния наиболее значимых факторов на величину принятого критерия организации выделенной полосы для движения транспортных средств ГПТОП, проведён модельный эксперимент.

При проведении эксперимента сделано допущение о том, что все параметры, включённые в математическую модель, принимают средние значения и не меняются в процессе моделирования.

В качестве переменных принимаются исследуемые (наиболее значимые) высокоранговые параметры, определённые в предыдущем подразделе.

Диапазон изменения данных параметров, шаг изменения и количество расчётных точек приведены в таблице 4.5.

Таблица 4.5 – Переменные параметры модельного эксперимента

Наименование параметра	Минимальное значение	Максимальное значение	Шаг изменения	Количество расчётных точек
Отношение продолжительности разрешающей фазы светофорного регулирования к полной продолжительности цикла светофорного регулирования рассматриваемого участка дорожной сети	0,25	0,75	0,1	6
Интенсивность движения ТС ГПТОП, ед./ч	10	70	10	7
Приведённая интенсивность движения ТС, не относящихся к ГПТОП, на рассматриваемом участке дорожной сети, ед./ч	700	4900	700	7

Исходя из количества расчётных точек, установленных для каждого расчётного параметра, получен массив данных, включающий в себя 294 значения результатов моделирования. Массив отражает характер влияния наиболее значимых условий внешней среды на эффективность мероприятий, связанных с организацией выделенной полосы для движения транспортных средств ГПТОП. В качестве критерия эффективности использована величина изменения средней скорости передвижения пассажира на рассматриваемом участке дорожной сети.

На основе анализа результатов моделирования получены зависимости, отражающие характер влияния наиболее значимых факторов на эффективность организации выделенной полосы для движения транспортных средств ГПТОП.

Данные, отражающие характер совместного влияния таких факторов, как «Интенсивность движения транспортных средств ГПТОП» и «Отношение продолжительности разрешающей фазы светофорного регулирования к продолжительности полного цикла» при средних значениях других параметров,

на изменение средней скорости передвижения пассажиров при организации выделенной полосы для движения транспортных средств ГПТОП, приведены в таблице 4.6 и на рисунке 4.1.

Таблица 4.6 – Зависимость изменения средней скорости передвижения пассажиров при организации выделенной полосы для движения транспортных средств ГПТОП от интенсивности их движения и отношения продолжительности разрешающей фазы светофорного регулирования к продолжительности полного цикла

		Отношение разрешающей фазы к полному циклу					
		0,25	0,35	0,45	0,55	0,65	0,75
Интенсивность движения ТС ГПТОП, ед/ч	10	2,5	0,4	-1,6	-3,4	-5,2	-6,9
	20	4,1	1,8	-0,1	-2	-3,8	-5,5
	30	5,0	2,8	0,9	-0,9	-2,7	-4,4
	40	5,6	3,6	1,7	-0,1	-1,8	-3,5
	50	6,1	4,1	2,3	0,6	-1,1	-2,8
	60	6,5	4,5	2,8	1,1	-0,5	-2,2
	70	6,7	4,8	3,1	1,5	0	-1,6

Результаты моделирования, позволяющие оценить совместное влияние таких факторов, как интенсивность движения транспортных средств ГПТОП и интенсивность движения транспортных средств, не относящихся к ГПТОП, на эффективность мероприятий, связанных с организацией выделенной полосы для движения ГПТОП, приведены в таблице 4.7 и проиллюстрированы на рисунке 4.2.

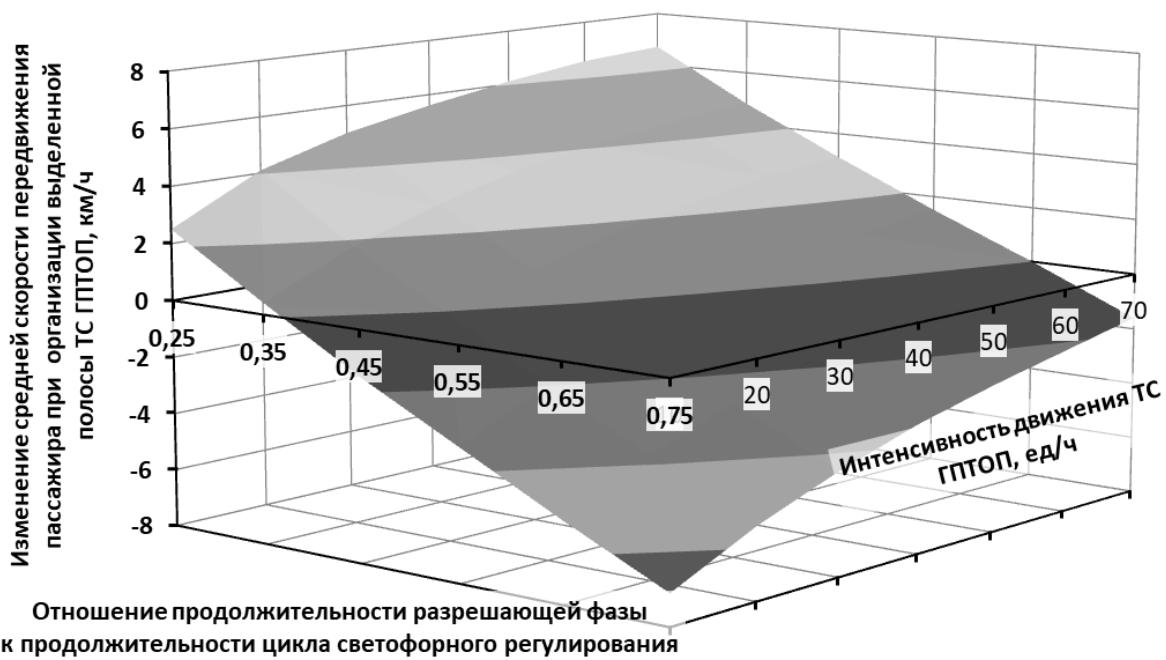


Рисунок 4.1 – Зависимость изменения средней скорости передвижения пассажиров при организации выделенной полосы для движения транспортных средств ГПТОП от интенсивности их движения и отношения продолжительности разрешающей фазы светофорного регулирования к продолжительности полного цикла

Таблица 4.7 – Зависимость изменения средней скорости передвижения пассажиров при организации выделенной полосы для движения транспортных средств ГПТОП от интенсивности их движения и интенсивности движения транспортных средств, не относящихся к ГПТОП

		Интенсивность ТС не ГПТОП				
		1400	2100	2800	3500	4200
Интенсивность движения ТС ГПТОП, ед/ч	10	-3,3	-0,8	-1,1	-3,3	-5,2
	20	-1,5	0,5	0	-2,2	-4,3
	30	-0,2	1,5	0,8	-1,4	-3,5
	40	0,8	2,2	1,5	-0,7	-2,8
	50	1,5	2,7	2,0	-0,1	-2,2
	60	2,0	3,2	2,5	0,4	-1,7
	70	2,4	3,5	2,9	0,8	-1,2

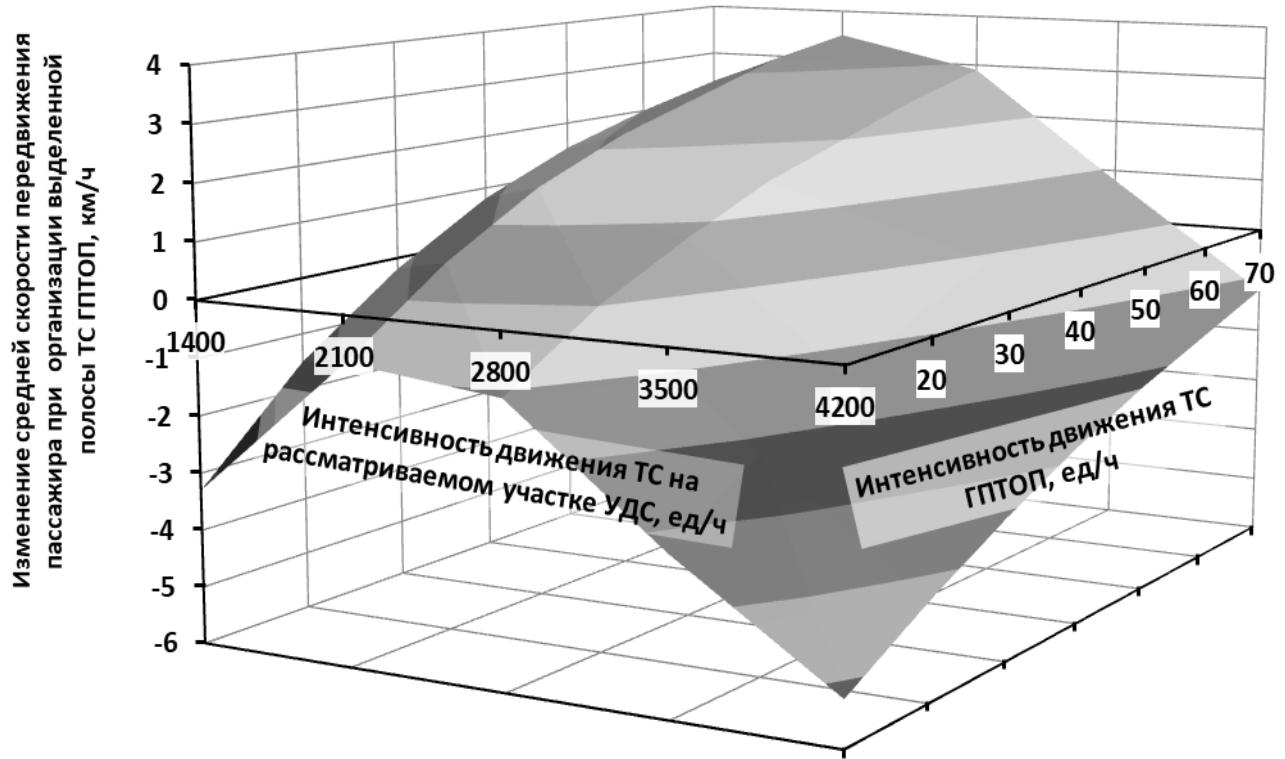


Рисунок 4.2 – Зависимость изменения средней скорости передвижения пассажиров при организации выделенной полосы для движения транспортных средств ГПТОП от интенсивности их движения и интенсивности движения транспортных средств, не относящихся к ГПТОП

При построении зависимостей, представленных на рисунках 4.1 и 4.2, величина неизменяемых факторов принята на уровне средних значений (таблица 4.4).

Для упрощения восприятия и практического применения результатов моделирования более детально рассмотрены граничные условия, характеризуемые нулевым значением целевого показателя и определяющие переход от отрицательных значений к положительным, что является характеристикой условий, определяющих целесообразность организации выделенной полосы. Сочетания интенсивности движения транспортных средств ГПТОП и транспортных средств, не относящиеся к ГПТОП, обеспечивающие формирование нулевого значения целевого показателя, приведены в таблице 4.8.

Таблица 4.8 – Сочетания интенсивности движения транспортных средств ГПТОП и транспортных средств, не относящиеся к ГПТОП, обеспечивающие формирование нулевого значения целевого показателя $\Delta v_{CR.P}$

	Интенсивность движения ТС, не относящиеся к ГПТОП, ед/ч				
	1400	2100	2800	3500	4200
Интенсивность движения ТС ГПТОП, ед/ч	36	16	20	52	-

Графически область целесообразной организации выделенных полос для движения транспортных средств ГПТОП в координатах «Интенсивность движения транспортных средств на рассматриваемом участке дорожной сети» – «Интенсивность движения транспортных средств ГПТОП» показана на рисунке 4.3.

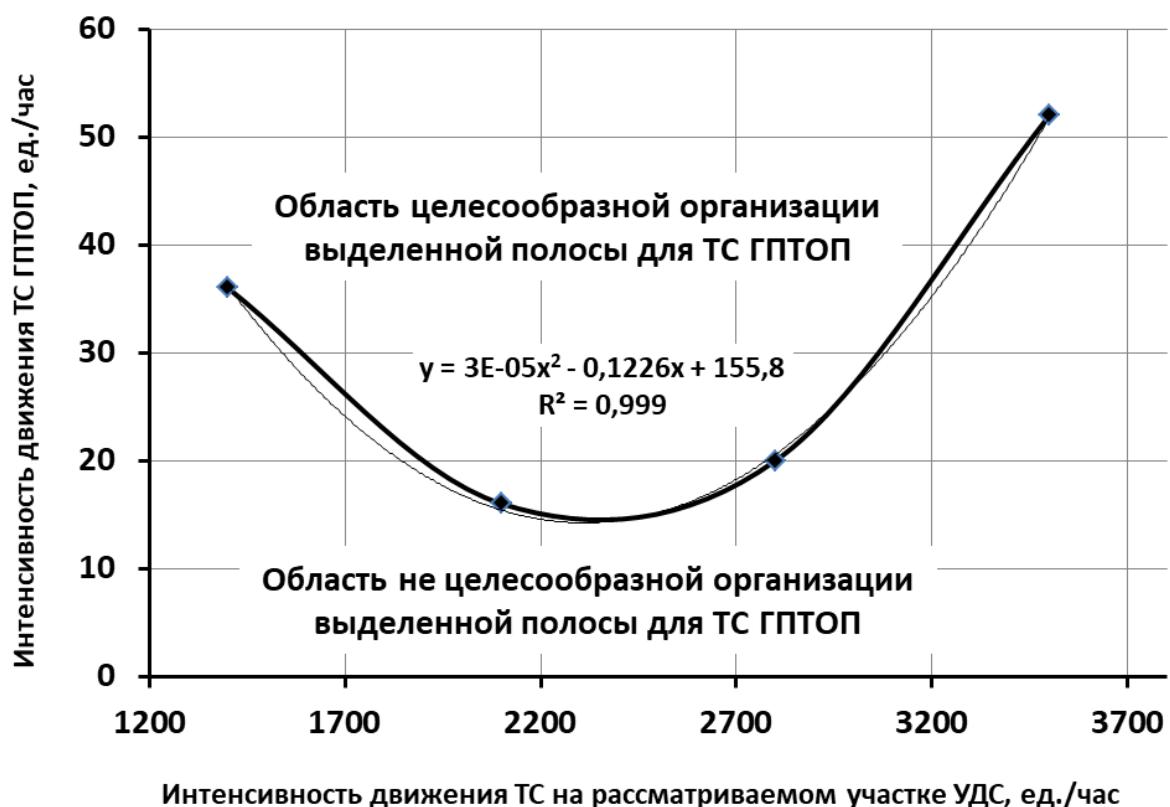


Рисунок 4.3 – Зависимость интенсивности движения транспортных средств ГПТОП от интенсивности транспортных средств, не относящихся к ГПТОП, при условии обеспечения нулевого значения целевого показателя $\Delta v_{CR.P}$

Экстраполяцией данных графика, представленного на рисунке 4.3, получено выражение, описывающее зависимость интенсивности движения транспортных средств ГПТОП от интенсивности движения транспортных средств, не относящихся к ГПТОП, при условии нулевого изменения средней скорости передвижения пассажира, обусловленного организацией выделенной полосы. Данное выражение показано на рисунке 4.3 над графиком.

Аналогичным образом анализ полученных данных был выполнен в отношении сочетания таких факторов, как «Интенсивность движения транспортных средств ГПТОП» и «Отношение продолжительности разрешающей фазы светофорного регулирования к продолжительности полного цикла». Сочетания значений данных факторов, соответствующие нулевому значению целевого показателя, приведены в таблице 4.9.

Таблица 4.9 – Сочетания интенсивности движения транспортных средств ГПТОП и отношения продолжительности разрешающей фазы светофорного регулирования к продолжительности полного цикла, обеспечивающие формирование нулевого значения целевого показателя $\Delta v_{CP.P}$

	Интенсивность движения ТС, не относящихся к ГПТОП, ед/ч			
	10	16	32	70
Отношение продолжительности разрешающей фазы светофорного регулирования к продолжительности полного цикла	0,37	0,45	0,55	0,65

График, иллюстрирующий данные, содержащиеся в таблице 4.9, представлен на рисунке 4.4.

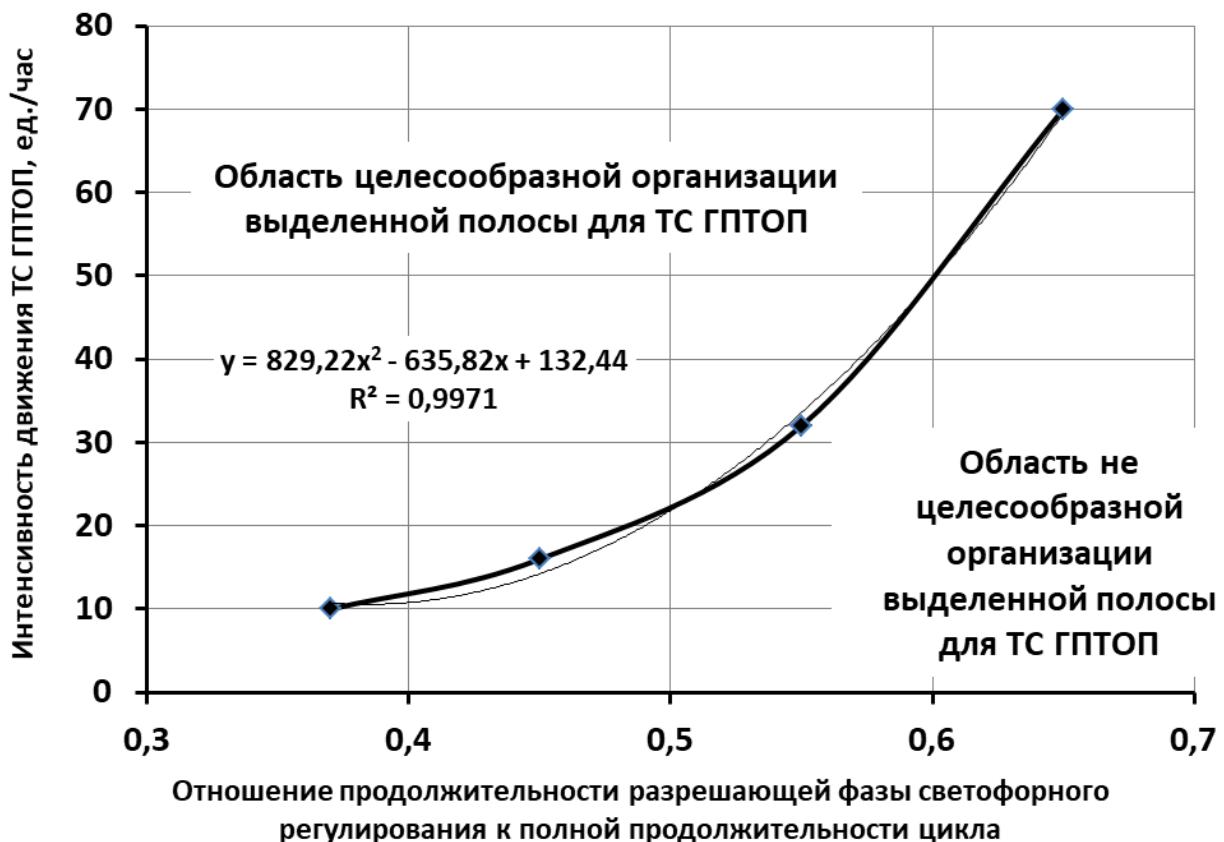


Рисунок 4.4 – Зависимость интенсивности движения транспортных средств ГПТОП от отношения продолжительности разрешающей фазы светофорного регулирования к полной продолжительности цикла при условии обеспечения нулевого значения целевого показателя $\Delta v_{CP,п}$

Таким образом, получены данные, доказывающие работоспособность разработанной математической модели и программного продукта, обеспечивающего её реализацию. Получен массив данных, позволяющий выявить область целесообразной организации выделенных полос для транспортных средств ГПТОП исходя из условия обеспечения положительных значений предложенного критерия – изменения средней скорости передвижения пассажира на рассматриваемом участке дорожной сети.

По итогам проведенного эксперимента можно сделать вывод, что применяя данную методику в крупных городах, можно достичь экономии времени работы пассажирского транспорта за счет повышения скорости сообщения.

4.3 Анализ результатов моделирования

Исходя из результатов моделирования, выявлены факторы, оказывающие наиболее значимое влияние на величину изменения средней скорости передвижения пассажиров на рассматриваемом участке дорожной сети при реализации мероприятий, связанных с организацией выделенных полос для движения транспортных средств ГПТОП.

Как было отмечено выше, к числу таких факторов относятся:

- интенсивность движения транспортных средств ГПТОП, ед/ч;
- интенсивность движения транспортных средств, не относящихся к ГПТОП, ед./ч;
- соотношение продолжительности разрешающей фазы светофорного регулирования к продолжительности полного цикла.

По результатам моделирования выявлены области целесообразной организации выделенных полос для движения транспортных средств ГПТОП.

На основе интерполяции результатов моделирования получено неравенство, позволяющее определить область целесообразной организации выделенных полос, исходя из соотношения интенсивностей движения транспортных средств ГПТОП и транспортных средств, не относящихся к ГПТОП. Данное неравенство имеет вид:

$$n_{II} > 0,005 \cdot n^2 - 0,1226 \cdot n + 155,8, \quad (4.1)$$

где n_{II} – интенсивность движения транспортных средств ГПТОП на рассматриваемом участке дорожной сети, ед/ч;

n – интенсивность движения транспортных средств, не относящихся к ГПТОП, на рассматриваемом участке дорожной сети, ед/ч.

Неравенство, формирующее область целесообразной организации выделенных полос для сочетания таких факторов, как интенсивность движения транспортных средств ГПТОП и соотношение продолжительности

разрешающей фазы светофорного регулирования к общей продолжительности цикла, имеет вид:

$$n_n > 829,22 \cdot \left(\frac{t_{PC}}{t_{UC}} \right)^2 - 635,82 \cdot \frac{t_{PC}}{t_{UC}} + 132,44, \quad (4.2)$$

где t_{PC} – продолжительность разрешающей фазы регулирования светофорного объекта, с;

t_{UC} – продолжительность полного цикла регулирования светофорного объекта, расположенного в конце смежного участка дорожной сети, с.

Неравенства (4.1) и (4.2) справедливы для случая, когда расчётные параметры, учитываемые разработанной моделью, и не включённые в неравенства (4.1) и (4.2), имеют средние значения.

На основе результатов анализа массива данных, полученных по итогам моделирования в координатном пространстве, определяемом наиболее значимыми факторами, построена трёхмерная поверхность, являющаяся границей трёхмерной области целесообразной организации выделенных полос для движения транспортных средств ГПТОП. Графически данная поверхность представлена на рисунке 4.5.

Аппроксимацией полученного массива данных (код на языке программирования Python приведён в приложении А) установлено неравенство, позволяющее определить значения интенсивности движения транспортных средств ГПТОП на рассматриваемом участке дорожной сети, определяющие целесообразность организации выделенной полосы на рассматриваемом участке дорожной сети при заданной интенсивности транспортного потока и установленных параметрах светофорного регулирования. При средней ошибке аппроксимации $\Delta = 8,4\%$ формула имеет вид:

$$n_n > 0,0171 \cdot n + 227,43 \cdot \left(\frac{t_{PC}}{t_{UC}} \right) - 0,0251 \cdot n \cdot \left(\frac{t_{PC}}{t_{UC}} \right) - 88,92. \quad (4.3)$$

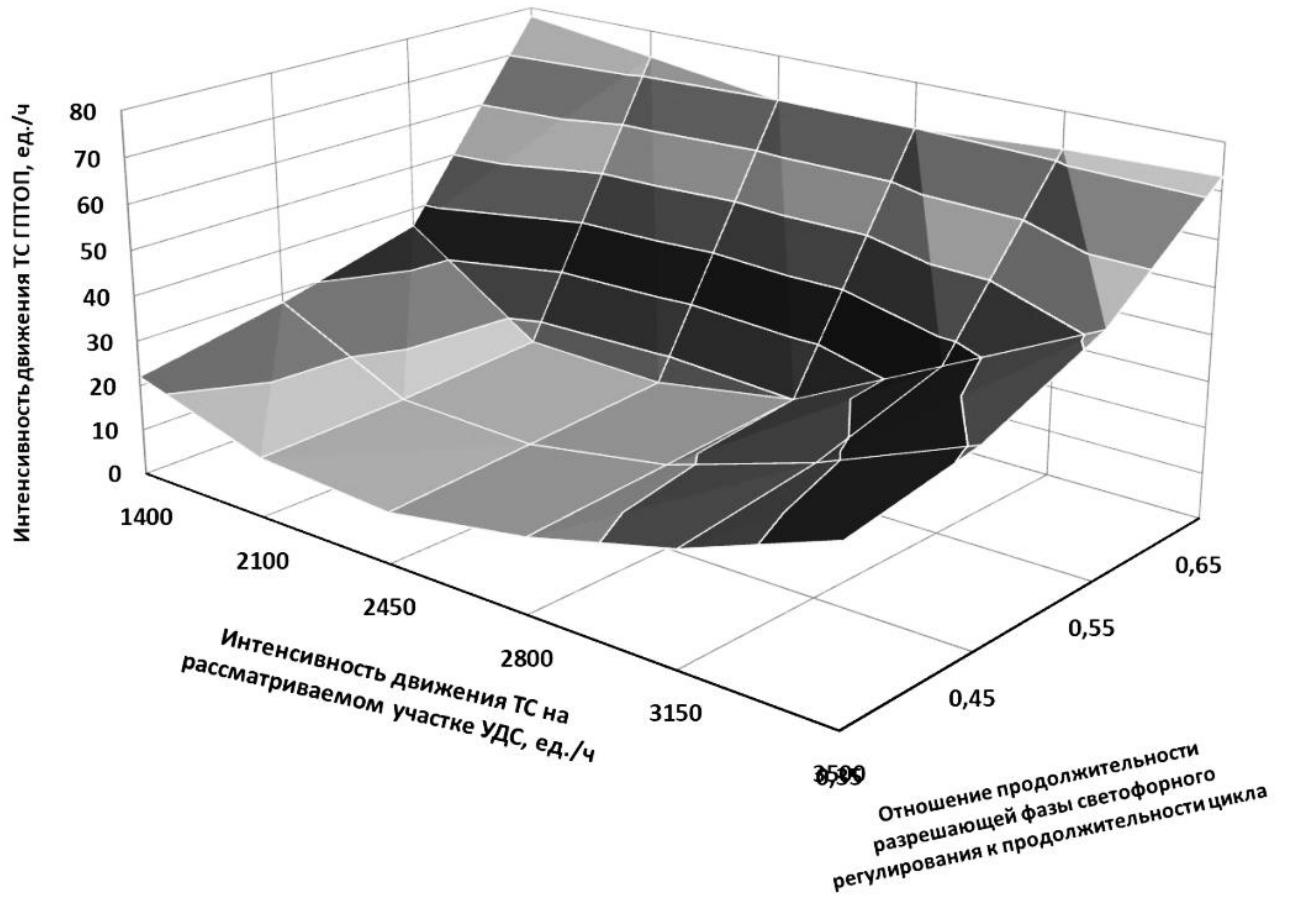


Рисунок 4.5 – Область целесообразной организации выделенных полос для движения транспортных средств ГПТОП

Полученное выражение может быть использовано для предварительной оценки целесообразности организации выделенной полосы для движения транспортных средств ГПТОП на участках городской дорожной сети. Итогом организации выделенных полос является увеличение средней скорости передвижения пассажиров, рассчитанной применительно ко всей совокупности транспортных средств, передвигающихся в пределах рассматриваемого участка дорожной сети. Данное изменение, несомненно, оказывает положительное влияние на показатели качества транспортного обслуживания населения.

Кроме того, организация выделенных полос приводит к ещё более заметному, по сравнению со средней скоростью передвижения пассажира, увеличению скорости сообщения транспортных средств ГПТОП. Прирост скорости сообщения на отдельных участках дорожной сети обеспечивает снижение времени оборотного рейса и, как следствие, создаёт предпосылки для

уменьшения количества транспортных средств, обслуживающих городские маршруты при неизменной регулярности. Данная тенденция способствует повышению экономических показателей работы ГПТОП.

4.4 Оценка влияния мероприятий по обеспечению приоритетного движения транспортных средств городского пассажирского транспорта общего пользования на технико-экономические показатели его работы

На основе теоретических положений, описывающих влияние выделенных полос для движения транспортных средств ГПТОП на величину средней скорости передвижения совокупности пассажиров на рассматриваемом участке дорожной сети, составлена схема алгоритма описывающая последовательность действий, выполняемых при расчёте данного показателя. Указанная схема приведена на рисунке 2.4.

Положительные значения рассчитываемого критерия характеризуют условия, при которых организация выделенной полосы признаётся целесообразной. Данный подход отражает, прежде всего, интересы социума – городского населения, совершающего ежедневные передвижения в пределах городской дорожной сети. Но несомненный интерес представляют и результаты оценки влияния предлагаемых мероприятий на технико-экономические показатели работы подвижного состава ГПТОП на линии. Данная точка зрения, прежде всего, отражает интересы предприятий – перевозчиков, обслуживающих маршруты ГПТОП.

Ключевым фактором, оказывающим решающее влияние на параметры организации транспортного процесса, является средняя скорость сообщения, установленная для транспортных средств, обслуживающих маршруты ГПТОП.

Величина изменения данного показателя для локального участка маршрута, в отношении которого принято решение об организации выделенной полосы, может быть определена на основании данных об изменении средней скорости передвижения пассажиров. Расчёт выполнен на основе формулы

расчёта изменения средневзвешенной скорости передвижения пассажира в результате организации выделенной полосы ГПТОП:

$$\Delta v_{CP} = \frac{\bar{v}^+ \cdot n_{IP}^+ \cdot \bar{\Pi}_i \cdot \bar{\gamma}_i + \bar{v}_P^+ \cdot n_P^+ \cdot \bar{\Pi}_P \cdot \bar{\gamma}_P}{n_{IP}^+ \cdot \bar{\Pi}_i \cdot \bar{\gamma}_i + n_P^+ \cdot \bar{\Pi}_P \cdot \bar{\gamma}_P} - v_{CP-P}, \quad (4.4)$$

где \bar{v}^+ – средняя скорость движения транспортных средств не ГПТОП на рассматриваемом участке дорожной сети при организации выделенной полосы для движения транспортных средств ГПТОП, км/ч;

n_{IP}^+ – приведённая интенсивность движения транспортных средств, не относящихся к ГПТОП, на рассматриваемом участке дорожной сети при организации выделенной полосы для движения транспортных средств ГПТОП, ед/ч;

$\bar{\Pi}_i$ – средняя пассажировместимость транспортных средств, не относящихся к ГПТОП, чел.;

$\bar{\gamma}_i$ – средний коэффициент использования пассажировместимости транспортных средств, не относящихся к ГПТОП, ед.;

\bar{v}_P^+ – средняя скорость сообщения транспортных средств ГПТОП при организации выделенной полосы для движения транспортных средств ГПТОП, км/ч;

n_P^+ – интенсивность движения транспортных средств ГПТОП в соответствии с утверждённым расписанием, ед/ч;

$\bar{\Pi}_P$ – средняя пассажировместимость транспортных средств ГПТОП, чел.;

$\bar{\gamma}_P$ – средний коэффициент использования пассажировместимости транспортных средств ГПТОП, ед.;

v_{CP-P} – средняя скорость движения транспортных средств на рассматриваемом участке дорожной сети при отсутствии выделенной полосы для движения транспортных средств ГПТОП, км/ч.

Преобразованием выражения (4.4) получена формула для расчёта средней

скорости движения транспортных средств ГПТОП при организации выделенной полосы:

$$v_{In}^+ = \frac{(\Delta v_{CPn} + v_{CP-In}) \cdot (n_{In}^+ \cdot \overline{\Pi}_{in} \cdot \overline{\gamma}_{in} + n_{In}^+ \cdot \overline{\Pi}_{In} \cdot \overline{\gamma}_{In}) - \overline{v_n^+} \cdot n_{In}^+ \cdot \overline{\Pi}_{in} \cdot \overline{\gamma}_{in}}{n_{In}^+ \cdot \overline{\Pi}_{In} \cdot \overline{\gamma}_{In}}. \quad (4.5)$$

Прирост скорости сообщения в пределах рассматриваемого участка дорожной сети составит:

$$\Delta v_{In}^+ = v_{In}^+ - v_{CP-In}. \quad (4.6)$$

Исходя из установленной величины прироста скорости сообщения на рассматриваемом n -ом участке дорожной сети, время выполнения оборотного рейса для каждого маршрута, проходящего через этот участок, сократиться на величину Δt_n , определяемую по формуле:

$$\Delta t_n = \frac{S_{y\gamma_n} \cdot \Delta v_{In}^+}{(v_{CP-In})^2 - \Delta v_{In}^+ \cdot v_{CP-In}}, \quad (4.7)$$

где $S_{y\gamma_n}$ – протяжённость рассматриваемого n -ого участка дорожной сети, км.

Так как организация приоритетного движения транспортных средств ГПТОП является комплексным мероприятием, то обоснованность его проведения целесообразно рассмотреть в отношении всех участков городской маршрутной сети.

Для каждого маршрута целесообразно определить суммарное сокращение времени оборотного рейса $\left(\sum_{n=1}^N \Delta t_n \right)$, обусловленное организацией выделенных полос на всей совокупности участков городской дорожной сети, по которым он проходит.

Численность транспортных средств, закреплённых за маршрутом, определяется, исходя из необходимости соблюдения установленного интервала

движения по формуле:

$$A_M = \frac{T_{OB.MAX}}{I_{MIN}} \cdot \alpha_B, \quad (4.8)$$

где $T_{OB.MAX}$ – максимальное (в течение суток) время оборотного рейса, мин.;

I_{MIN} – минимально-допустимый (в течении суток) интервал движения транспортных средств на маршруте, мин.;

α_B – коэффициент выпуска.

Как правило, максимальное значение времени совершения оборотного рейса наблюдается в часы пиковой интенсивности транспортных потоков. В эти же часы возникает необходимость удовлетворения максимального спроса на услуги городского пассажирского транспорта, то есть максимальное количество транспортных средств одновременно работает на маршруте именно в часы пик. Следовательно, применение данных величин в одной формуле логично и правомерно. Исходя из этого, сокращение численности парка транспортных средств, обслуживающих каждый отдельно взятый маршрут ГПТОП, определяется на основе суммарного сокращения времени преодоления всех участков данного маршрута, оснащённых выделенными полосами для движения ГПТОП. Расчёт численности сокращаемых транспортных средств производится по формуле [81]:

$$\Delta A_M = \frac{\sum_{n=1}^N \Delta t_n}{I_{MIN}}. \quad (4.9)$$

С учётом выражения (4.8) формула (4.9) приобретает вид:

$$\Delta A_M = \frac{1}{I_{MIN}} \cdot \sum_{n=1}^N \left(\frac{S_{yq_n} \cdot \Delta v_{In}^+}{(\nu_{CP.-In})^2 - \Delta v_{In}^+ \cdot \nu_{CP.-In}} \right). \quad (4.10)$$

Таким образом, организация выделенных полос для движения транспортных средств ГПТОП, наряду с эффектом, выражаемом для городского сообщения в снижении времени осуществления транспортных корреспонденций, является мероприятием, способствующим повышению эффективности деятельности предприятий-перевозчиков, так как обеспечивает снижение капиталовложений на приобретение подвижного состава, амортизационных отчислений на его восстановление и затрат на оплату труда водителей.

На основе представленных расчётных формул разработан алгоритм расчёта величины сокращения парка транспортных средств, закреплённых за отдельным городским маршрутом и оценки изменения технико-экономических показателей эксплуатации парка транспортных средств, обслуживающих маршрут. Схема разработанного алгоритма представлена на рисунке 4.6.

В соответствии со схемой разработанного алгоритма, в качестве исходных данных для выполняемого расчёта, наряду с параметрами рассматриваемых участков дорожной сети и параметрами транспортных потоков, используются расчётные данные об изменении средней скорости передвижения пассажиров, обусловленном организацией выделенных полос для движения транспортных средств ГПТОП.

Поскольку расчёт выполняется отдельно для каждого маршрута ГПТОП, рассматриваются участки маршрута с выделенной полосой для движения транспортных средств ГПТОП.

Алгоритмом предусмотрено циклическое последовательное выполнение расчёта в отношении каждого участка.

При этом выполняется расчёт:

- скорости сообщения транспортных средств ГПТОП на участке с учётом задержек на остановочных пунктах и регулируемых пересечениях;
- прироста скорости сообщения транспортных средств ГПТОП, обусловленного организацией выделенной полосы;
- величины, на которую произойдёт сокращение времени преодоления транспортными средствами ГПТОП рассматриваемого участка дорожной сети.

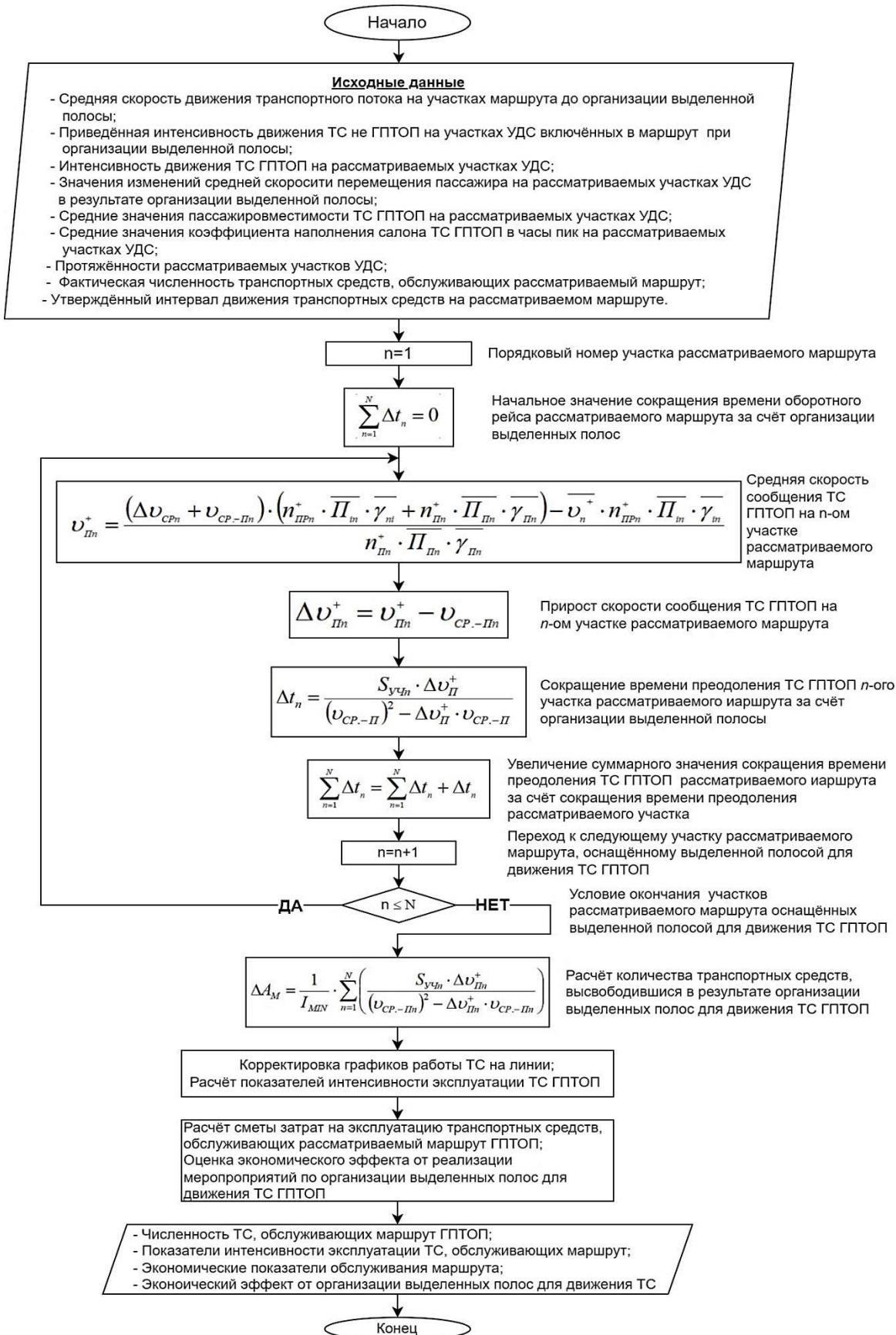


Рисунок 4.6 – Схема алгоритма расчёта величины сокращения парка транспортных средств, закреплённых за маршрутом ГПТОП, и оценки изменения технико-экономических показателей их эксплуатации

Полученные для разных участков маршрута значения сокращения времени оборотного рейса суммируются между собой. Таким образом, определяется суммарное значение сокращения времени оборотного рейса.

Исходя из условия, что при сокращении времени оборотного рейса, равном величине интервала движения транспортных средств на маршруте, происходит сокращение численности транспортных средств на одну единицу, определяется количество транспортных средств, высвободившихся в результате организации выделенных полос.

В заключительной части расчёта производится корректировка графиков работы транспортных средств на линии и определяются показатели интенсивности эксплуатации транспортных средств (годовой и среднесуточный пробеги). Исходя из полученных результатов, производится расчёт сметы эксплуатационных затрат и экономического эффекта, обусловленного организацией выделенных полос.

4.5 Выводы по четвёртому разделу

Полученные результаты позволяют сделать заключение о решении четвёртой поставленной задачи.

На основе данных, собранных по результатам обследования представительной выборки участков дорожной сети города Краснодара, произведено ранжирование исходных параметров, используемых разработанной моделью передвижения пассажиров на участке в условиях организации выделенной полосы для движения транспортных средств ГПТОП. Выявлены наиболее значимые факторы, к числу которых относятся: интенсивность движения транспортных средств ГПТОП; интенсивность движения транспортных средств, не относящихся к ГПТОП; соотношение продолжительности разрешающей фазы светофорного регулирования к продолжительности полного цикла.

В пространстве, сформированном указанными наиболее значимыми

факторами, определены области целесообразной организации выделенных полос для движения транспортных средств ГПТОП.

Разработан алгоритм оценки влияния мероприятий по обеспечению приоритетного движения транспортных средств ГПТОП на технико-экономические показатели его работы.

Материалы, изложенные в разделе, опубликованы в работах автора [41, 58, 74].

5 ОЦЕНКА ЭФФЕКТИВНОСТИ ВНЕДРЕНИЯ РЕЗУЛЬТАТОВ ИССЛЕДОВАНИЯ

5.1 Применение разработанной методики в отношении дорожной сети города Краснодара

Разработанная методика оценки целесообразности организации выделенных полос была реализована в отношении дорожной сети города Краснодара. Актуальность данной темы для Краснодара обусловлена рядом факторов: постоянное увеличение транспортной нагрузки на дорожную сеть города, отсутствие эффективной системы приоритетного движения ГПТОП.

На предварительном этапе реализации произведён отбор участков городских улиц, по которым проходят маршруты ГПТОП и имеющих более двух полос для движения в одном из направлений. Каждому из отобранных участков присвоены порядковые номера. Описание данных участков с указанием порядковых номеров приведено в таблице 5.1.

Таблица 5.1 – Результаты обследования участков дорожной сети города Краснодара

Наименование улицы	Границы участка	Количество полос для движения в прямом / обратном направлении	Маршруты ГПТОП, проходящие через участок	Порядковый номер участка
1	2	3	4	5
ул. Красных Партизан	ул. Круговая-ул. Лукьяненко	3/3	34, 75, (троллейбус 4)	1.1
	ул. Лукьяненко – ул. Трубилина	3/3	20, 34, 75, (троллейбус 4)	1.2
	ул. Трубилина – ул. Каляева	3/3	10, 20, 32, 38, 42, 85, (троллейбус 4)	1.3
	ул. Каляева – ул. Тургенева	3/3	10, 20, 38	1.4
	ул. Тургенева – ул. Аэродромная	3/3	10, 20	1.5

Продолжение таблицы 5.1

1	2	3	4	5
ул. Северная	ул. Тургенева – ул. Аэродромная	3/3	2, 11, 14, 28, 34, 39, 52, 65, 67, 90, 99, (троллейбус 4, 6, 8, 10, 21)	2.1
	ул. Аэродромная – Красная ул.	3/3	2, 11, 14, 28, 29, 34, 36, 39, 46, 52, 65, 67, 90, 96, (троллейбус 4, 6, 10, 21)	2.2
	Красная ул. – Школьная ул.	4/4	10, 26, 31, 34, 36, 40, 44, 45, 46, 77, 90, 93 (троллейбус 7, 12, 13, 14)	2.3
	Школьная ул. – ул. Селезнёва	3/3	10, 25, 26, 31, 34, 40, 44, 51, 58, 77, 78, 90, 93 (троллейбус 7, 13)	2.4
ул. Ставропольская	ул. Набережная – ул. Вишняковой	3/1	30, 39, 44, 65, (троллейбус 7, 12, 20)	3.1
	ул. Вишняковой – ул. 2-я Пятилетка	3/3	30, 39, 44, 65, (троллейбус 7, 12, 20)	3.2
	ул. 2-я Пятилетка – ул. Селезнёва	3/3	28, 30, 39, 44, 48, 65, (троллейбус 7, 12, 20)	3.3
ул. Трамвайная	ул. Селезнёва – ул. Мачуги	4/3	2, 28, 30, 34, 39, 41, 48, 51, 65, 77, 93, (троллейбус 7, 12, 13, 16)	4.1
ул. Мачуги	ул. Трамвайная – ул. Д. Благоева	4/3	2, 28, 30, 34, 39, 41, 48, 51, 65, 77, 93, (троллейбус 7, 12, 13, 16)	5.1
	ул. Д. Благоева – ул. Бородинская	3/3	30, 43, 60, 77, (троллейбус 7)	5.2
ул. Красная	ул. Длинная – ул. Будённого	3/3	2Е	6.1
	ул. Будённого – ул. Северная	4/4	2Е	6.2
	ул. Северная – ул. Хакурате	4/4	2Е, 3, 5, 10, 11, 29, 31, 40, 52, 93, 96, (троллейбус 4,15)	6.3
	ул Хакурате – ул. Гаврилова	3/3	2Е, 3, 5, 10, 11, 29, 31, 40, 52, 93, 96, (троллейбус 4,15)	6.4
	Ул. Гаврилова - Офицерская ул.	3/3	2, 2Е, 3, 4, 5, 9, 11, 29, 31, 40, 42, 52, 85, 93 (троллейбус 15)	6.5
пр. Чекистов	ул. 70-летия Октября – ул. Думенко	3/3	11, 28, 38, 42, 75, 77, 90, 95, (троллейбус 8, 13)	7.1
ул. Восточно-Кругликовская	ул. Школьная – ул. имени Жлобы	3/3	46, 36, 45, 48, 51, 58, 78	8.1
	ул. Черкасская – ул. Домбайская	3/3	51, 56, (троллейбус 15, 21)	8.2
ул. Яспополянская	ул. Домбайская – ул. Лучезарная	3/3	51, 56	9.1

В отношении рассматриваемых участков проведено комплексное обследование, по результатам которого определены численные значения параметров транспортных потоков и светофорного регулирования. Полученные данные приведены в таблице 5.2.

Таблица 5.2 – Параметры транспортных потоков, протяжённости и светофорного регулирования участков дорожной сети города Краснодара

№ участка	Протяжённость участка, км	Интенсивность движения ТС ГПТОП, ед./час	Интенсивность движения ТС, не относящихся к ГПТОП (прямое направление), ед./час	Отношение продолжительности разрешающей фазы светофорного регулирования к продолжительности цикла
1	2	3	4	5
1.1	1,27	18	2092	0,5
1.2	1,42	21	2816	0,5
1.3	0,51	33	2740	0,6
1.4	1,54	10	1874	0,5
1.5	0,83	7	1347	0,5
2.1	0,89	68	1944	0,55
2.2	0,7	65	2208	0,55
2.3	3,32	56	2847	0,42
2.4	1,43	55	2351	0,42
3.1	1,95	30	1846	0,44
3.2	1,92	30	2047	0,4
3.3	2,71	37	1778	0,4
4.1	0,55	56	1940	0,4
5.1	1,59	56	2105	0,5
5.2	1,05	17	1896	0,5
6.1	0,16	9	1655	0,42
6.2	0,5	9	1872	0,42
6.3	0,24	58	2055	0,42
6.4	1,33	58	2055	0,42
6.5	0,6	71	2258	0,42
7.1	1,64	35	1183	0,83
8.1	0,76	23	955	0,45
8.2	0,72	15	1247	0,45
9.1	0,36	7	957	0,45

Исходя из данных, полученных по результатам обследования, в соответствии с методикой, описанной в предыдущих разделах работы, произведён расчёт изменения средней скорости передвижения пассажиров на рассматриваемых участках дорожной сети города Краснодара, обусловленного

организацией выделенной полосы для движения транспортных средств ГПТОП.

Результаты расчётов приведены в таблице 5.3.

Таблица 5.3 – Результаты расчёта изменения средней скорости передвижения пассажиров на рассматриваемых участках дорожной сети города Краснодара, обусловленного организацией выделенной полосы для движения транспортных средств ГПТОП

№ участка	Изменение средней скорости передвижения пассажиров, км/ч	Целесообразность организации выделенной полосы	Направление выделенной полосы	Сокращение времени оборотного рейса, мин
1	2	3	4	5
1.1	0,5	ДА	Прямое/Обратное	0,64
1.2	0	НЕТ	Прямое/Обратное	-
1.3	0,8	ДА	Прямое/Обратное	0,3
1.4	-2,2	НЕТ	Прямое/Обратное	-
1.5	-3,3	НЕТ	Прямое/Обратное	-
2.1	3,6	ДА	Прямое/Обратное	1,56
2.2	2,7	ДА	Прямое/Обратное	0,94
2.3	2,2	ДА	Прямое/Обратное	3,9
2.4	2,6	ДА	Прямое/Обратное	1,9
3.1	1,1	ДА	Прямое	0,61
3.2	1,1	ДА	Прямое/Обратное	1,14
3.3	1,6	ДА	Прямое/Обратное	2,42
4.1	2,9	ДА	Прямое/Обратное	0,9
5.1	3,1	ДА	Прямое/Обратное	2,64
5.2	-0,2	НЕТ	Прямое/Обратное	-
6.1	-2,1	НЕТ	Прямое/Обратное	-
6.2	-2,0	НЕТ	Прямое/Обратное	-
6.3	2,4	ДА	Прямое/Обратное	0,34
6.4	3,1	ДА	Прямое/Обратное	2,24
6.5	2,2	ДА	Прямое/Обратное	0,68
7.1	0,2	ДА	Прямое/Обратное	1,44
8.1	-1,8	НЕТ	Прямое/Обратное	-
8.2	-2,7	НЕТ	Прямое/Обратное	-
9.1	-3,2	НЕТ	Прямое/Обратное	-

30,1

Таким образом, разработанные теоретические положения применены на практике, определены участки дорожной сети, в отношении которых целесообразна организация выделенных полос, определено приращение средней скорости передвижения пассажиров (в среднем по участкам дорожной сети на 2 км/ч.) и пассажирских транспортных средств, обусловленное организацией выделенных полос.

5.2 Расчёт показателей эффективности проектных решений

Для оценки эффективности принятых проектных решений произведена оценка их реализации в отношении городских маршрутов, проходящих по участкам дорожной сети с выделенной полосой. Результаты оценки приведены в таблице 5.4.

Таблица 5.4 – Оценка влияния предложенных мероприятий на технологические показатели эксплуатации транспортных средств на маршрутах ГПТОП г. Краснодара

Номера маршрутов ГПТОП	Номера участков дорожной сети, оснащённых выделенными полосами	Сокращение времени оборотного рейса на участке дорожной сети, мин.	Общее время сокращения оборотного рейса, мин.
1	2	3	4
Троллейбус 4	1.1	0,64	6,02
	1.3	0,3	
	2.1	1,56	
	2.2	0,94	
	6.3	0,34	
	6.4	2,24	
	2.1	1,56	
Троллейбус 6	2.2	3,9	5,46
	2.1	3,9	
Троллейбус 7	2.4	1,9	13,5
	3.1	0,61	
	3.2	1,14	
	3.3	2,42	
	4.1	0,9	
	5.1	2,64	
	2.1	1,56	
Троллейбус 8	7.1	1,44	3
	2.1	1,56	
Троллейбус 10	2.2	0,94	2,5
	2.1	1,56	
Троллейбус 12	3.1	0,61	11,6
	3.2	1,14	
	3.3	2,42	
	4.1	0,9	
	5.1	2,64	
	2.3	3,9	
	3.2	1,14	

Продолжение таблицы 5.4

1	2	3	4
Троллейбус 13	2.3	3,9	10,78
	2.4	1,9	
	4.1	0,9	
	5.1	2,64	
	7.1	1,44	
Троллейбус 14	2.3	3,9	3,9
Троллейбус 15	6.3	0,34	3,26
	6.4	2,24	
	6.5	0,68	
Троллейбус 16	4.1	0,9	3,84
	5.1	2,94	
Троллейбус 20	3.1	0,61	4,17
	3.2	1,14	
	3.3	2,42	
Троллейбус 21	2.1	1,56	2,5
	2.2	0,94	
2	2.1	1,56	6,72
	2.2	0,94	
	4.1	0,9	
	5.1	2,64	
	6.5	0,68	
2E	6.3	0,34	3,26
	6.4	2,24	
	6.5	0,68	
3	6.3	0,34	3,26
	6.4	2,24	
	6.5	0,68	
4	6.5	0,68	0,68
5	6.3	0,34	3,26
	6.4	2,24	
	6.5	0,68	
9	6.5	0,68	0,68
10	1.3	0,3	8,68
	2.3	3,9	
	2.4	1,9	
	6.3	0,34	
	6.4	2,24	
11	2.1	1,56	7,2
	2.2	0,94	
	6.3	0,34	
	6.4	2,24	
	6.5	0,68	
	7.1	1,44	
14	2.1	1,56	2,5
	2.2	0,94	
20	1.3	0,3	0,3
25	2.4	1,9	1,9
26	2.3	3,9	5,8
	2.4	1,9	

Продолжение таблицы 5.4

1	2	3	4
28	2.1	1,56	9,9
	2.2	0,94	
	3.3	2,42	
	4.1	0,9	
	5.1	2,64	
	7.1	1,44	
29	2.2	0,94	4,2
	6.3	0,34	
	6.4	2,24	
	6.5	0,68	
30	3.1	0,61	7,71
	3.2	1,14	
	3.3	2,42	
	4.1	0,9	
	5.1	2,64	
31	2.3	3,9	9,06
	2.4	1,9	
	6.3	0,34	
	6.4	2,24	
	6.5	0,68	
32	1.3	0,3	0,3
34	1.1	0,64	12,5
	2.1	1,56	
	2.2	0,94	
	2.3	3,9	
	2.4	1,9	
	4.1	0,9	
	5.1	2,64	
36	2.2	0,94	4,84
	2.3	3,9	
38	1.3	0,3	1,74
	7.1	1,44	
39	2.1	1,56	10,21
	2.2	0,94	
	3.1	0,61	
	3.2	1,14	
	3.3	2,42	
	4.1	0,9	
	5.1	2,64	
40	2.3	3,9	9,06
	2.4	1,9	
	6.3	0,34	
	6.4	2,24	
	6.5	0,68	
41	4.1	0,9	3,54
	5.1	2,64	
42	1.3	0,3	2,42
	6.5	0,68	
	7.1	1,44	

Продолжение таблицы 5.4

1	2	3	4
44	2.3	3,9	10,7
	2.4	1,9	
	3.1	0,61	
	3.2	1,14	
	3.3	2,42	
45	2.3	3,9	3,9
46	2.2	0,94	4,84
	2.3	3,9	
48	3.3	2,42	5,96
	4.1	0,9	
	5.1	2,64	
51	2.4	1,9	5,44
	4.1	0,9	
	5.1	2,64	
52	2.1	1,56	5,76
	2.2	0,94	
	6.3	0,34	
	6.4	2,24	
	6.5	0,68	
58	2.4	1,9	1,9
65	2.1	1,56	10,21
	2.2	0,94	
	3.1	0,61	
	3.2	1,14	
	3.3	2,42	
	4.1	0,9	
	5.1	2,64	
67	2.1	1,56	2,5
	2.2	0,94	
75	1.1	0,64	2,08
	7.1	1,44	
77	2.3	3,9	10,78
	2.4	1,9	
	4.1	0,9	
	5.1	2,64	
	7.1	1,44	
78	2.4	1,9	1,9
85	1.3	0,3	0,98
	6.5	0,68	
90	2.1	1,56	9,74
	2.2	0,94	
	2.3	3,9	
	2.4	1,9	
	7.1	1,44	

Продолжение таблицы 5.4

1	2	3	4
93	2.3	3,9	12,6
	2.4	1,9	
	4.1	0,9	
	5.1	2,64	
	6.3	0,34	
	6.4	2,24	
	6.5	0,68	
95	7.1	1,44	1,44
96	2.2	0,94	3,52
	6.3	0,34	
	6.4	2,24	
99	2.1	1,56	1,56
СРЕДНЕЕ ЗНАЧЕНИЕ, мин			5,4

По результатам расчёта общего времени сокращения оборотных рейсов маршрутов ГПТОП, представленных в таблице 5.4, при помощи выражения (4.9), определена численность сокращаемых транспортных средств.

В таблице 5.5 представлены результаты расчёта для маршрутов с ненулевыми значениями численности сокращаемых транспортных средств.

Таблица 5.5 – Результаты расчёта численности сокращаемых транспортных средств

Номер маршрута ГПТОП	Интервал движения ТС в часы пик, мин.	Суммарное сокращение времени оборотного рейса, мин	Расчётное значение сокращения численности транспортных средств, ед.	Принятое значение сокращения численности транспортных средств, ед.
Троллейбус 7	10	13,5	1,35	1
Троллейбус 12	8	11,6	1,45	1
Троллейбус 13	10	10,78	1,08	1
34	14	12,5	0,89	1
39	10	10,21	1,02	1
44	8	10,7	1,34	1
65	10	10,21	1,02	1
77	10	10,78	1,08	1
93	10	12,6	1,26	1
ИТОГО				9

Таким образом, обеспечивается сокращение численности парка транспортных средств на девять единиц, из которых три троллейбуса и шесть автобусов большого класса.

В соответствии с типовыми методами расчёта себестоимости транспортной работы [32], сокращение численности парка эксплуатируемых транспортных средств при неизменной величине выполняемой транспортной работы обеспечивает сокращение расходов по затратным статьям:

- амортизационные отчисления на восстановление средств производства (транспортных средств);
- заработка водителей и кондукторов.

На основе анализа информации, предоставленной планово-экономическим отделом муниципального унитарного предприятия «Краснодарское трамвайно-троллейбусное управление», определены данные, необходимые для расчёта указанных затратных статей. Численные значения величин, используемых для расчёта экономического эффекта, обусловленного сокращением парка транспортных средств, а также результаты расчёта представлены в таблице 5.6.

Таким образом, организация выделенных полос, наряду с социальным эффектом, выраженным в сокращении времени передвижения городского населения в рамках городской транспортной системы, обеспечивает формирование экономического эффекта, обусловленного сокращением парка эксплуатируемых транспортных средств.

5.3 Описание перспективных направлений дальнейших исследований

Сформированный парк транспортных средств, закреплённых за каждым из регулярных маршрутов, обладает фиксированной провозной возможностью.

Средняя скорость передвижения пассажиров всех видов транспортных средств в рамках городской дорожной сети, используемая в диссертационной работе в качестве целевой функции, может быть использована в этом качестве не только для оценки целесообразности организации выделенных полос.

Таблица 5.6 – Экономический эффект, обусловленный сокращением численности транспортных средств, обслуживающих маршруты ГПТОП

Показатель	Вид транспортного средства		ИТОГО
	Троллейбус	Автобус большого класса	
Численность сокращаемых ТС	3	6	9
Средняя балансовая стоимость транспортного средства, тыс. руб.	28000/	21000	
Нормативный срок полезного использования транспортного средства, лет	12	10	
Амортизационные отчисления на восстановление единицы подвижного состава, тыс. руб.	2333	2100	
Общая экономия по статье «Амортизационные отчисления на восстановление подвижного состава», руб.	6999	12600	19599
Средняя часовая ставка водителя, руб./час	670	685	
Средняя часовая ставка кондуктора, руб./час	284	284	
Годовой фонд времени работы технологически необходимого водителя, ч.	4380	4380	
Годовой фонд времени работы технологически необходимого кондуктора, ч.	4380	4380	
Коэффициент, учитывающий все виды доплат и начислений	1,54	1,54	
Годовой фонд заработной платы водителя, тыс. руб.	4519,3	4620,5	
Годовой фонд заработной платы кондуктора, тыс. руб.	1915,6	1915,6	
Общая экономия фонда заработной платы, руб.	19304,8	39216,6	58521,4
ИТОГО, общая экономия от сокращения парка транспортных средств ГПТОП, руб.			78120,4

На основе характера изменения данного показателя может быть произведена оценка целесообразности реализации любых мероприятий, связанных с обеспечением приоритетного движения транспортных средств ГПТОП.

К числу таких мероприятий, наряду с организацией выделенных полос, относятся:

- адаптивное управление светофорными объектами;

- разработка планировочных решений при проектировании городских улиц, транспортных развязок и транспортных узлов.

Наряду с формированием параметров организации движения на рассматриваемых участках дорожной сети, предложенная методика может найти применение при определении проектных параметров смежных участков городской дорожной сети, обеспечивающих перераспределение транспортных потоков. Данная модель применима не только для транспортной системы города Краснодара, но и для транспортной системы любого города, где выражена необходимость снижения уровня загрузки дорожной сети и сокращения времени передвижения населения по территории города.

5.4 Выводы по пятому разделу

На основе результатов анализа материалов, представленных в пятом разделе, можно сделать заключение о решении пятой поставленной задачи. В разделе произведена оценка социально-экономического эффекта, получаемого по итогам внедрения результатов исследования в отношении дорожной сети города Краснодара.

По результатам выполненной работы установлено, что обоснованная организация выделенных полос в условиях дорожной сети города Краснодара приводит к повышению эффективности использования имеющейся дорожной сети. Повышение эффективности выражается в увеличении средней скорости передвижения пассажиров всех видов городского транспорта в среднем по

исследованным участкам дорожной сети на 2 мин.

Следствие практической реализации предложенных мероприятий – сокращение времени оборотного рейса на маршрутах ГПТОП в среднем на 5,4 мин при максимальном значении 13,5 мин.

Установлено, что при сохранении заданной регулярности движения, проектное увеличение средней скорости сообщения приведёт к сокращению парка транспортных средств на 9 маршрутах ГПТОП (3 троллейбуса и 6 автобусов большого класса). В изменившихся условиях движения достигается экономический эффект, проявляющийся по результатам хозяйственной деятельности предприятий-перевозчиков, и составляющий 78 млн. 120 тыс. руб. в год.

Материалы, изложенные в разделе, опубликованы в работах автора [58, 74, 87, 88].

ОБЩИЕ ВЫВОДЫ И РЕКОМЕНДАЦИИ

По результатам анализа содержания диссертационной работы сформулированы выводы, отражающие решение поставленных задач.

1. По итогам диссертационного исследования разработана методика, являющаяся инструментом для разработки мероприятий, направленных на повышение эффективности использования городской дорожной сети. Установлены условия организации выделенных полос для движения городского пассажирского транспорта общего пользования, как одного из ключевых мероприятий, способствующих увеличению средней скорости передвижения городского населения.

2. По результатам анализа существующих условий и критериев целесообразности выделения полос для движения ГПТОП выявлено, что в настоящее время малоизучены вопросы эффективного использования выделенных полос как составной части городской дорожной сети, с учётом их фактической пропускной способности, интенсивности движения транспортных средств, пассажиропотоков и наличия инфраструктурных объектов. Не выявлены методы оценки целесообразности организации выделенных полос с учётом перераспределения транспортных потоков на смежные участки дорожной сети.

3. В качестве критерия оценки целесообразности организации выделенной полосы для движения транспортных средств ГПТОП предложена величина изменения средней скорости передвижения пассажиров всех транспортных средств, обусловленного организацией выделенной полосы. Установлены теоретические положения, позволяющие произвести расчёт предложенного критерия в зависимости от условий организации движения и характеристик транспортных потоков с учётом их перераспределения на смежные участки дорожной сети.

4. На основании выдвинутых теоретических положений разработана методика оценки целесообразности организации выделенной полосы для

движения транспортных средств ГПТОП на локальном участке городской дорожной сети, позволяющая учесть перераспределение транспортных потоков на смежные участки;

5. Установлено, что наиболее значимыми факторами, оказывающими влияние на величину предложенного критерия оценки целесообразности организации выделенных полос, являются: интенсивность движения транспортных средств ГПТОП; интенсивность движения транспортных средств, не относящихся к ГПТОП; отношение продолжительности разрешающей фазы светофорного регулирования к длительности полного цикла. На основе результатов модельного эксперимента определена область целесообразной организации выделенных полос в пространстве, сформированном наиболее значимыми факторами;

6. По результатам оценки социально-экономического эффекта от внедрения результатов исследования установлено, что в условиях города Краснодара возможно сокращение времени оборотного рейса на маршруте ГПТОП до 13,5 мин. при среднем значении 5,4 мин. Реализация предложенных мероприятий позволяет сократить парк транспортных средств на девяти маршрутах ГПТОП по одному транспортному средству большого класса на каждом маршруте. При сохранении регулярности движения подвижного состава обеспечивается годовая экономия эксплуатационных затрат в объёме 78 млн. 120 тыс. руб.

Результаты оценки влияния организационно-технологических мероприятий, направленных на обеспечение приоритетных условий движения транспортных средств ГПТОП на эффективность использования городской дорожной сети свидетельствуют о перспективности расширения спектра научных и прикладных исследований данного направления. В частности, целесообразно применение разработанных методов при оценке целесообразности реализации и определении проектных параметров других мероприятий, направленных на обеспечение приоритетных условий движения городского пассажирского транспорта общего пользования, а также при

разработке проектных решений в области организации движения на смежных участках дорожной сети.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Аверьянов, Ю.И. Исследование интенсивности движения городского пассажирского транспорта через остановочные пункты / Ю.И. Аверьянов, Х.М.А. Асфур, Н.С. Голеняев // International Journal of Advanced Studies. – 2021. – Т. 11. – № 3. – С. 45-56.
2. Аземша, С.А. Оптимизация интервалов движения транспортных средств при городских перевозках пассажиров в регулярном направлении / С.А. Аземша, А.Н. Старовойтов, С.В. Скирковский / Вестник Белорусского государственного университета: Наука и транспорт. – 2013. – №1 (27). – С. 1-7.
3. Акопов, Ф.В. Проблемы организации выделенных полос для движения наземного городского пассажирского транспорта / Ф.В. Акопов // Проблемы и основные направления модернизации транспортного комплекса Московского региона: сб. науч. тр. МАДИ. – М.: МАДИ, 2012. – С. 83-89.
4. Алексеева, И.М. Статистика автомобильного транспорта: учебник для вузов / И.М. Алексеева, О.И. Ганченко, Е.В. Петрова. – М.: Экзамен, 2005. – 352 с.
5. Анализ методов и способов популяризации пассажирского транспорта среди населения крупных и крупнейших городов / А.А. Изюмский, И.Н. Котенкова, Т.В. Коновалова, С.Л. Надирян // International Journal of Advanced Studies. – 2025. – Т. 15, № 1. – С. 168-181.
6. Анализ организационно-технологических решений, направленных на повышение эффективности функционирования городских транспортных систем / Д.А. Дрючин, Т.В. Коновалова, Е.А. Лебедев [и др.] // Наука. Техника. Технологии (политехнический вестник). – 2024. – № 2. – С. 37-40.
7. Антошвили, М.Е. Оптимизация городских автобусных перевозок / М.Е. Антошвили, С.Ю. Либерман, И.В. Спирин. – М.: Транспорт, 1985. – 102 с.
8. Ахмадинуров, М.М. Математические модели управления транспортными потоками: монография / М.М. Ахмадинуров, Д.С. Завалишин, Г.А. Тимофеева. – Екатеринбург: Изд-во УрГУПС, 2011. – 120 с.

9. Баннов, А.С. Прогнозирование пассажиропотоков в городской транспортной системе / А.С. Баннов, А.В. Литвинов, А.В. Вельможин, В.А. Гудков // Известия Волгоградского государственного технического университета. Серия: Наземные транспортные системы. – 2007. – Т. 2. – № 8(34). – С. 95-98.
10. Белова, А.М. Методика обоснования целесообразности выделения полос для движения маршрутного транспорта общего пользования: дисс. ... канд. техн. наук, спец. 05.22.01 / А.М. Белова. – СПб, 2014. – 159 с.
11. Богомолов, А.А. Оптимизация маршрутов городского пассажирского транспорта в средних городах: автореф. дисс. ... канд. техн. наук, спец. 05.22.10 / А.А. Богомолов. – СПб: СПГАСУ, 2002. – 17 с.
12. Богумил, В.Н. Использование моделей цифровой инфраструктуры в системе управления городским пассажирским транспортом / В.Н. Богумил, Д.Б. Ефименко // XIV Всероссийская мультиконференция по проблемам управления МКПУ – 2021: материалы конференции в 4 томах. – Ростов-на-Дону – Таганрог, 2021. – С. 23-26.
13. Бонсалл, П.У. Моделирование пассажиропотоков в транспортной системе / П.У. Бонсалл, А.Ф. Чемперноун, А.К. Мейсон, А.Г. Уильсон. – М.: Транспорт, 1982. – 205 с.
14. Бурлуцкий, А.А. Обеспечение эффективности функционирования дорожной сети крупного города на основе учёта её взаимодействия с потоками пассажирского транспорта: на примере г. Томска : дисс. ... канд. техн. наук, спец. 05.23.11 / А.А. Бурлуцкий. – Томск, 2015. . – 196 с.
15. Ваксман, С.А. Проблемы развития и организации функционирования транспортных систем городов // Социально-экономические проблемы развития транспортных систем городов и зон их влияния: материалы VIII международной науч.-практ. конф. – Екатеринбург: Изд-во АМБ, 2002. – С. 10-15.
16. Варелопуло, Г.А. Организация движения и перевозок на городском пассажирском транспорте / Г.А. Варелопуло. – М.: Транспорт, 1990. – 208 с.
17. Вельможин, А.В. Теория транспортных процессов и систем: учебник

для вузов / А.В. Вельможин, В.А. Гудков, Л.Б. Миротин. – М.: Транспорт, 1998. – 167 с.

18. Вентцель, Е.С. Теория вероятностей и её инженерные приложения / Е.С. Вентцель, Л.А. Овчаров. – 2-е изд. – М.: Высшая школа, 2000. – 480 с.

19. Власов, В.М. Технологические основы реализации стратегии управления общественным пассажирским транспортом в агломерации / В.М. Власов // XIV Всероссийская мультиконференция по проблемам управления МКПУ – 2021: материалы конференции в 4 томах. – Ростов-на-Дону – Таганрог, 2021. – С. 26-29.

20. Власов, В.М. Централизованная система управления движением наземного городского пассажирского транспорта по выделенным полосам / В.М. Власов, Л.А. Баранов, С.А. Ульянов // Автотранспортное предприятие. – 2012. – № 4. – С. 48-52.

21. Власов, Ю.Л. Моделирование спроса на различные типы пассажирских транспортных средств / Ю.Л. Власов, В.И. Рассоха // Вестник Оренбургского государственного университета. – 2006. – № 6. – С. 205-211.

22. Власов, Ю.Л. Модель определения оптимального количества маршрутных транспортных средств / Ю.Л. Власов, И.А. Бочаров, В.И. Рассоха // Вестник Оренбургского государственного университета. – 2011. – №10 (129). – С. 49-53.

23. Власова, М.В. К вопросу организации безопасной работы автобусов на остановочных пунктах / М.В. Власова, В.А. Гудков, Г.А. Чернова // Грузовое и пассажирское автохозяйство. – 2011. – № 8. – С. 58-63.

24. Володькин, П.П. Оптимизация транспортного обслуживания населения муниципальных образований с учётом социальных факторов: автореф. дисс. ... д-ра техн. наук, спец. 05.22.10 / П.П. Володькин. – Волгоград: 2011. – 42 с.

25. Вучик, В.Р. Транспорт в городах, удобных для жизни / Пер. с англ., под ред. М.Я. Блинкина. – М.: Территория будущего. – 2011. – 576 с.

26. Гаврилов, А.А. Моделирование дорожного движения / А.А. Гаврилов. – М.: Транспорт, 1980. – 189 с.

27. Гварамия, И.Т. Разработка метода приоритетного пропуска городского пассажирского транспорта через регулируемые перекрестки: дисс. ... канд. техн. наук, спец. 05.22.02 / И.Т. Гварамия. – Москва, 1983. – 163 с.
28. Геронимус, Б.Л. Математико-статистический метод выборочного обследования пассажиропотоков / Б.Л. Геронимус, Д.Д. Джумаев // Автомобильный транспорт. – 1966. – № 4. – С. 43-44.
29. Голеницкий, Ю.В. Моделирование приоритетного движения автобусов: дисс. ... канд. техн. наук, спец. 05.22.10. – Ростов-на-Дону, 1999. – 145 с.: ил..
30. Горев, А.В. Эффективная работа с СУБД : практическое руководство по разработке баз данных / А.В. Горев, Р.М. Ахоян, С. Макашарипов. – СПб.: Питер-пресс, 1997. – 700 с.: ил.
31. Горев, А.Э. Повышение эффективности использования общественного транспорта за счет выделенных полос / А.Э. Горев, О.В. Попова, А.М. Филимонова // Автотранспортное предприятие. – 2010. – № 8. – С. 10-12.
32. Горяев, Н.К. Сравнительный анализ стоимости транспортной работы в системе общественного транспорта Челябинской агломерации / Н.К. Горяев, Н.С. Абрамов, С.О. Бандурко // Вестник Южно-Уральского государственного университета. Серия: Экономика и менеджмент. – 2023. – Т. 17. – № 2. – С. 188-193.
33. Гудков, В.А. Пассажирские автомобильные перевозки: учебник для вузов / В.А. Гудков, Л.Б. Миротин, А.В. Вельможин, С.А. Ширяев. – М.: Горячая линия Телеком, 2004. – 448 с.
34. Гудков, В.А. Технология, организация и управление пассажирскими автомобильными перевозками: учебник / В.А. Гудков, Л.Б. Миротин. – М.: Транспорт, 1997. – 254 с.
35. Гузенко, А.В. Альтернативные виды транспорта как основа развития логистики городской пассажирской системы / А.В. Гузенко // Вестник РГЭУ РИНХ. – 2016. – №3 (55).
36. Дацюк, А.М. Организация скоростного автобусного сообщения и

области его применения / А.М. Дацюк, А.Э. Горев, О.В. Попова // Сборник докладов 67-й научной конф. профессоров, преподавателей, научных работников, инженеров и аспирантов СПбГАСУ. – В 5 ч. – Ч. III. – СПб., 2010. – С. 89-94.

37. Дедюкин, В.В. Городской пассажирский транспорт: учебное пособие для вузов / В.В. Дедюкин, А.И. Петров, В.Н. Карнаухов. – Тюмень: ТюмГНГУ, 2008. – 272 с.

38. Димова И.П. Адаптивное управление светофорными объектами с предоставлением приоритета городскому маршрутному транспорту / И.П. Димова // Актуальные направления научных исследований XXI века: теория и практика. – 2016. – Т. 4. – № 5-3 (25-3). – С. 59-62.

39. Димова, И.П. Определение пропускной способности остановочных пунктов на современном этапе развития пассажирских перевозок / И.П. Димова, В.В. Грачев // Вестник Иркутского государственного технического университета. – 2008. – № 4 (36). – С. 66-70.

40. Донченко, В.В. Проблемы обеспечения устойчивости функционирования городских транспортных систем: монография / В.В. Донченко. – М.: ИКФ «Каталог», 2005. – 184 с.

41. Дрючин, Д.А. Результаты оценки целесообразности организации выделенных полос для транспортных средств городского пассажирского транспорта общего пользования / Д.А. Дрючин, И.Н. Котенкова, В.И. Рассоха // Прогрессивные технологии в транспортных системах : материалы XX международной научно-практической конференции [электрон. дан.], Оренбург, 19-21 ноября 2025 г. – Оренбург: Оренбургский гос. ун-т, 2025. – С. 131-141.

42. Дрючин, Д.А. Совершенствование структуры городского пассажирского наземного транспортного комплекса на основе согласованного развития подсистем / Д.А. Дрючин // Вестник Сибирского государственного автомобильно-дорожного университета. – 2024. – Т. 21. – № 1(95). – С. 74-87.

43. Дудникова, Н.Н. Формулирование подходов для раскрытия влияния состава транспортного потока на значение потоков насыщения для пересечений в одном уровне со светофорным регулированием / Н.Н. Дудникова, К.А. Синько // Техника и технология транспорта. – 2023. – № 1(28). – С. 10. URL: <http://transportkgasu.ru/files/N28-10MTP123.pdf>.
44. Ерихов, М.М. Оптимизация маршрутных расписаний городского пассажирского транспорта / М.М. Ерихов, Е.В. Каравасева, М.А. Татаринов // Научно-технические ведомости СПБГПУ. – 2008. – № 56. – С. 121-124.
45. Ефремов, И.С. Теория городских пассажирских перевозок: учеб. пособие для вузов / И.С. Ефремов, В.М. Кобозев, В.А. Юдин. – М.: Высш. школа. – 1980. – 535 с.
46. Жанказиев, С.В. Интеллектуальные транспортные системы. Пути развития / С.В. Жанказиев // Информационные технологии и инновации на транспорте: материалы 2-ой Международной научно-практической конференции. Под общей редакцией А.Н. Новикова. – 2016. – С. 3-9.
47. Жанказиев, С.В. Технология «Carpooling» как сервис интеллектуальных транспортных систем / С.В. Жанказиев, Ю.А. Короткова // Вестник Московского автомобильно-дорожного государственного технического университета (МАДИ). – 2023. – № 2 (73). – С. 60-67.
48. Зедгенизов, А.В. Оценка времени освобождения остановочного пункта городского пассажирского транспорта / А.В. Зедгенизов // Вестник Иркутского государственного технического университета. – 2007. – № 4 (32). – С. 145-151.
49. Златин, П.А. Проблемы транспорта в крупных городах в современном мире / П.А. Златин // Научные труды Вольного экономического общества России. – 2007. – Т. 82. – С. 229-244.
50. Зырянов, В.В. Приоритетное движение общественного транспорта: развитие методов организации / В.В. Зырянов, А. А. Мирончук // Транспорт Российской Федерации. Журнал о науке, практике, экономике. – 2012. – № 3-4(40-41).

51. Исаева, Е.И. Повышение эффективности использования автомобилей с учётом вероятности возникновения транспортных заторов: дисс. ... канд. техн. наук, спец. 05.22.10 / Е.И. Исаева. – Орёл, 2017. – 174 с.

52. Исхаков, М.М., Комплексное исследование остановочных пунктов городского пассажирского транспорта г. Оренбурга / М.М. Исхаков, В.И. Рассоха // Вестник Оренбургского государственного университета. – 2007. – № 9. – С. 207-214.

53. Клинковштейн, Г.И. Организация дорожного движения: учеб. для вузов. 5-е изд., перераб. и доп. / Г.И. Клинковштейн, М.Б. Афанасьев. – М: Транспорт, 2001. – 247 с.

54. Ковалёва, Н.А. Пространственно-технологическое развитие городских пассажирских транспортных систем: дисс. ... канд. техн. наук, спец. 05.22.01 / Н.А. Ковалёва. – Ростов-на-Дону, 2015. – 150 с.

55. Коновалова, Т.В. Организация движения: учебное пособие / Т.В. Коновалова, С.Л. Надирян, И.Н. Котенкова. – Краснодар: Изд. ФГБОУ ВО «КубГТУ», 2023. – 283 с.

56. Коновалова, Т.В. Совершенствование организации движения городского пассажирского транспорта общего пользования на примере г. Краснодара / Т.В. Коновалова, И.Н. Котенкова, А.Д. Козадерова // Актуальные вопросы организации автомобильных перевозок, безопасности движения и эксплуатации транспортных средств : сборник научных трудов по материалам XX международной научно-технической конференции, Саратов, 24 июня 2025 г. – Саратов: Саратовский гос. технический ун-т им. Гагарина Ю.А., 2025. – С. 21-26.

57. Коновалова, Т.В. Способы оценки пропускной способности участка городской улично-дорожной сети/ Т.В. Коновалова, И.Н. Котенкова, А.Д. Козадерова // Интегрированные транспортные решения: вызовы современности и перспективы будущего : материалы Международной научно-практической конференции, Краснодар, 07–09 октября 2025 года. – Краснодар:

Кубанский государственный технологический университет, Новация, 2025. – С. 187-193.

58. Коновалова, Т.В. Устойчивое развитие городской транспортной системы / Т.В. Коновалова, И.С. Сенин, И.Н. Котенкова // ФГБОУ ВО «КубГТУ». – Краснодар: Издательский Дом Юг, 2023. – 232 с.

59. Косцов, А.В. Проектирование городских магистральных улиц с учётом приоритетного движения наземного общественного транспорта по обособленным полосам: дисс. ... канд. техн. наук, спец. 05.23.11 / А.В. Косцов. – Москва, 2012. – 190 с.

60. Котенкова, И.Н. К вопросу о приоритетном праве проезда пассажирского транспорта в городах / И.Н. Котенкова, Е.А. Лебедев, В.И. Рассоха // Прогрессивные технологии в транспортных системах : Материалы XIX Всероссийской научно-практической конференции с международным участием, Оренбург, 20–22 ноября 2024 года. – Оренбург: Оренбургский государственный университет, 2025. – С. 239-248. – EDN XLVPEO.

61. Котенкова, И.Н. Оценка целесообразности организации выделенных полос для городского пассажирского транспорта общего пользования на участке улично-дорожной сети / И.Н. Котенкова, В.И. Рассоха, Д.А. Дрючин // Transportation and Information Technologies in Russia / Транспорт и информационные технологии. – 2025. – Т. 15, № 3. – С. 182-202.

62. Котенкова, И.Н. Целесообразность выделения полос для городского пассажирского транспорта общего пользования на участке улично-дорожной сети / И.Н. Котенкова, В.И. Рассоха // Интегрированные транспортные решения: вызовы современности и перспективы будущего : материалы Международной научно-практической конференции, Краснодар, 07–09 октября 2025 года. – Краснодар: Кубанский государственный технологический университет, Новация, 2025. – С. 214-221.

63. Кравченко, А.Е. Стратегические мероприятия по оптимизации перевозок и дорожного движения в муниципальных образованиях

Краснодарского края / А.Е. Кравченко, Е.А. Кравченко // Автотранспортное предприятие. – 2010. – № 5. – С. 10.

64. Кравченко, А.Е. Формирование интегративной системы организации и управления пассажирским автотранспортным обслуживанием в региональной курортно-туристской сфере / А.Е. Кравченко // Менеджмент в России и за рубежом. – 2024. – № 1. – С. 35-42.

65. Крестмейн М.Г. Исследование систем магистральных улиц центров крупных городов : дисс. ... канд. техн. наук, спец. 18.00.04 / М.Г. Крестмейн. – Москва, 1979. – 176 с.: ил.

66. Кременец, Ю.А. Технические средства организации дорожного движения / Ю.А. Кременец, М.П. Печерский, М.Б. Афанасьев. – М.: ИКЦ «Академкнига», 2005. – 250 с.

67. Курганский, С.Г. Организация и внедрение приоритетного проезда наземного городского пассажирского транспорта на регулируемых перекрестках / С.Г. Курганский, П.С. Рожин // Транспорт Российской Федерации. Журнал о науке, практике, экономике. – 2014. – № 4(53).

68. Ларин, О.Н. Вопросы образования конфликтных ситуаций на маршрутных сетях муниципальных образований / О.Н. Ларин, А.А. Кажаев // Вестник Брянского государственного технического университета. – 2010. – № 5(65). – С. 60.

69. Ларин, О.Н. Методологические основы организации и функционирования транспортной системы региона: монография / О. Н. Ларин. – Челябинск: Изд-во ЮУрГУ, 2007. – 207 с.

70. Ле Дык Лонг. Исследование закономерностей движения транспортных потоков для проектирования выделенных полос наземного общественного транспорта: дисс. ... канд. техн. наук, спец. 05.23.11 / Ле Дык Лонг. – Москва, 2021. – 170 с.: ил.

71. Липенков, А.В. Повышение эффективности функционирования городского пассажирского транспорта на основе управления пропускной

способностью остановочных пунктов: дисс. ... канд. техн. наук, спец. 05.22.10 / А.В. Липенков. – Орёл: ОГУ, 2015. – 154 С.

72. Литвинов, А.В. Оценка стоимости времени передвижения на основе моделей выбора способа передвижения / А.В. Литвинов // Транспорт: наука, техника, управление. Научный информационный сборник. – 2020. – № 11. – С. 45-48.

73. Логистика: общественный пассажирский транспорт / под ред. Л.Б. Миротина. – М.: Экзамен, 2003. – 224 с.

74. Методика обеспечения приоритетных условий движения городского пассажирского транспорта / Т.В. Коновалова, С.Л. Надирян, И.Н. Котенкова, И.С. Сенин // Мир транспорта. – 2024. – Т. 22, № 2(111). – С. 70-80.

75. Методические рекомендации по разработке Документа планирования регулярных перевозок пассажиров и багажа по муниципальным и межмуниципальным маршрутам автомобильным транспортом и городским наземным электрическим транспортом (утв. Минтрансом России 30.06.2020). Режим доступа: <https://sudact.ru/law/metodicheskie-rekomendatsii-po-razrabortke-dokumenta-planirovaniia-reguliarnykh/>.

76. Мирончук, А.А. Исследование эффективных условий применения приоритетных полос прерывного действия / А.А. Мирончук // Информационные технологии и инновации на транспорте: материалы 5-ой Международной научно-практической конференции, Орёл, 22–23 мая 2019 года / Под общей редакцией А.Н. Новикова. – Орёл: Орловский государственный университет им. И.С. Тургенева, 2020. – С. 179-187. – EDN KXEXUM.

77. Мирончук, А.А. Особенности интеграции приоритетных полос прерывного действия с городской интеллектуальной транспортной системой / А.А. Мирончук // Инженерный вестник Дона. – 2013. – № 3(26). – С. 147. – EDN RZEHUL.

78. Миротин, Л.Б. Эффективная логистика / Л.Б. Миротин, Ы.Э. Ташбаев. – М.: Экзамен, 2003. – 160 с.

79. Нестеренко, Д.Х. Методика повышения привлекательности городских пассажирских автомобильных перевозок на основе управления структурой транспортных потоков : дисс. ... канд. техн. наук, спец. 2.9.5. / Д.Х. Нестеренко. – Оренбург, 2021. – 118 с.: ил.

80. ОДМ 218.2.020-2012. Методические рекомендации по оценке пропускной способности автомобильных дорог / Федеральное дорожное агентство (Росавтодор). – Москва, 2012. – 148 с. Режим доступа: <https://rosavtodor.gov.ru/storage/app/media/uploaded-files/22-odm-2182020-2012.pdf>.

81. Оптимизация численности автотранспортных средств, обслуживающих регулярные маршруты городских агломераций / Д.А. Дрючин, Т.В. Коновалова, Е.А. Лебедев [и др.]. – Краснодар: Кубанский государственный технологический университет, 2024. – 178 с.

82. Папаскуа, А.А. Совершенствование организации пассажирского автомобильного транспорта в загруженных районах городов : автореф. дис. ... канд. техн. наук, спец. 05.22.10 / А.А. Папаскуа. – Ростов-на-Дону, 2004. – 218 с.

83. Петров, А.И. Особенности энтропийной организованности перевозочного процесса на типичных маршрутах городского общественного транспорта // Транспорт Урала. – 2020. – № 2 (65). – С. 3-9.

84. Петров, А.И. Социологические аспекты среднесрочной динамики организованности перевозочного процесса на городских автобусных маршрутах Тюмени // А. И. Петров / Транспорт Урала. – 2022. – № 2 (73). – С. 9-16.

85. Попова, О.В. Разработка методики планирования приоритетного движения наземного общественного транспорта : дисс. ... канд. техн. наук, спец. 05.22.10 / О. В. Попова. – Санкт-Петербург, 2003. – 154 с.

86. Рассоха, В.И. Моделирование показателей эффективности городского пассажирского транспорта при обслуживании нестационарных пассажиропотоков / В.И. Рассоха, С.Л. Надирян // Мир транспорта и технологических машин. – 2023. – № 4-1 (83). – С. 81-90.

87. Роль транспорта общего пользования в формировании социальной сферы городских территорий / Д.А. Дрючин, Т.В. Коновалова, И.Н. Котенкова [и

др.] // Наука. Техника. Технологии (политехнический вестник). – 2024. – № 2. – С. 29-32.

88. Свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ № 2025614011 Российская Федерация. Программа для анализа интенсивности транспортных потоков и уровня загрузки городской улично-дорожной сети / И.Н. Котенкова, П.А. Косолапов, К.В. Тыргалов [и др.]; заявитель и правообладатель ФГБОУ ВО «Кубанский гос. технологический ун-т». – Заявка № 2025611477; зарег. 31.01.2025.

89. Свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ № 2025689094 Российская Федерация. Программа обоснования целесообразности введения выделенной полосы для маршрутного пассажирского транспорта / И.Н. Котенкова, В.И. Рассоха; заявитель и правообладатель ФГБОУ ВО «Кубанский гос. технологический ун-т». – Заявка № 2025688235; зарег. 24.10.2025.

90. Свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ № 2025694448. Программа расчёта изменения средней скорости перемещения пассажиров в результате введения выделенной полосы для маршрутного пассажирского транспорта / И. Н. Котенкова, В. И. Рассоха; заявитель и правообладатель Гос. образоват. учреждение Кубанский гос. технолог. ун-т. – Заявка № 2025693562; зарег. 05.12.2025..

91. Свод правил СП 42.13330.2016. Градостроительство. Планировка и застройка городских и сельских поселений. Режим доступа: <https://docs.cntd.ru/document/456054209>.

92. Сенин, И.С. Анализ работы маршрутного пассажирского транспорта на примере различных городов / И.С. Сенин, И.Н. Котенкова, А.А. Маслов // Наука. Техника. Технологии (политехнический вестник). – 2023. – № 2. – С. 149-156.

93. Славина, Ю.А. Научно-практические методы оценки качества обслуживания населения городским наземным пассажирским транспортом: автореф. дисс. ... канд. техн. наук, спец. 05.22.10 / Ю.А. Славина. – Саратов: СГТУ имени Гагарина, 2015. – 18 с.

94. Смирнов, С.И. Совершенствование организации приоритетного движения средств маршрутного пассажирского транспорта в городах : дисс. ... канд. техн. наук, спец. 05.22.10 / С. И. Смирнов. – Москва, 1984. – 195 с.: ил.
95. Спирин, А.В. Повышение качества перевозки пассажиров автомобильным транспортом по регулярным маршрутам совершенствованием организационно-функциональной структуры перевозчика: дисс. ... канд. техн. наук, спец. 05.22.10/ А.В. Спирин. – Оренбург: ОГУ, 2013.
96. Спирин, И.В. Научные основы комплексной реструктуризации городского автобусного транспорта: дисс. ... д-ра техн. наук, спец. 05.22.10 / И.В. Спирин. – М., 2007. – 421 с.
97. Таубкин, Г.В. Изменение времени маршрутного движения при создании заездных карманов / Г.В. Таубкин, О.Г. Коптелов // Транспорт Урала. – 2015. – № 1(44). – С. 102-105.
98. Указания по организации приоритетного движения транспортных средств общего пользования / Сост. Ю.Д. Шелков, Ю.А. Кременец, А.Н. Красников и др.]. – М.: Транспорт, 1984. – 32 с.
99. Фадеев, А.И. Методология проектирования перевозок и управления наземным пассажирским транспортом общего пользования: дисс. ... д-ра техн. наук, спец. 05.22.10 / А.И. Фадеев, 2021. – 434 с.
100. Фадюшин, А.А. Оценка эффективности создания выделенных полос для общественного транспорта / А.А. Фадюшин, Д.С. Карманов // Проблемы функционирования систем транспорта : материалы международной научно-практической конференции студентов, аспирантов и молодых учёных (с международным участием): в 2-х томах, Тюмень, 20–22 декабря 2016 года / Отв. ред. А.В. Медведев. Том 2. – Тюмень: Тюменский индустриальный университет, 2016. – С. 365-367. – EDN XRANKB.
101. Фомин, Е. В. Обеспечение приоритета городского пассажирского транспорта общего пользования на улично-дорожной сети города / Е.В. Фомин, В.А. Зеер, Е.С. Арефьева, Н.В. Голуб // Вестник СибАДИ. – 2020. – № 3(73).

102. Фомин, Е.В. Повышение качества обслуживания пассажиров городского транспорта путём оптимизации структуры парка подвижного состава: автореф. дис. ...канд. техн. наук, спец. 05.22.10 / Е.В. Фомин. – Красноярск, 2018. – 20 с.
103. Чернова, Г.А. Оптимизация маршрутной сети пассажирского общественного транспорта с учётом безопасной перевозки пассажиров на примере города Волжского : монография / Г.А. Чернова, М.В. Власова. – Волгоград. – 2015. – 199 с.
104. Шлиппе, И.И. Анализ эффективности создания выделенных полос для городских автобусных маршрутов / И.И. Шлиппе, Л.Е. Чернобаева, А.В. Ахтеров // Автоматизация и управление в технических системах. – 2015. – № 3(15). – С. 181-189. – DOI 10.12731/2306-1561-2015-3-19. – EDN VEHQBZ.
105. Якимов, М.Р. Исследование параметров транспортной подвижности населения городов Германии, Италии и России / М.Р. Якимов // Вестник транспорта Поволжья. – 2011. – № 4(28). – С. 21-27.
106. Якимов, М.Р. Методология обоснования целесообразности выделения обособленных полос для движения общественного транспорта на улично-дорожной сети крупного города / М.Р. Якимов // Вестник МАДИ. – 2011. – № 2(25). – С. 90-95.
107. Якимов, М. Р. Методы формализации пространственного распределения структурных элементов городской среды при моделировании транспортного спроса / М. Р. Якимов // Транспорт Урала. – 2011. – № 2(29). – С. 20-24.
108. Якимов, М.Р. Подходы к формированию эффективной маршрутной сети крупных городов / М.Р. Якимов // Вестник Уральского государственного университета путей сообщения. – 2022. – № 3(55). – С. 107-113.
109. Якунин, Н.Н. Концептуальные положения организации транспортного обслуживания населения автомобильным транспортом по маршрутам регулярных перевозок / Н.Н. Якунин, Н.В. Якунина // Materialy

mezinárodní vedecko-praktika conference «Dny vedy – 2012» – Díl 90. Technické vedy: Praha. – C. 17-21.

110. Якунин, Н.Н. Критерии оценки доступности перевозок пассажиров по регулярным маршрутам / Н.Н. Якунин, Д.Х. Нестеренко // Вестник Оренбургского государственного университета. – 2015. – №4. – С. 154-158.

111. Якунин, Н.Н. Модель организации транспортного обслуживания населения автомобильным транспортом по маршрутам регулярных перевозок / Н.Н. Якунин, Н.В. Якунина, А.В. Спирина // Грузовое и пассажирское хозяйство. – 2013. – № 3. – С.78-83.

112. Якунина, Н.В. Моделирование структуры пассажирских автотранспортных потоков с использованием показателя динамического габарита пассажира / Н.В. Якунина, Д.Х. Нургалиева, С.В. Легашёв, Д.С. Мухамедов // Интеллект. Инновации. Инвестиции. – Оренбург, 2015. – № 4 – С. 140-144.

113. Якунина, Н.В. Методология повышения качества перевозок пассажиров автомобильным транспортом по регулярным маршрутам: дис. ... д-ра тех. наук, спец. 05.22.10 / Н.В. Якунина. – Оренбург, 2015. – 458 с.

114. Якунина, Н.В. Расчёт структуры подвижного состава пассажирского автомобильного транспорта на регулярных городских маршрутах с ограничениями, накладываемыми улично-дорожной сетью / Н.В. Якунина, Н.Н. Якунин, Р.Ф. Аминев // Грузовое и пассажирское автохозяйство. – 2012. – № 3. – С. 65-70.

115. Cherrett, T., Mcleod, Fr.N., Modelling the impacts of shared freight-public transport lanes in urban centres. Режим доступа: https://www.researchgate.net/publication/265991892_Modelling_the_impacts_of_shared_freight-public_transport_lanes_in_urban_centres.

116. Dimitrios Tsitsokas, Anastasios Kouvelas, Nikolas Geroliminis Modeling and Optimization of Dedicated Bus Lane network design under dynamic traffic

congestion. hEART 2019 - 8th Symposium of the European Association for Research in Transportation September 4-6, 2019, Budapest.

117. Dubey, Rohit K. and Dailisan, Damian and Argota Sanchez-Vaquerizo, Javier and Helbing, Dirk, Fairlane: A Multi-Agent Approach to Priority Lane Management in Diverse Traffic Composition. Available at SSRN: <https://ssrn.com/abstract=4878000> or <http://dx.doi.org/10.2139/ssrn.4878000>

118. Dynamic Right-of-Way Allocation on Bus Priority Lanes Considering Traffic System Resilience / J. Hu, Zh. Lian, X. Sun [et al.] // Sustainability. – 2024. – Vol. 16, No. 5. – P. 1801. – DOI 10.3390/su16051801. – EDN KBQSGV.

119. E. Elokda, C. Cendese, K. Zhang, A. Censi, J. Lygeros and E. Frazzoli, "Karma Priority lanes for fair and efficient bottleneck congestion management," 2023 *31st Mediterranean Conference on Control and Automation (MED)*, Limassol, Cyprus, 2023, pp. 458-463, doi: 10.1109/MED59994.2023.10185731.

120. Hadas, Y. and Nahum, O.E. (2016) Urban Bus Network of Priority Lanes: A Combined Multi-Objective, Multi-Criteria and Group Decision-Making Approach. *Transport Policy*, 52, 186-196. <https://doi.org/10.1016/j.tranpol.2016.08.006> .

121. Highway Capacity Manual 2000. - Transportation Research Board, National Research Council. - Washington, D.C., USA, 2000, – 1134 p.

122. Luo, Q.; Du, R.; Jia, H.; Yang, L. Research on the Deployment of Joint Dedicated Lanes for CAVs and Buses. *Sustainability* 2022, 14, 8686

123. Murat Bayrak, S. Ilgin Guler Linkage Problem in Location Optimization of Dedicated Bus Lanes on a Network. *Transportation Research Record* 2023, Vol. 2677(6) 433–447 National Academy of Sciences: Transportation Research Board 2023

124. N R F Ekaningtiyas, S Nurlaela Identification scenario of dedicated lane for Suroboyo Bus Purabaya - Rajawali route by Rapid Demand Assessment Method. Spatial Planning in The Digital Age To Achieve Sustainable Development IOP Conf. Series: Earth and Environmental Science 562 (2020) 012021

125. R. Desta, J. Tóth: Urban Mobility Dynamics in the Realm of ASs on Dedicated Lanes: A Microscopic Synthesis. VOLUME 11, 2023, 137376.

126. Robbins G. Increasing Bus Speed through Improved Stop Spacing / G. Robbins. - San Francisco Municipal Railway - San Francisco, CA., 1988.
127. Saeed Asadi Bagloee, Majid Sarvi, Avishai Ceder. Transit priority lanes in the congested road networks / Public Transport: № 9(3), 2017
128. Schoenmakers, M. J., Yang, D., & Farah, H. (2021). Car-following behavioural adaptation when driving next to automated vehicles on a dedicated lane on motorways: A driving simulator study in the Netherlands. *Transportation Research. Part F: Traffic Psychology and Behaviour*, 78, 119-129.
129. Schrotten, A., Van Grinsven, A., Tol, E., Leestemaker, L., Schackmann, P.P., Vonk-Noordegraaf, D., Van Meijeren, J., Kalisvaart, S., 2020, Research for TRAN Committee – The impact of emerging technologies on the transport system, European Parliament, Policy Department for Structural and Cohesion Policies, Brussels.
130. Solmaz Razmi Rad, Haneen Farah, Henk Taale, Bart van Arem, Serge P. Hoogendoorn Design and operation of dedicated lanes for connected and automated vehicles on motorways: A conceptual framework and research agenda. *Transportation Research Part C: Emerging Technologies*. Volume 117, August 2020, 102664.
131. Sturges H. The choice of a class-interval. *J. Amer. Statist. Assoc.*, 21, 1926, p. 65-66.
132. Street side factors [Электронный ресурс] Режим доступа: <http://Avww.ci.grandjct.co.us/CityDept/WebPages/PublicWorksAndUtilities/TransportationEngineering/TEFilesTliatLINKmtDWStoreHere/TEDS/TRANSITREGS.pdf>.
133. Viegas, J., Lu, B. Widening the Scope for Bus Priority with Intermittent Bus Lanes. *Transport Planning and Technology*, 2001, Vol. 24, p. 87-110.
134. Правило Стёрджеса. Википедия. Режим доступа: https://ru.wikipedia.org/wiki/Правило_Стёрджеса.

ПРИЛОЖЕНИЕ А

Код для определения аппроксимирующего выражения массива данных (язык программирования Python)

```
import numpy as np
from scipy.optimize import curve_fit

# Табличные данные
X = np.array([1400, 2100, 2450, 2800, 3150, 3500])
Y = np.array([0.35, 0.45, 0.55, 0.65])

Z = np.array([
    [22, 28, 36, 78],
    [13, 14, 16, 74],
    [11, 13, 15, 70],
    [16, 18, 20, 70],
    [24, 28, 36, 72],
    [36, 41, 52, 73]
])

# Создаем сетки для curve_fit
X_mesh, Y_mesh = np.meshgrid(X, Y, indexing='ij')

xdata = np.vstack((X_mesh.ravel(), Y_mesh.ravel())).T
zdata = Z.ravel()

# Пример модели (линейная + взаимодействие)
def func(XY, a, b, c, d):
    x, y = XY[:,0], XY[:,1]
    return a*x + b*y + c*x*y + d

params, _ = curve_fit(func, xdata, zdata)

params.round(4), func
# Формула:  $Z = a*X + b*Y + c*X*Y + d$  (значения коэффициентов ниже)
```

ПРИЛОЖЕНИЕ Б

Акты использования результатов диссертационной работы

А к т внедрения

методики оценки целесообразности организации выделенных полос для движения городского пассажирского транспорта общего пользования

Я, нижеподписавшийся, заместитель генерального директора по научной работе и проектному управлению ООО «Центр дорожных инноваций» Ушков Сергей Владимирович составил настоящий акт о внедрении методики оценки целесообразности организации выделенных полос для движения городского пассажирского транспорта общего пользования, созданной старшим преподавателем кафедры транспортных процессов и технологических комплексов ФГБОУ ВО «Кубанский государственный технологический университет» И.Н Котенковой и доктором технических наук, деканом Транспортного факультета ФГБОУ ВО «Оренбургский государственный университет» В.И. Рассохой.

Методика используется при определении целесообразности организации выделенных полос для движения городского пассажирского транспорта общего пользования на улично-дорожной сети города Краснодара.

Методика включает алгоритм определения целесообразности организации выделенных полос для движения городского пассажирского транспорта общего пользования, реализованный в виде электронной таблицы и пояснительную записку с приложениями, содержащими справочный материал.

Заместитель генерального директора
по научной работе и проектному управлению
ООО «Центр дорожных инноваций»

С.В. Ушков



А к т в н е д р е н и я

**методики оценки целесообразности организации выделенных полос для
движения городского пассажирского транспорта общего пользования**

Я, нижеподписавшийся заместитель руководителя государственного казенного учреждения Краснодарского края «Центр организации дорожного движения» Кушхов Тимур Махмудович, составил настоящий акт о внедрении методики оценки целесообразности организации выделенных полос для движения городского пассажирского транспорта общего пользования, созданной старшим преподавателем кафедры транспортных процессов и технологических комплексов ФГБОУ ВО «Кубанский государственный технологический университет» И.Н Котенковой и доктором технических наук, деканом транспортного факультета ФГБОУ ВО «Оренбургский государственный университет» В.И. Рассохой.

Методика используется при оценке целесообразности организации выделенных полос для движения городского пассажирского транспорта общего пользования на улично-дорожной сети города Краснодара.

Методика включает алгоритм определения целесообразности организации выделенных полос для движения городского пассажирского транспорта общего пользования реализованный в виде электронной таблицы и пояснительную записку с приложениями, содержащими справочный материал.

Заместитель руководителя
государственного казенного учреждения
Краснодарского края
«Центр организации дорожного движения»



Т.М. Кушхов

МИНОБРНАУКИ РОССИИ

Федеральное государственное бюджетное
образовательное учреждение высшего
образования
«Кубанский государственный технологический
университет»
(КубГТУ)



АКТ

13.11.2015 № 11.25/03

г. Краснодар

о внедрении результатов научно-
исследовательских разработок в учебный процесс

Комиссия в составе: доктор технических наук, доцент, декан факультета инженерии, машиностроения и транспорта Гукасян А.В., кандидат технических наук, доцент, заместитель декана факультета инженерии, машиностроения и транспорта по научной работе Бобылев Э.Э., кандидат экономических наук, доцент, заведующий кафедрой транспортных процессов и технологических комплексов Коновалова Т.В., доктор технических наук, доцент, профессор кафедры транспортных процессов и технологических комплексов Лебедев Е.А. – составили настоящий акт о том, что в учебном процессе направления 23.03.01 – Технология транспортных процессов используются основные положения методики оценки целесообразности организации выделенных полос для движения городского пассажирского транспорта общего пользования, разработанной старшим преподавателем кафедры транспортных процессов и технологических комплексов ФГБОУ ВО «Кубанский государственный технологический университет» И.Н Котенковой и деканом Транспортного факультета ФГБОУ ВО «Оренбургский государственный университет» В.И. Рассохой.

Разработанная методика используется при преподавании дисциплин «Пассажирские перевозки», «Организация перевозочных услуг и безопасность транспортного процесса», «Организация движения», включает в себя алгоритм определения целесообразности организации выделенных полос для движения городского пассажирского транспорта общего пользования, реализованный в виде электронной таблицы и пояснительную записку с приложениями, содержащими справочный материал.

Декан ФИМТ,
д.т.н., доцент

А.В. Гукасян

Зам декана ФИМТ по научной работе
к.т.н., доцент

Э.Э. Бобылев

Зав. кафедрой ТП и ТК,
к.э.н., доцент

Т.В. Коновалова

Профессор кафедры ТП и ТК,
д.т.н., доцент

Е.А. Лебедев

MINOBRNAUKI ROSSII

Федеральное государственное
бюджетное образовательное учреждение
высшего образования
«Оренбургский государственный
университет»
(ОГУ)

АКТ

21.11.2025 г № 13704

г. Оренбург

о внедрении результатов
научно-исследовательских разработок
в учебный процесс

Комиссия в составе: председатель – зам. декана транспортного факультета, канд. техн. наук, доцент Горбачёв С.В., д-р техн. наук, профессор, зав. кафедрой автомобильного транспорта Якунин Н.Н., д-р техн. наук, доцент, зав. кафедрой технической эксплуатации и ремонта автомобилей Дрючин Д.А. – составили настоящий акт о том, что в учебном процессе кафедр автомобильного транспорта и технической эксплуатации и ремонта автомобилей транспортного факультета ОГУ используется методика оценки целесообразности организации выделенных полос для движения городского пассажирского транспорта общего пользования. Методика разработана д-ром техн. наук, доцентом, профессором кафедры автомобильного транспорта ОГУ Рассохой Владимиром Ивановичем и старшим преподавателем кафедры транспортных процессов и технологических комплексов ФГБОУ ВО «Кубанский государственный технологический университет», соискателем кафедры автомобильного транспорта ОГУ Котенковой Ириной Николаевной.

Методика включает в себя локальные алгоритмы оценки целесообразности организации выделенных полос для движения городского пассажирского транспорта общего пользования и программу для ЭВМ, обеспечивающую выполнение оценки целесообразности ввода выделенной полосы для маршрутного пассажирского транспорта. Методический материал и прикладная программа используется в учебном процессе подготовки бакалавров и специалистов по направлению подготовки 23.03.01 Технология транспортных процессов и специальности 23.05.01 Наземные транспортно-технологические средства. Материалы исследования включены в программы учебных дисциплин: «Теория транспортных процессов и систем», «Программно-целевое управление в транспортных системах», «Пассажирские перевозки», «Организация и безопасность движения», «Транспортная инфраструктура», «Транспортно-эксплуатационные качества автомобильных дорог».

Зам. декана транспортного факультета,
канд. техн. наук, доцент

С.В. Горбачев

Зав. кафедрой автомобильного транспорта,
д-р техн. наук, профессор

Н.Н. Якунин

Зав. кафедрой технической эксплуатации
и ремонта автомобилей, д-р техн. наук, доцент

Д.А. Дрючин