

Федеральное государственное автономное
образовательное учреждение
высшего образования
«СИБИРСКИЙ ФЕДЕРАЛЬНЫЙ УНИВЕРСИТЕТ»
Политехнический институт
Кафедра «Транспорт»

УТВЕРЖДАЮ
Заведующий кафедрой
_____ Е.С. Воеводин
«_____» _____ 2021 г.

МАГИСТЕРСКАЯ ДИССЕРТАЦИЯ

**«Обеспечение приоритета городского пассажирского транспорта на
УДС»**

23.04.01 – Технология транспортных процессов

23.04.01.01 – Организация перевозок и управление на автомобильном
транспорте

Научный руководитель _____ канд. техн. наук, доцент Е.В. Фомин

Выпускник _____ Е.С. Арефьева

Рецензент _____ ген. дир. ГК «Сирена» Б.Э. Деменков

Красноярск 2021

Федеральное государственное автономное
образовательное учреждение
высшего образования
«СИБИРСКИЙ ФЕДЕРАЛЬНЫЙ УНИВЕРСИТЕТ»
Политехнический институт
Кафедра «Транспорт»

УТВЕРЖДАЮ
Заведующий кафедрой
_____ Е.С. Воеводин
«_____» _____ 2021 г.

ЗАДАНИЕ
НА ВЫПУСКНУЮ КВАЛИФИКАЦИОННУЮ РАБОТУ
в форме магистерской диссертации

Студенту Арефьевой Елене Сергеевне

фамилия, имя, отчество

Группа ФТ19-05М Направление (специальность) 23.04.01

номер

код

Технология транспортных процессов

наименование

Тема выпускной квалификационной работы Обеспечение приоритета городского пассажирского транспорта на УДС

Утверждена приказом по университету № 5051/с от 14 апреля 2021

Руководитель: Е.В. Фомин – канд.техн.наук, доцент кафедры «Транспорт»

ПИ СФУ

инициалы, фамилия, должность, ученое звание и место работы

Исходные данные: маршрутная сеть г. Красноярска

Перечень разделов магистерской диссертации:

- 1) Теоретический обзор материала
- 2) Разработка математической модели
- 3) Разработка методики определения параметров разработанной модели
- 4) Результаты и выводы

Перечень графического материала: презентация

Руководитель

подпись

Е.В. Фомин

инициалы и фамилия

Задание принял к исполнению

подпись

Е.С. Арефьева

инициалы и фамилия студента

«__» _____ 2021 г.

СОДЕРЖАНИЕ

ВВЕДЕНИЕ	6
ТЕОРЕТИЧЕСКИЙ ОБЗОР МАТЕРИАЛА	9
1 Определение целесообразности выделенных полос.	9
1.1 Транспортная проблема современного общества.....	9
1.1.1 Проблема мобильности и методы ее обеспечения	9
1.1.2 Методы обеспечения преимущества общественного транспорта на УДС	14
1.2 Развитие УДС	18
1.3 Концепция устойчивого транспорта.....	21
1.4 Динамика автомобилизации и ее влияние на транспортную проблему	22
2 Выделенные полосы и маршрутная сеть города	30
2.1 Направления решения транспортной проблемы: развитие УДС, совершенствование системы общественного транспорта.....	33
2.1.1 Транспортная система развитых стран	33
2.1.1.1 Швеция.....	33
2.1.1.2 Финляндия	35
2.1.2 Скоростной транспорт общественного пользования (метробус) ..	38
3 Организация выделенных полос	44
3.1 Критерии выделенных полос	44
3.2 Пример расчета	51
3.3 Оценка целесообразности выделенных полос	61
3.3.1 Экономическая эффективность работы участка УДС.....	61
3.3.2 Провозная способность участка УДС	63
3.4 Схемы выделенных полос	66
4 Анализ факторов, влияющих на необходимость выделения отдельной полосы движения для ГПТ	68
РАЗРАБОТКА МАТЕМАТИЧЕСКОЙ МОДЕЛИ.....	72

РАЗРАБОТКА МЕТОДИКИ ОПРЕДЕЛЕНИЯ ПАРАМЕТРОВ РАЗРАБОТАННОЙ МОДЕЛИ	76
РЕЗУЛЬТАТЫ И ВЫВОДЫ.....	84
ЗАКЛЮЧЕНИЕ	87
СПИСОК СОКРАЩЕНИЙ	88
СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ	89

ВВЕДЕНИЕ

Актуальность темы.

С ростом уровня автомобилизации в больших городах страны наблюдается транспортная проблема, проблема мобильности транспорта. В настоящее время на улицы г. Красноярска каждый день выходит более 1200 транспортных средств, которые обслуживают население города, а пользуются услугами общественного транспорта около 680 тыс. пассажиров [1]. Следовательно, движение по городу осуществляется в затрудненном режиме, наблюдаются наличие транспортных заторов, дорожно-транспортные происшествия, загруженность транспортной сети в часы пик. Поэтому городской общественный пассажирский транспорт должен удовлетворять спрос на качественный и быстрый процесс перевозки, отвечать требованиям безопасности и комфортабельности.

Приоритет ГПТ на УДС города можно обеспечить путем внедрения выделенной полосы (ВП) для движения ОТ. Эффективный городской пассажирский транспорт способствует высокому уровню транспортной подвижности потребителей данной услуги, что может стать важным аспектом в конкуренции с индивидуальным транспортом в часы «пик».

Цель.

Целью данной магистерской диссертации является исследование выделенных полос для движения ГОПТ, анализ и определение эффективности движения пассажирского транспорта на них.

Задачи.

1. Обзор и анализ методов необходимости выделения отдельных полос для движения ГОПТ
2. Анализ факторов, влияющих на необходимость выделения отдельной полосы движения для ГОПТ

3. Разработка математической модели для определения необходимости выделения отдельной полосы движения ГОПТ на перегоне маршрутной сети
4. Разработка методики определения параметров разработанной модели
5. Проведение расчетов

Методы исследования.

Методика проведения исследования включает в себя:

1. Анализ теоретических данных
2. Разработка математической модели для обоснования необходимости наличия выделенной полосы для движения ГОПТ
3. Сбор данных на УДС г. Красноярск
4. Расчет необходимости обеспечения приоритета городского пассажирского транспорта общего пользования на перегонах улично-дорожной сети города

Новизна.

Разработана методика исследования необходимости выделения полос для ГОПТ, которая подразумевает анализ эффективности ВП по:

1. Наличию двух и более полос движения в одном направлении на исследуемом участке УДС
2. Времени задержки ГОПТ
3. Количеству пассажиров, передвигающихся по рассматриваемому перегону в единицу времени

Практическая значимость работы.

Разработанную методику можно применять для определения необходимости и эффективности введения ВП на рассматриваемом участке УДС.

Публикации.

Фомин Е.В., Зеер В.А., Арефьева Е.С., Голуб Н.В. Обеспечение приоритета городского пассажирского транспорта общего пользования на улично-дорожной сети города. Вестник СибАДИ. 2020; 17 (3).

ТЕОРЕТИЧЕСКИЙ ОБЗОР МАТЕРИАЛА

1 Определение целесообразности выделенных полос.

1.1 Транспортная проблема современного общества

1.1.1 Проблема мобильности и методы ее обеспечения

Основная социальная функция городской транспортной системы заключается в обеспечении высокого уровня мобильности жителей, то есть гарантированной возможности добраться из одной точки города в другую максимально безопасно, быстро, комфортно и недорого.

Транспортная мобильность – это процесс безопасного, комфортного, быстрого, доступного и экономически целесообразного перемещения человека или группы людей, с использованием одного или нескольких видов транспорта. Мобильность условно можно разделить на: подготовительно-заключительный этап («пассивная» фаза) и этап передвижения («активная» фаза). «Пассивная» составляющая транспортной мобильности определяет условия предоставления транспортного обслуживания. «Активная» – это реальное осуществление транспортного обслуживания (перевозки), т.е. непосредственно самого передвижения (перемещения), утверждает автор [2]. На рисунке 1.1 представлены типы организации транспортной мобильности.

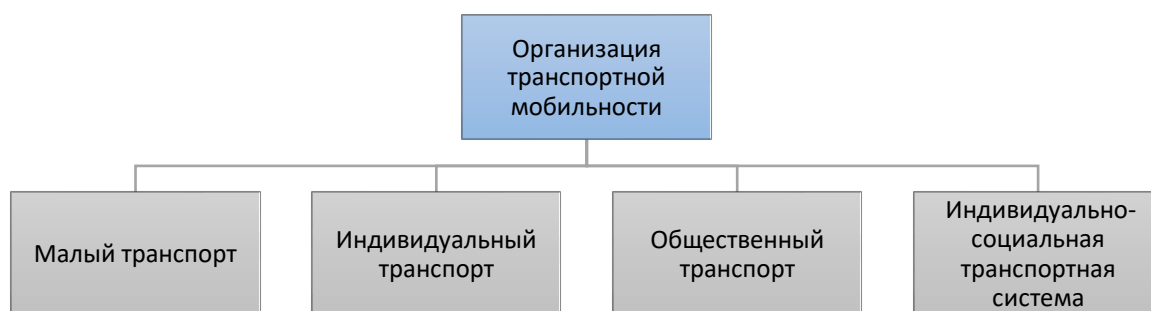


Рисунок 1.1 – Типы организации транспортной мобильности

Транспортный спрос представляет собой совокупность по количеству и типу поездок, сложившийся в результате принятия участниками движения решений по поводу совершения передвижений, при условии транспортных потребностей, используемого вида транспорта и конкретного маршрута передвижения [3]. На транспортный спрос оказывают влияние такие факторы, как демография, экономика, вид передвижения и т.д. (таблица 1.1).

Таблица 1.1 – Факторы, влияющие на транспортный спрос

Демография	Экономика	Цена	Вариант передвижения	Качество сервиса	Землепользование
Количество человек	Количество рабочих мест	На топливо и налоги	Ходьба	Относительная скорость и задержка	Плотность
Доходы	Доходы	Транспортные налоги и сборы	Велосипед	Надежность	Совокупность
Возраст	Деловая активность	Платные дороги	Общественный транспорт	Комфорт	Проходимость
Стиль жизни	Грузовые перевозки	Плата за парковку	Карпулинг/райдшеринг	Охрана и безопасность	Связь
Предпочтения	Туристическая деятельность	Автострахование	Автомобиль	Условия ожидания	Транзитное обслуживание
–	–	Тарифы общественного транспорта	Такси	Условия парковки	Проектирование проезжей части
–	–	–	Удаленная деятельность	Пользовательская информация	–
–	–	–	Служба доставки	Соц. статус	–

В современной науке нет четкого и единого представления о транспортной мобильности. Но можно сделать вывод о том, что процесс пространственной мобильности неразрывно связан с процессом социальной (а иногда и социально-экономической) мобильности. Пространственная мобильность рассматривается как сопутствующая социальной мобильности, иногда как ее результат или как ее предпосылка. Кроме того, исследователи сходятся во мнении, что пространственная мобильность имеет значительное влияние на социально-экономическое неравенство территории.

Пространственная мобильность является одной из причин неравенства в доходах и благосостоянии регионов в стране. Человеком предъявляются определенные требования к условиям инфраструктуры, получению качественного образования и достойной работы, предоставлению медицинских услуг и обеспечению досуга. В связи с этим мигрируют в более развитые регионы те граждане, которые имеют хороший доход, высокую квалификацию в профессиональной деятельности.

Из послания Генерального секретаря ООН Пан Ги Муна «Городская мобильность» 7 октября 2013 года: «Мобильность обеспечивается не только путем строительства более широких или более протяженных дорог; для мобильности нужны удобные и эффективные системы, обслуживающие большинство людей наилучшим и наиболее справедливым образом. Это предусматривает поощрение перехода от пользования частным транспортом к поездкам на поездах, автобусах и велосипедах и улучшение освещенности тротуаров, чтобы ими могло пользоваться больше пешеходов. Люди должны иметь возможность безопасно и быстро добираться до работы, учебных заведений, больниц и мест отдыха. Правильное повышение мобильности может оживить деятельность городских центров, улучшить производительность и повысить привлекательность городов для всех пользователей – от инвесторов до посетителей и жителей».

Выделяют систему показателей городской мобильности (рисунок 1.2), которая используется для оценки уровня удовлетворения потребности

городского населения в услугах городского пассажирского транспорта и необходима при формировании транспортной политики города.

Однако достижение устойчивой мобильности, в т.ч. и необходимого уровня сервисных показателей, напрямую зависит от финансирования. В этой связи необходимо уделить особое внимание финансовым показателям городской мобильности. Так, к финансовым показателям относятся: доля общественного транспорта в валовом региональном продукте, доля покрытия затрат на городские перевозки собственными доходами предприятия, процент субсидирования городских перевозок за счёт бюджета, динамика обновления парка транспортных средств, расходы средств местного, областного и республиканского бюджетов на транспортную систему города.



Рисунок 1.2 – Показатели оценки логистической системы городского транспорта

Таким образом, менее развитые регионы покидают наиболее талантливые и профессиональные кадры, что также сказывается на экономике этого региона. Большинство исследователей напрямую связывают перемещение в пространстве с перемещением по социальной лестнице. Поэтому необходимо учитывать уровень жизни в регионе, когда перемещаются граждане из одного региона в другой, и принимать меры по его увеличению и развитию экономики, если преследуется цель по привлечению населения на конкретную территорию.

1.1.2 Методы обеспечения преимущества общественного транспорта на УДС

Выделенные полосы городского пассажирского транспорта есть во всем мире, кроме беднейших стран Африки и Юго-Восточной Азии. Первая выделенная полоса появилась в 1940 г., в США. В Европе первые ВП были созданы в Гамбурге, в 1963 г. Успешный опыт их применения подтолкнул к разработке стандартов организации ВП. В 1964 г. Появилась первая выделенная полоса в Париже, в 1968 г. – в Лондоне, а к 1974 году более 100 городов обладали сетью ВП.

Выделенные полосы стали сооружать в период бума автомобилизации. Задачи, которые решались выделенными полосами не сводились только к ускорению движения маршрутного трафика, они предназначались для борьбы с хаотичной парковкой (в крайних правых рядах) и неламинарностью потока, обеспечения безопасности движения. Обычно ВП создавались на участке УДС, предназначенной для парковочных мест.

Для обеспечения приоритета ОТ предпринимается:

- усовершенствование мер организации движения;
- приоритет общественного транспорта на перекрестках;
- выделение полос общественного транспорта.

Задержки на регулируемых перекрестках иногда достигают почти 50% от суммарной задержки ОТ. Этим объясняется интерес к методам организации приоритетного движения ОТ на регулируемых пересечениях. Например, в Лондоне применяются технические средства выборочного обнаружения транспортного средства. Приоритет маршрутного транспорта обеспечивается корректировкой продолжительности фаз светофоров, при обнаружении его на подходе к перекрестку. Устройства выборочного обнаружения расположены на 1450 участках улично-дорожной сети Лондона.

Практика ряда стран убедительно показывает, что одним из наиболее эффективных методов организации движения ОТ является выделение специальных полос, по которым запрещается движение других транспортных средств.

В Ванкувере создание «выделенки» на основных маршрутах способствовало:

- сокращению времени движения на маршрут на 3–10 минут в пиковый период и на 10–12 минут – в не пиковый;
- увеличению скорости движения автобусов на 23–29 %;
- увеличению количества перевезённых пассажиров на 25–30 %.

В Москве, по данным Департамента транспорта, скорость движения автобусов на выделенных полосах выросла на 7,3 %, в то время как пассажиропоток вырос на 23,2 %.

Относительно небольшой рост скорости движения по ВП в Москве обусловлен следующими факторами:

- неадекватный подход к графикам движения транспорта на полосах (в том числе выравнивание интервалов движения на полосах транспортом, имеющем на протяжении маршрута совмещенные участки);
- недостаточный контроль нарушений режима выделенной полосы индивидуальным транспортом;

– многочисленные правые повороты, блокирующие движение по полосе.

На улицах Москвы с ВП не проведены мероприятия по усовершенствованию мер организации движения и обеспечению приоритета ОТ на перекрестках. В обычной практике эти мероприятия проводятся в комплексе.

Технологически возможны три варианта организации ВП:

- по крайней правой полосе в направлении движения потока (в Москве);
- по крайней правой полосе в направлении противоположном потоку (во Владивостоке);
- в двух направлениях у осевой линии улицы (в Петербурге на Лиговском проспекте).

Для того, чтобы определиться в каких случаях как делать выделенную полосу ученые разработали критерии. Они разнятся в зависимости от страны.

Таблица 1.2 – Критерии выделенной полосы в Южной Корее

Число полос в данном направлении	Интенсивность движения автобусов N_A , авт./ч	Пассажиропоток Q , пасс./ч	Тип выделенной полосы
3	$N_A > 60$	$Q > 1800$	Крайняя правая полоса в направлении движения ТП
	$N_A > 100$	$Q > 3000$	Крайняя правая полоса в направлении движения ТП
			Крайняя полоса в направлении против общего ТП
	$N_A > 150$	$Q > 4500$	Крайняя правая полоса в направлении движения ТП
			Крайняя левая полоса в направлении движения ТП

Окончание таблицы 1.2

4	$N_A > 100$	$Q > 3000$	Крайняя правая полоса в направлении движения ТП
	$N_A > 150$	$Q > 4500$	Крайняя правая полоса в направлении движения ТП
			Крайняя левая полоса в направлении движения ТП

Таблица 1.3 – Критерии выделенной полосы в США и Великобритании

Минимальная интенсивность движения автобусов N_A , авт./ч	Минимальный пассажиропоток Q , пасс./ч	Тип выделенной полосы
США		
30–40	1200–1600	Крайняя полоса в направлении движения общего ТП
40–60	1600–2400	Крайняя полоса в направлении против общего ТП
60–90	2400–3600	У разделительной полосы проезжей части
Великобритания		
50	2000	–

Также ВП вводятся с техническими целями. Если есть маршрут, 90 % которого проходит по выделенной полосе, то его регулярность движения все равно будет сбиваться на 10 % невыделенного полотна. То есть быстро проехав большую часть маршрута автобусы будут скапливаться в пробках на коротком участке, из-за чего невозможно будет обеспечить должную работу всего маршрута. В этом случае оставшиеся 10 % выделяются, даже если там проходит один маршрут и пассажиропоток на участке очень небольшой просто для того, чтобы не портить остальную часть трассы.

В транспортной стратегии РФ на ближайшие 10 лет заложена необходимость обеспечения доступности и качества предоставляемых транспортных услуг для населения, а также повышения его мобильности.

Существуют активные и пассивные методы приоритетного пропуска городского массового пассажирского транспорта. К активным методам

относят методы осуществления пропуска путем прямого воздействия на светофорный объект утверждают авторы [4, 5].

Для улучшения работы городской улично-дорожной сети (УДС) необходимо произвести мероприятия, которые подразумевают целесообразность ВП для движения общественного транспорта.

1.2 Развитие УДС

Улично-дорожная сеть городов и населенных пунктов состоит из дорог, улиц, проспектов, площадей, переулков, проездов набережных, транспортных инженерных сооружений (тоннелей, путепроводов, под- и надземных пешеходных переходов), трамвайных путей, тупиковых улиц, проездов и подъездов, парковок и стоянок.

Авторы [6] считают, что обеспечение быстрого и безопасного движения в современных городах требует применения комплекса мероприятий архитектурно-планировочного и организационного характера.

При организации движения необходимо внедрение дорожных знаков и дорожной разметки, средств светофорного регулирования (они представляют основную ступень в организации обеспечения безопасности движения на перекрестках), дорожных организаций и направляющих устройств играет большую роль [7].

К планировочной структуре улично-дорожной сети предъявляется ряд требований, утверждают авторы [8]:

- рациональное размещение различных функциональных городских зон и обеспечение кратчайших связей между отдельными функциональными районами города;
- обеспечение необходимой пропускной способности магистралей и транспортных узлов с разделением движения по скоростям и видам транспорта;

- возможность перераспределения транспортных потоков при временных затруднениях на отдельных направлениях и участках;

- обеспечение удобных подъездов к объектам внешнего транспорта (аэропортам, автовокзалам) и выездов на загородные автомобильные дороги;

- обеспечение безопасного движения транспорта и пешеходов.

Планировочные структуры УДС города (рис. 1.3) подразделяются на:

- свободная схема характерна для старых городов с неупорядоченной улично-дорожной сетью (рис. 1.3, а);

- радиальная схема встречается в небольших старых городах, которые развивались как торговые центры. Обеспечивает кратчайшие связи периферийных районов с центром (рис. 1.3, б);

- радиально-кольцевая схема представляет усовершенствованную радиальную схему с добавлением кольцевых магистралей, которые снимают часть нагрузки с центральной части и обеспечивают связь между периферийными районами в обход центрального транспортного узла (рис. 1.3, в);

- треугольная схема не получила большого распространения, так как острые углы, образуемые в пунктах пересечения элементов улично-дорожной сети, создают значительные трудности и неудобства при освоении и застройке участков (рис. 1.3, г);

- прямоугольная схема получила весьма широкое распространение. Характерна для молодых городов (Одесса, Ростов), развивавшихся по заранее разработанным планам (рис 1.3, д);

- прямоугольно-диагональная схема является развитием прямоугольной схемы (рис. 1.3, е);

- комбинированная схема сохраняет достоинства одних схем и устраняет недостатки других. Характерна для крупных и крупнейших исторически сложившихся городов.

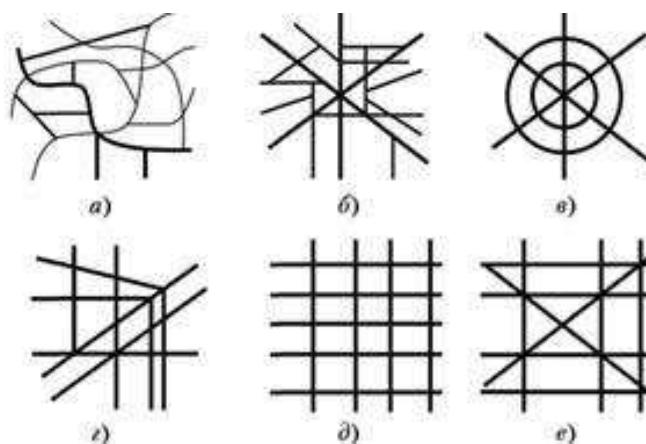


Рисунок 1.3 – Планировочные структуры УДС: а – свободная схема; б – радиальная; в – радиально-кольцевая; г – треугольная; д – прямоугольная; е – прямоугольно-диагональная

Совершенствование управленческой работой на автомобильном пассажирском транспорте должно начинаться с экономического анализа отдельных элементов управления, изучения путей взаимодействия между элементами и увязки их в единое целое. Авторы [9] считают, что основными направлениями совершенствования управления работой пассажирского транспорта должно быть:

- совершенствование имеющейся и разработка новых нормативно-правовых актов по организации городских пассажирских перевозок;
- специализация перевозчиков;
- стимулирование распространения на городском пассажирском транспорте эффективных систем контроля и диспетчерского управления, основанных на современных информационных технологиях;
- унификация организационной структуры эксплуатационной службы перевозчика и системы транспортного управления;
- централизация системы эксплуатации транспорта;
- автоматизация системы управления транспортом;
- координация работы всех видов пассажирского транспорта;

– реализация современных конкурсных механизмов регулирования допуска, технологии организации и контроля деятельности перевозчиков всех форм собственности на маршрутной сети на контрактной основе.

Управление процессом пассажирских перевозок состоит в принятии и реализации комплекса технических, технологических, экономических, организационных и других решений. Возможно привлечение маршрутных такси на маршрутах с небольшим пассажиропотоком (где невыгодно использовать автобусы), а также сдача в аренду таких маршрутов частным перевозчикам.

1.3 Концепция устойчивого транспорта

Устойчивый транспорт (или зелёный транспорт) – это любой способ или организационная форма передвижения, позволяющие снизить уровень воздействия на окружающую среду. К нему можно отнести пешеходное и велосипедное движение, экологичные автомобили, транзитно-ориентированное проектирование, аренда транспортных средств, а также системы городского транспорта, которые являются экономичными, способствуют сохранению пространства и пропаганде здорового образа жизни [10].

Устойчивые транспортные системы вносят позитивный вклад в экологическую, социальную и экономическую устойчивость общества, которому они служат. Транспортные системы существуют для обеспечения социальных и экономических связей, и люди быстро овладевают средствами повышения мобильности. Преимущества возросшей мобильности необходимо оценивать с учетом экологических, социальных и экономических издержек, которые создают транспортные системы.

Традиционное транспортное планирование направлено на повышение мобильности, а целью транспорта является обеспечение доступа к местам тяготения населения.

Транспортные системы являются основным источником выброса парниковых газов. Поэтому необходимо обеспечить повышение экологичности передвижения путем приоритета зеленого транспорта в городе.

Зелёные транспортные средства имеют большую топливную эффективность, но только в сравнении со стандартными транспортными средствами, они так же способствуют образованию заторов и дорожно-транспортных происшествий.

Другими вариантами транспорта с очень низким воздействием на окружающую среду является езда на велосипеде и других транспортных средств, приводимых в движение мускульной силой человека, а также гужевой транспорт. Самым распространённым выбором зелёного транспорта с наименьшим воздействием на окружающую среду является ходьба [11].

1.4 Динамика автомобилизации и ее влияние на транспортную проблему

Автомобилизация – это оснащённость населения автомобилями, она является важной частью общественного прогресса. Количество автомобилей в мире перешагнуло порог в один миллион еще в 2010 году, в настоящий момент их число продолжает расти, что оказывает существенное влияние на экономику и социальное развитие общества, что также заметил автор [12].

Сегодня активно обсуждаются негативные издержки автомобилизации и методы их решения. Рост уровня автомобилизации провоцирует необходимость в парковочных местах, особенно в центральных и спальных районах. Больше количество автомобилей на 1000 человек приходится на европейскую часть России (см. рисунок 1.4).

Российская Федерация

305

Legend:

- >400
- 350-399
- 300-349
- 250-299
- 200-249
- <200

В таблице 1.4 содержатся данные уровня автомобилизации некоторых субъектов РФ за последние 46 лет [13].

Субъект РФ	1970	1985	1993	1997	2000	2002	2010	2013	2014	2016
Республика Тыва	4,4	47	52,1	60,7	90,4	95	160,8	163	—	—
Республика Саха (Якутия)	4,5	43,9	79,1	113,3	108,5	120,8	184	173	—	—
Республика Бурятия	4,1	45,2	72,6	75,1	76,2	87,8	172,3	185	—	—
Республика Алтай	2,2	39,3	75	86,6	103,8	115,3	197,3	200	—	—
Кемеровская область	6,7	50,2	74,6	101,1	114,8	120,3	206,8	209	—	—
Алтайский край	3,2	56,9	82,9	110,4	125,1	118,8	235,5	241	—	—
Томская область	4	48,6	93,8	98,7	124,2	126	230,6	253	—	—

Окончание таблицы 1.4

Красноярский край	4,7	49	93,9	112,1	111,9	123,2	252	263	–	–
Новосибирская область	5,6	52,3	73,3	88,6	96,2	99,8	240,4	267	–	–
Иркутская область	5,1	56,6	90,6	128,4	133,4	140,8	229,1	268	285	283
Россия	5,5	44,5	75,7	113,7	132,4	147,7	249	257	274	285

На рисунке 1.5 представлен уровень автомобилизации в Красноярском крае и ближайших к нему регионах.

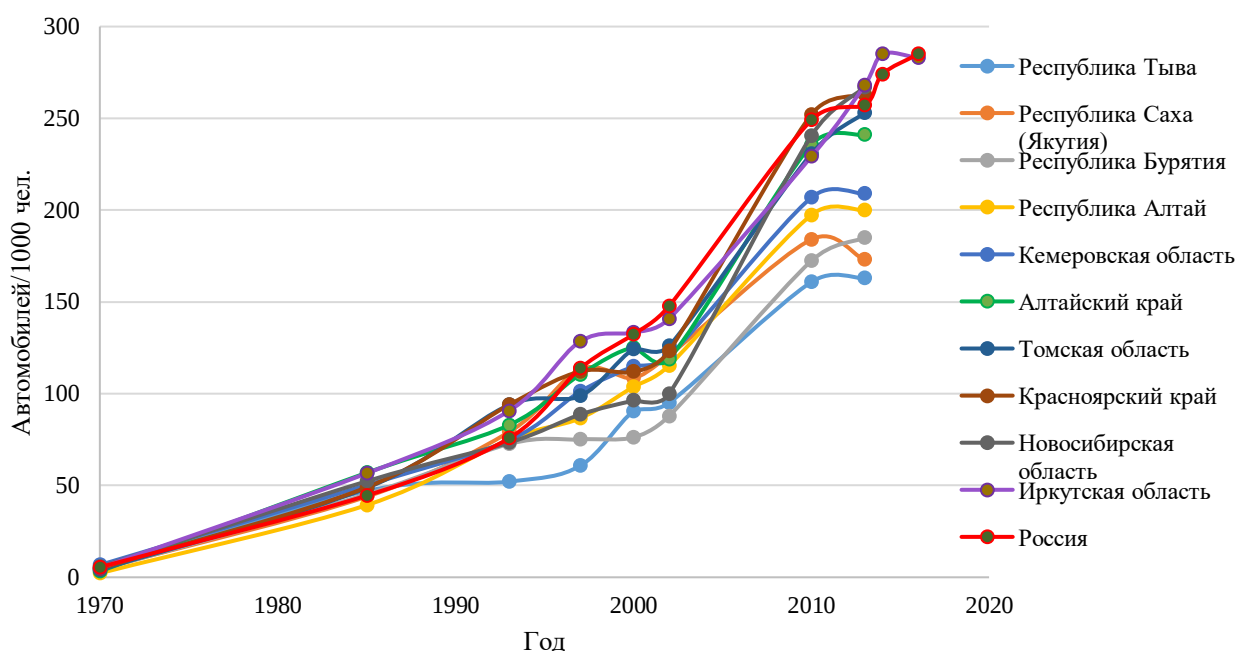


Рисунок 1.5 – Количество автомобилей на 1000 человек в разных регионах РФ

По обеспеченности машинами на душу населения выделяется группа крупных стран: США, Португалия, Новая Зеландия, Австралия, Италия, Германия, Франция, Япония (см. рисунок 1.6).

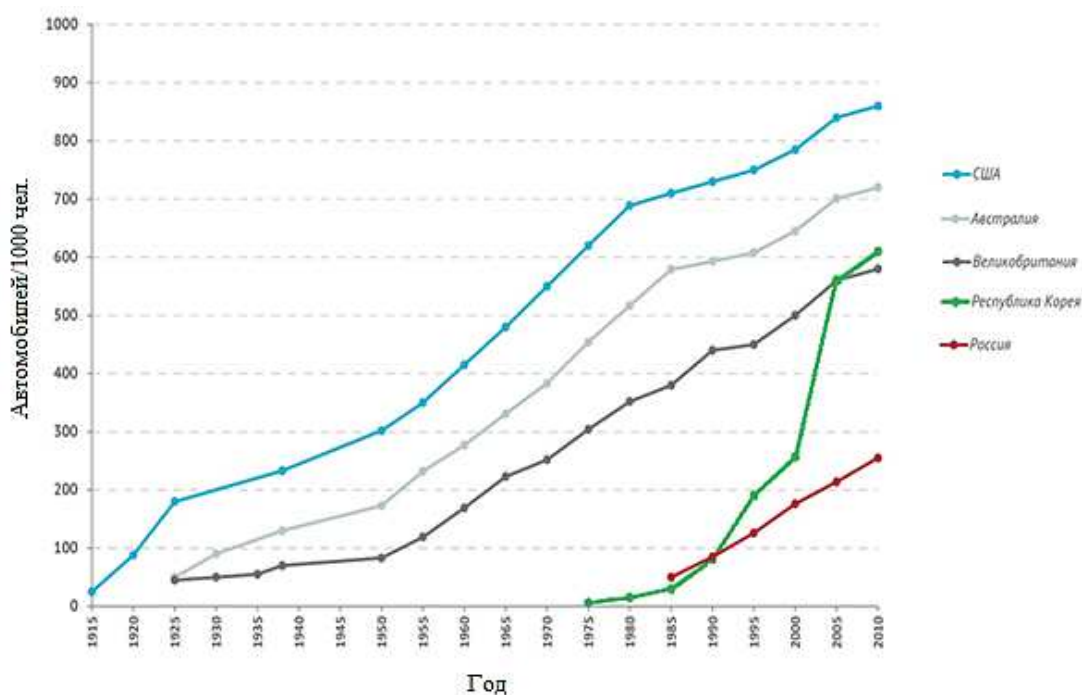


Рисунок 1.6 – Динамика автомобилизации в разных странах мира на 1000 человек

По данным исследования, проведенного Ассоциацией автопроизводителей Европы (АСЕА), средний уровень автомобилизации в 27 странах Объединенной Европы составляет 508 штук на тысячу жителей. Для новых стран-членов ЕС он существенно ниже – 307 на тысячу жителей. Общая численность автопарка ЕС достигает 229 млн. легковых автомашин. В Российской Федерации уровень автомобилизации существенно ниже. Так на 1 января 2015 года на каждую тысячу жителей России было зарегистрировано 230 легковых автомобилей. Причем показателя в автомобилизации в 400 машин на 1000 жителей Россия достигнет не ранее 2025 года.

Интенсивный рост автомобилизации стал причиной многих транспортных проблем современного города, автомобильные заторы обостряются в часы пиковой загрузки, когда интенсивность движения значительно повышается, превосходя пропускную способность.

Дорожные заторы, в свою очередь, усугубляют проблему атмосферного загрязнения, возведенную ООН в ранг проблемы мировой безопасности. Атмосферное загрязнение влечет за собой климатические изменения, а также

становится причиной преждевременной гибели более 5,5 млн. человек в год, т. е. примерно каждой десятой смерти на планете.

Значительное влияние на здоровье людей оказывают и шумовое загрязнение. Это в свою очередь приводит к повышенной утомляемости, понижению производительности труда и заболеваниям нервной системы.

Острой социальной проблемой является растущее количество дорожно-транспортных происшествий. В мире в результате ДТП ежегодно погибает более 1,25 млн. человек, при этом 49 % погибших на дорогах не являются автомобилистами. Только в России вследствие автокатастроф ежегодно погибает около 25 тыс. человек.

В таблице 1.5 содержатся данные о перевозках пассажиров автобусами общего пользования за последние 20 лет некоторых регионов страны [14].

График объема перевозок городским пассажирским транспортом за последние 20 лет представлен на рисунке 1.7.

Таблица 1.5 – Перевозки пассажиров автобусами общего пользования, тыс. чел.

Субъект РФ	2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019
Республика Тыва	12 175	12 718	13 695	20 088	21 335	23 680	26 272	27 099	28 287	28 134	28 517	27 653	28 264	27 385	27 394	27 923	27 227	28 341	30 128	33 152
Республика Саха (Якутия)	84 401	87 900	77 118	78 851	78 094	46 784	78 127	93 279	87 883	88 247	88 401	90 683	90 960	93 655	94 602	93 709	97 333	97 833	94 796	94 010
Республика Бурятия	16 987	38 078	41 784	41 503	50 634	57 394	61 386	54 159	48 469	58 998	55 329	55 091	52 621	57 746	69 451	78 813	79 779	77 018	76 049	70 044
Республика Алтай	13 932	12 946	13 936	15 379	14 369	11 283	10 736	11 426	11 360	10 312	10 756	11 226	4 124	1 786	9 010	9 283	8 748	8 705	8 427	7 900
Кемеровская область	526033	507820	484300	446535	443432	416642	437103	426083	417087	410983	395183	390041	352320	335879	329627	314952	291221	274490	232295	201178
Алтайский край	179865	171066	185596	189661	196572	155215	179868	194629	207398	201365	192481	199219	188765	170482	168029	169912	174891	171326	167137	155513
Томская область	175308	180969	183648	183569	186845	177644	166517	157628	153935	140419	157236	168361	149406	125113	94278	101271	106391	69693	49504	44348
Красноярский край	450207	455124	500233	500406	469271	449240	324078	373503	416950	417330	416422	417469	220167	206507	260753	247142	232239	223334	220184	217347
Новосибирская область	280358	268855	244962	217118	200108	111966	103925	419189	376827	347978	331428	310247	375068	101087	114965	176436	188380	199896	208845	208409
Иркутская область	267836	247506	218437	173828	171904	167364	173579	178869	169443	165373	190417	192368	193134	179001	158183	147723	153384	159620	143347	148741
Россия	23001095	22462213	21920589	20912284	21018279	16373982	14733625	14794891	14717826	13704444	13433693	13304924	12766173	11586766	11554348	11522947	11295838	11184850	10912 20	10637242

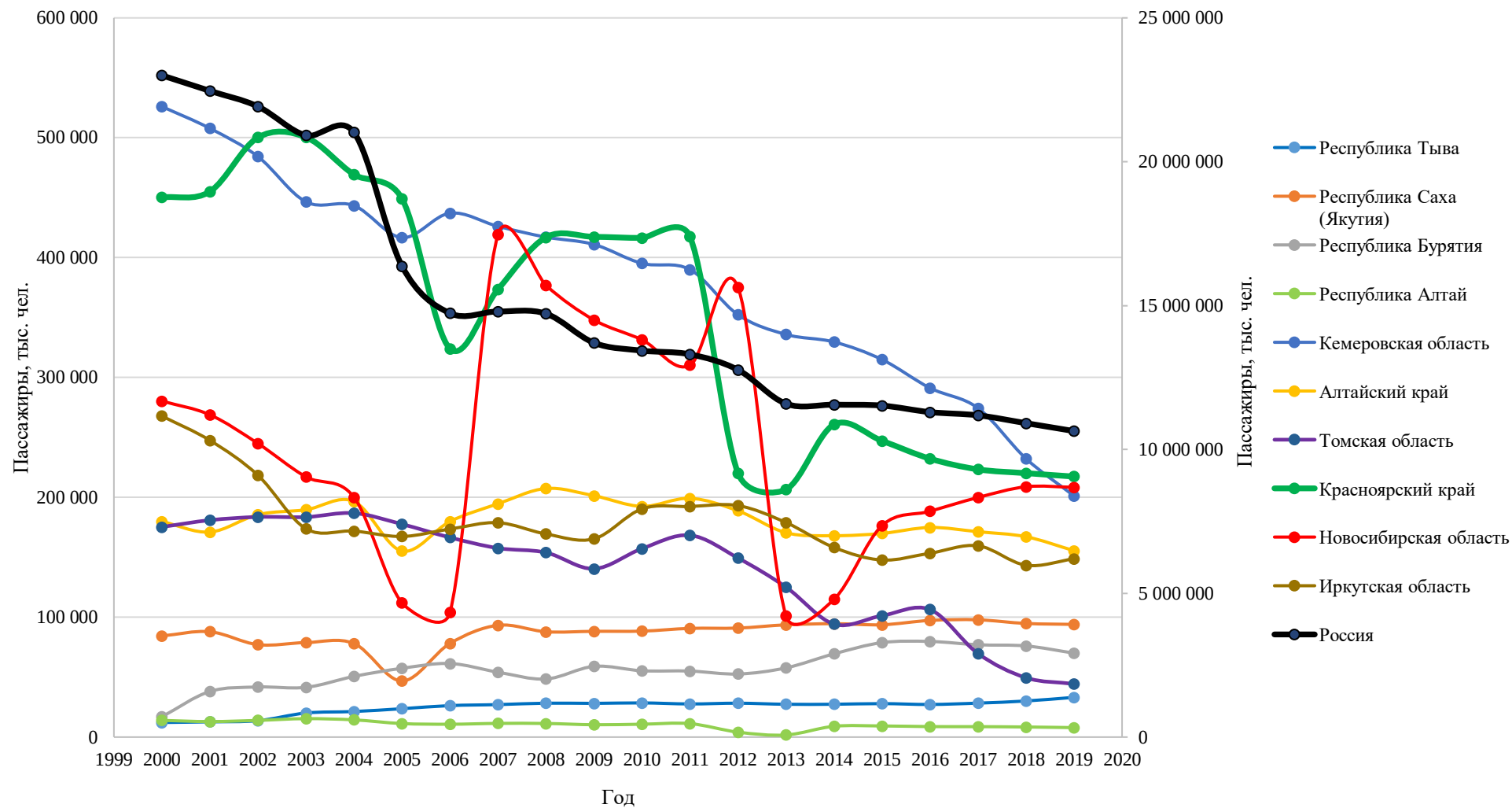


Рисунок 1.7 – Перевозки пассажиров автобусами общего пользования, тыс. чел.

Для того, чтобы отследить как изменялись уровень автомобилизации и объем перевозок в Красноярском крае, Новосибирской, Кемеровской и Томской областях, построим график за несколько лет. За 100 % принимаем 2000 год и далее рассчитываем показатели в процентном соотношении. Данные расчеты приведены в таблице 1.4.

Таблица 1.6 – Развитие уровня автомобилизации и объема перевозок

Год	Красноярский край		Новосибирская область		Кемеровская область		Томская область	
	Уровень а/м, %	Объем перевозок, %	Уровень а/м, %	Объем перевозок, %	Уровень а/м, %	Объем перевозок, %	Уровень а/м, %	Объем перевозок, %
2000	100	100	100	100	100	100	100	100
2002	110,098	111,112	103,742	87,375	104,791	92,066	101,449	104,757
2010	225,201	92,496	249,896	118,216	180,139	75,125	185,668	89,691
2013	235,031	45,869	277,547	36,057	182,056	63,851	203,704	71,368

Полученный график изображен на рисунке 1.8.

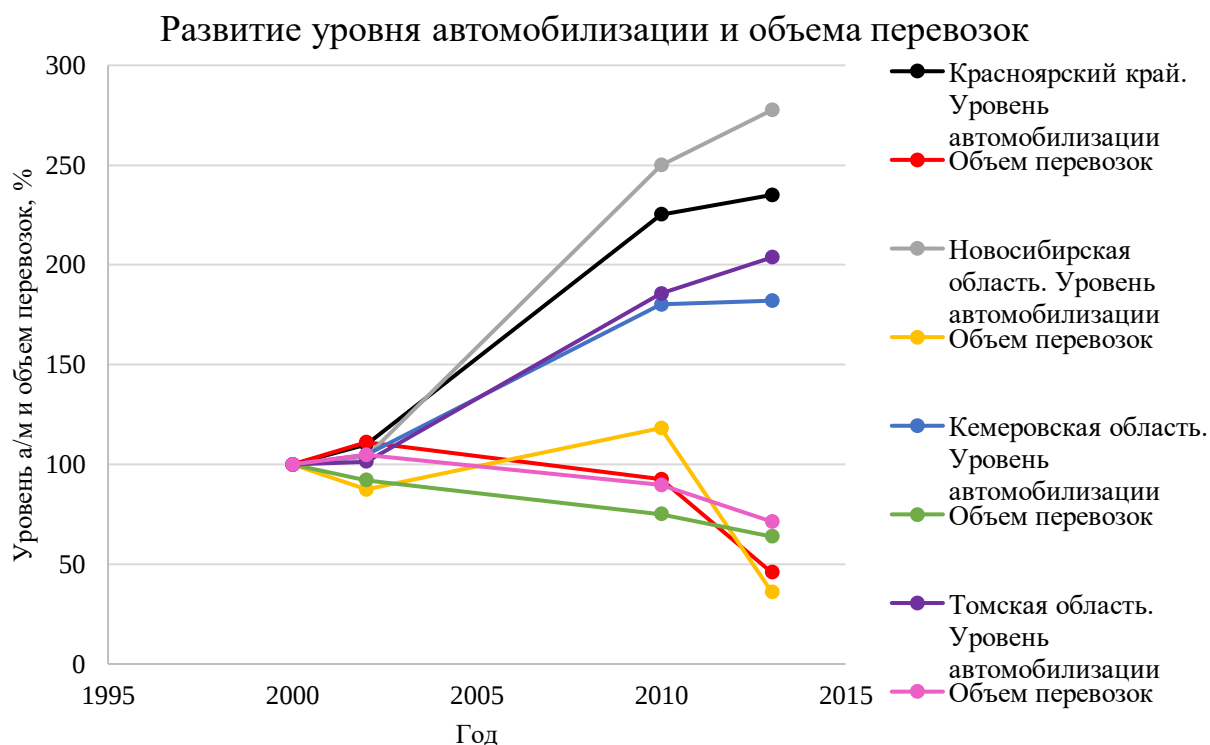


Рисунок 1.8 – Развитие уровня автомобилизации и объема перевозок

Из рисунка 1.8 видно, что при постепенном развитии уровня автомобилизации падает объем перевозок пассажиров автобусами общего пользования. Это означает, что общественный транспорт отошел на второй план и потерял свою привлекательность, а личный автомобиль становится основной причиной транспортных заторов на улицах города.

2 Выделенные полосы и маршрутная сеть города

Выделенная полоса, предназначенная для движения городского общественного транспорта, необходима для обеспечения приоритета транспорта в общем потоке ТС. Данная полоса может находиться в любом участке дороги [15].

Для обозначения выделенной полосы на асфальт наносится буква «А», а въезд обозначается знаком 5.14 и/или 3.1, если полоса встречная, а начало – знаком 5.11. На выезде с прилегающих дорог устанавливается знак 5.13.1 или 5.13.2 (рисунок 2.1). Места для остановок обозначены зигзагоподобной линией [16, 17].

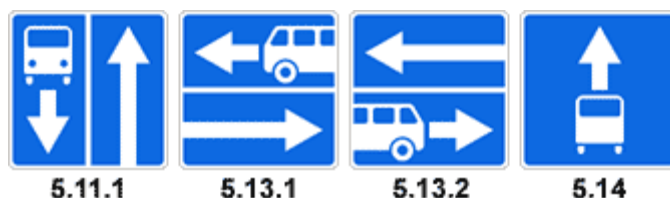


Рисунок 2.1 – Знаки обозначения выделенной полосы

Существует два вида выделенных полос: мягкий, где допускается движение спецтранспорта и такси; и жёсткий, где допускается движение только обозначенных транспортных средств, либо спецтранспорта с наличием согласования или включенной светозвуковой сигнализацией.

Мягкий вид выделенной полосы:

– режимная полоса: используется только в указанное время, чаще всего в часы пик. В остальное время может использоваться обычным образом;

– только ОТ: личный транспорт не может заезжать ни при каких условиях (исключая понятие крайней необходимости);

– «противошёрстная» полоса – появляется на недостаточно широких улицах, где было распространено интенсивное трамвайное движение, но ширина не позволяет запустить полноценное двухстороннее движение;

– полоса для транспорта с фактической загрузкой от х человек (указано на знаке). На данной полосе из личного транспорта допускаются только автомобили;

– платная полоса (ОТ едет бесплатно).

Жесткий вид выделенной полосы:

– автобусный разъезд: однополосная дорога с разъездами. Применяется при невозможности расширения дороги по всей длине хотя бы до 2 полос;

– автобусно-трамвайная полоса.

На рисунке 2.2 изображены выделенные полосы для движения ГОПТ, существующие на данный момент в г. Красноярске.

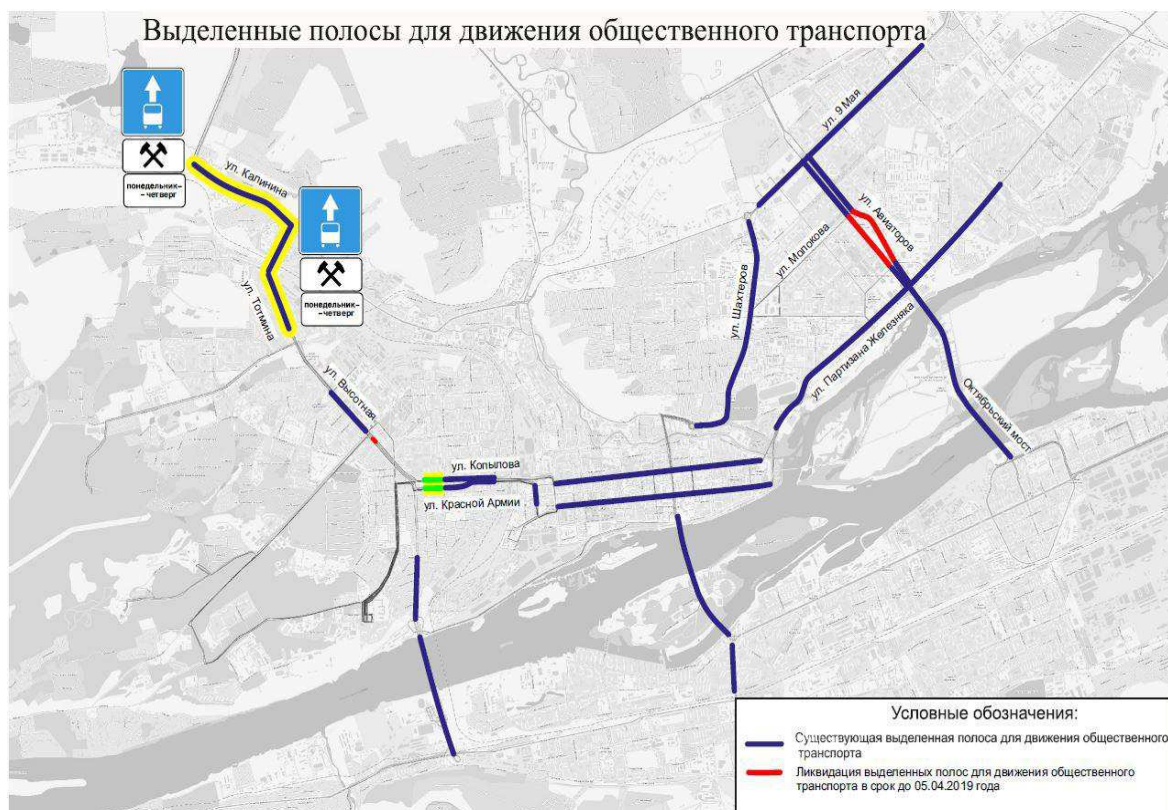


Рисунок 2.2 – Выделенные полосы в г. Красноярске

На сегодняшний день выделенные полосы в городе есть на 21 дороге. Но маршрутная сеть Красноярска насчитывает более семидесяти маршрутов движения городского общественного транспорта (рисунок 2.3).

Из рисунков 2.3 и 2.4 видно, что самыми загруженными участками города являются центральная часть города, часть Советского района и проспект имени Газеты Красноярский Рабочий.

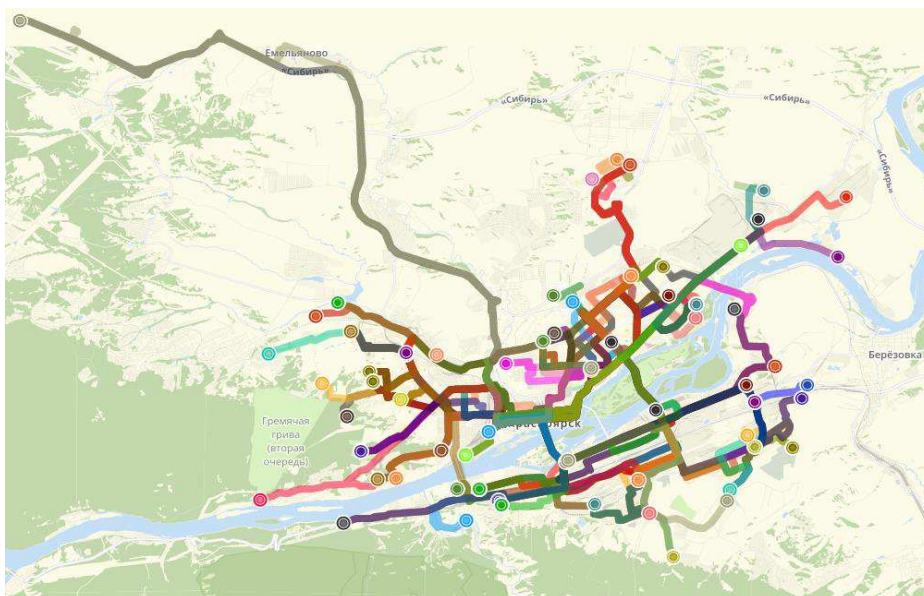


Рисунок 2.3 – Маршрутная сеть г. Красноярска

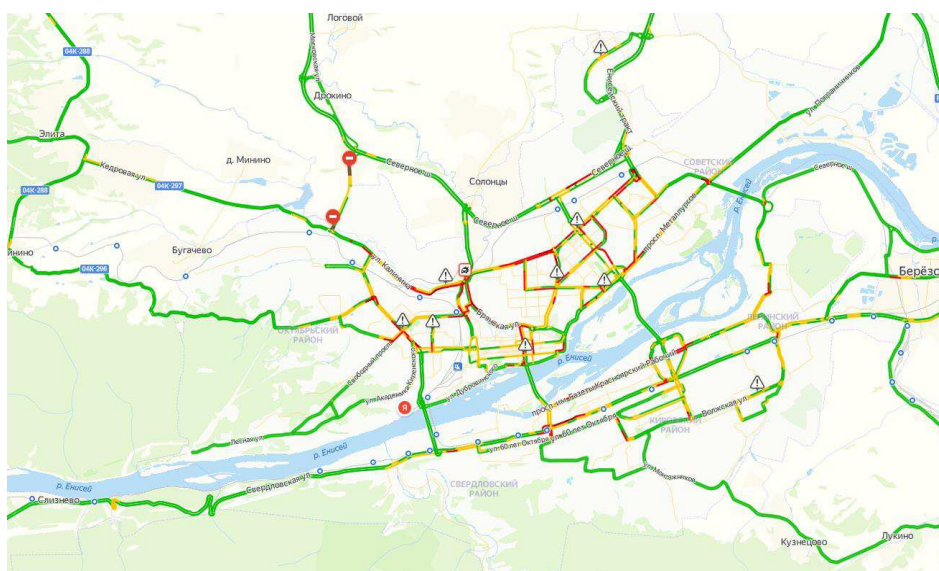


Рисунок 2.4 – Транспортные потоки г. Красноярска в часы пик

Исходя из рисунков 2.4 и 2.2 можно сделать вывод о том, что в Красноярске не везде существуют выделенные полосы для ОТ, где в часы пик наблюдается повышенная нагрузка на УДС. Для предотвращения заторов необходимо провести обследование целесообразности выделения полос на исследуемых участках дороги города.

2.1 Направления решения транспортной проблемы: развитие УДС, совершенствование системы общественного транспорта

2.1.1 Транспортная система развитых стран

Швеция

В Швеции при строительстве городов уже с 1960-х годов зоны для пешеходов и общественного транспорта являлись приоритетом. Со временем данная концепция развивается, но по своей сути остается неизменной. Планирование новых районов в Швеции начинается с продумывания ее транспортных артерий. Сперва необходимо создать инфраструктуру для пешеходов и велосипедистов, а потом уже для всех остальных. В современных районах городов этой страны есть дорожные полосы и даже отдельные отрезки дорог, предназначенные исключительно для автобусов. Нередко встречается такая ситуация, когда небольшое расстояние быстрее преодолеть на велосипеде или автобусе, так как на машине придется долго объезжать «автобусные» зоны. То есть во многом УДС Швеции не имеет привлекательности для водителей личного автомобиля, так как имеющаяся инфраструктура больше нацелена на удовлетворение потребностей общественного и зеленого транспорта.

По данным исследования транспортно-аналитического ведомства Trafikanalys [18], в 2019 году 13 % всех поездок шведы совершали на велосипеде, 19 % – на общественном транспорте, 15 % – пешком и 53 % – на автомобилях. Две трети жителей крупных городов уже предпочитают

общественный транспорт личному, но на этом Швеция не хочет останавливаться. В 2007 году ввели платный въезд в центр Стокгольма, Гётеборга – в 2013. Таким образом, ехать на ГПТ получается гораздо экономнее и центр города не страдает от загазованности, шумовых загрязнений и транспортных заторов.

В Швеции происходит «велосипедизация» нации. Данное транспортное средство выгодно для экологии, не занимает много пространственного места города, не создает транспортных заторов и шумовых загрязнений и поддерживает здоровье населения. Около 10 % взрослых шведов и 12 % молодежи используют велосипед для поездок на учебу и работу. Три четверти велосипедистов продолжают ездить даже зимой благодаря созданной инфраструктуре.

Для сокращения использования автомобилей государство повышает на них налог, которые не удовлетворяют достаточно жестким требованиям к выбросу вредных веществ. Также получить водительские права в Швеции требует больше времени и усилий, чем во многих других странах.

В стране принята программа Vision Zero – национальная стратегия по снижению смертности и серьезных травм на дорогах. Для снижения уровня аварий на перекрестках дорог устанавливаются светофоры, строятся круговые развязки (рисунок 2.5), варьирующееся количество полос на дороге вынуждает соблюдать установленную скорость, происходит постоянная модернизация дорожной системы исходя из требований безопасности движения.

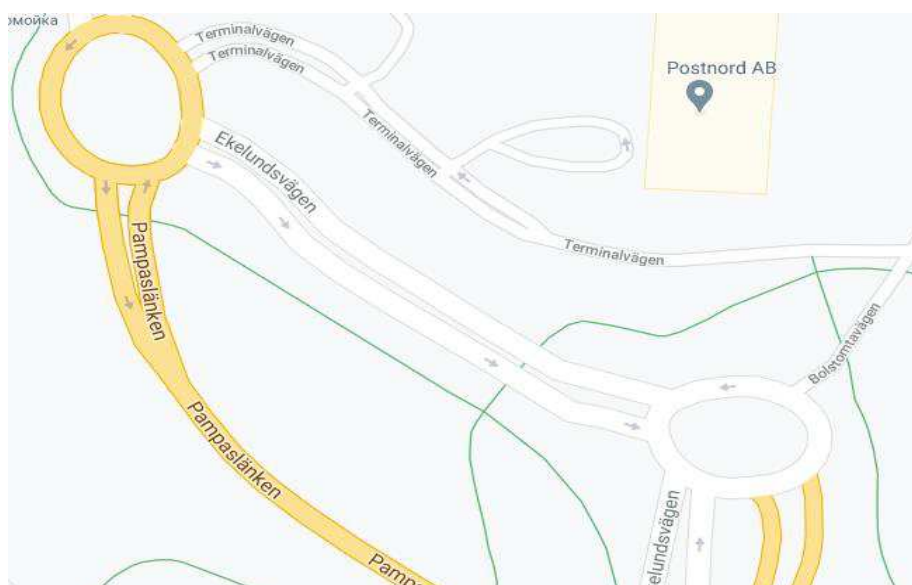


Рисунок 2.5 – Круговые развязки в Стокгольме

В Швеции государство предпринимает такие меры, которые делают общественный и устойчивый транспорт более привлекательным для населения. Например, личным автомобилем в стране пользуются в основном жители отдаленных районов, так как в городе содержать такой транспорт невыгодно, а получение водительских прав – длительная и ответственная процедура. Инфраструктура городов нацелена на развитие автобусного и велосипедного сообщения, что делает поездки на личном автомобиле длительнее, поэтому на УДС городов низкий уровень ДТП и смертности, не наблюдается транспортных заторов.

Финляндия

Начиная с 1990-х годов в Финляндии происходит стремительный рост протяженности автомобильных дорог за счет роста соединительных дорог, строительства дорог регионального значения. В данный момент протяженность уменьшается потому, что некоторые дороги перестраивают с целью их выпрямления для увеличения скорости транспортных средств (рисунок 2.6).

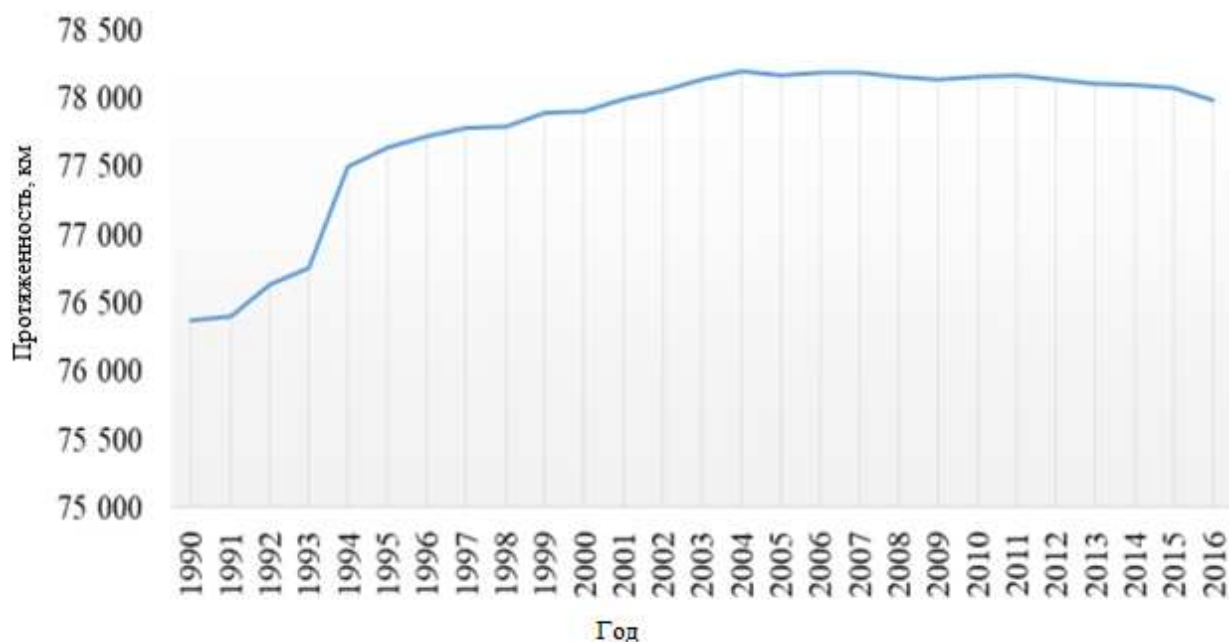


Рисунок 2.6 – Протяженность автодорог Финляндии

Протяженность автомобильных дорог общего пользования в Финляндии составляет 78,17 тысяч км, из них с усовершенствованным покрытием — около 18 тысяч км. (23 % от общей протяженности).

Наибольшее количество дорог строится в районах с наибольшей плотностью населения и наоборот. К тому же особенности климата не позволяют в полной мере осваивать территорию для автомобильных дорог, так как их содержание затратно для государства.

Уровень автомобилизации в Финляндии с 1990-х годов вырос почти на 30 % (рисунок 2.7), государство входит в рейтинг 20 самых автомобилизированных стран мира.

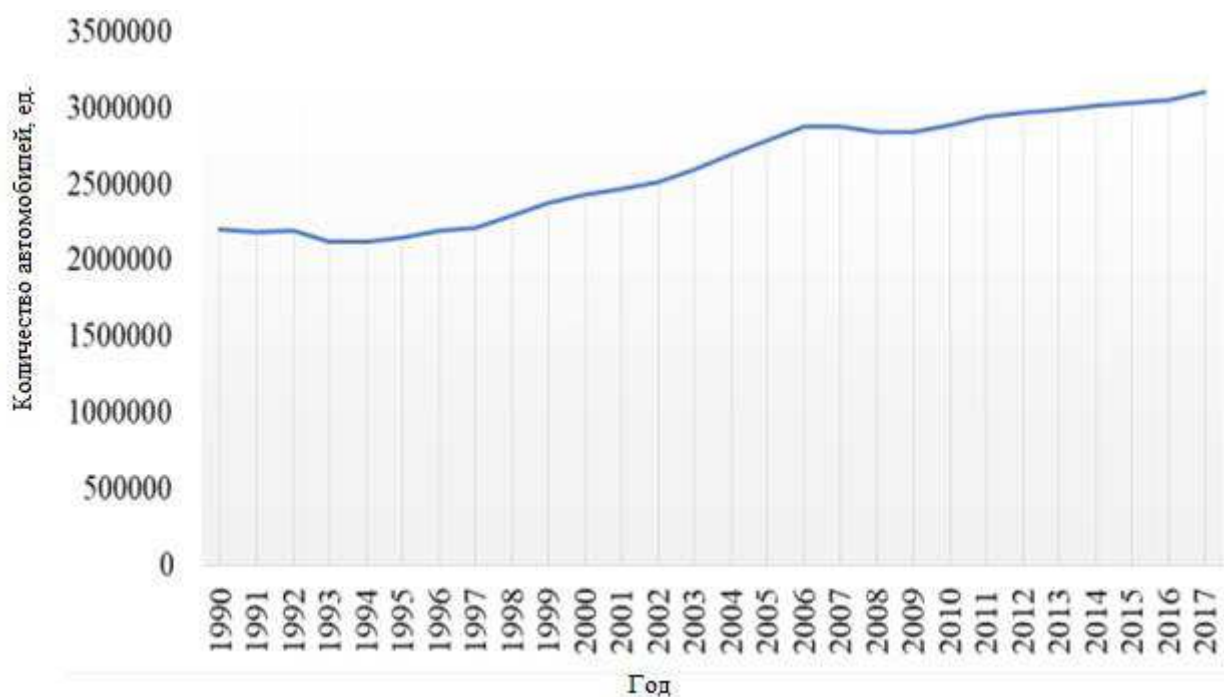


Рисунок 2.7 – Уровень автомобилизации Финляндии

Хотя система автомобильных дорог была расширена, а парк частных автомашин сильно вырос в 1960–1970-е годы, интенсивность дорожного движения в Финляндии все еще невелика по сравнению с другими скандинавскими странами.

Финляндия стремится снизить ущерб, который причиняется окружающей среде, за счет снижения количества автомобилей, развития железнодорожных и автобусных перевозок, внедрения техники, работающей на биотопливе, и, пополнения ГПТ электромобилями.

Распространен прокат автомобилей. Компании, предоставляющие такие услуги, можно найти во всех крупных городах и основных аэропортах.

Густая сеть автобусных маршрутов связывает практически все населенные пункты, служит основой внутригородского транспорта и соединяет страну с Россией, Норвегией и Швецией. Почти в каждом городе есть автовокзал. И если через этот город проложена железная дорога, то автовокзал всегда будет расположен в непосредственной близости от вокзала железнодорожного.

Отличительная черта междугородних автобусов – пунктуальность. Расписание междугородних линий составлено так, чтобы обеспечить максимальную согласованность автобусных перевозок с железнодорожным, морским и воздушным транспортом.

В Финляндии, как и в Швеции, государство стремится снизить уровень автомобилизации и улучшить экологическую ситуацию в стране. Происходит это за счет внедрения электромобилей общественного пользования и, в особенности, четкого планирования расписания различных видов транспорта и размещения их вокзалов в непосредственной близости друг от друга. Таким образом, общественный транспорт привлекает население, так как можно с высокой точностью рассчитать время прибытия в определенное место с наименьшими экономическими и временными затратами.

2.1.2 Скоростной транспорт общественного пользования (метробус)

Метробус (Bus Rapid Transit, BRT) [19] – это целый комплекс организации транспортного сообщения, который отличается более высокими технико-эксплуатационными показателями, например, показателями провозной способности, скорости и надежности функционирования городского общественного транспорта. Главная цель BRT заключается в повышении качества перевозки пассажиров ГОПТ.

Так как метро имеет ряд ограничений (сложность и большие затраты на строительство, удаленность станций), а автобус и троллейбус имеет большую доступность в городах, возрастает нагрузка на УДС. Идея BRT была заимствована у метрополитена, движение общественного транспорта осуществляется по выделенным полосам с соблюдением более точных временных интервалов в расписании.

У схем движения по выделенным полосам есть характерные особенности: транспортные средства выделяются из общего потока цветом, на полосе для них сделана разметка проезжей части, интервалы движения

сокращены. Выделенная полоса для ОТ может быть ограждена бордюром, тумбами, также полоса может быть проложена в специальном тоннеле, движение по которому может осуществляться только общественным транспортом.

При использовании системы BRT важно сократить время поездки до минимального показателя, поэтому во всем мире с приходом данной системы происходит переход на низкопольные автобусы. Данное решение во многих странах принято на законодательном уровне. Рассмотрим влияние системы BRT на некоторые ее показатели (таблица 2.1) [20, 21].

Таблица 2.1. – Влияние отдельных элементов BRT на ее эксплуатационные характеристики (данные Министерства транспорта США)

Элементы организации BRT	Преимущества				
	Сокращение времени поездки	Надежность	Узнаваемость и положительный имидж	Безопасность транспорта и людей	Провозная способность
Маршрут движения					
Степень выделения полос для движения	+	+	+	+	+
Обозначение выделенных полос			+		
Использование направляющих указателей	+		+	+	
Остановочные пункты					
Тип остановочного пункта	+		+	+	+
Высота платформы	+	+	+	+	+
Планировка платформы	+	+			+
Пропускная способность	+	+			+
Доступ на остановочный пункт			+	+	
Подвижной состав					
Конструкция автобусов	+	+	+	+	+
Эстетическое оформление			+		

Продолжение таблицы 2.1

Усовершенствование пассажирообмена	+	+	+	+	+
Силовая установка автобуса	+		+		
Оплата проезда					
Организация оплаты проезда	+	+	+		+
Форма оплаты проезда	+	+	+	+	+
АСУ движением					
Приоритетный проезд пересечений, регулируемых светофорами	+	+	+		+
Системы, помогающие водителю, автоматизация	+	+	+	+	+
Информация для пассажиров	+	+	+	+	
Технологии безопасности транспорта и пассажиров				+	
Организация руководства работой	+	+		+	+
Планирование работы и обслуживания					
Расстояние между остановочными пунктами	+	+			
Длина маршрута		+			
Точность движения	+	+		+	+
Схема маршрута	+		+		
Интервал движения		+			

Многие элементы организации системы BRT имеют такие преимущества, которые не может предоставить общественный транспорт, осуществляющий движение не по выделенным полосам (т. е. без отсутствия организации перевозок по стандартам BRT).

Существует стандарт BRT, с помощью которого сертифицируются системы BRT по четырем уровням: золотому (85–100 баллов), серебряному (70–84,9), бронзовому (55–69,9) и базовому соответствию. Оценка производится с помощью таблицы баллов (таблица 2.2), максимальный балл – 100. Начисленные баллы (также могут вычитаться) должны быть одобрены Техническим комитетом, а также обследованы в часы пик в трех самых загруженных остановках на маршрутном перегоне.

Таблица 2.2. – Баллы за соответствие Стандарту BRT

Категория	Максимальный балл
Базовые компоненты BRT	38 (всего)
Выделенная проезжая часть	8
Правильное размещение автобусного коридора	8
Внебортная система оплаты проезда	8
Приоритет на перекрестках	7
Посадка на уровне платформы	7
Планирование перевозок	19 (всего)
Множество маршрутов	4
Экспресс-маршруты, маршруты с ограниченным числом остановок и местные маршруты	3
Центр управления	3
Входит в десятку самых востребованных коридоров города	2
Профиль спроса	3
Часы работы	3
Многокоридорная сеть	2
Инфраструктура	13 (всего)
Полосы обгона при станциях БРТ	3
Сокращение выбросов от автобусного транспорта	3
Удаленность станций от перекрестков	3
Осевое размещение станций	2
Качество дорожного покрытия	2

Окончание таблицы 2.2

Станции	10 (всего)
Расстояние между станциями	2
Безопасность и комфортность станций	3
Количество дверей у автобусов	3
Остановочные карманы и секционные станции	1
Раздвижные двери на станциях БРТ	1
Коммуникация	5 (всего)
Создание бренда	3
Информирование пассажиров	2
Доступность и интеграция	15 (всего)
Всеобщая доступность	3
Интеграция с другими видами общественного транспорта	3
Пешеходная доступность и безопасность	4
Безопасная велопарковка	2
Велосипедные дорожки	2
Интеграция с услугами проката велосипедов	1
Баллы, вычитаемые за операционные аспекты перевозок	63 (всего)
Эксплуатационная скорость	10
Пиковый спрос менее 1 000 пассажиров в час в каждом направлении	5
Недостаток контроля за соблюдением требований отдельного пользования проезжей частью	5
Значительный зазор между входом в автобус и платформой станции БРТ	5
Переполненность	5
Плохое техническое состояние инфраструктуры	14
Низкая частота движения в часы пик	3
Низкая частота движения в непиковые часы	2
Допущение небезопасного движения велосипедов	2
Отсутствие данных о безопасности движения	2
Движение других автобусов параллельно коридору БРТ	6
Образование скоплений автобусов	4

Для присвоения статуса BRT перегону необходимо отвечать минимальным требованиям стандарта:

- протяженность маршрута должна составлять не менее 3 км с выделенными полосами;
- должно быть не менее 4 баллов за категорию «Выделенная проезжая часть»;
- должно быть не менее 4 баллов за категорию «Правильное размещение автобусного коридора»;
- должно быть не менее 20 баллов в общей сложности по всем базовым компонентам стандарта.

Одним из лучших примеров системы BRT является система г. Ичан, Китай (рисунок 2.8).



Рисунок 2.8 – Система BRT г. Ичан

Протяженность коридора составляет 23 км, в день по данному перегону перемещается около 240 тысяч пассажиров. Чем характерна данная система: организованы уникальные полосы обгона, которые позволяют множеству маршрутов пользоваться инфраструктурой коридора BRT.

BRT позволяет общественному транспорту организовать работу с огромными потоками без потерь времени, городского пространства, но добиться такого результата сложно и, в некоторых случаях, крайне затратно. Тем не менее, преимущества данной системы значительны и оправдывают финансовые издержки.

3 Организация выделенных полос

3.1 Критерии выделенных полос

В зарубежной практике встречаются такие сетевые критерии, как буферный индекс и буферное время или временной буфер [22–26]. Данные параметры приобрели широкое применение для оценки качества организации дорожного движения во многих странах.

Временной индекс (Travel time index) TTI – это отношение времени, которое затрачивается транспортным средством на прохождение участка улично-дорожной сети в пиковые периоды ко времени в пути при условиях свободного потока:

$$TTI = \frac{T_{PP}}{T_{FF}}, \quad (3.1)$$

где T_{PP} – время, затрачиваемое транспортным средством на прохождение участка в условиях часа пик, мин;

T_{FF} – это время, затрачиваемое транспортным средством на прохождение участка в условиях свободного движения, мин.

Временной индекс TTI достаточно просто определяется математически и позволяет оценивать влияния высокой загрузки на условия движения на городских и загородных дорогах.

Область применения временного индекса:

- оценка влияния высокой загрузки на условия движения на сегментах городских улиц и дорог;

- оценка влияния транспортной загрузки сети на затраты времени на передвижение по этой сети;
- сопоставительный анализ дорожных условий и качества организации дорожного движения (ОДД) в разных городах или разных районах города;
- оценка влияния высокой загрузки на условия движения на загородных дорогах (подъезд к городам, объезд городов, магистральные автомобильные дороги).

Условия движения на сегментах городских улиц и дорог (протяженность сегмента до 2 км), а также качество организации дорожного движения на них оценивают в соответствии с приведенной ниже таблицей 3.1.

Таблица 3.1 – Оценка условий движения на сегментах городских улиц и дорог.

Уровень обслуживания	Значение временного индекса <i>TTI</i>	Условия движения
A	<1,2	В пиковые периоды не наблюдается ухудшение условий движения, отличные условия движения.
B	1,21–1,3	В пиковые периоды наблюдается незначительное ухудшение условий движения.
C	1,31–1,5	В пиковые периоды наблюдается ухудшение условий движения.
D	1,51–2	В пиковые периоды наблюдается значительное ухудшение условий движения, удовлетворительные условия движения.
E	>2,1	В пиковые периоды сегмент функционирует ненадежно. Возможны заторы, плохие условия движения.

Взвешенное значение временного индекса для города или его района определяется как:

$$TTI_i = \frac{\sum_{i=1}^{i=n} (v_i l_i)}{\sum_{i=1}^{i=n} v_i l_i}, \quad (3.2)$$

где TTI_i – значение временного индекса на сегменте i ;

v_i – интенсивность движения на сегменте в рассматриваемом направлении движения, авт/ч;

l_i – длина сегмента i , км;

n – количество исследуемых сегментов.

Меньшие значения временного индекса соответствуют лучшему функционированию улично-дорожной сети и более высокому качеству организации дорожного движения.

Необходимо принимать во внимание тот факт, что на взвешенные значения временного индекса TTI оказывают влияние размеры города и численность его населения. Диапазоны значений временного индекса для городов с разной численностью населения сведены в таблицу 3.2 (приведена статистика США за 2011 г.).

Таблица 3.2 – Значения временного индекса в городах с разной численностью населения

Население города	Значения временного индекса	
	TTI максимальное	TTI минимальное
Более 3 млн. чел	1,37	1,18
От 1–3 млн. чел	1,32	1,13
От 0,5–1 млн. чел	1,36	1,08
Менее 0,5 млн. чел	1,15	1,04

Оценка условий движения на участках автомобильных дорог (подъезды к городам, объезды городов, магистральные автомобильные дороги), а также качество организации дорожного движения на них производится согласно таблице 3.3.

Таблица 3.3 – Оценка условий движения на участках магистральных автомобильных дорог

Уровень обслу- живания	Значение временного индекса <i>ТТИ</i>			Условия движения
	Протяженность участка, км			
	< 5	25	50	
A	<1,2	<1,2	<1,2	В пиковые периоды не наблюдается ухудшение условий движения, отличные условия движения.
B	1,2–1,3	1,2–1,3	1,2–1,3	В пиковые периоды наблюдается незначительное ухудшение условий движения.
C	1,3–1,5	1,3–1,45	1,3–1,4	В пиковые периоды наблюдается ухудшение условий движения.
D	1,5–2	1,45–1,6	1,4–1,5	В пиковые периоды наблюдается значительное ухудшение условий движения, удовлетворительные условия движения.
E	>2	>1,6	>1,5	В пиковые периоды дорога функционирует ненадежно. Возможны заторы, плохие условия движения.

Для расчета значения временного индекса *ТТІ* для сегмента городской улицы или дороги, а также загородной дороги необходимо произвести запись треков в часы пик и в периоды низкой загрузки движением (то есть тогда, когда наблюдаются свободные условия движения).

В условиях города характерно наличие двух суточных пиков, таким образом, для обследования выбирается такой пиковый период, который имеет на данном сегменте максимальную интенсивность.

Для того, чтобы понять индекс времени поездки, необходимо связать его значение с процентом. Таким образом, если значение ТТІ равно 1, то тогда среднее время прохождения равно времени свободного пробега, что означает отсутствие задержки.

Если значение ТТІ равно 1,5, то фактическое время движения составляет 150 процентов от свободного времени потока, или это занимает в 1,5 раза больше времени на перемещение сегмента, чем это было бы при неперегруженных условиях. Для этого анализа было принято, что показатель времени движения не может быть меньше 1, что происходит, когда средняя скорость превышает ограничение скорости.

Буферное время оценивается как дополнительные затраты времени T_b , необходимые для достижения цели передвижения с заданной надёжностью, к примеру, с надёжностью 90 % или 95 % (см. рисунок 3.1). Соответственно T_b определяется как разность:

$$T_b = T_{90\%(95\%)} - \bar{T}, \quad (3.3)$$

где $T_{90\% (95\%)}$ – продолжительность передвижения с 90% или 95% обеспеченности;

$\bar{T}$ – это средняя продолжительность передвижения.

Сопряженный с T_b относительный показатель – буферный индекс можно найти по формуле 3.4:

$$I_b = \frac{T_b}{\bar{T}} \cdot 100\%, \quad (3.4)$$

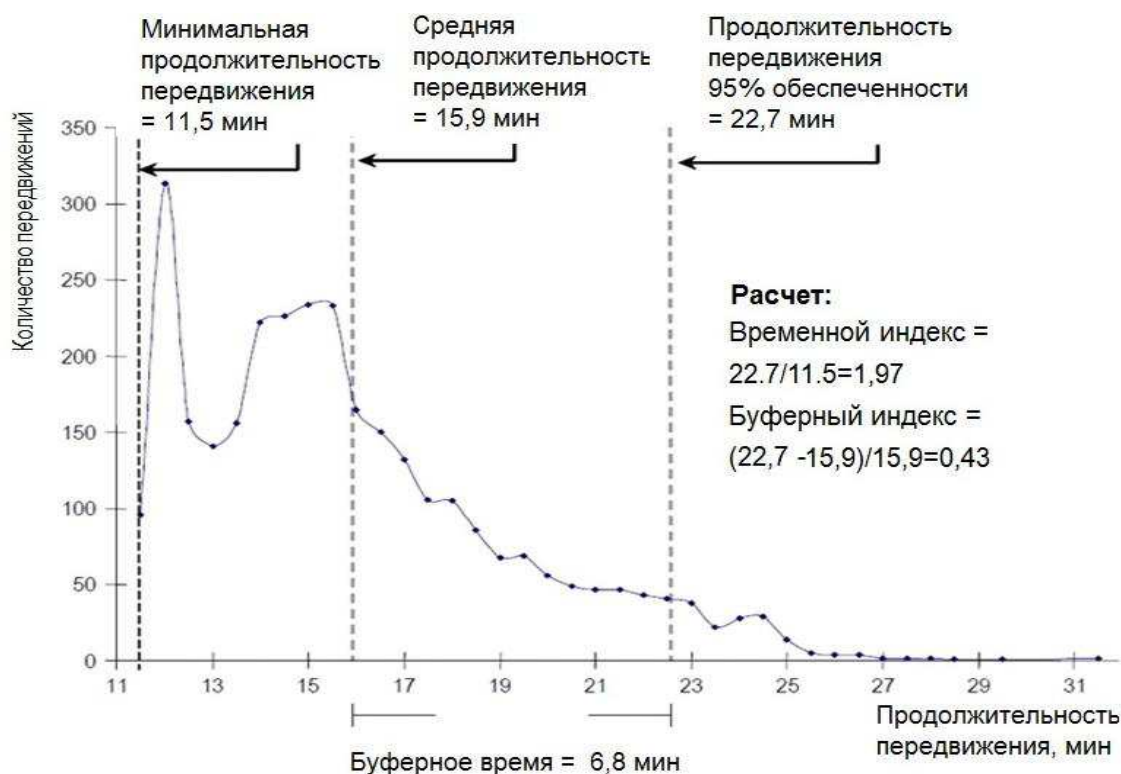


Рисунок 3.1 – Оценка буферного индекса I_b и буферного времени T_b

Данные показатели характеризуют надежность функционирования городской улично-дорожной сети или дорожной сети. При этом буферное время T_b может применяться (используя стоимость пассажира-часа, машино-часа и т.д.) для оценки экономических издержек, которые должен нести пользователь (водитель либо пассажир) в виде дополнительных затрат времени в результате ненадежности функционирования транспортной системы.

Поскольку в Российской Федерации еще не накоплена репрезентативная статистика значений буферного индекса, воспользуемся ранее разработанной шкалой оценки надежности, которая была получена на основе обследований автобусных маршрутов (обследования ИрНИТУ: Иркутск, Ангарск, Бийск), см. таблицу 3.4.

Таблица 3.4 – Оценки надежности

Значение буферного индекса I_b , %	Оценка надежности
<10	высокая
10–30	приемлемая
30–50	низкая
>50	очень низкая

Область применения показателя буферный индекс I_b :

- оценка надежности функционирования городских магистральных улиц и дорог;
- оценка надежности функционирования маршрутов городского общественного пассажирского транспорта;
- оценка надежности функционирования автомобильных дорог с высокой интенсивностью движения (подходы к городам, обходы городов, магистральные автомобильные дороги).

Областью применения показателя буферное время T_b является экономическая оценка издержек, которые должен нести водитель или пассажир в результате ненадежности функционирования транспортной системы.

Методика проведения обследований и обработки данных заключается в определении значений с помощью выборки треков, при условии, что некоторая часть треков должна быть записана в условиях свободного движения, то есть тогда, когда уровень загрузки исследуемого участка дорожной сети составляет 10–20 %.

Средняя продолжительность передвижения рассчитывается по формуле:

$$\bar{T} = \frac{\sum_{i=1}^{i=m} T_i}{m}, \quad (3.5)$$

Стандартное отклонение рассчитывается по формуле:

$$S = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^{i=m} (T_i - \bar{T})^2}{m}}, \quad (3.6)$$

Продолжительность поездки 95% рассчитывается по формуле:

$$T_{95\%} = \bar{T} + 1,96S, \quad (3.7)$$

Буферное время рассчитывается по формуле:

$$T_b = 1,96S, \quad (3.8)$$

Буферный индекс определим по формуле:

$$I_b = \frac{T_b}{\bar{T}} 100\%, \quad (3.9)$$

С помощью таких показателей, как: буферное время T_b , буферный индекс I_b , временной индекс ТТИ можно произвести оценку функционирования городского общественного пассажирского транспорта и выявить преимущества и недостатки улично-дорожной сети и провести соответствующие мероприятия по повышению качества передвижений.

3.2 Пример расчета

Был обследован маршрут МУП «Иркутскавтотранс»: №8 «Н.И.ТЭЦ-м/р Зелёный» [27] с помощью программной платформы с web-интерфейсом для спутникового мониторинга транспорта, под названием Wialon [28].

Впервые данная программа была представлена в России на выставке Навитех-Экспо 2009. Разработан Wialon компанией Gurtam, республика Беларусь. На рисунке 3.2 представлен интерфейс Wialon, вкладка «мониторинг».

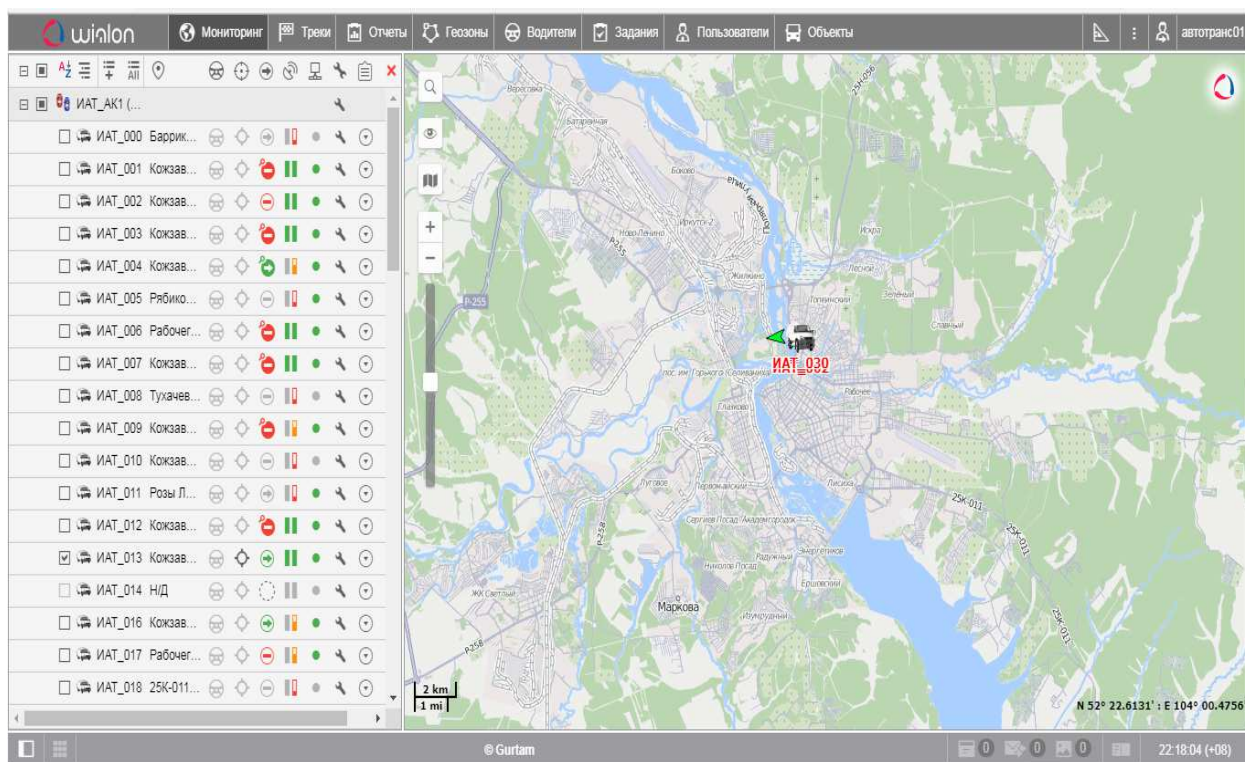


Рисунок 3.2 – Интерфейс программы Wialon

С помощью вкладки «отчеты» определим время выезда и время заезда всех автомобилей, которые отработали в определенный день. С помощью полученных данных найдем буферное время T_b , буферный индекс I_b , временной индекс TTI и сделаем вывод о функционировании автобусного маршрута, на основе чего можно предложить мероприятия по улучшению качества обслуживания на участках улично-дорожной сети города.

В данное время на маршруте № 8 «Н.И.ТЭЦ-м/р Зелёный» работает низкопольные автобусы марки «МАЗ-103». Протяженность маршрута в прямом направлении составляет примерно 22 км, а в обратном – 19 км. Данный маршрут был открыт в 1952 году на основании решения городского совета. На рисунке 3.3 представлен маршрут № 8 с остановками.

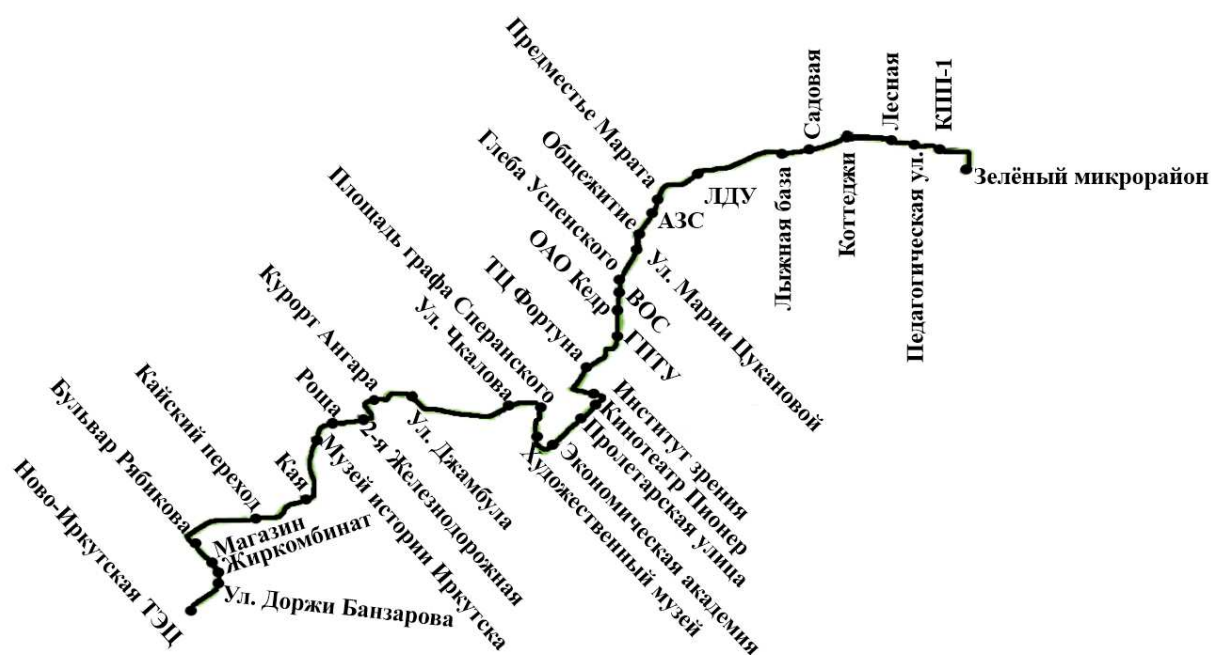


Рисунок 3.3 – Городской автобусный маршрут №8 «Н.И.ТЭЦ-м/р Зелёный»

Для исследования рассмотрены 2 будних дня – 22 и 24 апреля и один выходной день – 28 апреля 2019 года. 22 апреля на маршруте № 8 работало 13 автомобилей, 24-го – 12, а 28-го – всего 6 автобусов. По каждому дню произведем ранжирование времени выезда и заезда по прямому и обратному направлению (см. таблицы 3.5–3.10).

Таблица 3.5 – Результаты исследования маршрута № 8 22 апреля (прямое направление)

Время выезда	Время заезда	Время в пути, мин
5:54:12	6:45:04	51
6:09:41	7:01:24	52
6:23:26	7:28:18	65
6:33:37	7:23:39	50
6:42:33	7:39:46	57
7:10:14	8:10:46	61
7:53:13	8:59:53	66
8:13:40	9:19:26	66
8:44:54	9:53:33	69
8:56:30	9:54:59	58
9:04:20	10:00:50	57
10:24:03	11:23:27	59
11:17:51	12:10:03	52

Окончание таблицы 3.5

Время выезда	Время заезда	Время в пути, мин
11:35:25	12:41:27	66
11:46:12	12:45:14	59
12:13:34	13:19:13	66
12:23:45	13:24:28	61
13:00:07	14:01:16	61
13:44:32	14:44:26	60
14:00:35	14:55:36	55
14:46:49	15:47:49	61
15:44:03	16:40:47	57
15:53:13	16:45:44	53
16:21:22	17:27:48	66
17:12:17	18:32:55	81
17:25:46	18:41:44	76
17:58:46	19:06:09	67

Таблица 3.6 – Результаты исследования маршрута № 8 22 апреля (обратное направление)

Время выезда	Время заезда	Время в пути, мин
6:49:40	7:42:42	53
7:03:27	8:06:59	64
7:11:40	8:09:54	58
7:31:37	8:38:50	67
7:40:35	8:41:16	61
7:45:40	8:49:19	64
8:18:59	9:21:21	62
9:05:33	9:53:45	48
9:25:29	10:09:14	44
9:59:15	11:03:32	64
10:09:56	10:49:40	40
10:16:58	11:04:27	47
11:31:32	12:23:02	52
12:23:45	13:11:35	48
12:44:05	13:36:07	52
12:46:01	13:53:07	67
13:29:06	14:24:47	56
13:36:39	14:30:07	53
14:12:43	15:02:46	50
14:52:04	15:42:08	50
15:06:10	16:49:09	103
16:55:03	17:46:07	51
17:05:02	17:53:53	49
17:14:21	18:06:45	52
17:36:52	18:35:20	58
18:34:14	19:17:24	43
18:48:27	19:31:34	43

Таблица 3.7 – Результаты исследования маршрута № 8 24 апреля (прямое направление)

Время выезда	Время заезда	Время в пути, мин
5:54:35	6:47:11	53
6:09:31	7:08:13	59
6:23:20	7:16:17	53
6:34:56	7:22:23	47
6:42:02	7:39:13	57
7:57:25	9:10:36	73
8:14:46	9:22:05	67
8:57:35	9:53:39	56
9:08:02	10:07:02	59
11:10:38	12:06:55	56
11:22:30	12:31:35	69
13:23:29	14:18:15	55
13:49:46	14:46:13	56
15:28:36	16:29:14	61
15:54:38	16:46:28	52
17:17:52	18:28:47	71
17:50:51	19:10:31	80
18:19:30	19:28:00	69

Таблица 3.8 – Результаты исследования маршрута № 8 24 апреля (обратное направление)

Время выезда	Время заезда	Время в пути, мин
6:53:45	7:52:11	58
7:08:26	8:10:31	62
7:31:28	8:42:13	71
7:42:46	8:52:21	70
7:47:35	8:57:29	70
9:12:43	10:08:53	56
10:02:07	10:48:07	46
12:14:39	12:57:42	43
12:36:10	13:29:45	54
14:24:05	15:09:24	45
14:58:12	15:52:28	54
16:29:55	17:27:55	58
17:04:59	17:52:47	48
18:34:22	19:26:28	52
19:13:57	19:54:06	40
19:33:42	20:09:31	36

Таблица 3.9 – Результаты исследования маршрута № 8 28 апреля (прямое направление)

Время выезда	Время заезда	Время в пути, мин
6:09:55	7:02:22	52
6:38:20	7:21:40	43
7:53:31	8:36:36	43
8:07:29	8:50:57	43

Окончание таблицы 3.9

Время выезда	Время заезда	Время в пути, мин
8:35:45	9:25:50	50
9:41:39	10:29:27	48
9:57:33	10:42:03	45
10:28:40	11:17:08	48
11:18:11	12:24:46	67
11:53:06	12:43:35	50
12:21:27	13:11:24	50
13:30:12	14:27:01	57
13:46:34	14:37:01	50
14:11:40	15:08:31	57

Таблица 3.10 – Результаты исследования маршрута № 8 28 апреля (обратное направление)

Время выезда	Время заезда	Время в пути, мин
7:05:30	7:51:14	46
7:16:30	7:55:51	39
7:34:21	8:30:24	56
8:43:03	9:27:17	44
8:58:14	9:37:22	39
9:30:02	10:13:38	44
10:30:27	11:16:44	46
10:51:31	11:31:19	40
11:24:17	12:08:56	45
12:29:26	13:15:40	46
12:47:37	13:27:43	40
13:19:47	14:02:57	43
14:28:52	15:20:06	51
14:46:39	15:28:43	42
15:13:42	15:59:19	46

На основании полученных данных произведем расчеты по формулам 3.1–3.9 и занесем вычисления в таблицу 3.11.

Таблица 3.11 – Результаты вычислений буферного и временного индексов на маршруте №8

Число	Направление	I _б , буферный индекс	ТТИ, временной индекс	Вывод о надежности
22.04	прямое	23,18	1,62	приемлемая надежность, в пиковые периоды наблюдается значительное ухудшение условий движения.

Окончание таблицы 3.11

	обратное	42,24	2,58	низкая надежность, в пиковые периоды сегмент функционирует ненадежно. Возможны заторы.
24.04	прямое	27,51	1,70	приемлемая надежность, в пиковые периоды наблюдается значительное ухудшение условий движения
	обратное	37,75	1,97	низкая надежность, в пиковые периоды наблюдается значительное ухудшение условий движения
28.04	прямое	24,91	1,56	приемлемая надежность, в пиковые периоды наблюдается значительное ухудшение условий движения
	обратное	19,51	1,44	приемлемая надежность, в пиковые периоды наблюдается ухудшение условий движения

Далее построим эпюру распределения автобусов по времени работы (см. рисунок 3.4–3.6).

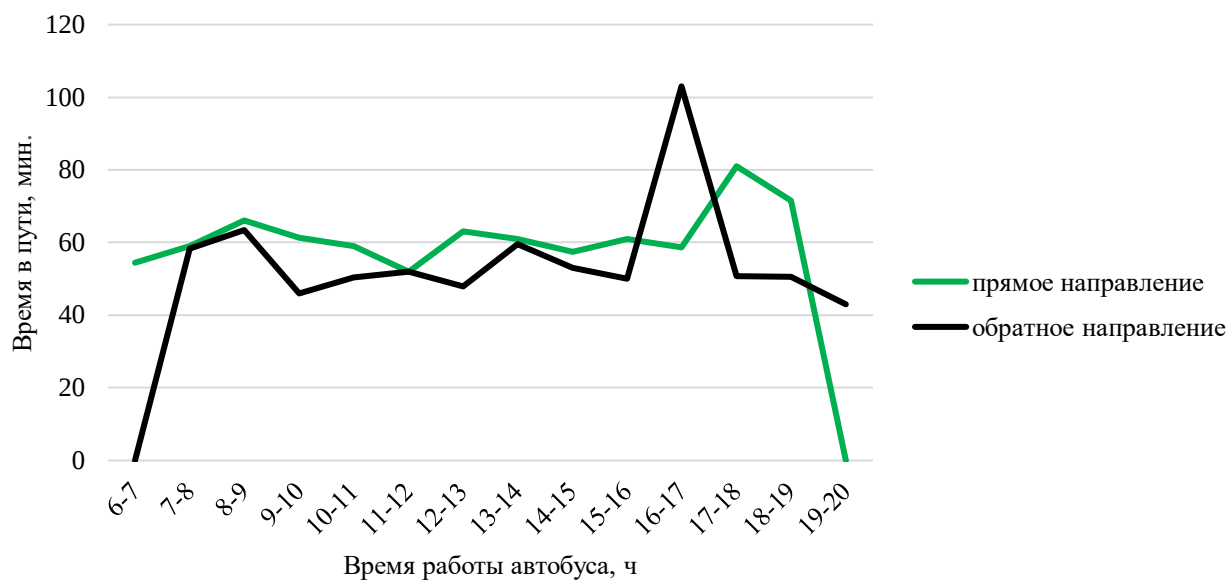


Рисунок 3.4 – Распределение автобусов маршрута №8 по времени работы 22 апреля

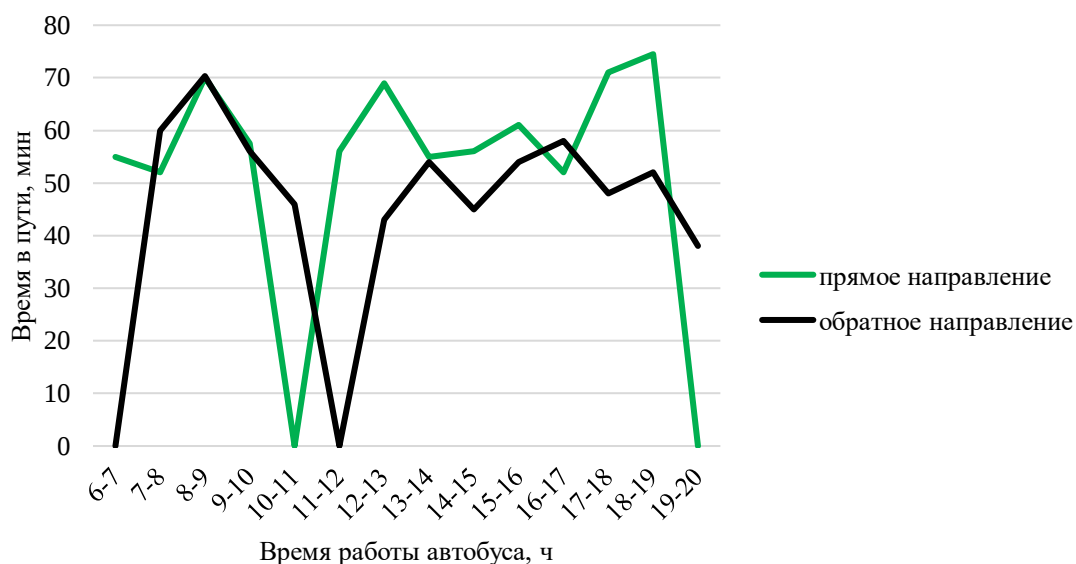


Рисунок 3.5 – Распределение автобусов маршрута №8 по времени работы 24 апреля

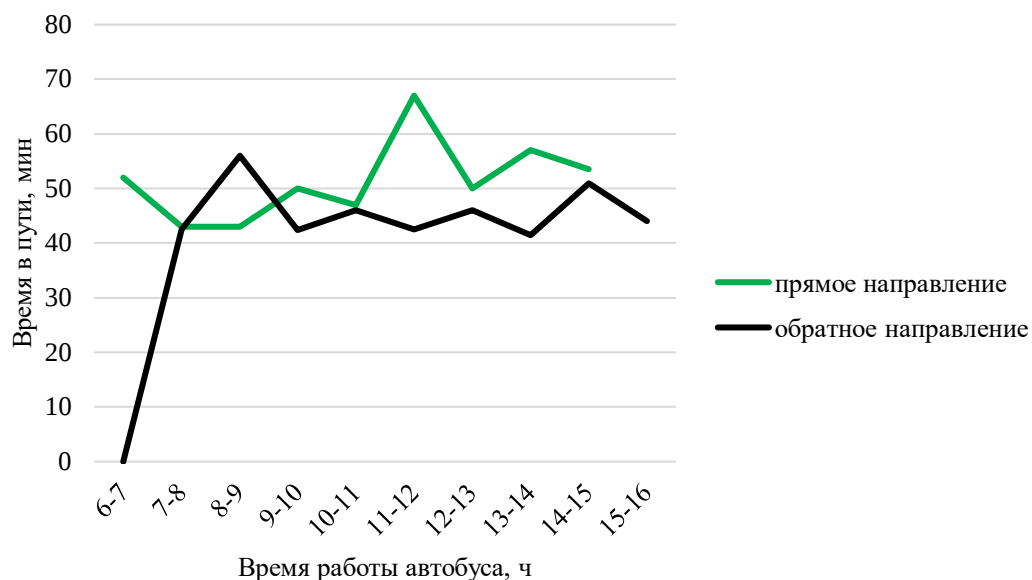


Рисунок 3.6 – Распределение автобусов маршрута №8 по времени работы 28 апреля

С помощью таблицы 3.11 построим графики буферного и временного индексов. На рисунке 3.7 приведен график буферного индекса.

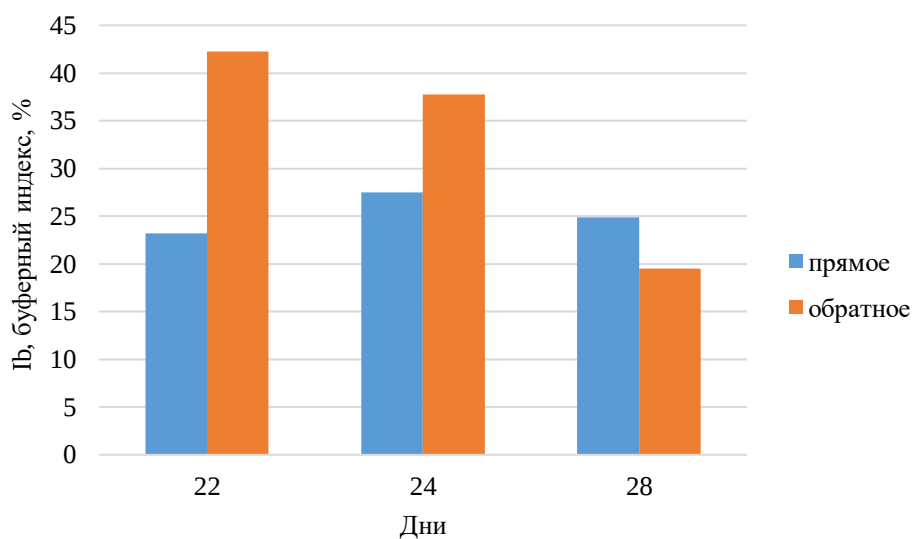


Рисунок 3.7 – График буферного индекса маршрута №8

На рисунке 3.8 приведен график временного индекса.

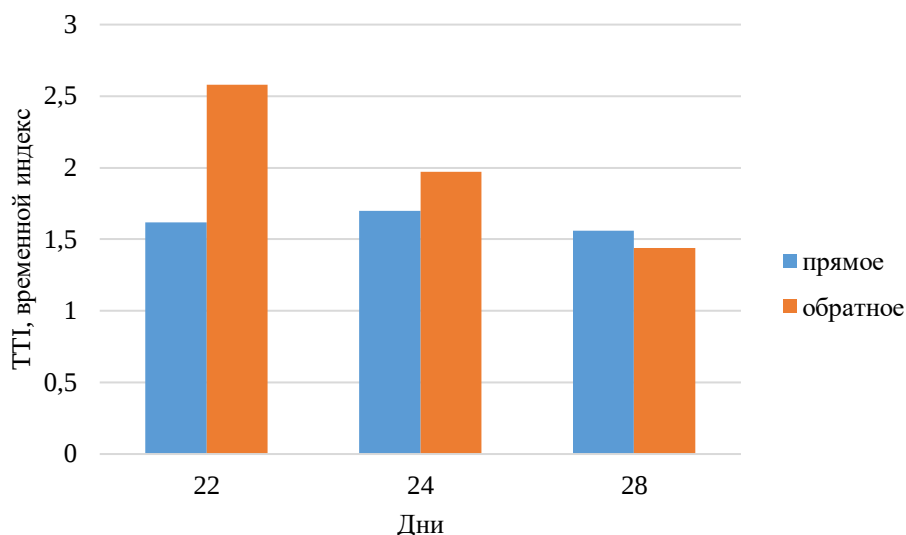


Рисунок 3.8 – График временного индекса маршрута №8

Оценка маршрута №8 на основании проведенного анализа:

- Среднее значение временного индекса в прямом направлении составляет 1,63, а в обратном направлении – 1,9, что говорит о удовлетворительных условиях движения, уровень D;
- Есть существенные отличия между движением в будние и выходной дни;
- При движении в будние дни в прямом направлении основное снижение скорости происходит на таких остановках маршрута, как: остановка Джамбула, остановка Курорт Ангара, улица Чкалова;
- При движении в будние дни в обратном направлении основное снижение скорости происходит на таких остановках маршрута, как: улица Карла Маркса, улица 2-я Железнодорожная;
- При движении в выходной день в прямом направлении основное снижение скорости происходит на таких остановках маршрута, как: остановка Курорт Ангара;
- При движении в выходной день в обратном направлении основное снижение скорости происходит на таких остановках маршрута, как: улица Карла Маркса, улица 2-я Железнодорожная;

- Наиболее проблематичными часами для движения являются: в будние дни по прямому направлению с 8 до 9, с 12 до 13, с 17 до 19; в будние дни по обратному направлению с 8 до 9, с 12 до 13, с 16 до 17; в выходной день по прямому направлению с 11 до 13, с 13 до 14; в выходной день по обратному направлению с 8 до 9, с 14 до 15.

3.3 Оценка целесообразности выделенных полос

В работе Якимова Р.М. [29] для каждого ТС, который движется в определенном направлении, вводятся описательные обозначения:

- u – индивидуальное транспортное средство;
- o – транспортное средство ГПТОП.

Технические характеристики:

w_u – заполненность единицы подвижного состава индивидуального транспорта, чел/ТС.;

w_o – заполненность единицы подвижного состава ГПТОП, чел/ТС.

Характеристиками исследуемого участка УДС являются:

- n – количество полос движения в одном направлении;
- q_u – интенсивность движения индивидуального транспорта, ТС/ч;
- q_o – интенсивность движения ГПТОП, ТС/ч;
- $q_{\max}$ – пропускная способность полосы движения исследуемого участка, ТС/ч;
- t_0 – время прохождения заданного участка в свободной сети, с.

3.3.1 Экономическая эффективность работы участка УДС

В методических рекомендациях Якимова Р.М. [30] предложено считать целесообразным выделение полос для движения маршрутных транспортных средств на участках УДС только при условии удовлетворения одновременно двух условий:

- ограничение по экономической эффективности работы участка УДС;

- ограничение по провозной способности участка улично-дорожной сети.

В методических рекомендациях по оценке пропускной способности автомобильных дорог различают шесть уровней обслуживания движения на дороге, которые приведены в таблице 3.12.

Таблица 3.12 – Уровни обслуживания движения на дороге

Уровень обслуживания движения	Козф. загрузки	Характеристика потока автомобилей	Состояние потока	Экономическая эффективность работы дороги
A	$<0,2$	Автомобили движутся в свободных условиях, взаимодействие ТС отсутствует	Свободное движение одиночных ТС с большой скоростью	Неэффективная
B	$0,2-0,45$	ТС движутся группами, совершается много обгонов	Движение ТС малыми группами (2–5 автомобилей), возможны обгоны	Малоэффективная
C	$0,45-0,7$	В потоке еще существуют большие интервалы между автомобилями, обгоны запрещены	Движение большими группами (5–14 автомобилей), затруднение обгона ТС	Эффективная
D	$0,7-0,9$	Сплошной поток ТС, движущихся с малыми скоростями	Колонное движение ТС с малой скоростью, обгоны невозможны	Неэффективная
E	$0,9-1$	Поток движется с остановками, возникают заторы	Плотное	Неэффективная
F	>1	Полная остановка движения, заторы	Сверхплотное	Неэффективная

То есть для достаточно эффективной работы дороги необходимо создать такие условия движения на УДС, при которых будет достигаться уровень

обслуживания В и С, следовательно, коэффициент загрузки дороги должен быть в интервале 0,2–0,7.

При коэффициенте загрузки дороги более 0,7 работа УДС недостаточно эффективна, поэтому на таких участках дороги с уровнем обслуживания D, E, F целесообразно выделение полос для движения городского общественного транспорта.

Ограничение по экономической эффективности работы участка УДС:

$$q_u + k \cdot q_o > 0,7 \cdot q_{\max}, \quad (3.10)$$

Необходимо определенный участок УДС исследовать на ограничение по экономической эффективности, а затем по провозной способности данного участка.

3.3.2 Провозная способность участка УДС

Ограничения провозной способности участка УДС сводятся к оценке временных затрат на прохождение определенного участка дороги индивидуальным и общественным транспортом для двух вариантов организации дорожного движения:

- при движении всех ТС в общем потоке;
- при выделении полосы для движения городского пассажирского транспорта общего пользования.

Наибольшая провозная способность будет наблюдаться в том случае, при котором временные затраты будут наименьшими.

Зависимость актуального времени прохождения участка от загрузки участка:

$$t_{akt} = t_0 \cdot \left[1 + a \left(\frac{q_u + k \cdot q_o}{n \cdot q_{\max} \cdot c} \right)^b \right], \quad (3.11)$$

где t_{akt} – актуальное время прохождения заданного участка в загруженной сети, с;

k – коэффициент приведения единиц общественного транспорта к легковым автомобилям;

q_{max} – пропускная способность полосы движения исследуемого участка, ТС/ч;

q_u – интенсивность движения индивидуального транспорта, ТС/ч;

q_o – интенсивность движения ГПТОП, ТС/ч;

n – количество полос движения в одном направлении;

a, b, c – параметры модели движения транспортного потока (по умолчанию значения равны 1, 2, 1 соответственно).

В случае, когда движение по всем полосам проезжей части общее как для ОТ, так и для ИТ, зависимость актуального времени прохождения участка от загруженности участка, с учетом специфики движения в крупном городе:

$$t_{akt} = t_0 \cdot \left[1 + a \left(\frac{q_u + k \cdot q_o}{n \cdot q_{max} \cdot c} \right)^2 \right], \quad (3.12)$$

Тогда общее время задержки T_1 для всех участников движения:

$$T_1 = (q_u \cdot w_u + q_o \cdot w_o) \cdot (t_{akt} - t_0), \quad (3.13)$$

где w_u – средняя наблюдаемая на участке УДС вместимость легкового транспорта, чел/ТС, $w_u=1,4$;

w_o – вместимость единицы подвижного состава ГПТОП, чел/ТС:

$$w_o = \frac{\sum_{i=1}^n (q_i \cdot w_i)}{\sum_{i=1}^n q_i}, \quad (3.14)$$

где i – вид ГПТОП;

q_i – интенсивность движения ГПТОП i -го вида, ТС/ч;

w_i – вместимость единицы подвижного состава ГПТОП i -го вида, чел/ТС.

В случае, когда крайняя правая полоса выделена только для движения городского общественного транспорта, а остальные полосы – для общего движения остального транспортного потока, актуальное время движения общий транспортный поток на исследуемом участке УДС:

$$t_{akt1} = t_0 \cdot \left[1 + \left(\frac{q_u}{(n-1) \cdot q_{\max}} \right)^2 \right], \quad (3.15)$$

Тогда актуальное время движения по выделенной полосе ОТ:

$$t_{akt2} = t_0 \cdot \left[1 + \left(\frac{q_0 \cdot k}{q_{\max}} \right)^2 \right], \quad (3.16)$$

Общее время задержки для всех участников движения:

$$T_2 = q_u \cdot w_u \cdot (t_{akt1} - t_0) + q_0 \cdot w_0 \cdot (t_{akt2} - t_0), \quad (3.17)$$

Таким образом, в методических рекомендациях Якимова Р.М. приведены ограничения по провозной способности участка УДС: если результат разности T_1 и T_2 принимает отрицательное значение, то в таком случае выделение полосы для движения общественного транспорта нерационально; если результат разности T_1 и T_2 принимает положительное значение, выделение полосы для движения общественного транспорта оправдано.

Из вышесказанного следует, что при удовлетворительной экономической эффективности работы участка УДС, необходимо проверить условия провозимой способности дороги. Если оба условия являются приемлемыми, то выделение полосы для ГОПТ рационально, в противном случае – не имеет смысла.

3.4 Схемы выделенных полос

В начале 2020 года был введен национальный стандарт РФ «Технические средства организации дорожного движения. Правила применения дорожных знаков, разметки, светофоров, дорожных ограждений и направляющих устройств» [31], в котором были предложены схемы выделенных полос (рисунок 3.9–3.12).

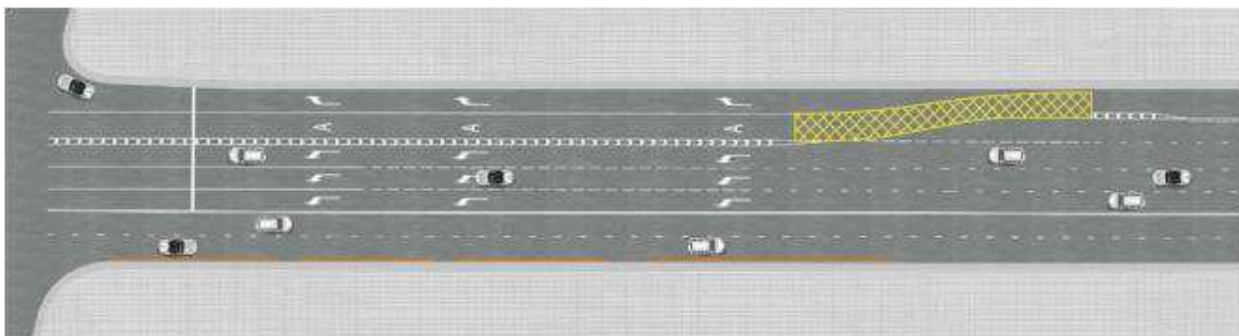


Рисунок 3.9 – Организация выделенной полосы при перестроении

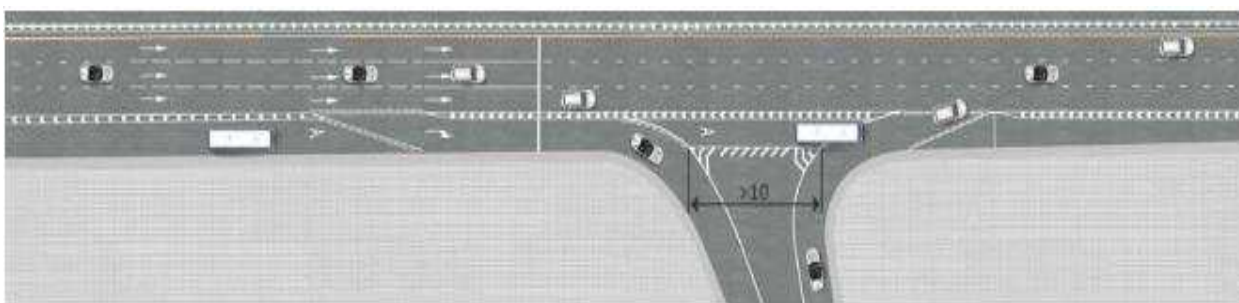


Рисунок 3.10 – Организация выделенной полосы при длине направляющего островка более 10 метров

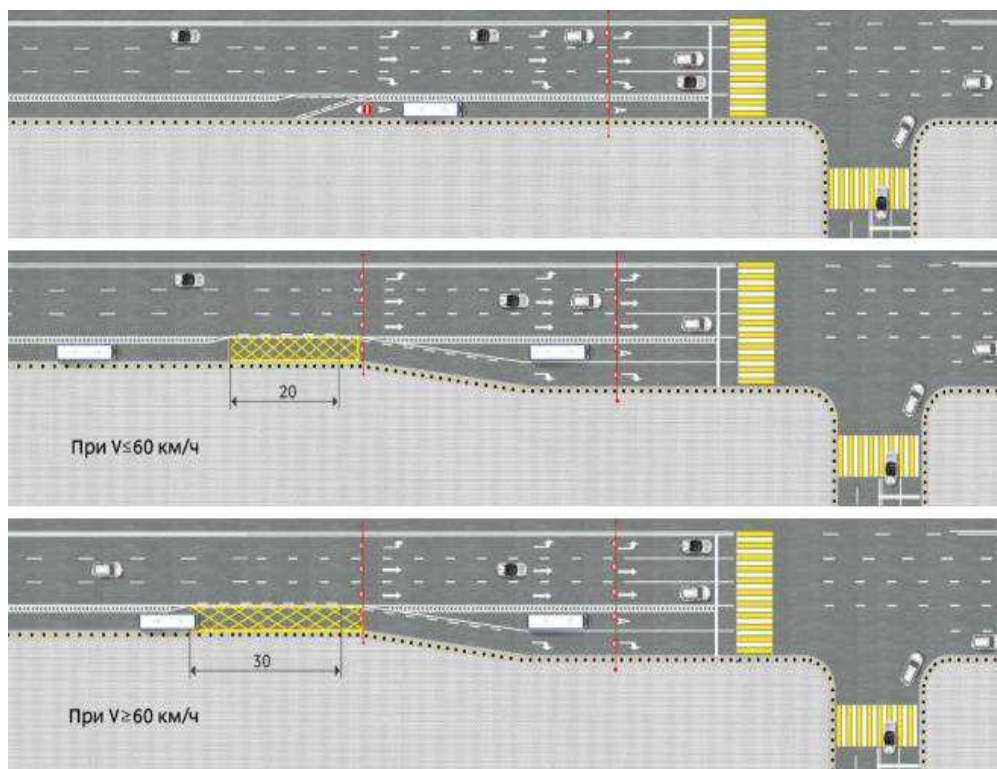


Рисунок 3.11 – Организация выделенной полосы при повороте всех видов транспорта направо

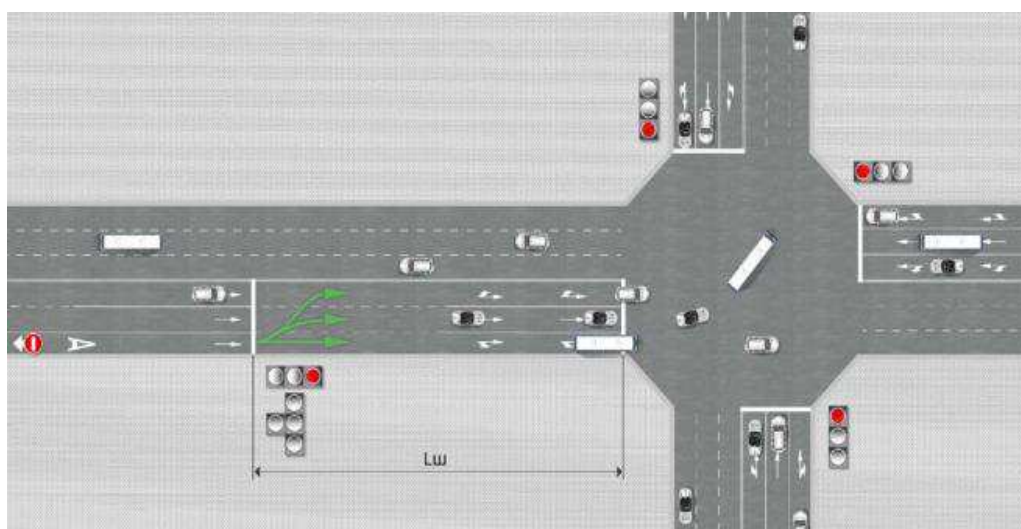


Рисунок 3.12 – Типовая схема обеспечения приоритетного проезда общественного транспорта на отдельных перекрестках за счет разнесенных стоп-линий (адаптивное светофорное регулирование, организация шлюза), где $L_{ш}$ – длина шлюза

Использование метода разнесенных стоп-линий или шлюза позволяет общественному транспорту осуществить необходимые перестроения на перекрестке для дальнейшего разворота или поворота налево. Для

эффективного использования шлюза необходимо исключить движение такси по выделенной полосе на участке перед шлюзом.

При организации ВП применяются следующие схемы:

- предоставление ОТ крайней правой полосы с отделением или без отделения ее от остальной проезжей части;
- предоставление второй полосы для ОТ на многополосных участках УДС. Первая служит для местного движения и парковки ТС;
- организация выделенных полос в центре проезжей части участков с двусторонним движением;
- предоставление общественному транспорту улиц или перегонов полностью с запрещением движения по ним другого транспорта.

В Красноярске рекомендуются все четыре схемы организации ВП с условием, что при использовании первой схемы следует в обязательном порядке ограничивать выделенную полосу от остальной проезжей части. Также можно рекомендовать перенос остановки общественного транспорта в более благоприятное место; на дорогах с 4-мя и более полосами можно перенести остановку и сделать «островок» между полосами для того, чтобы ОТ было удобнее совершить поворот; также можно предложить организовать в сложных узлах УДС сигнал светофора, позволяющий беспрепятственно перемещаться ОТ.

4 Анализ факторов, влияющих на необходимость выделения отдельной полосы движения для ГПТ

Загруженность транспортной сети является одной из главных проблем движения городского общественного транспорта. Улично-дорожная сеть города Красноярска каждый день испытывает нагрузку из-за ДТП, аварий, высокого уровня автомобилизации, которые создают дополнительные транспортные заторы, мешающие ГОПТ беспрепятственному прохождению маршрута. В итоге передвижение по городу занимает больше времени, такая

поездка способствует транспортной усталости населения. Данный аспект расценивается пользователями транспортной услуги как нежелательный, так как городской общественный транспорт должен отвечать ряду требований (комфортабельности, доступности) и предоставлять качественные услуги.

Оказать влияние на скорость движения участников транспортного потока может также состояние УДС, окружающая среда, климатические условия, тип транспортного средства, водитель (его реакция на происходящее в процессе движения). Необходимо учитывать многие факторы, влияющие на передвижение по улично-дорожной сети города для того, чтобы было возможно произвести более точную оценку функционирования городского транспорта с последующими устранениями выявленных недостатков с помощью определенных мероприятий для поддержания состояния качества передвижения.

Данную проблему можно решить путем обеспечения приоритета ГОПТ на улицах города. В частности, рассматриваются ВП для движения общественного транспорта. Полосы способствуют беспрепятственному движению ГОПТ, вероятность транспортного затора на такой дороге минимальна, что влияет на качество перевозки пассажиров, привлекательность для потребителей услуги, а также на конкурентоспособность с личным транспортом в часы «пик».

В ходе обзора теоретического материала первой главы данной работы были получены результаты, приведенные ниже:

– проблема мобильности тесно связана с обеспечением приоритета ГПТ, так как во многом от мобильности зависит то, насколько быстро, комфортно и безопасно можно перемещаться по городу. Учитывая транспортный спрос и мобильность, можно определить какие участки улично-дорожной сети города подвержены наибольшей загруженности и транспортным заторам. Такой анализ позволит провести сопутствующие мероприятия по выделению дополнительной полосы и разгрузки элемента транспортной системы города;

– при организации движения маршрута необходимо минимизировать скопление общественного транспорта на УДС. Для того, чтобы понять, где необходима выделенная полоса, нужно использовать математическое моделирование транспортной системы города;

– динамика автомобилизации России за 25 лет плавно развивается и растет, но не такими темпами как у зарубежных стран. В перспективе она будет приближаться к 500 автомобилям на тысячу жителей, но данный показатель будет достигнут не ранее 2025 года;

– при сравнительно невысоком уровне автомобилизации, в нашей стране актуальна транспортная проблема. Притом, что в других странах с более высоким уровнем автомобилизации такой критической ситуации нет. Следовательно, данная проблема будет усугубляться, если не предпринять необходимых мер, связанных с ограничением интенсивности улично-дорожного трафика. Таким образом, рост автомобилизации демонстрирует не только положительных эффект в лице развития экономики, но и, в большей мере, отрицательный, так как значительно усугубляет положение транспортной проблемы;

– были рассмотрены транспортные системы развитых стран со схожими климатическими условиями, у которых не наблюдается задержек ОТ. Главное отличие с нашей страной заключается в том, что в Швеции и в Финляндии при разработке инфраструктуры города, упор делается на зеленый и общественный транспорт, а в крупных городах выгоднее передвигаться на ГОПТ, чем на личном автомобиле;

– рассмотрена система и стандарт BRT, опыт которого можно применять и в условиях г. Красноярска. В стандарте приводятся примеры самых лучших систем мира, которые можно адаптировать и в нашей стране. Для выявления проблемных участков УДС можно воспользоваться показателями буферного времени и индекса, временного индекса, которые позволяют произвести оценку функционирования маршрута на улицах города;

– при существующих в Красноярске выделенных линий для ОТ все равно наблюдаются транспортные заторы в часы пик. Следственно, возникает вопрос о целесообразности данных полос на УДС города. Таким образом, появляется задача разработки математической модели определения необходимости выделенных полос для движения ГОПТ.

РАЗРАБОТКА МАТЕМАТИЧЕСКОЙ МОДЕЛИ

Для обоснования необходимости наличия ВП для движения городского общественного пассажирского транспорта, рассмотрим перегон маршрутной сети, по которому в свободном порядке (не имея приоритета) движутся транспортные средства, в том числе и подвижной состав ГОПТ. Технически выделить полосу для движения городского транспорта на дорогах, имеющих одну полосу движения в одном направлении, не представляется возможным, следовательно, должно выполняться следующее условие:

$$n \geq 2, \quad (1)$$

где n – число полос движения в одном направлении на рассматриваемом перегоне.

Движение ПС ГОПТ на рассматриваемом перегоне маршрутной сети в общем потоке связано с ограничением значения его пропускной способности. Уровень пропускной способности городского пассажирского транспорта, не связанный с технологическими операциями посадки и высадки пассажиров, в основном ограничивается пропускной способностью пересечений улично-дорожной сети города и, как правило, связан с показателем задержки регулирования движения. Показатель задержки объединяет в себе такие показатели, как:

- интенсивность движения и пропускная способность рассматриваемого участка улично-дорожной сети;
- длина очереди;
- параметры светофорного регулирования.

Для обеспечения высокой скорости сообщения и повышения привлекательности городского массового пассажирского транспорта необходимо гарантировать приемлемый минимальный уровень задержки.

Параметры движения ТС через регулируемое пересечение УДС целиком зависят от режима светофорного регулирования, т. е. длительности цикла

регулирования, а также от длительности его составляющих тактов, фаз и порядка их чередования, при этом основное движение транспортных средств через пересечение осуществляется в период горения разрешающего сигнала светофора.

Следует отметить, что начало движения ТС в момент загорания разрешающего сигнала светофора происходит с некоторой задержкой (стартовая задержка), связанной с разгоном и необходимым временем реакции водителя на смену сигналов светофора. При этом интенсивность движения потока ТС постепенно нарастает до величины, равной пропускной способности рассматриваемого направления [32–34].

В момент загорания запрещающего сигнала светофора транспортные средства, не имеющие технической возможности остановиться у стоп-линии, продолжают своё движение через пересечение, образуя время «прорыва» [35].

Таким образом, движение транспортных средств через регулируемое пересечение улично-дорожной сети начинается несколько позже начала горения разрешающего сигнала светофора и заканчивается в период горения запрещающего сигнала светофора. Время фактического осуществления движения транспортных средств через пересечение УДС можно назвать эффективной длительностью фазы.

Следовательно, предельный (минимальный) приемлемый уровень времени задержки городского пассажирского транспорта, в том числе при движении в свободных условиях, должен быть равен длительности цикла регулирования за вычетом времени эффективной длительности фазы:

$$З = C - g_e, \quad (2)$$

где $З$ – время задержки городского пассажирского транспорта, сек;

C – длительность цикла регулирования, сек;

g_e – эффективная длительность фазы, сек.

Как показывает практика, существуют перегоны маршрутной сети, задержки транспортного потока на которых приемлемы, или становятся приемлемыми в определенные часы суток. Не редко на таких перегонах работают выделенные полосы, предназначенные для движения городского пассажирского транспорта. Наличие ограничения (2) ставит под сомнение необходимость выделения таких полос на рассматриваемых перегонах маршрутной сети города. В городе Красноярске существуют перегоны, входящие в состав только одного маршрута движения городского пассажирского транспорта, где работают выделенные полосы, обеспечивающие его приоритет (например, маршрут №31 «Академия биатлона – ЛДК»). Эффективность работы и необходимость выделения таких полос вызывают сомнения. Обеспечение приоритета городского пассажирского транспорта должно быть неразрывно связано с величиной пассажирского потока, передвигающегося на рассматриваемом участке улично-дорожной сети. При этом величина пассажирского потока должна быть соразмерной количеству участников, передвигающихся в свободном (без выделения приоритета) потоке по максимально нагруженной полосе движения и двигающихся в одном и том же направлении. Следовательно, справедливо следующее неравенство:

$$Q \geq v_{сп} \cdot q_{mc}, \quad (3)$$

где Q – количество пассажиров, передвигающихся по рассматриваемому перегону в единицу времени (например, в час), пасс/час;

$v_{сп}$ – интенсивность движения свободного потока в единицу времени по максимально нагруженной полосе движения (например, в час), прив. ед/час;

q_{mc} – среднее количество пассажиров, находящихся в транспортном средстве из свободного потока движения (за исключением городского пассажирского транспорта), пасс.

Таким образом, учитывая вышесказанное, можно сформулировать следующие условия, наличие которых определяют объективную необходимость обеспечения приоритета городского пассажирского транспорта общего пользования на рассматриваемом перегоне улично-дорожной сети города, то есть выделения полосы для ГОПТ:

$$\begin{cases} n \geq 2; \\ 3 \geq C - g_e; \\ Q \geq v_{cn} \cdot q_{mc}. \end{cases} \quad (4)$$

Разработанная математическая модель обоснования необходимости наличия ВП для движения городского общественного пассажирского транспорта позволяет сформулировать условия выделения полосы для ГОПТ на рассматриваемом перегоне маршрутной сети. В том случае, когда все три уравнения верны, выделение полосы целесообразно. Если не выполняется хотя бы одно из трех – выделение полосы для движения общественного транспорта не рекомендуется.

РАЗРАБОТКА МЕТОДИКИ ОПРЕДЕЛЕНИЯ ПАРАМЕТРОВ РАЗРАБОТАННОЙ МОДЕЛИ

В городе Красноярске произведено обследование перегонов маршрутной сети на предмет их соответствия условиям ограничений (4). На перегонах маршрутной сети, имеющих более двух полос движения в одном направлении, в разное время суток фиксировались:

1. Уровень транспортной задержки, длительность цикла регулирования и его составляющие. Для определения уровня задержки необходимо учитывать транспортные средства, прибывающие к пересечению проезжих частей, но не успевшие его пересечь из-за необходимости остановиться и общее количество транспортных средств, прибывающих к пересечению

2. Мощность пассажирского потока, определялся глазомерным методом непосредственно на перегоне маршрутной сети

3. Интенсивность движения и количество пассажиров в общем потоке

Были рассмотрены условия передвижения на выделенных полосах (см. рисунок 2.2) г. Красноярска. Для подтверждения целесообразности «выделенки» необходимо, чтобы полоса отвечала требованиям условий разработанной математической модели (4).

Был проведен анализ 14-ти выделенных полос:

- ул. Калинина (ост. Торговый дом «Каравай» – ост. База УМТС) – ул. Тотмина (ост. Кинотеатр Строитель);

- ул. Высотная (ост. Рассвет – ост. ГорДК);

- Николаевский проспект (ост. Сопочная) – Николаевский мост (ул. Свердловская);

- ул. Копылова (ост. Корнеева – ост. Копыловский мост);

- ул. Красной Армии (ост. Корнеева – ост. Копыловский мост);

- ул. Профсоюзов (ул. Ленина – ул. Карла Маркса);

- ул. Ленина (ул. Робеспьера – ост. Китайский торговый город);

- ул. Карла Маркса (ул. Робеспьера – ост. Гостиница Октябрьская);

- Коммунальный мост (ост. Театр Оперы и балета – Предмостная площадь) – ул. Александра Матросова (ул. Семафорная);
- ул. Шахтеров (ост. Игарская – ост. Рынок Луч);
- ул. 9 Мая (ост. Ледовый дворец – ост. Школа №147);
- ул. Авиаторов (ул. 9 Мая – ул. Молокова);
- ул. Партизана Железняка (ост. Дубенского – ост. Дворец труда);
- Октябрьский мост (ул. Октябрьская – ул. Крайняя).

Сперва необходимо определить, все ли выделенные полосы Красноярска подчиняются уравнению (1). С помощью Google карт [36] каждая исследуемая полоса прошла проверку, в ходе которой было выявлено, что каждая из 14-ти выделенных полос отвечает первому требованию условий (4), то есть имеет 2 или более полос.

Далее уравнение (2) применяется для полос, перечисленных выше. Для определения времени задержки ГПТ воспользуемся сервисами видеонаблюдения в режиме реального времени [37, 38]. Замеры времени задержки ГОПТ произведены в час пик и занесены в таблицу 1.

Таблица 1 – Время задержки городского пассажирского транспорта

Выделенная полоса	Время задержки ГОПТ, сек	Длительность цикла регулирования, сек	Эффективная длительность фазы, сек	Удовлетворение условия (2)
ул. Калинина – ул. Тотмина	68	148	118	+
ул. Высотная (ост. Рассвет – ост. ГорДК)	68	180	150	+
ул. Копылова (ост. Корнеева – ост. Копыловский мост)	35	115	89	+

Окончание таблицы 1

Выделенная полоса	Время задержки ГОПТ, сек	Длительность цикла регулирования, сек	Эффективная длительность фазы, сек	Удовлетворение условия (2)
ул. Красной Армии (ост. Корнеева – ост. Копыловский мост)	86	92	28	+
ул. Профсоюзов (ул. Ленина – ул. Карла Маркса)	55	147	97	+
ул. Ленина (ул. Робеспьера – ост. Китайский торговый город)	78	110	42	+
ул. Карла Маркса (ул. Робеспьера – ост. Гостиница Октябрьская)	104	160	64	+
Коммунальный мост – ул. Александра Матросова	86	141	55	+
ул. Шахтеров (ост. Игарская – ост. Рынок Луч)	81	93	27	+
ул. 9 Мая (ост. Ледовый дворец – ост. Школа №147)	93	140	53	+
ул. Авиаторов (ул. 9 Мая – ул. Молокова)	97	180	106	+
ул. Партизана Железняка (ост. Дубенского – ост. Дворец труда)	75	215	145	+

Таким образом, удовлетворяют условие (2) большинство выделенных полос. То есть каждая из них является эффективной на своем участке УДС, их выделение оправдано.

Для проверки неравенства (3) необходимо провести обследование, которое заключается в подсчете количества людей, передвигающихся в свободном потоке (учитываются как пассажиры, так и водитель). Принимаются во внимание транспортные средства, подходящие под категорию M_1 , то есть ТС (легковые автомобили) для перевозки пассажиров, которые имеют не более 8 мест для сидения, помимо места водителя [39].

Подсчет количества пассажиров был произведен на четырехполосной дороге, учитывалось движение в одном направлении (т. е. две полосы). Исследование проводилось в будний день в часы пик (с 17:55 до 18:31) на ул. Академика Киренского. Полученные данные представлены в таблице 2.

Таблица 2 – Количество пассажиров на рассматриваемом перегоне

№	1 пол.	2 пол.	№	1 пол.	2 пол.	№	1 пол.	2 пол.	№	1 пол.	2 пол.	№	1 пол.	2 пол.	№	1 пол.	2 пол.	№	1 пол.	2 пол.
1	2	2	25	2	1	49	1	1	73	1	2	97	2	2	121	1	2	145	1	1
2	1	2	26	2	2	50	1	1	74	1	2	98	1	1	122	1	2	146	2	1
3	1	1	27	1	1	51	1	1	75	1	1	99	1	2	123	1	2	147	2	1
4	1	1	28	1	1	52	1	1	76	2	1	100	2	2	124	1	2	148	1	2
5	1	3	29	2	1	53	1	1	77	2	1	101	2	2	125	2	2	149	1	1
6	1	2	30	2	1	54	1	2	78	1	1	102	1	1	126	2	1	150	1	1
7	1	1	31	2	2	55	1	1	79	1	1	103	2	1	127	1	1	151	1	2
8	1	1	32	1	1	56	2	1	80	2	1	104	2	2	128	2	2	152	2	2
9	1	1	33	1	2	57	2	1	81	2	1	105	1	1	129	2	2	153	2	2
10	2	1	34	2	1	58	1	1	82	1	2	106	1	2	130	1	1	154	2	1
11	1	1	35	1	1	59	2	1	83	2	2	107	1	2	131	2	1	155	1	1
12	2	2	36	1	1	60	1	1	84	2	2	108	2	2	132	2	1	156	1	1
13	2	1	37	1	1	61	1	1	85	1	1	109	3	2	133	1	2	157	2	1
14	2	1	38	1	1	62	1	1	86	2	1	110	1	1	134	1	3	158	1	2
15	1	1	39	2	1	63	1	1	87	1	1	111	2	1	135	1	1	159	1	1
16	1	1	40	2	2	64	1	1	88	1	1	112	1	1	136	1	1	160	2	1
17	1	2	41	2	3	65	1	1	89	2	1	113	1	2	137	1	2	161	1	1
18	1	1	42	1	1	66	2	1	90	1	1	114	1	1	138	1	1	162	1	1
19	1	2	43	1	1	67	1	1	91	1	2	115	1	1	139	1	1	163	1	1
20	1	1	44	4	1	68	1	1	92	1	2	116	2	3	140	3	2	164	1	1
21	1	1	45	2	1	69	1	1	93	1	1	117	1	1	141	1	2	165	1	1
22	1	1	46	1	2	70	1	1	94	2	2	118	1	1	142	1	2	166	2	2
23	2	2	47	1	1	71	2	1	95	2	1	119	1	2	143	1	1	167	1	2
24	2	1	48	1	1	72	1	1	96	1	2	120	1	1	144	1	1	168	1	1

Окончание таблицы 2

№	1 пол.	2 пол.	№	1 пол.	2 пол.	№	1 пол.	2 пол.	№	1 пол.	2 пол.	№	1 пол.	2 пол.	№	1 пол.	2 пол.	№	1 пол.	2 пол.
169	2	2	193	2	2	217	1	2	241	1	1	265	1	2	289	2	2	313	1	—
170	1	1	194	1	1	218	1	1	242	1	2	266	1	1	290	1	1	314	1	—
171	1	1	195	2	1	219	2	1	243	2	2	267	1	1	291	1	1	315	1	—
172	1	2	196	2	1	220	1	1	244	1	1	268	1	1	292	2	1	316	1	—
173	2	1	197	2	1	221	1	2	245	1	1	269	1	2	293	2	2	317	1	—
174	1	1	198	1	1	222	1	1	246	1	2	270	1	1	294	1	1	318	1	—
175	1	1	199	1	1	223	1	2	247	2	2	271	1	1	295	1	1	319	1	—
176	1	1	200	2	1	224	3	1	248	1	1	272	2	1	296	1	1	320	2	—
177	1	2	201	2	1	225	1	2	249	1	1	273	1	1	297	1	1	321	1	—
178	2	1	202	1	1	226	3	1	250	1	3	274	1	2	298	2	1	322	1	—
179	1	1	203	2	1	227	3	1	251	1	1	275	1	1	299	1	2	323	2	—
180	2	1	204	1	1	228	1	1	252	1	2	276	2	1	300	1	1	324	1	—
181	1	2	205	1	1	229	2	2	253	1	1	277	2	2	301	1	—	325	2	—
182	1	1	206	1	1	230	1	1	254	1	2	278	1	2	302	1	—	326	2	—
183	1	1	207	1	2	231	2	2	255	1	1	279	1	1	303	1	—	327	1	—
184	1	1	208	2	1	232	1	2	256	1	1	280	1	2	304	1	—	328	2	—
185	1	1	209	2	2	233	2	1	257	1	1	281	1	1	305	1	—	—	—	—
186	1	2	210	1	1	234	1	1	258	1	2	282	2	2	306	1	—	—	—	—
187	3	1	211	1	1	235	2	2	259	1	3	283	1	1	307	1	—	—	—	—
188	1	1	212	1	1	236	2	1	260	1	1	284	2	2	308	2	—	—	—	—
189	2	1	213	1	2	237	1	1	261	1	2	285	1	1	309	1	—	—	—	—
190	1	2	214	1	1	238	2	2	262	1	2	286	1	1	310	2	—	—	—	—
191	1	1	215	1	1	239	1	1	263	1	1	287	1	1	311	1	—	—	—	—
192	1	1	216	1	2	240	1	1	264	1	1	288	1	1	312	2	—	—	—	—

На основании таблицы 2 был произведен расчет уравнения (3) для каждой полосы:

- 1) $437 \geq 328 \cdot 1,33 \Rightarrow 437 \geq 437$
- 2) $404 \geq 328 \cdot 1,35 \Rightarrow 404 \geq 441,71$

Согласно данным расчетам, условия уравнения (3) выполняются только в первом случае. Это говорит о том, что среднее количество пассажиров на каждой полосе движения разнится.

Воспользовавшись ресурсом [40], определим закон распределения, которому подчиняется движение в свободном потоке. Были рассмотрены некоторые из них: биномиальное, отрицательное биномиальное, Пуассона, геометрическое. Наиболее подходящим для каждой полосы оказался биномиальный закон распределения (рисунок 1).

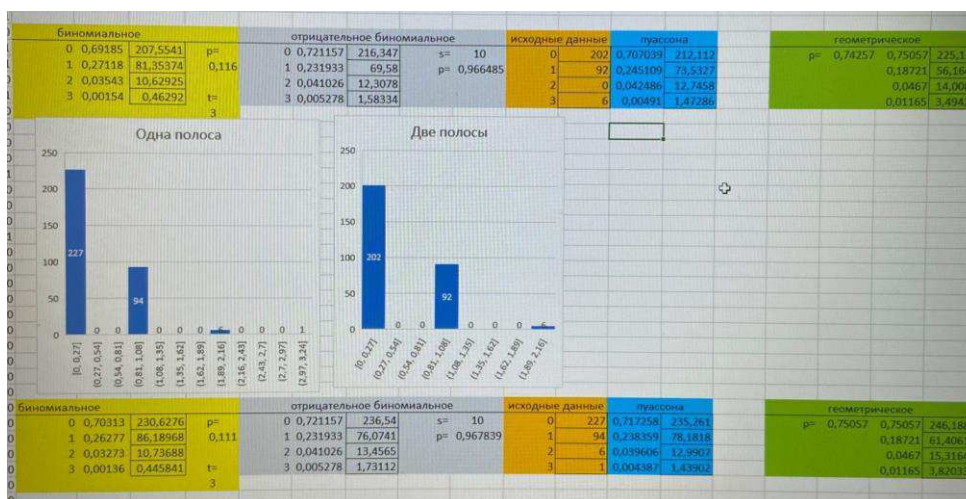


Рисунок 1 – Установление закона распределения

Таким образом, можно сделать вывод о том, что при наличии закона распределения в свободном потоке, уравнение (3) выполняется для УДС всего города.

В данной главе были проверены все 14 выделенных полос города Красноярска на условия (4). Все три неравенства выполняются в 12 случаях (Коммунальный мост удовлетворяет условие (2), но там наблюдается предельный (минимальный) приемлемый уровень времени задержки

городского пассажирского транспорта), в остальных – выделение полосы для движения ГОПТ не является эффективным.

Перегон «Николаевский проспект (ост. Сопочная) – Николаевский мост (ул. Свердловская)» не был рассмотрен из-за отсутствия там камер видеонаблюдения. Однако, на данной выделенной полосе не бывает заторов и движение не затруднено, так как по этому участку УДС осуществляет движение только один маршрут (маршрут №31 «Академия биатлона – ЛДК»). Это говорит о том, что выделение полосы для ГОПТ нецелесообразно.

Также вызывают сомнения выделение полос на Октябрьском и Коммунальном мостах. В первом случае «выделенку» не удалось проверить на удовлетворение условия (2), так как на данном участке УДС нет светофорного регулирования. Тем не менее, на Октябрьском мосту, как и на Коммунальном, движение свободное, заторов не наблюдается.

РЕЗУЛЬТАТЫ И ВЫВОДЫ

В первом разделе была рассмотрена проблема мобильности, которая влияет на загруженность УДС. Анализ мобильности позволяет установить неэффективные участки дороги для движения ГОПТ. Движение маршрутов необходимо организовать так, чтобы скопление общественного транспорта на УДС свелось к минимуму. Для этого можно использовать выделенные полосы, эффективность которых определяется математическим моделированием.

С ростом автомобилизации возникает транспортная проблема, которая должна решаться вместе с проблемой мобильности и обеспечением приоритета ГОПТ. В РФ, в отличие от зарубежных стран с более высоким уровнем автомобилизации, инфраструктура города создается без упора на общественный и зеленый транспорт. В условиях уже созданной УДС можно применять систему и стандарт BRT на перегонах, где ежедневно наблюдаются транспортные заторы, которые, в свою очередь, могут быть определены показателями буферного времени, буферного индекса, временного индекса.

При существующих в г. Красноярске выделенных линий для ГПТ все равно наблюдается затрудненное движение, особенно в часы пик. Поэтому возникает вопрос о разумности выделения данных полос на УДС города. Таким образом, появляется задача разработки математической модели определения необходимости выделенных полос для движения ГОПТ.

Разработанная математическая модель позволяет сформулировать условия выделения полосы для ГОПТ на рассматриваемом перегоне маршрутной сети. При соблюдении всех условий данной модели выделение полосы на рассматриваемом участке УДС оправдано, в противном случае – выделение нецелесообразно.

В разделе 3 были проверены все выделенные полосы г. Красноярска на условия разработанной математической модели. Из 14-ти выделенных полос 12 отвечают требованиям поставленных условий, это значит, что находящиеся там выделенные линии для ГОПТ необходимы. Тем не менее, «выделенка» на

Коммунальном мосту удовлетворяет условие (2), но там наблюдается предельный (минимальный) приемлемый уровень времени задержки городского пассажирского транспорта); на перегоне «Николаевский проспект (ост. Сопочная) – Николаевский мост (ул. Свердловская)» не бывает заторов и движение не затруднено, так как по этому участку УДС осуществляет движение только один маршрут (маршрут №31 «Академия биатлона – ЛДК»). Это говорит о том, что выделение полосы для ГОПТ нецелесообразно. Вызывают сомнения и выделение полосы на Октябрьском мосту, так как движение там свободное, заторов не наблюдается, хотя по данному участку пролегает маршрут 9-ти автобусов. Следственно, можно сделать вывод о том, что выделенные полосы не пользуются особым спросом на мостах через р. Енисей, транспортный поток без заторов, поэтому данные полосы рекомендуется ликвидировать, либо разрешить проезд на них индивидуальному транспорту, либо оптимизировать схемы маршрутов движения ГОПТ, как это предлагает автор [41]. Также возможно осуществление проезда по выделенным полосам городского трамвая, что позволит расширить сеть движения электротранспорта общего пользования и сделает востребованными ВП на мостах. В остальных 11 случаях движение по выделенным полосам осуществляется непосредственно на улицах города, но и на этих участках УДС, несмотря на удовлетворение всех условий разработанной математической модели, наблюдаются «пробки», в которые попадает общественный транспорт. Это связано с тем, что и ИТ, и ГОПТ нарушают правила дорожного движения. Нередко можно встретить на выделенной полосе личный автомобиль, водители пользуются тем, что не на всех участках УДС есть камеры видеонаблюдения и выезжают на запрещенную полосу. Поэтому возникает вопрос о регулировании работы ВП (как для ИТ, так и для ГОПТ, путем внедрения светофорного регулирования, основой для которого может послужить разработанная математическая модель), либо об ужесточении правил пользования выделенной полосы с целью сделать ее доступной только общественному транспорту. Так, в марте

2021 года впервые в Красноярске приняли решение устанавливать на ОТ видеорегистраторы, которые будут фиксировать нарушение правил дорожного движения на выделенных полосах и перенаправлять полученные данные о нарушениях в ГИБДД. Данная мера предпринята Департаментом транспорта в связи с учащением случаев нарушения движения на ВП с целью обеспечения приоритета движения ГОПТ.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

При существующих проблемах на УДС необходимо обеспечить приоритет городского общественного пассажирского транспорта. Данную цель возможно достигнуть с помощью внедрения выделенной полосы, которая будет обеспечивать беспрепятственное движение ОТ и, следовательно, создавать почву для предоставления качественных транспортных услуг населению города.

В ходе выполнения данной магистерской диссертации было проведено исследование выделенных полос для движения ГОПТ, анализ и определение эффективности движения пассажирского транспорта на них. В процессе исследования было выявлено, что загруженность транспортной сети является одной из главных проблем беспрепятственному движению городского общественного транспорта. Также были решены все поставленные задачи, разработана математическая модель и произведен расчет необходимости обеспечения приоритета городского пассажирского транспорта общего пользования на перегонах улично-дорожной сети для каждой из 14-ти ВП города Красноярска.

СПИСОК СОКРАЩЕНИЙ

УДС – улично-дорожная сеть

ВП – выделенная полоса

ОТ – общественный транспорт

ГОПТ – городской общественный пассажирский транспорт

ГПТ – городской пассажирский транспорт

ПС – подвижной состав

ОДД – организация дорожного движения

ИТ – индивидуальный транспорт

ТП – транспортный поток

ТС – транспортное средство

ДТП – дорожно-транспортное происшествие

BRT – Bus Rapid Transit, метробус

TTI – Travel time index, временной индекс

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Официальный сайт города Красноярск. [Электронный ресурс] – Режим доступа: <http://www.admkrsk.ru/citytoday/transport/Pages/default.a.spx>.
2. Коган, Д.Б. Homo mobilis – человек мобильный / Д.Б. Коган // Автомобильный транспорт – 2016. – №1. – С.32–37.
3. Онлайн-энциклопедия TDM «Транспортный спрос». [Электронный ресурс] – Режим доступа: [Online TDM Encyclopedia. vtpi.org](http://OnlineTDMEncyclopedia.vtpi.org).
4. Лыткина, А.А. Эффективность применения приоритета городского пассажирского транспорта на регулируемых перекрестках / А.А. Лыткина, А.Ю. Михайлов // Вестник Иркутского государственного технического университета – 2011. – №7(54). – С.60–65.
5. Кременец, Ю.А. Технические средства организации дорожного движения : учебник для ВУЗов / Ю.А. Кременец, М.П. Печерский, М.Б. Афанасьев. – Москва : ИКЦ «Академкнига», 2005. – 279 с.
6. Сабирова Д.Е. Развитие участка УДС в новом микрорайоне города Кемерово / Д.Е. Сабирова, И.А. Шефер, А.П. Столярова, Н.А. Стенина // Сборник материалов IX всероссийской научно-практической конференции молодых ученых с международным участием "Россия молодая", 2017.
7. Правила дорожного движения – Москва : Третий Рим, 2006. – 48 с.
8. Солодкий, А. И. Транспортная инфраструктура : учебник и практикум для академического бакалавриата / А.И. Солодкий, А.Э. Горев, Э.Д. Бондарева ; под ред. А.И. Солодкого. – Москва : Издательство Юрайт, 2016. – 290 с.
9. Гаврилов, Д.С. Совершенствование управления на транспорте / Д.С. Гаврилов, В.А. Грановский // Молодой ученый – 2009. – № 12(12). – С.40–42.

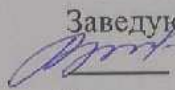
10. Амбарцумян В.В. Экологическая безопасность автомобильного транспорта / В.В. Амбарцумян, В.Б. Носов, В.И. Тагасов – Москва : Научтехлитиздат, 1999. – 208с.
11. Ахметов Л.А. Автомобильный транспорт и охрана окружающей среды / Л.А. Ахметов, Е.В. Корнев, Т.З. Ситшаев – Ташкент : Мехнат, 1990. – 216с.
12. Данцев, С.А. Автомобилизация в России: история и перспективы / С.А. Данцев // Бизнес в законе – 2009. – №1. – С.85–87.
13. Онлайн-энциклопедия «Википедия». [Электронный ресурс] – Режим доступа: <https://ru.wikipedia.org/wiki/Автомобилизация>.
14. Федеральная служба государственной статистики. [Электронный ресурс] – Режим доступа: <https://rosstat.gov.ru/folder/23455?print=1>.
15. Онлайн-энциклопедия «Википедия». [Электронный ресурс] – Режим доступа: https://wikipedia.tel/Выделенная_полоса/.
16. Постановление Правительства РФ от 23.10.1993 № 1090 (ред. от 31.12.2020) "О Правилах дорожного движения" (вместе с "Основными положениями по допуску транспортных средств к эксплуатации и обязанности должностных лиц по обеспечению безопасности дорожного движения") (с изм. и доп., вступ. в силу с 01.03.2021).
17. Юридическая помощь «Avtoproblema». [Электронный ресурс] – Режим доступа: <https://avtoproblema24.ru/pdd/polosy-dlya-obschestvennogo-transporta/>.
18. Транспортно-аналитическое ведомство Trafikanalys. [Электронный ресурс] – Режим доступа: <https://www.trafa.se/en/>.
19. Онлайн-энциклопедия «Википедия». [Электронный ресурс] – Режим доступа: https://ru.wikipedia.org/wiki/Скоростной_автобусный_транспорт.
20. Kotal B. Bus Rapid Transit / B. Kotal // Transurban – 2007. – № 5.
21. Стандарт BRT. Издание 2016. ПРООН-ГЭФ «Устойчивый транспорт г. Алматы».

22. Трофимов, А.В. Временной индекс – критерий оценки влияния загрузки УДС на качество ее функционирования / А.В. Трофимов // Вестник ИрГТУ – 2015. – №10. – С.181–185.
23. Румянцев, Е.А. Совершенствование методов оценки условий движения транспортных потоков на городской улично-дорожной сети / Е.А. Румянцев // Вестник ИрГТУ – 2012. – №9(68). – С.148–152.
24. Шаров, М.И. Оценка надежности работы городского пассажирского транспорта в Иркутске / М.И. Шаров, А.Ю. Михайлов, Т.С. Ковалева // Вестник ИрГТУ – 2012. – №9(68). – С.174–178.
25. Шаров, М.И. К вопросу развития современной системы критериев оценки качества функционирования общественного пассажирского транспорта / М.И. Шаров, А.Ю. Михайлов // Известия ВГТУ – 2014. – Т. 9, №19 (146). – С.64–66.
26. Herman, R. Characterizing traffic conditions in urban areas / R. Herman, S.A. Ardekani // Transportation Science – 1984. – № 18 (2). – P.101–140.
27. Арефьева Е.С. Оценка надежности функционирования автобусных маршрутов на примере "Иркутскавтотранс" в левобережной части г. Иркутска: Выпускная квалификационная работа бакалавра: 23.03.01 / Арефьева Елена Сергеевна. – Иркутск, 2019. – 114с.
28. Программная платформа Wialon. [Электронный ресурс] – Режим доступа: <https://hosting.wialon.com>.
29. Якимов, М.Р. Обоснование целесообразности выделения полос для движения маршрутных транспортных средств на улично-дорожной сети города / М.Р. Якимов – Москва: Институт транспортного планирования общероссийской общественной организации Российская академия транспорта, 2016. – 27 с.
30. 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.90а–95.

31. ГОСТ Р 52289-2019 Технические средства организации дорожного движения. Правила применения дорожных знаков, разметки, светофоров, дорожных ограждений и направляющих устройств. – Взамен ГОСТ Р 52289-2004 ; введ. 01.04.2020. – Росстандарт, 20.12.2019 – 125 с.
32. Левашев, А.Г. Основные параметры оценки пропускной способности регулируемых пересечений / А.Г. Левашев, А.Ю. Михайлов // ВНИТИ – 2004. – №3. – С.21–26.
33. Akcelik, R. Traffic signals: capacity and timing analysis / R. Akcelik // Australian Road Research Board Research Report, ARR – 1981. – №123. – p.109.
34. Olszewski, P. Modeling of queue probability distribution at traffic signals / P. Olszewski // Transportation and traffic flow theory, elsevier science publishing Co., Inc., M. Koshi, Ed. – 1990. – p.569–588.
35. Левашев, А.Г. Проектирование регулируемых пересечений: учеб. пособие / А.Г. Левашев, А.Ю. Михайлов, И.М. Головных. – Иркутск: Изд-во ИрГТУ, 2007. – 208с.
36. Электронные справочники с картами городов Google. [Электронный ресурс] – Режим доступа: <https://www.google.ru/maps>.
37. Видеонаблюдение «Аxiома». [Электронный ресурс] – Режим доступа: <http://axioma.tv/dorogi/>.
38. Видеонаблюдение «Орион телеком». [Электронный ресурс] – Режим доступа: <http://cam.krkr.ru/#!/player/3189>.
39. Решение Комиссии Таможенного союза "О принятии технического регламента Таможенного союза "О безопасности колесных транспортных средств" (вместе с "ТР ТС 018/2011. Технический регламент Таможенного союза. О безопасности колесных транспортных средств") – Введ. 09.12.2011 № 877 (ред. от 21.06.2019).

40. Кельтон, В. Имитационное моделирование. Классика CS / В. Кельтон, А. Лоу. – Изд. 3-е – СПб.: Питер; Киев: Издательская группа BHV, 2004. – 847 с.
41. Малютин, О.Г. Совершенствование схемы движения городского пассажирского транспорта в связи с вводом в эксплуатацию четвертого моста через Енисей. Выпускная квалификационная работа бакалавра: 23.03.01 / Олег Игоревич Малютин. – Красноярск : СФУ, 2017. – 82с.

Федеральное государственное автономное
образовательное учреждение
высшего образования
«СИБИРСКИЙ ФЕДЕРАЛЬНЫЙ УНИВЕРСИТЕТ»
Политехнический институт
Кафедра «Транспорт»

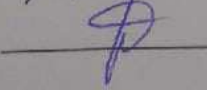
УТВЕРЖДАЮ
Заведующий кафедрой
 Е.С. Воеводин
«___» _____ 2021 г.

МАГИСТЕРСКАЯ ДИССЕРТАЦИЯ

**«Обеспечение приоритета городского пассажирского транспорта на
УДС»**

23.04.01 – Технология транспортных процессов

23.04.01.01 – Организация перевозок и управление на автомобильном
транспорте

Научный руководитель  канд. техн. наук, доцент Е.В. Фомин
Выпускник  Е.С. Арефьева
Рецензент  ген. дир. ГК «Сирена» Б.Э. Деменков

Красноярск 2021