

МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ
ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ БЮДЖЕТНОЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНО
УЧРЕЖДЕНИЕ ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ
«САРАТОВСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ ТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ ИМ.
ГАГАРИНА Ю.А.»

На правах рукописи



Исаева Екатерина Игоревна

**ПОВЫШЕНИЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ
АВТОМОБИЛЕЙ С УЧЕТОМ ВЕРОЯТНОСТИ ВОЗНИКНОВЕНИЯ
ТРАНСПОРТНЫХ ЗАТОРОВ**

Специальность 05.22.10 – «Эксплуатация автомобильного транспорта»

ДИССЕРТАЦИЯ

на соискание ученой степени

кандидата технических наук

Научный руководитель:

доктор технических наук,

доцент В.Н. Басков

Орёл – 2017

ОГЛАВЛЕНИЕ

ВВЕДЕНИЕ.....	5
ГЛАВА 1. Анализ современного состояния исследования эффективности использования автомобиля.....	12
1.1 Анализ показателей эффективности использования автомобиля.....	12
1.1.1 Анализ транспортных показателей.....	12
1.1.2 Показатели эффективности использования автомобиля в перевозочном процессе.....	14
1.1.3 Эффективность транспортного процесса и безопасность дорожного движения.....	19
1.2 Характеристики транспортных потоков и их взаимосвязь.....	21
1.3 Анализ транспортных задержек на улично-дорожной сети.....	24
1.3.1 Причины возникновения транспортных задержек.....	24
1.3.2 Образование транспортного затора.....	31
1.3.3 Мероприятия по сокращению заторовых явлений.....	34
1.4 Влияние технических средств регулирования на транспортные задержки.....	38
1.5 Ранжирование факторов и определение степени их влияния на транспортные задержки.....	42
1.5.1 Влияние водителя на режим движения автомобилей.....	42
1.5.2 Влияние автомобиля на транспортные задержки.....	46
1.5.3 Влияние технико-эксплуатационных показателей дороги на образование заторов.....	47
1.5.4 Влияние климатических условий на транспортные задержки.....	51
1.6 Интеллектуальные транспортные системы города и их влияние на эффективность перевозочного процесса	53

Выводы по главе.....	63
ГЛАВА 2. Аналитические предпосылки влияния показателей транспортного потока и дороги на эффективность использования автомобиля.....	64
2.1 Методы моделирования транспортных потоков.....	64
2.1.1 Микроскопические модели.....	66
2.1.2 Макроскопические модели.....	68
2.2 Модель оценки состояния транспортного потока.....	71
2.3 Показатели адаптации транспортного потока к УДС.....	76
2.4 Использование энтропии в качестве меры адаптации.....	79
2.5 Понятие и классификация рисков.....	82
2.6 Оценка задержек транспортных средств на основе теории риска.....	86
2.7 Модель адаптации транспортного потока к УДС.....	95
2.8 Принцип формирования объездных маршрутов.....	96
Выводы по главе.....	99
ГЛАВА 3. Методика экспериментального исследования.....	101
3.1 Общие положения методики.....	101
3.2 Методика натурных исследований влияния показателей транспортного потока на транспортные задержки.....	103
3.3 Методика эксплуатационных исследований параметров УДС и транспортного потока.....	107
3.3.1 Методика видеофиксации параметров транспортного потока.....	110
3.3.2 Методика обработки результатов видео-регистрации параметров транспортного потока.....	113
3.4 Методика исследования влияния параметров автомобиля и геометрических параметров дороги на показатели транспортного потока...	114
3.5 Методика обработки результатов экспериментального	

исследования.....	116
Выводы по главе.....	118
ГЛАВА 4. Анализ результатов экспериментального исследования.....	119
4.1 Анализ натурных исследований показателей транспортного потока.....	119
4.2 Оценка влияния параметров УДС на показатели транспортного потока и коэффициент риска.....	125
4.3 Разработка объездных маршрутов с учетом вероятности возникновения заторов.....	128
Выводы по главе.....	132
ГЛАВА 5. Экономическая эффективность от внедрения предложенных мероприятий.....	133
5.1 Составляющие социально-экономического эффекта.....	133
5.2 Снижение потерь от загрязнения окружающей среды и шума при возникновении заторов.....	135
5.3 Методика расчета времени потерь от задержек транспортных средств на пересечениях.....	139
5.4 Методика расчета потерь от заторов.....	141
5.5 Расчет экономии от снижения затрат времени нахождения транспортных средств в заторе.....	143
Выводы по главе.....	144
ЗАКЛЮЧЕНИЕ.....	145
СПИСОК ИСПОЛЬЗУЕМОЙ ЛИТЕРАТУРЫ.....	146
ПРИЛОЖЕНИЯ.....	156

ВВЕДЕНИЕ

Актуальность темы исследования. Особенностью развития современного общества является бурный рост количества транспортных средств на улично-дорожной сети, особенно в крупных городах.

Высокая плотность транспортных потоков приводит к росту издержек за счет увеличения времени выполнения транспортной работы, увеличения затрат на горюче-смазочные материалы (ГСМ), ухудшению экологической обстановки и т.д. Все это отражается на: увеличении себестоимости автоперевозок, невозможности реализации технологии «точно в срок» в условиях неопределенности времени доставки грузов, увеличение неэффективной доли времени в наряде, за счет простоев в заторовых ситуациях, потере времени водителей и пассажиров, снижение безопасности дорожного движения, увеличение вреда, наносимого окружающей среде за счет увеличения выбросов вредных веществ и шумового воздействия, увеличение количества ДТП из-за перегруженности УДС и т.д.

Резкое возрастание количества грузовых и пассажирских автомобилей на дорогах приводит к снижению эффективного и безопасного использования этих автомобилей, а также к проблеме управления дорожным движением и экологической ситуацией на УДС.

Особую актуальность это приобретает в городах с плотной застройкой и разветвленной улично-дорожной сетью.

Сегодня в России зарегистрировано около 57 млн. транспортных средств. Ежегодный прирост транспортных средств составляет 3,8 %.

При значительном ежегодном росте количества транспортных средств, пропускная способность существующих дорог не меняется. Это приводит к возникновению транспортных заторов и пристраиванию автомобилей в пробках.

Экономические потери, связанные с задержками пассажиров и водителей составляют около 20 млрд. руб. в год.

Анализ загрязнения автотранспортом в крупных городах страны показывает, что в местах образования заторов количество вредных выбросов от автомобильного транспорта превышает предельно допустимую концентрацию в несколько раз.

Доля загрязнения автотранспортом в крупных городах страны составляет 70-80 % от совокупного количества выбросов веществ в атмосферу. В местах образования заторов количество автомобильных выбросов зашкаливает, поскольку при режимах холостого хода и набора скорости в атмосферу выделяются максимальные объёмы выхлопных газов.

Таким образом, исследование повышения эффективности автомобилей с учетом вероятности возникновения пробок представляется очень актуальным.

Степень разработанности темы исследования. Научные исследования по влиянию задержек на эффективность использования автомобилей проводились следующими учеными: Сильяновым В.В., Корчагиным В.А., Лобановым Е.М., Лариным О.Н., Зыряновым В.В., Кочерга В.Г., Гасниковым А.В., Домке Э.Р., Столяровым В.В., Новиковым А.Н., Гасановым Б.Г., Власовым В.М., Новиковым И.А., Агуреевым И.Е., Жанказиевым С.В. и др.

Однако, проведенные исследования не учитывают всего многообразия факторов, влияющих на возникновение задержек на УДС и эффективность использования автомобилей.

В исследованиях Сильянова В.В. были разработаны модели учитывающие влияние дорог и дорожных условий на параметры транспортного потока.

В исследованиях Столярова В.В., Щеголевой Н.В. была разработана модель транспортного потока, позволяющая последовательно определять в зависимости от дорожных условий, состава движения и допустимого риска возникновения ДТП, скорость и плотность движения транспортного потока, а также скорость и плотность рассасывания заторов. Однако при этом не исследовано влияния параметров дороги на возникновение заторов.

Цель работы – повышение эффективности использования автомобилей с учетом вероятности возникновения затора на различных участках УДС.

Для достижения поставленной цели сформулированы следующие задачи исследования:

1. Провести анализ причин возникновения транспортных задержек и их влияния на эффективность использования автомобилей.
2. Разработать теоретическую модель возникновения задержек на УДС с использованием теории риска.
3. Получить зависимость величины риска возникновения транспортной задержки от параметров дороги и ТП.
4. Обосновать уровни адаптации участков УДС по степени риска возникновения транспортной задержки с учетом параметров дороги и ТП.
5. Разработать практические рекомендации по повышению эффективности использования автомобилей с учетом вероятности возникновения транспортных задержек.

Объект исследования – транспортные потоки.

Предмет исследования – процессы адаптации транспортного потока к улично-дорожной сети.

Научная новизна:

1. Разработана модель возникновения задержек ТП с использованием теории риска.
2. Получены зависимости риска возникновения транспортной задержки от параметров дороги и ТП.
3. Предложен критерий оценки процесса адаптации транспортного потока к УДС.
4. Разработана методика ранжирования уровней адаптации УДС с учетом риска возникновения транспортных задержек для определения вариантов объезда пробок. Это позволит упорядочить наиболее загруженные участки УДС по степени риска и адаптировать УДС к транспортному потоку для повышения эффективности использования автомобиля.

На защиту выносятся следующие положения:

1. Математическая модель оценки риска возникновения транспортной задержки с учетом параметров дороги и ТП.
2. Зависимость коэффициента риска возникновения транспортной задержки от параметров дороги.
3. Модель адаптации транспортного потока к УДС города.
4. Методика ранжирования уровней адаптации УДС по степени риска возникновения транспортных задержек с учетом параметров дороги и ТП.

Теоретическая и практическая значимость работы. Выделение наиболее загруженных, с позиции повышения эффективности использования автомобилей и управления транспортными потоками, участков транспортной сети; учет вероятности попадания в сложные транспортные ситуации автомобилей на маршруте движения служит научной основой для повышения эффективности функционирования УДС города.

Результаты исследований имеют прикладной характер и могут быть использованы при реализации программ развития систем диспетчеризации перевозочного процесса.

Методология и методы исследования. Ведущими учеными в области организации дорожного движения и управления транспортными потоками являются Д. Дрю, Г.И. Клинковштейн, О.Н. Ларин, А.В. Гасников, Э.Р. Домке, А.Н. Новиков, Б.Г. Гасанов, В.В. Сильянов, В.В. Столяров, Е.М. Лобанов, Ю.А. Кременец, а также зарубежные авторы Ф. Хейт, Х. Иносе, П. Пржибыл, F.V.Webster, B.S. Kerner и многие другие ученые. В работах этих авторов рассматривались вопросы организации дорожного движения, управления транспортными потоками. Некоторые из предложенных мероприятий по повышению эффективности управления транспортными потоками, в связи с изменяющимися показателями необходимо корректировать и совершенствовать. Теоретико-методической основой исследования явились математическое моделирование, натурные наблюдения, статистический анализ и экспериментальные методы обследования транспортного потока, а также

системный подход к управлению автомобильными перевозками, который позволяет учитывать факторы, влияющие на эффективность использования автомобилей с учетом влияния параметров дороги и транспортного потока. Математические методы и экономический анализ, направленные на изучение, прогнозирование и управление транспортных потоков, позволяют получить результативные показатели качества функционирования транспортных сетей и повысить эффективность использования автомобилей. В работе использованы статистические данные Минтранса РФ, Саратовстата.

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

Степень достоверности результатов. Достоверность результатов обеспечена соответствием экспериментальных данных результатам теоретико-методического подхода прогнозирования вероятности возникновения транспортных задержек на УДС города с последующей корректировкой маршрута движения транспортного средства, апробацией научных методов на участке УДС, а также использованием новейших версий библиотек статистической обработки данных.

Соответствие диссертационной работы паспорту специальности. Выполненные исследования отвечают формуле паспорта научной специальности 05.22.10 – «Эксплуатация автомобильного транспорта» по пункту 2 «Оптимизация планирования, организации и управления перевозками грузов...» и пункту 7 «Исследования в области безопасности движения с учетом дорожной сети, организации движения автомобилей ...».

Апробация работы. Основные положения и результаты диссертационной работы доложены, обсуждены и одобрены на 12 конференциях и конкурсах: XXIV международной научной конференции в рамках программы У.М.Н.Н.И.К. (Саратов, 2011); V юбилейной международной научно-практической конференции «Логистика и экономика ресурсоэнергосбережения в промышленности - МНПК

«ЛЭРЭП-5-2011» (Саратов, 2011); XXV международной научной конференции «Математические методы в технике и технологиях -ММТТ-25» (Саратов, 2012); международной научно-технической конференции «Проблемы качества и эксплуатации автотранспортных средств» (Пенза, 2012, 2013); международной научно-практической конференции «Актуальные вопросы организации автомобильных перевозок и безопасности движения» (Саратов, 2016, 2017); всероссийской научно-технической конференции «Проблемы эксплуатации автомобильного транспорта и пути их решения на основе современных информационно-коммуникационных и энергосберегающих технологий» (Воронеж, 2016); 75-й научно-методической и научно-исследовательской конференции в рамках секции "Актуальные проекты и проблемы модернизации транспортного комплекса Московской агломерации" (Москва, 2017); III международной научно-практической конференции «Информационные технологии и инновации на транспорте» (Орел, 2017).

Реализация результатов работы. Основные теоретические результаты исследования реализованы в виде прогноза вероятности образования задержек ТП на участке УДС города и разработке уровней адаптации с последующей корректировкой маршрутов движения транспортных средств, с целью управления транспортными потоками и объезда участков с затрудненным движением. Результаты и рекомендации апробированы в реальных условиях городской территории г. Саратова, рекомендованы к внедрению в ЦДС г. Саратова и в Управлении ГИБДД г. Саратова.

Материалы использованы в учебном процессе при обучении бакалавров и магистров по направлению «Технология транспортных процессов» на кафедре «Организация перевозок, безопасность движения и сервис автомобилей» Саратовского государственного технического университета им. Гагарина Ю.А.

Справки и акты о внедрении: АО «Саратовское грузовое автотранспортное предприятие №6», ОАО «Центральная диспетчерская служба» г. Саратова, Управление ГИБДД ГУ МВД России по Саратовской области, Саратовский государственный технический университет имени Гагарина Ю.А.

Публикации. Основные положения диссертации опубликованы в 20 статьях, в том числе 5 из них в изданиях из перечня рецензируемых научных журналов и изданий для опубликования основных научных результатов диссертации.

Структура и объем диссертации. Структурно работа построена таким образом, что в начале работы приводится анализ существующей системы управления транспортными потоками с позиции эффективности использования автомобилей. Представлен зарубежный опыт в рассмотрении этого вопроса. Далее автором излагается концепция повышения эффективности использования автомобилей с учетом вероятности возникновения транспортных задержек на УДС.

Рукопись диссертации состоит из введения, пяти глав, заключения, списка используемых источников и приложений. Работа изложена на 155 страницах, включая 18 таблицы, 58 рисунков.

ГЛАВА 1. Анализ современного состояния исследования эффективности использования автомобиля

1.1 Анализ показателей эффективности использования автомобиля

1.1.1 Анализ транспортных показателей

В России на автомобильный транспорт приходится 68% всех перевезенных грузов [1]. Грузы могут быть доставлены в любую точку, где есть дорога, кроме того, перевозку грузов автомобилем можно комбинировать с другими видами транспорта. Автомобильные перевозки пассажиров в 2016 г. составили 14644млн. чел., пассажирооборот которых составил 132,6 млрд. пассажиро-км. Грузооборот транспорта в России по итогам 2016 года составил 5,62млрд. т-км [2].

В настоящее время в России, как и во всем мире, с ростом автомобилизации (см. табл.1.1) растет интенсивность движения транспортного потока.

В России в 2016 г. зарегистрировано 57,1 млн. единиц транспортных средств (ТС). За последние 10 лет, по сравнению с 2007 годом, транспортный парк страны вырос на 39,8 %, то есть более чем на 16 млн. единиц. В среднем, ежегодный прирост ТС составлял 3,8 %. Основное увеличение происходит за счёт легковых автомобилей: по сравнению с 2007 годом, их количество выросло на 15,3 млн. единиц (52 %); парк грузовых автомобилей вырос на 1,05 млн. единиц (20,3 %). Изменился и состав ТС: в последние годы большую часть составляют легковые автомобили 44,7 млн. единиц (78 %) [1-5]. Ожидается, что в ближайшее десятилетие количество автомобилей в РФ возрастет в 1,5 раза. При этом будет продолжать расти нагрузка на дороги, и если не принимать меры – то будет расти аварийность и происходить регулярные заторы. Грузооборот вырос до 232 млрд. ткм, объем перевозок пассажиров автобусами и легковыми автомобилями вырос до 14644 млн. человек [3]. При росте грузо- и пассажироперевозок, пропускная способность существующих дорог не изменилась [6].

Таблица 1.1 – Количество ТС, зарегистрированных в России, млн. ед. [1-5]

Год	Всего АТС, млн. ед.	Легковые, млн. ед.	Грузовые, млн. ед.	Автобусы, млн. ед.	Мототранспортные средства, млн. ед.	Прицепы, млн. ед.	Полуприцепы, млн. ед.
2007	40,84	29,4	5,16	0,88	3,24	1,75	0,39
2008	43,45	32,02	5,34	0,89	2,94	1,81	0,43
2009	44,36	33,08	5,32	0,89	2,76	1,85	0,44
2010	45,72	34,35	5,41	0,89	2,66	1,92	0,47
2011	47,95	36,41	5,54	0,9	2,6	1,98	0,49
2012	50,51	38,74	5,71	0,92	2,49	2,08	0,54
2013	53,32	41,22	6,02	0,88	2,48	2,07	0,63
2014	55,75	43,42	6,23	0,88	2,37	2,2	0,65
2015	56,61	44,25	6,22	0,87	2,25	2,33	0,67
2016	57,1	44,7	6,21	0,86	2,24	2,41	0,67
К 2007, %	139,8	152,0	120,3	97,7	69,1	137,7	171,8

Количество ДТП и пострадавших в них в Саратовской области в 2015 г. составило 136,6 на 100 тыс. человек населения, этот же показатель по Московской области – 108,4 на 100 тыс. человек населения, по России – 125,7 ДТП на 100 тыс. человек населения.

Доля загрязнения автотранспортом в крупных городах страны составляет 70-80 % от совокупного количества выбросов веществ в атмосферу. В местах образования заторов количество автомобильных выбросов зашкаливает, поскольку при режимах холостого хода и набора скорости в атмосферу выделяются максимальные объёмы выхлопных газов.

Фактическая нагрузка на улично-дорожную сеть городов превышает предельную более чем на 20 %.

Экономические потери по данным исследований МАДИ, связанные с задержкой пассажиров в общественном транспорте, за год составляют 19,3 млрд. руб. Экономические потери, связанные с задержкой пассажиров и водителей на легковом транспорте 17,5 млрд. руб.[7].

1.1.2 Показатели эффективности использования автомобиля в перевозочном процессе

Эффективность использования автомобилей определяется технико-эксплуатационными показателями. При анализе эффективности перевозочного процесса основным показателем является производительность подвижного состава. Производительность формируется исходя из нескольких технико-эксплуатационных показателей, характеризующих разные стороны работы автомобильного транспорта. На каждый из этих показателей оказывают влияние различные факторы (организационно-экономические, технические и т.п.), при изменении которых можно повлиять на сами показатели, а следовательно и на производительность автомобилей (рис. 1.1).

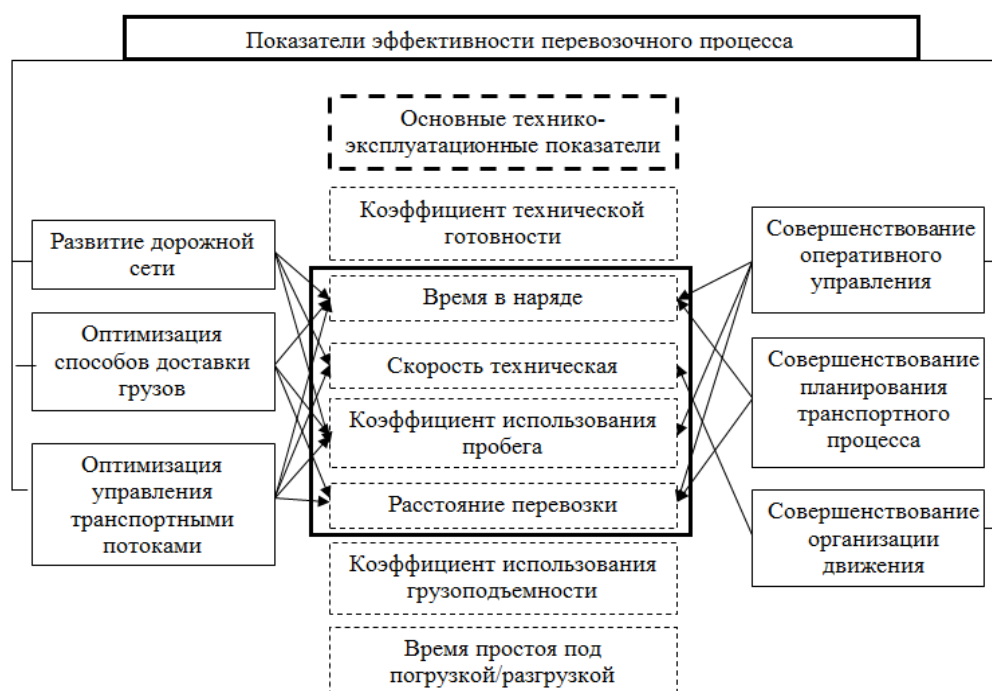


Рисунок 1.1 – Факторы, влияющие на показатели эффективности перевозочного процесса

Эффективность использования автомобиля зависит от его качества. Качество - совокупность свойств, которые определяют степень пригодности автомобиля к выполнению заданных функций при использовании по назначению. Степень пригодности автомобиля во время эксплуатации изменяется.

В связи со сложностью конструкции автомобиля, разнообразием некоторых его свойств и особенностей конструкций, а также различных сочетаний их, разной зависимости от условий эксплуатации и вида перевозок оценить автомобиль одним обобщающим показателем довольно трудно. Поэтому качество автомобиля определяют комплексом наиболее показательных его эксплуатационных свойств: емкостью использования массы, скорости движения, проходимостью, безопасностью и др.

Эффективность использования автомобилей описывается системой показателей, которые можно разделить на частные и обобщающие.

Частные представляют собой технико-эксплуатационные показатели (ТЭП), которые включают в себя [8]:

- среднесписочное число автомобилей;
- состав автомобилей по типам, маркам и число автомобиле-дней работы подвижного состава;
- время в наряде;
- рабочий пробег автомобиля;
- время движения автомобилей на маршруте;
- коэффициент технической готовности;
- коэффициенты использования автопарка, рабочего времени, пробега.

Обобщающие показатели характеризуют влияние многих факторов в совокупности на эффективность использования автомобилей. В систему этих показателей включают:

- технико-эксплуатационные показатели (объем перевозок, пассажирооборот, производительность автомобильного парка);
- экономические (себестоимость перевозок, прибыль и рентабельность).

Под эффективностью использования автомобилей понимается уровень производительности и степень использования автомобилей. Показатели эффективности использования автомобилей включают в себя:

- суточная и годовая производительность на 1 автомобиль;
- количество отработанных дней;

- время нахождения автомобилей в наряде и движении;
- коэффициент использования парка в наряде и движении;
- коэффициент использования парка на линии;
- коэффициенты использования пробега.

Данные показатели применимы для оценки текущей и годовой оценки использования автомобилей.

Основными ТЭП работы автотранспорта являются: техническая готовность подвижного состава (ПС), выпуск на линию, использование ПС и продолжительность его работы и др.

Анализ производительности грузового и пассажирского транспорта показывает, что наибольшее влияние на производительность оказывают время в наряде и средняя скорость автомобиля (рис. 1.2).

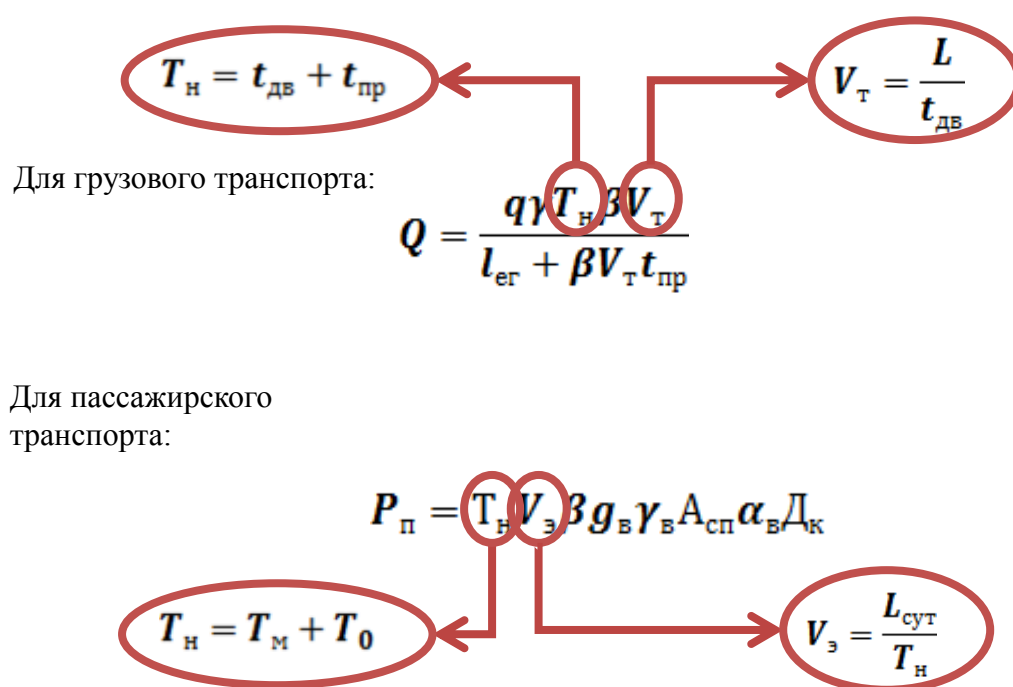


Рисунок 1.2 – Показатели, влияющие на производительность автомобиля

Время нахождения автомобиля в наряде (T_n) определяется количеством часов с момента выезда автомобиля из АТП до момента возвращения его на место стоянки за исключением времени отдыха и обеда водителя.

$$T_n = T_{дв} + t_{пр} = T_m + t_0; \quad (1.1)$$

где $T_{дв}$ – время движения автомобиля;

$t_{пр}$ – время простоя автомобиля под погрузкой/разгрузкой;

T_m – время работы автомобиля на маршруте;

T_n – время нулевого пробега.

Скорости движения автомобиля делятся на техническую, эксплуатационную и скорость сообщения.

Техническая скорость движения автомобиля (V_T) включает в себя все краткие временные остановки, связанные с дорожным движением:

$$V_T = \frac{L}{T_{дв}}, \quad (1.2)$$

где L – пройденное расстояние.

Эксплуатационная скорость движения автомобиля ($V_э$) является условной скоростью движения автомобилей за время нахождения его на линии:

$$V_э = \frac{L}{T_m} = \frac{L}{T_{дв} + t_{пр} + T_{ПТ}}, \quad (1.3)$$

где $T_{ПТ}$ – время простоя автомобиля по техническим причинам.

Повысить эффективность использования автомобиля исходя из приведенных выше формул для Q и P можно с помощью: увеличением коэффициентов использования пробега и грузоподъемности, увеличением грузоподъемности, увеличением среднесуточного пробега автомобиля, который зависит от технической скорости движения автомобиля и времени простоя под погрузкой и разгрузкой.

В результате проведенного анализа технико-эксплуатационных показателей перевозочного процесса выделены те показатели, которые главным образом зависят от параметров дороги, транспортного потока и влияют на производительность автомобиля.

Эффективность перевозочного процесса напрямую зависит от скорости доставки груза. На себестоимость перевозок груза и на величину инерционности процесса перевозок влияет изменение технической скорости движения автомобиля. Инерционностью процесса перевозок называется несоответствие между провозной возможностью перевозочного комплекса и существующей величиной грузопотока. Затраты, появляющиеся в связи с выявлением инерционности процесса перевозок можно определить [9]:

$$R = \left[1 - \frac{1 + \frac{l_{ег}}{t_{пр} \cdot V_{т} \cdot \beta_e}}{1 + \frac{l_{ег}}{t_{пр} \cdot V_{тф} \cdot \beta_e}} \right]. \quad (1.4)$$

В связи с увеличением затрат перевозочного процесса следует рассмотреть влияние показателей УДС на скорость перевозки груза.

Основными показателями, оценивающими загруженность УДС, являются скорость, плотность и интенсивность транспортного потока. Взаимосвязь плотности и скорости транспортного потока выражается в модели Гриншилльдса [10]:

$$v = v_0 \left(1 - \frac{k}{k_c} \right), \quad (1.5)$$

где v – максимально возможная скорость на дороге;

v_0 – скорость свободного движения автомобилей в потоке;

k – плотность потока;

k_c – максимальная плотность потока, которая приводит к полной остановке всех автомобилей в потоке.

В математическом виде взаимосвязь интенсивности и скорости транспортного потока представлена следующими моделями [10]:

$$N = k_c \cdot v \left(1 - \frac{v}{v_0} \right), \quad (1.6)$$

где N – интенсивность транспортного потока.

$$N = v_0 \cdot k \left(1 - \frac{k}{k_c} \right). \quad (1.7)$$

В данной математической модели загруженность УДС показана как k/k_c . Данные модели позволяют оценить интенсивность и скорость транспортного потока в любых городах, как на магистральных дорогах, так и на дорогах с низкой интенсивностью движения.

1.1.3 Эффективность транспортного процесса и безопасность дорожного движения

Эффективность перевозочного процесса включает в себя производительность транспортного процесса и безопасность движения. Комплексный показатель оценки эффективности транспортного процесса должен быть измеримым в реальных условиях движения транспортного потока и иметь стоимостное выражение.

В системе управления транспортным процессом используется целый комплекс различных показателей, которые могут иметь решающее и второстепенное значение:

- пропускная способность улично-дорожной сети (УДС);
- параметры УДС;
- интенсивность движения транспортного потока;
- транспортные задержки;
- средняя скорость движения;
- время поездки;
- число остановок транспортных средств;
- длина очередей перед перекрестками;
- количество и тяжесть дорожно-транспортных происшествий (ДТП);
- степень загазованности окружающей среды;

—уровень шума, создаваемого ТС.

Выше перечисленные показатели взаимосвязаны, но вид зависимостей среди большинства из них не определен. Некоторые из показателей определяются путем сбора и анализа статистических данных [8, 11].

Расчет тех или иных показателей производят исходя из цели оценки. Многие показатели определяются в совокупности. При расчете экономической эффективности учитываются многие показатели в денежном выражении. При постановке задачи оптимизации обычно достаточным является определение небольшого количества показателей, т.к. известно, что минимизация одного параметра влияющего на эффективность перевозочного процесса оказывает влияние на другие. Например, при сокращении транспортных задержек происходит увеличение скорости движения транспортного потока, соответственно сокращается время движения, расход ГСМ, загазованность и шум.

Проводя анализ показателей эффективности использования автомобиля необходимо выбрать ведущий. Эффективность функционирования транспортной системы наиболее наглядно показывает работа перекрестков на УДС. Пропускная способность пересечений может быть решающей при определении производительности транспортной системы в целом.

Основными показателями, которые необходимо определять при анализе производительности перекрестков – это среднее время задержки транспортных средств и среднее время обслуживания перекрестка. При определении транспортных задержек можно воспользоваться одной из множества известных методик. Также время задержки ТС можно рассчитать в денежном представлении.

Имеется косвенная зависимость между величиной средней транспортной задержки и степенью безопасности движения, т.к. сокращения числа и продолжительности времени задержки ТС на маршруте движения приводит к

снижению психологической утомляемости водителей, что влечет за собой уменьшение вероятности возникновения ДТП.

1.2 Характеристики транспортных потоков и их взаимосвязь

Транспортный поток состоит из отдельных автомобилей, обладающих различными весогабаритными параметрами, динамическими характеристиками и управляемых водителями с разной квалификацией, опытом и возрастом, т. е. транспортный поток не является однородным.

При условии движения отдельных автомобилей в потоке с небольшой интенсивностью движения, с большими интервалами между попутно следующими автомобилями, водитель ограничен Правилами дорожного движения, техническими характеристиками автомобиля и технико-эксплуатационными показателями дороги. При условии движения в плотном потоке, водитель не имеет возможности выбирать скорость движения, не всегда есть возможность обгона, следовательно, поведение водителя определяется условиями движения в едином потоке автомобилей. Таким образом, транспортный поток с высокой интенсивностью движения сглаживает различия между водителями и характеристиками автомобилей.

Эффективность использования автомобилей в перевозочном процессе, безопасность дорожного движения зависят от характера взаимодействия автомобилей в транспортном потоке и основных характеристик этого потока.

Транспортный поток характеризуется многими показателями, среди которых основными являются скорость потока V , плотность потока q и интенсивность движения транспортных средств N [11, 12, 13, 14]. В отечественной и зарубежной науке имеется богатый опыт изучения транспортного потока, опираясь на эти три основные характеристики. В качестве основного примера целесообразно привести первую математическую модель однополосного транспортного потока на макроскопическом уровне, разработанную в 50-е годы прошлого века, которая более известна как модель Лайтхилла–Уизема–Ричардса.

Согласно данной модели существует взаимная и однозначная зависимость между скоростью V , плотностью q и интенсивностью N , которая также известна как уравнение состояния транспортного потока или фундаментальная (основная) диаграмма (рис. 1.3) [12],

$$N = q \cdot V. \quad (1.8)$$

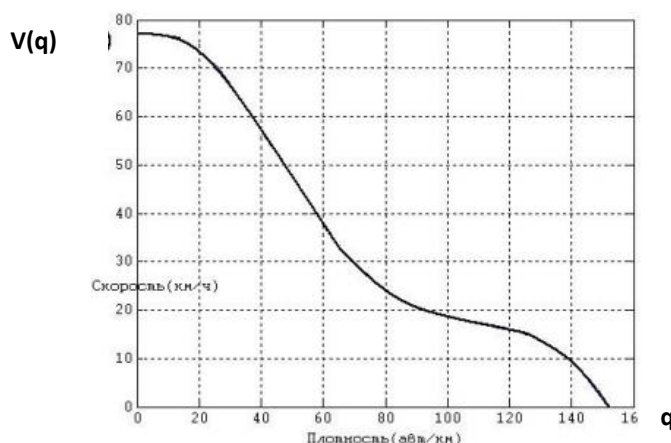


Рисунок 1.3 – Диаграмма состояния транспортного потока

В свою очередь, интенсивность движения транспортных средств определяется как [12]:

$$N = \frac{n}{T}, \quad (1.9)$$

где n – количество ТС, прошедших через сечение дороги;

T – время замера.

В случае рассмотрения регулируемых пересечений некоторые исследователи подразделяют интенсивность транспортных средств на два основных вида [11, 14]:

1. Интенсивность прибытия транспортных средств на подходе к пересечению.
2. Интенсивность разъезда очереди транспортных средств после включения разрешающего сигнала светофорной сигнализации.

Стоит также отметить, что в случае рассмотрения регулируемого пересечения, максимальное значение интенсивности разъезда транспортной очереди, которое достигается в течение длительности разрешающего сигнала

светофора, в научной литературе также обозначено как поток насыщения. На практике для регулируемых пересечений значение потока насыщения также является значением максимальной пропускной способности исследуемого направления [14].

Учёт и сбор статистических данных об интенсивности движения транспортных средств является важнейшей задачей и серьёзной проблемой даже для современного научного общества. В частности, следует принять во внимание тот факт, что каждое транспортное средство характеризуется длиной, массой и, следовательно, статическим и динамическим габаритами. Поэтому при сборе данных об интенсивности необходимо также учитывать и данные по составу потока, чтобы в дальнейшем привести каждое учтённое транспортное средство в потоке к единому показателю, которым в данном случае является легковой автомобиль (табл. 1.2). В настоящее время в научной и нормативной литературе существуют различные значения коэффициента приведения. На практике (например, с целью разработки режимов светофорного объекта) зачастую поступают следующим образом: коэффициент приведения для мотоциклов принимают равным 1, а для остальных транспортных средств – 2 [11, 14, 15].

Таблица 1.2 – Значения коэффициента приведения $K_{пр}$ в различных научных и нормативных источниках

Тип ТС	Вебстер Ф.	Врубель Ю.А.	Клинковштейн Г.И.	СНиП 2.05.02-85	Branston D.	Sosin J.
Мототранспортные средства	0,33	0,7	0,5-0,75	0,5-0,75	0,15	0,6
Грузовые автомобили, грузоподъемность до 2 т	-	-	1,5	1,5	-	-
Грузовые автомобили, грузоподъемность от 2 до 6 т	1,75	1,4	1,7-2	2	1,35	1,6
Грузовые автомобили, грузоподъемность более 6 т	1,75	-	2-3	2,5-3,5	1,68	-
Автопоезда	-	2,3	3,5-6	3,5-6	-	2,8
Автобусы	2,25	2	1,5-2,5	3	1,65	1,7
Троллейбусы	-	2	3	-	-	-

1.3 Анализ транспортных задержек на улично-дорожной сети

1.3.1 Причины возникновения транспортных задержек

Задержка транспортного средства представляет собой вынужденную остановку или снижение скорости движения ТС по сравнению с возможной скоростью движения на данном участке УДС. Продолжительная по времени транспортная задержка преобразуется в транспортный затор.

Транспортный затор является неподвижным состоянием транспортного потока в результате его максимального уплотнения в связи с увеличением интенсивности движения превышающей пропускную способность участка транспортной сети.

Дорожный затор – большое скопление на УДС автомобилей, которые движутся со средней скоростью меньшей, чем разрешенная скорость на данном участке дороги. В случае образования затора идет снижение пропускной способности участка УДС до критического значения. При превышении пропускной способности участка дороги новоприбывший поток автомобилей приводит к затору, который растет лавинообразно [16].

В различных источниках дается свое определение транспортному затору, так в Highway Capacity Manual 2015 транспортный затор характеризуется задержкой на регулируемом перекрестке более, чем на 80 с [17].

Наибольшее скопление автомобилей наблюдается перед светофором. Совершать маневры поворотов в таких условиях достаточно сложно. Такая ситуация на УДС еще не является затором, т.к. скопление автомобилей перед светофором существует непродолжительное время, несмотря на частоту. Еще одним фактором образования заторов являются припаркованные на обочине автомобили. Таким образом, понятие «затор» должно включать критерии, которые характеризуют это явление.

В общем виде, затор представляет собой некое образование с возникновением определенного рода явлений, которое происходит по определенным причинам.

Чем больше интенсивность движение, тем сильнее прослеживается влияние автомобилей друг на друга. Скорость движения увеличивает перед обгоном ТС на

свободном участке дороги и увеличивает значение скорости транспортного потока. С течением роста интенсивности движения происходит увеличением плотности транспортного потока (ТП). Движение автомобилей в плотном ТП происходит в режиме следования за лидером, автомобили объединяются в группы на сложных участках дороги и движутся колонной. Наибольшая интенсивность формирования очередей транспортных средств на участках УДС в населенных пунктах, с усложненными элементами плана и продольного профиля дороги, наличием кривых малого радиуса, подъемов и спусков, участков с ограниченной видимостью, узких мест на проезжей части, пересечений в одном уровне и т.д. [11].

Плотный поток обусловлен неудовлетворительными условиями движения с позиции безопасности, выбора скоростного режима и маневрирования. Незначительное снижение скорости движения по какой-либо причине может привести к затору на участке дороги.

Транспортный поток представляет собой множество ТС, движущихся под управлением одного человека, действия которого согласовываются с движением остальных участников движения в этом потоке с соблюдением Правил дорожного движения. Задача водителя с помощью ТС доехать до пункта назначения максимально быстро и по максимально кратчайшему расстоянию. Во время движения по выбранному маршруту водитель сталкивается с различными ситуациями: вынужденное снижение скорости движения, потери времени на маршруте, в связи с чем, водитель предпринимает для компенсации потерянного времени увеличить скорость движения. Для решения такого рода проблем существует несколько способов решения: объезд участка УДС с затрудненным движением, либо движение по заданному маршруту, но с потерей времени. Поиск решений заключается в предварительной оценке дорожной ситуации: как длительно может существовать затор, насколько он сложный и есть ли смысл искать объездные маршруты. Каждый водитель сам оценивает сложность дорожной ситуации, основываясь на своем опыте [18].

При движении по УДС водитель постоянно наблюдает разные состояния потока и условия движения. Основными критериями оценки существования заторового явления, на которые водитель обращает внимание, являются плотность и скорость транспортного потока. Тем не менее, увеличение плотности не всегда приводит к затору, к примеру, на перекрестке перед светофором регулярно наблюдается скопление ТС, но это локальное и кратковременное состояние потока. Также, стоит отметить, что снижение скорости движения не во всех случаях приводит к увеличению плотности потока. Встречаются ситуации, когда снижается скорость, а только вследствие этого увеличивается плотность потока. Это наиболее часто встречается, когда из-за неудовлетворительного состояния дорожного полотна или плохих погодных условий водитель вынужден снижать скорость. Можно сделать вывод, что снижение скорости движения и уплотнение транспортного потока во всех случаях связано с наличием какого-либо препятствия или преграды. Преградой помимо физического объекта, может также являться психоэмоциональное состояние водителя [19].

Водитель понимает затор, как состояние транспортного потока с увеличенной плотностью потока не меняющейся во времени, т.е. процесс увеличения плотности потока соответствует началу затора, состояние с постоянной увеличенной плотностью потока – состояние затора, а состояние с уменьшающейся плотностью потока – окончание затора.

Структурно причины возникновения затора можно представить в виде блок-схемы: естественные, искусственные и прочие причины (рис. 1.4).

Каждый из приведенных блоков имеет свою внутреннюю структуру. В целом структурированность дерева дает возможность системно увидеть «природу» заторов. Представленные в дереве причины существуют в «природе» заторов как отдельно образующие факторы-причины, так и работающие в совокупности. Множество таких факторов доказывает многофакторность заторового явления и сложность механизмов развития цепей причинно-следственных связей событий предшествующих заторам.

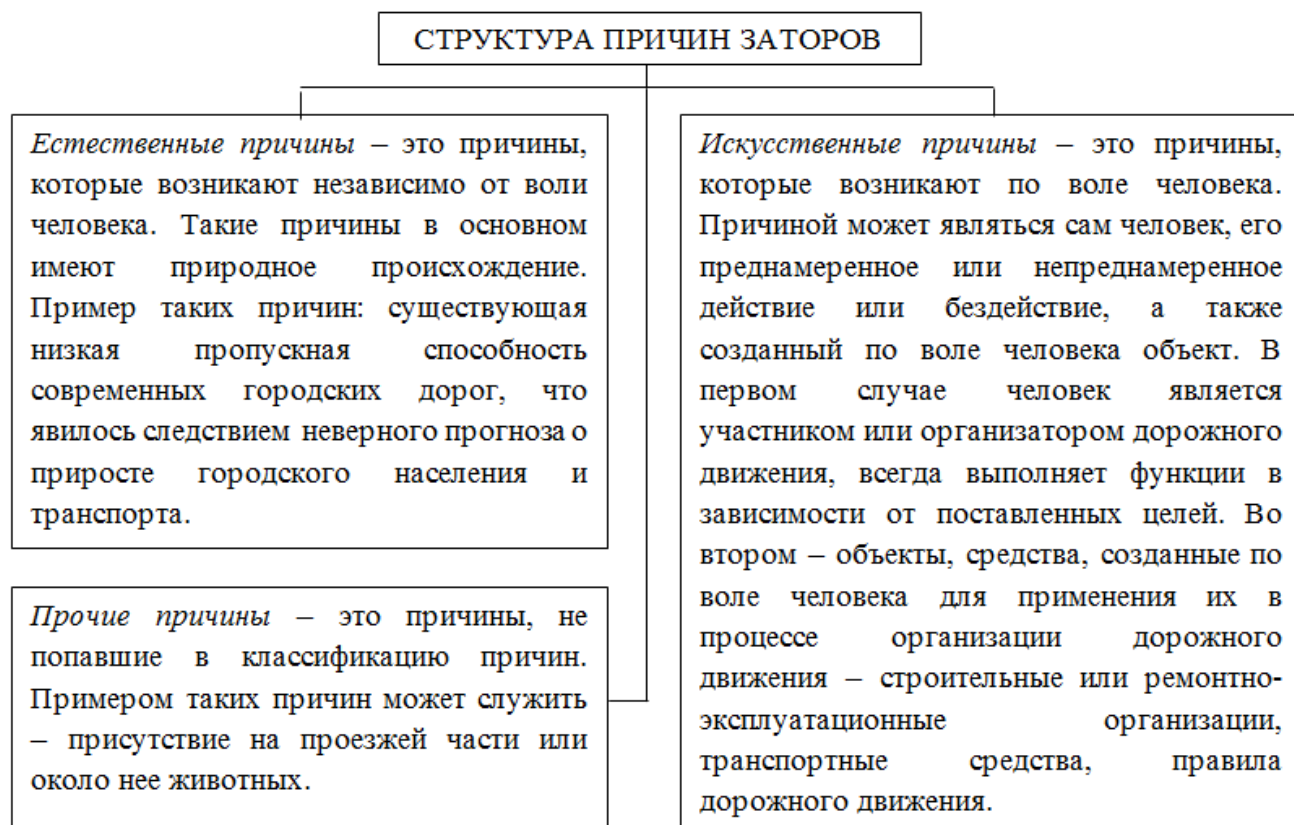


Рисунок 1.4 – Структура причин затора

Одной из наиболее важных проблем возникновения заторового явления является неправильный выбор дистанции между друг за другом следующими автомобилями. Каждый автомобиль во время движения имеет определенный динамический габарит, важным является соответствие динамического габарита конкретного автомобиля конкретным условиям движения на УДС (табл. 1.3) [20].

В таблице 1.3 видна взаимосвязь увеличения скорости вместе со значением динамического габарита. Чтобы снизить количество заторов необходимо выполнять требование соблюдения дистанции между автомобилями для сокращения числа ДТП и сокращения случаев уменьшения пропускной способности участков УДС.

Таблица 1.3 – Зависимость динамического габарита от скорости движения

Скорость движения автомобиля, км/ч	Динамический габарит движения автомобиля, м			
	Toyota Camry	Daewoo Matiz	Lada Priora	BA3-2106
15	10,54	9,22	9,96	9,87
20	12,35	11,03	11,77	11,68
25	14,28	12,96	13,70	13,61
30	16,33	15,01	15,75	15,66
35	18,49	17,82	17,91	17,17
40	20,78	19,46	20,20	20,11
45	23,18	21,86	22,60	22,51
50	25,69	24,37	25,11	25,02
55	28,33	27,01	27,75	27,66
60	31,08	29,76	30,50	30,41
65	33,95	32,63	33,37	33,28
70	36,94	35,62	36,34	36,27
75	40,04	38,72	39,46	39,37
80	43,27	41,95	42,69	42,60
85	46,61	45,29	46,03	45,94
90	50,06	48,75	49,49	49,40
95	53,64	52,32	53,06	52,97
100	57,33	56,01	56,75	56,66

Заторы на дорогах возникают постоянно, и это одна из проблем, с которой сталкивается сегодня автомобильный транспорт. Затор специалисты определяют, как условия движения, в которых автомобили передвигаются с низкими скоростями при высокой плотности транспортного потока, коэффициент загрузки при этом близок к единице.

С увеличением загрузки дороги происходит доуплотнение потока и скорость стремительно уменьшается. При этом средняя скорость потока снижается, а средняя плотность увеличивается. Режим пропускной способности неустойчив. Незначительное превышение плотности относительно оптимальной плотности (независимо от природы такого повышения) приводит к остановке транспортного потока и образованию затора. При этом плотность быстро увеличивается от значений оптимальной плотности до плотности при заторе, так как объём движения максимален [21, 22].

Существует множество причин возникновения заторов: избыток числа автомобилей на участке дороги, динамика изменения пропускной способности

дороги при смене полосы движения и т.д. Эти факторы взаимосвязаны с внешними факторами: схема УДС города, уровень покрытия территории города дорогами, экономические условия в данном регионе, степень занятости населения, уровень автомобилизации, развитие УДС и т.д. Можно выделить основные группы факторов, влияющих на образование заторов [23, 24]:

- экзогенные факторы, которые относятся к совершаемым поездкам и объему пассажирских перевозок;
- факторы на микроуровне, которые связаны с непосредственным движением транспортного потока;
- факторы на макроуровне, которые связаны со спросом населения на передвижения и поездки, а также со степенью пользования дорогами.

Помимо выше перечисленных групп факторов, на образование заторовых явлений оказывают влияние косвенные факторы, такие как климатические и погодные условия, видимость и т.п. Таким образом, можно выделить факторы, которые в любом случае приведут к затору на микроуровне и факторы макроуровня, которые будут способствовать ухудшению течения заторовой ситуации [25].

Целостное представление факторов, влияющих на образование включает социально-экономические факторы, которые зависят от уровня развития города, численности населения, уровня жизни и степени распространения по территории города социально значимых объектов, и факторы, которые зависят от вида передвижения, вида транспорта, затрат на эти передвижения, учитывающие все элементы системы «водитель-автомобиль-дорога-окружающая среда» (В-А-Д-С), а также включающие поведение водителей и степень загруженности УДС.

На рисунке 1.5 представлена взаимосвязь всех перечисленных факторов друг с другом, с навыками и опытом водителей, а также с обратной связью внутри системы [26].

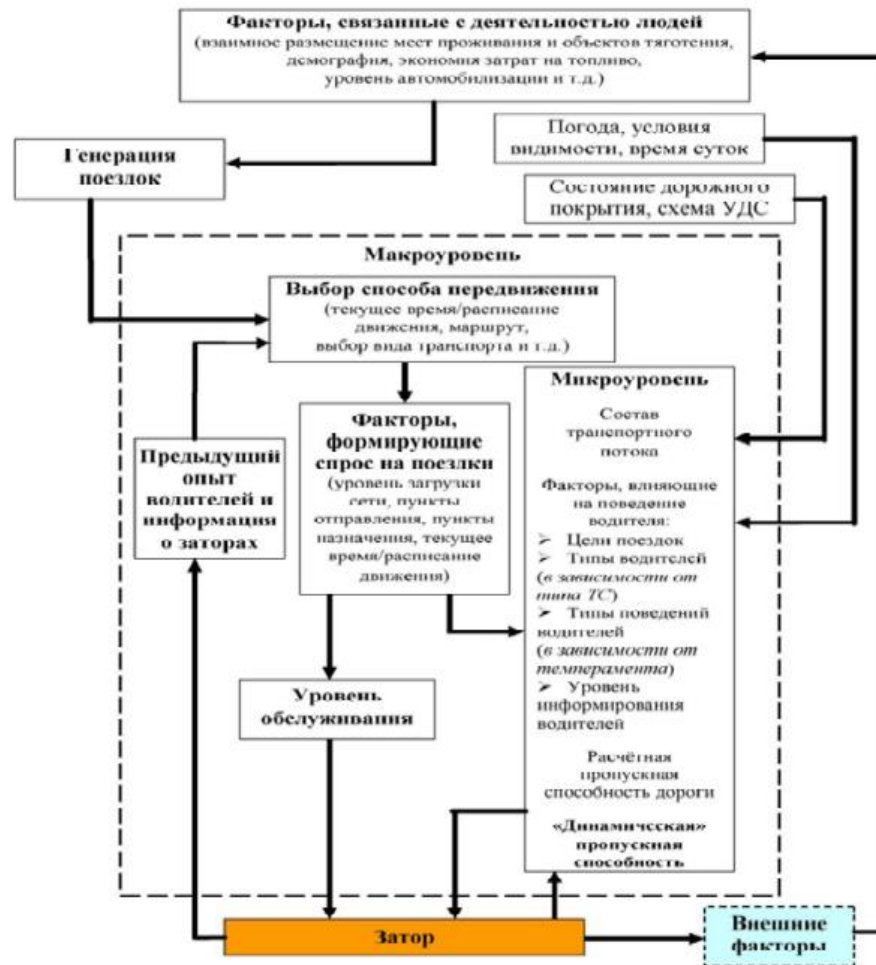


Рисунок 1.5 – Факторы, вызывающие затор на микроуровне и макроуровне

Таким образом, на процесс возникновения заторового явления влияют:

1. Виды деятельности городского населения, зависящие от демографических и социально-экономических факторов вместе со степенью покрытия территории города дорогами, влияют на формирование транспортного поведения отдельных групп населения, функционирование производственных, торговых и культурно-бытовых отраслей.

2. Транспортное поведение определяется уровнем спроса на перемещения, который меняется в зависимости от времени суток и по районам города (макроуровень).

3. Общий спрос на перемещения формирует общий уровень движения по УДС, состав транспортных потоков и категорий водителей на разных участках транспортной сети (микроуровень). На данном уровне определяется динамическая

пропускная способности участков УДС с учетом типа, габаритов ТС, динамических характеристик, скорости движения ТП, интенсивность движения по направлениям на участках транспортной сети, маневрирование при смене полосы движения, поведение водителей в потоке, климатические и погодные условия и т.д.

4. В случае превышения уровня транспортного потока динамической пропускной способности возникает затор, которые распространяется по потоку и по всей сети.

5. В системе появляется обратная связь, т.к. водители могут принимать во внимание свой предыдущий опыт перемещений по транспортной сети, особенно тех случаев, когда они попадали в затор. Водители адаптируют свое поведение с целью исключить попадание в заторовую ситуацию на маршруте движения. Если же водители все же попали в затор, затор приводит к длительным изменениям в деятельности и поведении людей, т.е. на уровень спроса на перемещения и т.д. В связи с чем появляется необходимость в разработке стратегии управления заторами для более эффективного использования автомобилей [26]. Стратегия управления движением транспортных потоков, которая сосредоточена только на микроуровне, в итоге, не принесет эффекта, если не будут учитываться факторы, влияющие на дорожное движение (ДД) на макроуровне и др.

1.3.2 Образование транспортного затора

Механизм образования затора хорошо иллюстрирован на рисунке 1.6. На перегоне длиной L предположим собралась очередь из Q автомобилей, которые ожидают возможность проезда через пересечение S_j , и рабочая возможность этого перекрестка обеспечивает проезд транспортного потока от S_i к S_j , т.е.

$$\int_0^T I(t)dt > C_i t_i^g \quad (\text{пропускная способность перекрёстка больше, чем интенсивность движения прибывающих автомобилей)} [27].$$

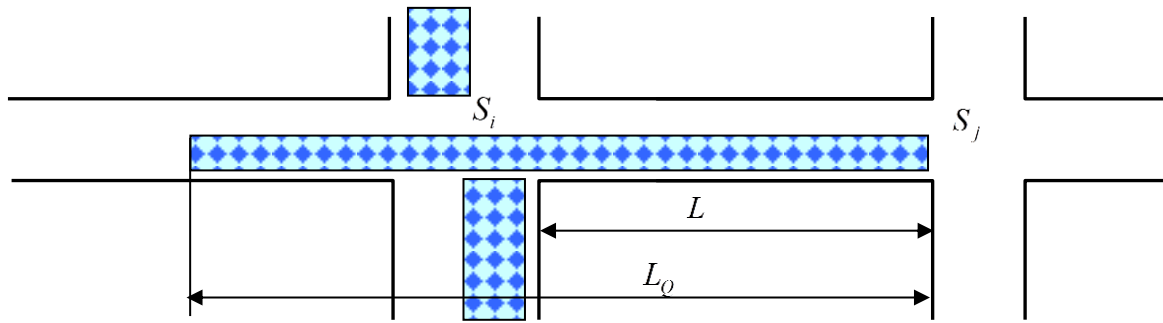


Рисунок 1.6 –Образование затора

При длине участка дороги L_Q , занимаемая очередью на перегоне может быть либо меньше длины перегона, т. е. если $L_Q \leq L$ то перекресток функционирует S_i нормально, либо больше длины перегона, когда $L_Q > L$, т. е. когда очередь автомобилей не уместится на всей длине перегона (i, j) и накапливает в зоне перекрёстка S_i . В этом случае возникает обратная связь по потоку, и затор лавинообразным образом распространяется на участке УДС.

Заторы по периодичности и устойчивости в пространстве можно разделить на случайные и систематические. Наиболее определяющими являются заторы, которые пересекают пересечение по второстепенной дороге, на них приходится 75 % от общей задержки времени.

Основной задачей управления при заторах на отдельном пересечении является минимизация задержек ТС за время существования затора. Интервал времени существования затора принято делить на два подинтервала, в которых бывают разные управляющие воздействия. При оптимальной организации ДД используются циклы и фазы светофорного регулирования разной длительности.

В связи с неустойчивостью транспортного потока в области пропускной способности и лавинообразным нарастанием заторового явления происходят разрывы в значениях характеристик ТП. Многие исследователи описывали механизм резкого изменения скорости и установили закономерность – при приближении к пороговому уровню пропускной способности, увеличивается

вероятность резкого уменьшения интенсивности и скорости движения автомобилей в потоке.

Изменения характеристик транспортного потока в точке k_c показывает «прыжок» скорости движения от верхней границы к нижней (рис. 1.7), вместе с чем возрастает вероятность резкого падения характеристик ТП до 10% при интенсивности движения, составляющей 0,75 от максимальной, до 90% при предельном уровне пропускной способности.

Первое предположение о возможном возникновении разрывов в зависимостях между интенсивностью, плотностью и скоростью транспортного потока были описаны Л. Эдаем в 1961 г. Разрывы описываются с помощью макромоделей, имеющих разрыв в точке k_c : первая модель – для низкой плотности $k < k_c$, вторая – для высокой плотности $k > k_c$.

Наиболее часто применяются следующие типы разрывных макромоделей [27]:

$$\begin{cases} I = k_J v \ln\left(\frac{v_0}{v}\right), & k < k_c \\ I = v_0 k \left(1 - \exp\left(-\frac{k - k_J}{k}\right)\right), & k > k_c \end{cases} \quad (1.10)$$

Флуктуация количества транспортных средств приводит к неустойчивости процесса движения в зоне пропускной способности и возникновению точки бифуркации [27]. В связи с этим в теории дорожного движения часто используется теория катастроф. Переход от одной модели к другой состоит в изучении потерь устойчивости, описании факторов, влияющих на скачкообразное изменение параметров, интерпретации параметров катастрофы, построение и исследование модели.

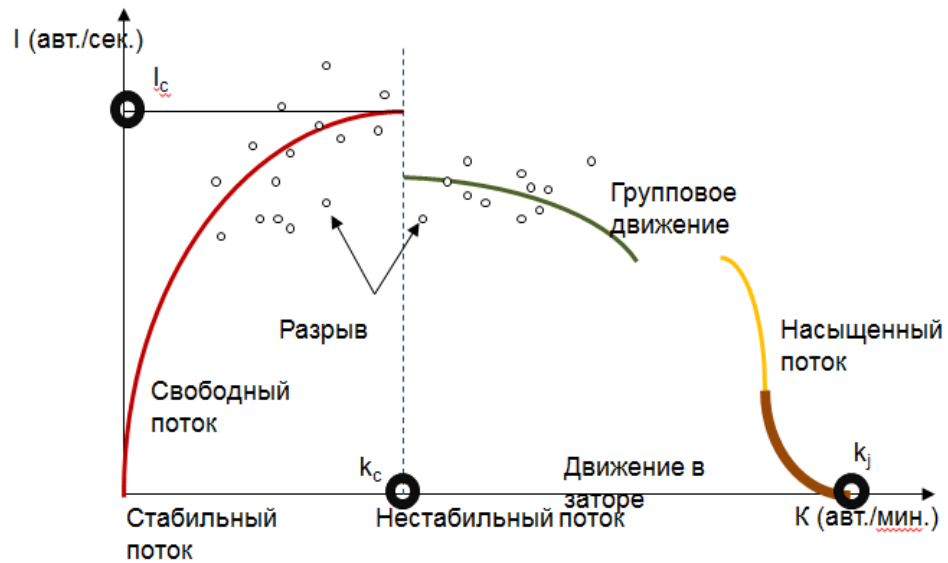


Рисунок 1.7– Разрывная диаграмма транспортного потока

1.3.3 Мероприятия по сокращению заторовых явлений

В каждой стране пытаются найти свое решение данной проблемы. Самые распространенные способы уменьшения заторов представлены на рисунке 1.8.

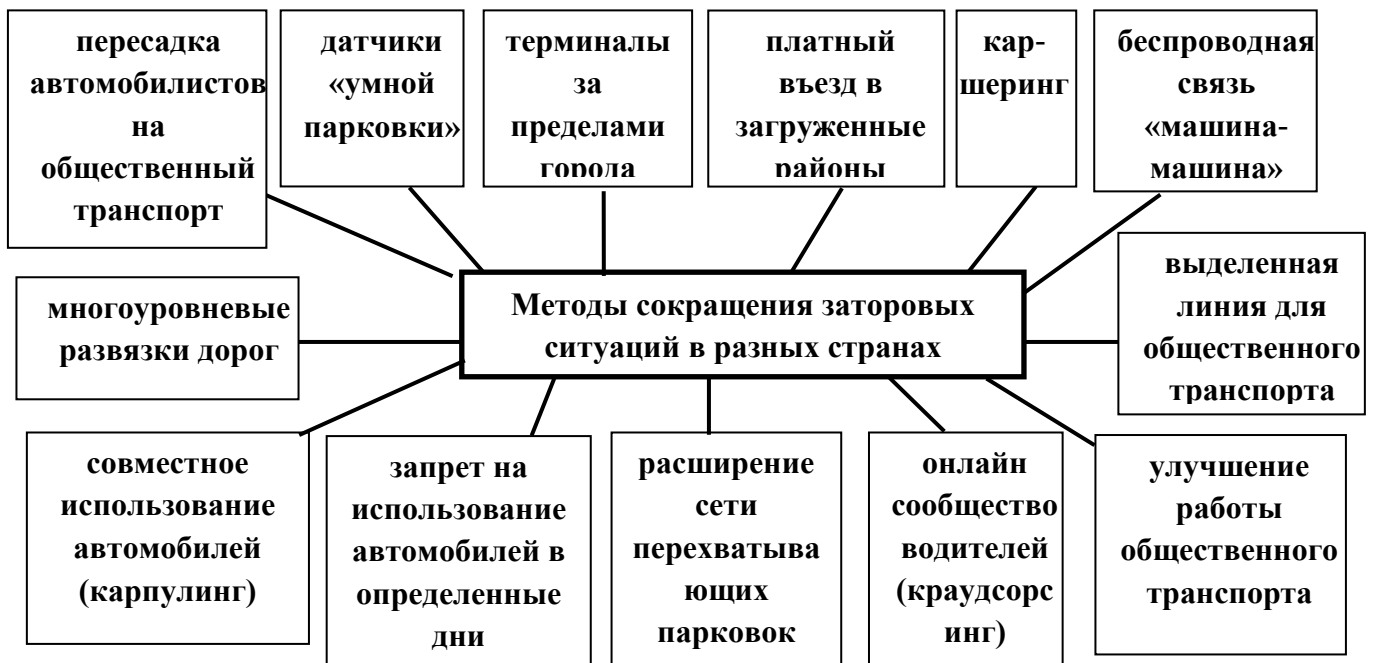


Рисунок 1.8 – Зарубежный опыт в сокращении заторов

В небольшом городе Германии (Лейпциге) водители с апреля 2012 года имеют право на бесплатный проезд в общественном транспорте при предъявлении ПТС. Это решение помогло разгрузить УДС в городе, а также уменьшить вред автотранспорта на окружающую среду [28].

В центре Лондона загруженность УДС снизили благодаря введению единой карты Oystercard. С 2003 г. в центральные районы города организована плата за въезд. Эти мероприятия снизили загрузку транспортной сети на 15%.

В РФ с проблемой пробок сталкиваются почти все города, в Москве эта проблема наиболее актуальна (табл. 1.4). Водители устанавливают на свои гаджеты специальные программы, в которых отображается в режиме реального времени данные о загрузке УДС с прокладкой маршрутов в объезд.

Согласно данным компании TomTom, индекс загруженности дорог в Москве в 2015 г. снизился с 57% до 44% в сравнении с 2012 г. (рис. 1.9,а; рис. 1.10). Загруженность УДС Москвы в утренний и вечерний час пик показан на рис. 2. Сложнее ситуация на дорогах Мехико, Бангкока, Стамбула, Рио-де-Жанейро [29].

Таблица 1.4 – Характеристика загруженности УДС г. Москвы

Показатель	Значение
Всемирный ранг по сравнению с другими городами	5/174
Загруженности автомагистралей	55 %
Загруженность шоссе	41 %
Среднее время в пути за день	48 мин.
Среднее время в пути за год	185 ч
Общая протяженность УДС	36179 км
Общая длина ТС	630550091км

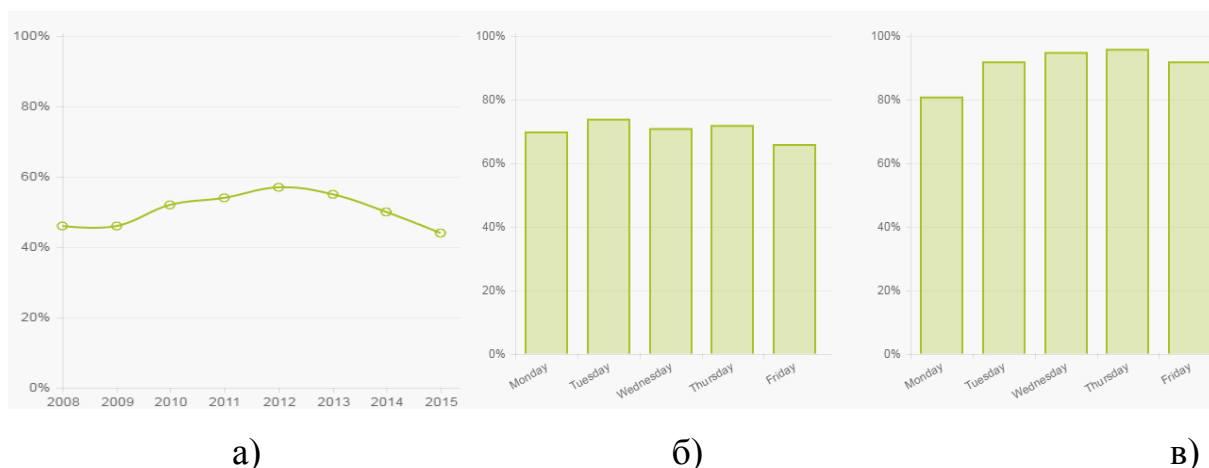


Рисунок 1.9– Уровень загруженности УДС г. Москва

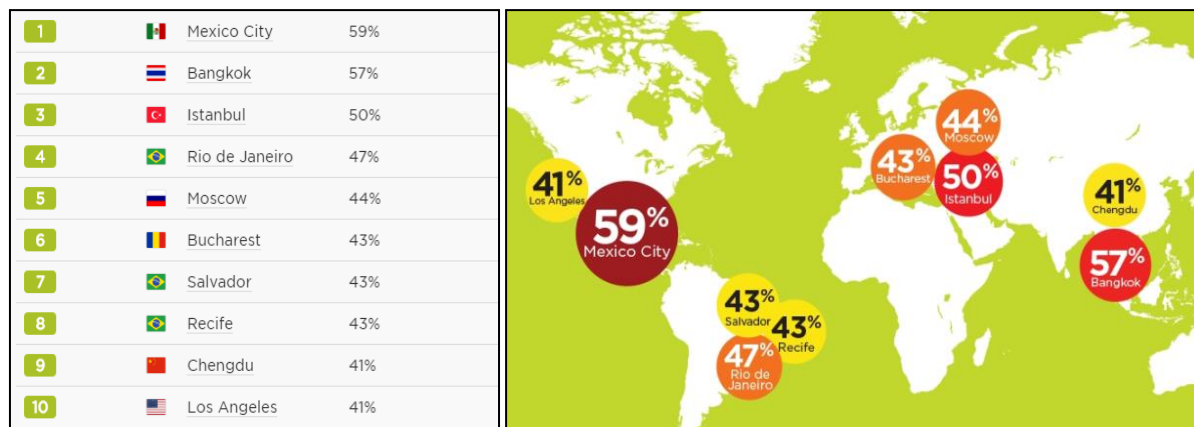


Рисунок 1.10– Индекс загруженности дорожно-уличной сети в разных странах

Снижению загруженности способствовало создание перехватывающих парковок возле станций метро. В первом квартале 2016 года их число увеличилось на 1200 машиномест и составило 7 тысяч. На трассах города установили 157 табло с информацией о ситуации на дорогах.

В столице развивается каршеринг. Число прокатных машин увеличилось до 550, каждым автомобилем пользуется пять москвичей. В начале 2016 г. были открыты новые станции метро. Это позволило разгрузить другие остановки.

В Центре ОДД правительства Москвы появились специалисты, отвечающие за дорожно-транспортную ситуацию. Задача дорожных координаторов — анализировать состояние движения и аварийность, а также выдвижение

предложений по их улучшению. Координатор может вынести предложение о переносе пешеходного перехода или изменить схему движения.

В законопроекте «Об организации дорожного движения», предлагается по опыту зарубежных стран ввести платный въезд в центр города. Это должно коснуться всех регионов. Будет введено ограничение на въезд в определенные зоны либо автомобилей определенного экологического класса, либо всех автомобилей. Может накладываться ограничение на въезд в центр в час пик.

В столице одних из самых технологически развитых стран Токио проблема заторов решается многоуровневыми развязками. Самой сложной из них является пятиуровневая дорожная развязка. По опыту зарубежных стран в Москве также планируют начать строительство многоуровневых развязок.

С одной стороны заторы являются результатом узких мест на дорогах и большого скопления автомобилей, с другой стороны спонтанность возникновения пробок может зависеть от маневра одного водителя. Следующему автомобилю приходится притормозить, действия складываются в цепную реакцию, которая приводит к заторовой ситуации. Случившееся далеко впереди событие, является ничтожным отклонением от ритма движения.

Европейские ученые описали математически модель спонтанного образования таких ситуаций на дорогах под названием «эффект бабочки». Саму модель в теории хаоса впервые предложил в 1963 г. метеоролог Э. Лоранц. Модель была сверхчувствительна к начальным условиям. Малейшее различие в начальных условиях приводило к сильным расхождениям результатов с течением времени. Динамическая система (1.11) с отображением f^t показывает чувствительную зависимость от начальных состояний, произвольно близкие точки становятся отдельными с увеличением времени t . Если M – состояние пространства для отображения f^t , то f^t показывает чувствительную зависимость от начального состояния, если существует $\delta > 0$ для точки x :

$$d(f^t(x), f^t(y)) \geq \delta. \quad (1.11)$$

Для проблемы заторов на дорогах Габар Орос (Унив. шт. Мичиган) предлагает использовать связь «машина-машина». При взаимодействии водителей в транспортном потоке можно было бы достичь равномерного движения. Предполагается, что автомобиль сможет отследить маневры автомобиля, который находится впереди на пять машин.

Зачастую в крупных городах, помимо самих заторов имеется еще одна сопутствующая проблема – нехватка парковочных мест. В некоторых городах уже функционируют датчики свободного места на парковках. В Москве несколько лет назад начали использовать «умную парковку. Москва, по словам одного из основателей компании Worldensing, является мировым лидером «умных» парковок. Также начали использовать систему SENSIT.

Датчики парковки применяются во многих крупных городах России. К сожалению, проработанность этой системы далека от идеала. Водитель узнает о наличии свободного места, уже находясь вблизи территории стоянки. Существует предложение по интеграции датчиков в систему навигации, которая бы своевременно сообщала водителям, где находятся свободные места.

Таким образом, для оптимизации процесса дорожного движения в наиболее загруженных местах транспортной сети необходимо изучить параметры, характеристики, особенности транспортной сети, закономерности движения транспортных потоков по ней. На основании собранных сведений и проведенных исследований можно предлагать пути решения проблемы «пробок». Принимая во внимание огромный опыт зарубежных стран в борьбе с общей проблемой – близкой к критической загрузкой улично-дорожной сети стоит выбрать оптимальный вариант для каждого конкретного региона.

1.4 Влияние технических средств регулирования на транспортные задержки

Задержки автотранспорта на участках УДС города чаще всего происходят на перекрестках со светофорным регулированием при пересечении пешеходных переходов. На магистральных улицах с высокими показателями интенсивности

движения при пересечении участка дороги со светофорным регулированием образуются задержки (рис. 1.11, 1.12), которые значительно снижают скорость движения, которая зависит от потерь времени [30]:

— от уменьшения скорости движения на участке зоны влияния светофорного объекта на протяжении 50 м до очереди ТС, образующейся в связи с накоплением автомобилей при красной фазе светофора [31];

— от потерь времени на задерживающих фазах светофорного регулирования (красный, желтый);

— от потерь времени на рассасывание очередей на участке светофорного регулирования;

— от потерь времени при проезде пешеходного перехода с пониженной скоростью на участке между линиями «стоп».

— от потерь времени на участке разгона ТС от первоначальной скорости при проезде пешеходного перехода до достижения максимально возможной скорости движения на перегоне между смежными светофорами. При анализе результатов натурных наблюдений за движением транспортного потока на участке УДС со светофорным регулированием показали, что наибольшие задержки ТС наблюдаются при рассасывании очереди и от задержек ТС при красной и желтой фазах светофора, которые составляют соответственно 61 и 19 %.

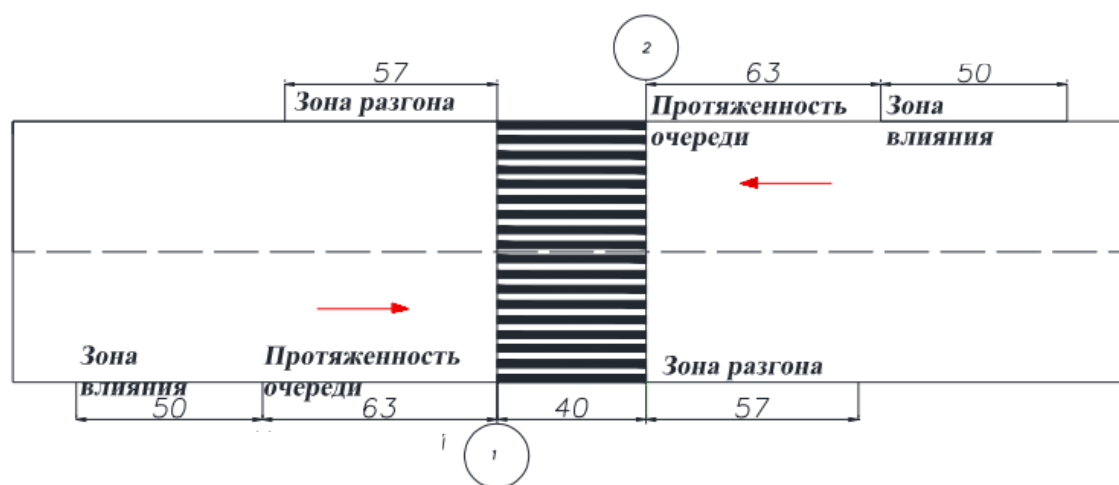


Рисунок 1.11 – Схема участков снижения скорости движения ТС в зоне светофорного регулирования

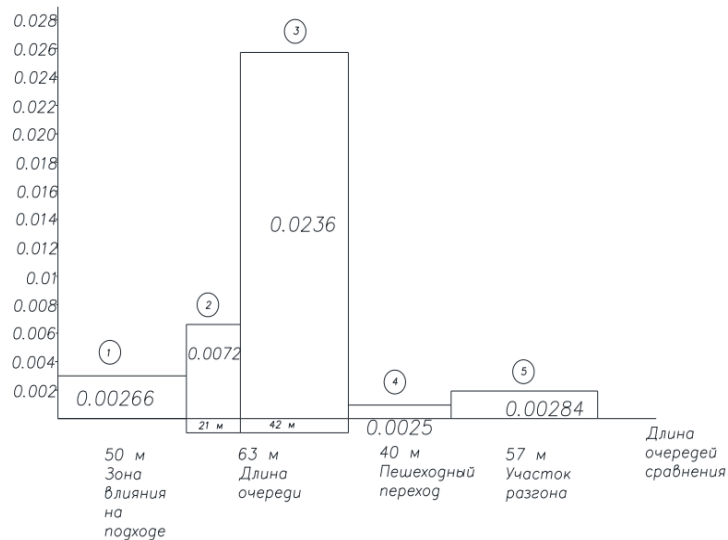


Рисунок 1.12 – График распределения времени задержек движения транспортных средств в зоне сравнения

Скорость движения ТС на участке УДС может быть определена по математическим моделям, которые основаны на результате исследований ТГАСУ [32, 33]:

1. Для дорог и улиц с двухполосной проезжей частью и двухсторонним движением, при усредненном составе движения: легковые – 72 %, грузовые – 20 %, автобусы – 8 %; при интенсивности движения до 10 000 авт./сут. [30].

$$V = 59,2 \cdot K \cdot \Theta - 0,0109 \cdot \beta_i \cdot \gamma_i \cdot N_0 \cdot q^{TP}. \quad (1.12)$$

где K – коэффициент, учитывающий погодно-климатические условия и определяется:

$$K = \frac{m_1 g_1 + m_2 g_2 + m_3 g_3 + m_4 g_4}{m_1 + m_2 + m_3 + m_4}, \quad (1.13)$$

где m_1, m_2, m_3, m_4 – соответственно количество дней в году с разным состоянием дорожного покрытия (гололед, снег, мокрый и сухой асфальт);

1. $g = 0,65$, 2 $g = 0,85$, 3 $g = 0,80$, 4 $g = 1,00$ – коэффициенты снижения скорости движения за счет гололеда, снежного, мокрого, сухого покрытия соответственно;

Θ – коэффициент, учитывающий влияние дорожных условий и состава транспортного потока [28]:

$$\Theta = \tau_1 \cdot \tau_2 \cdot \tau_3 \cdot \tau_4 \cdot \tau_5, \quad (1.14)$$

где τ_1 – коэффициент, учитывающий влияние продольного уклона; τ_2 – коэффициент, учитывающий влияние состава потока; τ_3 – коэффициент, учитывающий ширину проезжей части; τ_4 – коэффициент, учитывающий радиус закругления; τ_5 – коэффициент, учитывающий влияние перекрестков с нерегулируемым движением; β – коэффициент перевода суточной интенсивности движения в часовую; для потоков с преобладающим составом легковых автомобилей $\beta = 0,052$; для потоков со смешанным движением $\beta = 0,056$; γ – коэффициент, учитывающий состав транспортного потока.

2. Для улиц с четырех-полосным движением (12–14 м), интенсивностью движения 20–30 тыс. авт./сут, с развязкой движения в одном уровне, при составе движения: легковые – 72 %, грузовые – 18 %, автобусы – 10 %, модель скорости движения выглядит следующим образом [30]:

$$V = 60,5 \cdot K \cdot \Theta - 0,0081 \cdot \beta_i \cdot \gamma_i \cdot N_0 \cdot q^{tp}. \quad (1.15)$$

3. Для шести-полосной улицы с разделительной полосой и развязкой движения в одном уровне, при интенсивности движения 30–50 тыс. авт./сут. и составе движения: легковые – 75 %, грузовые – 17 %, автобусы – 8 % [30]:

$$V = 63 \cdot K \cdot \Theta - 0,0065 \cdot \beta_i \cdot \gamma_i \cdot N_0 \cdot q^{tp}. \quad (1.16)$$

4. Для городских магистралей с шести-полосным движением, с развязкой движения в разных уровнях, при составе движения: легковые – 72 %, грузовые – 12 %, автобусы – 16 %:

$$V = 75 \cdot K \cdot \Theta - 0,0071 \cdot \beta_i \cdot \gamma_i \cdot N_0 \cdot q^{tp}. \quad (1.17)$$

5. Для улиц с односторонним двух-полосным движением с развязкой движения в одном уровне [30]:

$$V = 60,8 \cdot K \cdot \Theta - 0,0063 \cdot \beta_i \cdot \gamma_i \cdot N_0 \cdot q^{tp}. \quad (1.18)$$

1.5 Ранжирование факторов и определение степени их влияния на транспортные задержки

1.5.1 Влияние водителя на режим движения автомобилей

Изучение процессов маневрирования автомобилей при смене полосы движения показывает взаимосвязь с режимами движения ТС. Изученные закономерности движения при маневрировании имеют огромное практическое значение при разработке требований к элементам дороги, а также при моделировании транспортных потоков и эффективном использовании автомобилей [34].

Режимы движения во время маневров регистрировались с использованием специальной лаборатории на базе автомобиля, которая регистрирует психофизическое состояние водителя. Во время эксперимента собираются данные электрокардиограммы (ЭКГ) и кожно-гальванической реакции (КГР) при единовременной записи режима движения самого автомобиля (рис. 1.13) [35].

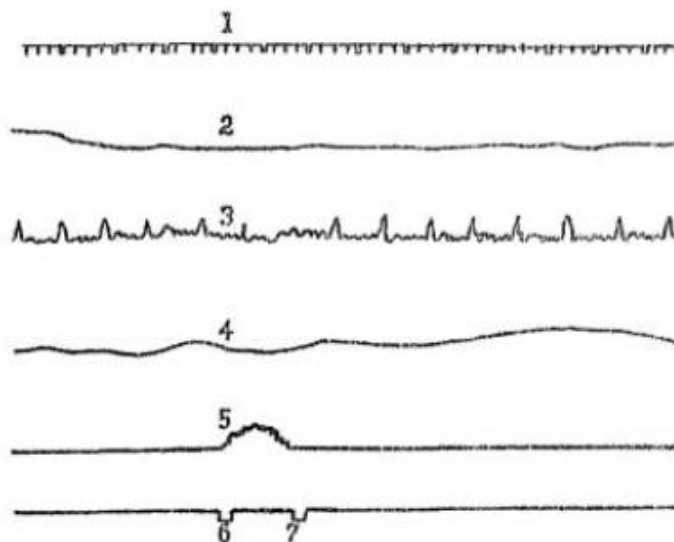


Рисунок 1.13 – Психофизиологические показатели водителя и режимы движения на участке смены полосы движения:

1- путь; 2- скорость; 3 – ЭКГ; 4 – КГР; 5 – поперечное ускорение; 6 и 7 – соответственно начало и конец маневрирования автомобиля

В ходе анализа результатов исследования был установлен характер распределения скоростей движения автомобилей в момент начала маневра во время смены полосы движения (рис. 1.14, 1.15). Первой полосой движения была выбрана внешняя полоса, а в качестве второй полосы - внутренняя по ходу движения транспортного потока. Плотность распределения скоростей движения во время смены полос движения с первой на вторую и наоборот описываются нормальным законом распределения Гаусса. Во время смены полос движения с первой на вторую скорости движения были изменены от 15 до 90 км/ч с математическим ожиданием 52 км/ч. Во время смены второй полосы на первую значения скоростей движения изменялись от 30 до 80 км/ч. Плотность распределения скоростей движения имеет выраженную симметричность с математическим ожиданием 54,1 км/ч [36].

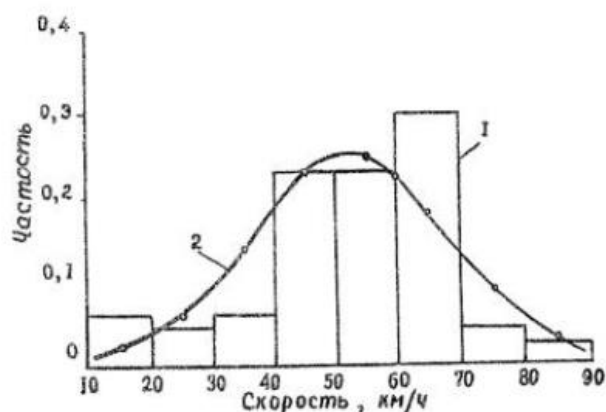


Рисунок 1.14– Распределение скоростей движения автомобилей при смене полосы движения с первой на вторую:

1 – фактическое; 2 – теоретическое

Во время маневра при смене полосы движения автомобиль движется с некоторым ускорением, которое необходимо для данного маневра. Причем, чем больше скорость движения, тем меньше необходимо ускорение.

В результате данного исследования были выделены три варианта ускорений при смене полосы движения для всех видов маневров: положительное, отрицательное и нулевое. Ускорение автомобилей обуславливается состоянием ТП и скоростью движения автомобилей, совершающих маневр.

При смене полосы движения с первой на вторую положительное ускорение будет при скорости движения более 47 км/ч, отрицательное при скорости более 61 км/ч и нулевое 55,3 км/ч, что подтверждает ранее высказанное предположение.

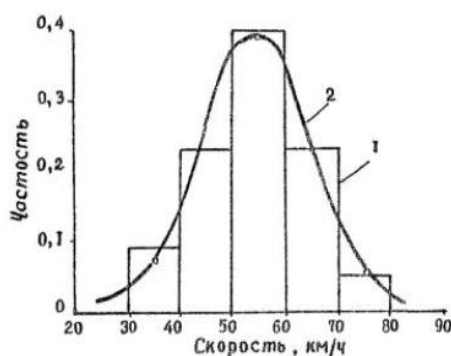


Рисунок 1.15– Распределение скоростей движения автомобилей при смене полосы движения со второй на первую:

1 – фактическое; 2 – теоретическое

В университете города Атланта США провели исследование, в результате которого выявили определенную закономерность, описывающую риск образования затора, который увеличивается с увеличением «агрессивных» водителей, которые держаться близко к впереди идущему автомобилю, и двигаются максимально быстро в сочетании с «робкими» водителями, которые держат большую дистанцию и низкую скорости движения.

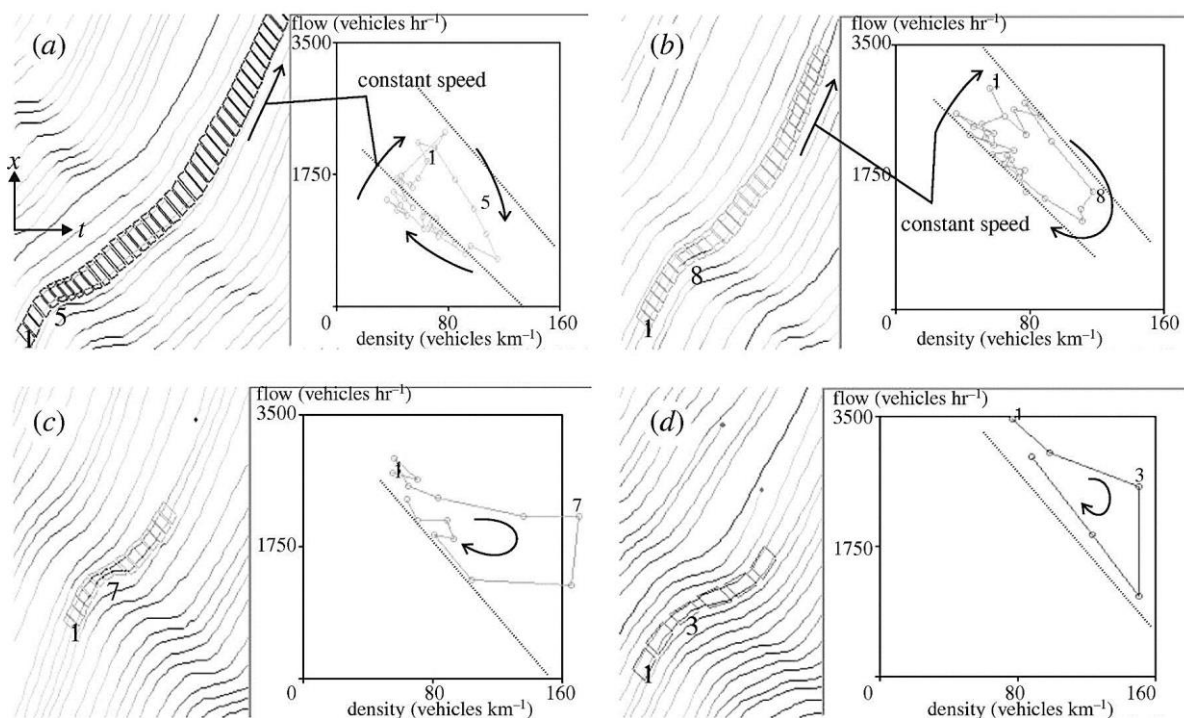
Для изучения поведения робких и агрессивных водителей на рисунке 1.16 показано несколько пар траекторий движения и динамика соответствующего потока плотности. Они рассчитаны на основе модели Edies (1961). Для n - автомобилей транспортного потока внутри области A формула имеет вид: [37]

$$k = \sum_{i=1}^n \frac{T_i}{|A|}, \quad q = \sum_{i=1}^n \frac{D_i}{|A|} \quad \text{and} \quad v = \frac{q}{k} = \frac{\sum_{i=1}^n D_i}{\sum_{i=1}^n T_i}, \quad (1.19)$$

где k , q и v - плотность, интенсивность и скорость в области A ;

$|A|$ - область A ;

T_i , D_i – i -е время движения ТС и пройденное расстояние внутри области А.



а), б) – «робкие» водители; в) д) – агрессивные водители

Рисунок 1.16 – Траектория движения автомобилей, динамика потоков плотности

Каждый маленький круг на рисунке 1.16 соответствует плотности потока внутри определенной области в пространственно-временной диаграмме. «1» указывает на первое измерение, остальные измерения последовательно добавлены и выстроены в последовательную траекторию движения: [37]

- робкие водители замедлились вдоль равновесной ветви $1 \rightarrow 5(a)$, и ускорились вдоль "нижней" ветви $1 \rightarrow 8(b)$ возвращаясь к исходному состоянию;

- агрессивные водители замедлились вдоль "верхней" ветви $1 \rightarrow 7(c)$, и ускорились вдоль ветви $1 \rightarrow 3(d)$, возвращаясь к состоянию равновесия.

Вскоре после появления такого поведения водителей, приводящего к неравновесному состоянию системы, скорость ТС быстро стремится к нулю.

1.5.2 Влияние автомобиля на транспортные задержки

Существует множество причин возникновения дорожных задержек. Одной из проблем возникновения транспортных задержек является безконтрольный въезд большегрузных ТС на загруженную транспортную сеть города. Наибольший неблагоприятный эффект от наличия большегрузных автомобилей на дорогах города достигается в зимний период, когда ширина проезжей части за счет снежных заносов сужается. Помимо этого дорожная обстановка усугубляется припаркованными по краю проезжей части автомобилями.

В результате, величина используемой ширины проезжей части сокращается. Также, негативным фактором наличия габаритных грузовых автомобилей на УДС города является периодические поломки автомобилей, который занимает большое пространство на участке транспортной сети. В связи с чем, участники транспортного движения вынуждены искать обходные пути движения, которые функционируют в условиях повышенной плотности потока и низких скоростей движения.

Также все это приводит к изменению уровня удобств движения на более низкий, что негативным образом сказывается на поведении водителя, вынуждая его совершать ошибочные действия и нарушать ПДД. Помимо этого, данная ситуация усугубляется весогабаритными параметрами крупных АТС.

Изначально проводят анализ пропускной способности отдельного участка транспортной сети.

Пропускная способность одной полосы движения в одном уровне определяется следующим образом [38]:

$$P = \frac{1000 \cdot V}{L} \alpha, \quad (1.20)$$

где V – расчетная скорость движения транспортного потока, км/ч;

α – коэффициент, учитывающий снижение пропускной способности за счет остановок у перекрестков;

L – динамический габарит ТС (расстояние, занимаемое движущимся автомобилем на полосе движения).

$$L = V_t + \frac{V^2 \cdot K}{254(\varphi \pm i + f)} + l_0 + l_2. \quad (1.21)$$

В формуле динамического габарита (1.21) первое слагаемое равно пути, который проходит автомобиль за время реакции водителя (l_0), второе – тормозному пути автомобиля, третье – расчетной длине автомобиля, четвертое – расстоянию между остановившимися автомобилями ($l_2 = 5$ м).

Разносоставный транспортный поток предполагает определение коэффициентов приведения к единому транспортному средству – к легковому автомобилю.

С учетом величины общей задержки, которая определяется путем натурных исследований, и величины задержки, полученной в результате моделирования, количество автомобилей в транспортном потоке может быть представлено функцией $f(k)$ [39]:

$$f(k) = k_1 x_1 + k_2 x_2 + \dots + k_n x_n, \quad (1.22)$$

где k_i – количество транспортных средств типа i ;

X_i – коэффициент приведения к легковому автомобилю для ТС вида i .

Проведенный анализ показал, что влияние весогабаритных параметров транспортных средств на пропускную способность улично-дорожной сети предполагает комплексную оценку, учитывающую взаимное влияние всех элементов системы В-А-Д-С.

1.5.3 Влияние технико-эксплуатационных показателей дороги на образование заторов

При улучшении ТЭП дорог происходит сокращение затрат на перевозочный процесс за счет снижения себестоимости перевозок из-за увеличения скорости движения подвижного состава.

Многие исследования показали, что основными факторами, характеризующим условия движения по дорогам и оказывающими влияние на скорость движения, являются геометрические параметры автомобильных дорог и показатели состояния проезжей части. В случае движения автомобилей по участкам УДС с небольшими продольными уклонами их скорость в большей степени зависит от состояния дорожного покрытия (рис. 1.17).

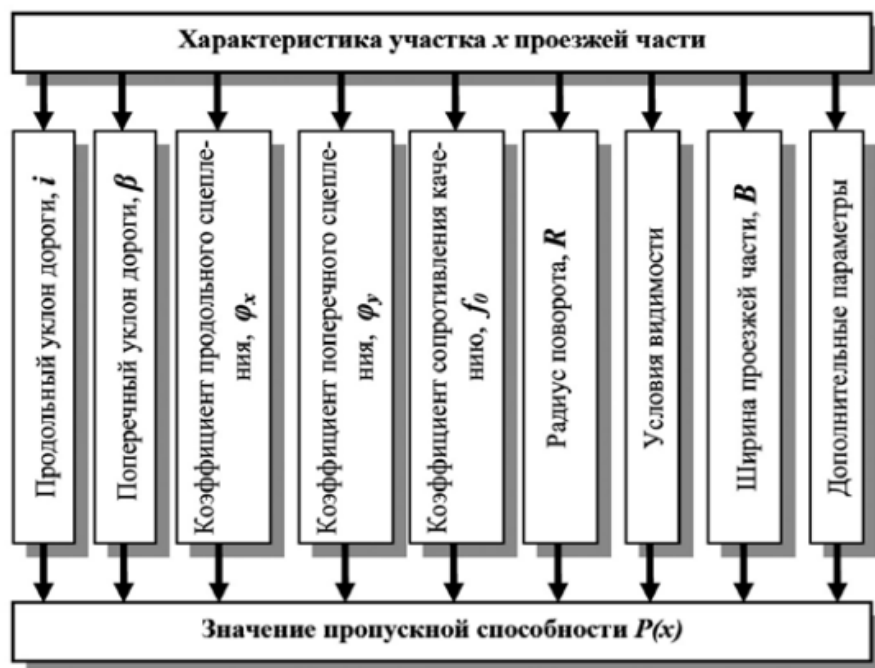


Рисунок 1.17 – Влияние технико-эксплуатационных показателей дороги на образование заторов

При проведении экспертизы дорожно-транспортных происшествий (ДТП) в основном используют определенные значения коэффициента сцепления колес с дорожным полотном, которые регламентируются типом и состоянием дорожного покрытия (сухое, мокрое, гололед). Коэффициент сцепления зависит от многих факторов, на него оказывают влияние состояние дорожного покрытия, показатели шин транспортного средства и их состояние, скорость движения ТС, наличие посторонних элементов в зоне контакта шин с полотном дороги (грязь, масло и др.), продольные уклоны дороги. Одним из основных факторов, влияющих на коэффициент сцепления, является макрошероховатость дорожного полотна, которая характеризуется неровностями длиной более 2... 3 мм и высотой более 0,2... 0,3 мм. Отечественные и зарубежные исследователи не достаточно

исследовали вопрос влияния макрошероховатости на формирование сцепления колес с дорожным полотном. В работе М.В. Немчинова этот вопрос поставлен с позиции взаимного влияния скорости движения ТС, величины макрошероховатости поверхности дороги и величины коэффициента сцепления. Работа А.И. Шутова показывает аппроксимационное уравнение, описывающее данные исследования М.В. Немчинова: $\exp(0,4 \cdot 0,006 \Delta) \cdot 0,015 \Delta V + \Delta = \varphi V$ где Δ – макрошероховатость, мм; V – скорость, км/ч. По результатам исследований А.Н. Архангельского рассчитана погрешность в размере 15-50 %, зависящая от расстояния между неровностями. Из чего следует, что оценивать макрошероховатость только высотой является недостаточным. При измерении показателей шероховатости поверхности дорожного полотна необходимо применять приборы контактного типа, которые позволяют получить полный объем информации и дающий возможность построить математическую модель [40].

Показатель ровности дорожного покрытия является наиболее важным показателем транспортно-эксплуатационных качеств дороги, оказывающий большое влияние на режим и безопасность движения ТП. При наличии повреждений поверхности проезжей части, водитель зрительно воспринимает как опасный объект (выбоины, просадки, возвышающиеся люки и т.д.), начинает менять траекторию движения ТС, при этом отвлекая внимание от других элементов дороги, которые с точки зрения безопасности достаточно значимы. Исходя из данных ГИБДД неровность дорожного полотна является причиной 13-18% ДТП, которые связаны с неблагоприятными дорожными условиями. Возникновение ДТП связано с необходимостью изменять скоростной режим (применять экстренное торможение), маневром в плане или одновременным совершением этих действий. Оценить ровность можно с помощью выполнения статических и динамических исследований. При измерении статической ровности можно использовать линейку «Кондор», которая дискретно определяет величину зазора между покрытием и линейкой. Оценка ровности показывает процент

зазоров, которые превышают некоторую нормативную величину. Динамическую ровность определяют на основе параметров колебаний специальных прицепных тележек. В практических целях применяют два вида измерений: определяют сумму положительных амплитуд колебаний при перемещении специальной тележки на необходимое расстояние (ПКРС-2У) или записывают колебания специальной тележки и проводят расчет дисперсии этих колебаний (тележка МАДИ). В РФ нормативным является первый вариант, а второй вариант применяется в мировой дорожной практике (метод IRI). Основным недостатком перечисленных методов является то, что полученные в ходе эксперимента данные невозможно применить с целью прогнозирования процесса движения конкретного ТС на определенном участке автомобильной дороги (например, при экспертизе ДТП). При проведении оценки динамической ровности необходимо регистрировать геометрический профиль дороги и определять упругие и диссипативные параметры подвески конкретного автомобиля. Промежуточным вариантом является измерение ускорений неподрессоренных масс автомобиля. Далее можно использовать полученные величины для прогнозирования процесса движения автомобиля и дороги с учетом неровности [41].

На дорогу негативное воздействие оказывают такие факторы, как климатические и метеорологические условия, разрушающее воздействие ТС, а также фактор времени. Все эти факторы ухудшают свойства и характеристики автомобильной дороги, как инженерного сооружения, что влечет за собой снижение эффективности и безопасности дорожного движения. Длительное воздействие погодно-климатических факторов (снежный покров, перепады температур) значительно влияет на такие показатели, как пропускная способность дороги, средняя скорость движения автомобилей. Кратковременное воздействие погодно-климатических факторов (осадки, туман, гололед) распространяется, в основном, на отдельные участки дороги, что приводит к росту количества дорожно-транспортных происшествий. Устранение скользкости покрытия является важной задачей повышения безопасности дорожного. Негативное воздействие на коэффициент сцепления колес с дорогой оказывает также

действие атмосферных осадков, загрязнения, температурного размягчения асфальтобетонного покрытия. В таком случае, к ДТП приводят съезды автотранспортных средств с проезжей части, наезды на опоры путепроводов, мачты освещения и различные объекты на придорожной полосе. С целью снижения тяжести последствий подобных ДТП, необходимо предотвращение съездов с дороги с помощью определенных мероприятий, повышающих пассивную безопасность дорожного движения.

Помимо всего выше сказанного, наличие неровностей на проезжей части ведет к повышенной утомляемости водителей, отвлекает их внимание от восприятия других объектов на дороге, также оказывает отрицательное влияние на производительность подвижного состава. Методы организации движения в этих случаях носят предупредительный характер для участников дорожного движения.

Таким образом, состояние дорожного покрытия проезжей части оказывает большое влияние на аварийность и эффективность перевозочного процесса [42].

1.5.4 Влияние климатических условий на транспортные задержки

На функционирование автотранспорта оказывает значительное влияние природные факторы. Метеорологические условия характеризуются состоянием атмосферы и атмосферных процессов. Эти условия включают: температуру, давление, влажность воздуха, скорость ветра, облачность и осадки, туманы, грозы, а также продолжительность солнечного сияния, температуры и состояния почвы, высоту снежного покрова. Метеоусловия можно разделить по времени воздействия на: длительные и кратковременные. Низкие температуры и снежный покров в зимнее время года относят к длительным метеоусловиям, а осадки, туман, гололед – к кратковременным. Неблагоприятные метеоусловия могут привести к резкой смене обстановки на УДС. Например, в зимнее время года в утренние часы видимость ухудшается, и водитель может не сразу заметить приближающееся препятствие. Пешеходы также при неблагоприятных погодных условиях при пересечении проезжей части не всегда могут заметить

приближающийся автомобиль, т.к. зонты и капюшоны частично закрывают обзор дорожной обстановки. Помимо этого в условиях плохой видимости происходят изменения очертаний и общего вида проезжей части вместе с обочинами. При снежных заносах плохо распознаются параметры поперечного профиля и образуются полосы наката, что меняет восприятие дороги водителем. Условия движения и дорожная обстановка во время действия неблагоприятных метеорологических условий намного сложнее, чем в случае движения по сухому и чистому дорожному покрытию. Эти различия обусловлены рядом факторов, которые включают в себя: ухудшение ровности дорожного покрытия под воздействием осадков, ухудшение сцепления колес с дорожным полотном, увеличение сопротивления движению, изменение движения автомобилей по дорогам из-за снежных отложений, грязи, гололеда, неровностей на дороге, ухудшение технико-эксплуатационных качеств автомобиля, а именно систем, отвечающих за безопасность и удобство движения (тормозное управление, рулевое управление, система наружного освещения и сигнализации). Интенсивность движения по улично-дорожной сети снижается под воздействием, как кратковременных, так и длительного действия природно-климатических факторов. На значительные изменения величины интенсивности влияют только длительнодействующие метеоусловия. При этом необходимо учесть, что эти факторы распространяют свое действие на отдельные участки УДС и не могут быть заранее предсказаны. Таким образом, при не столь высокой продолжительности влияния кратковременных природно-климатических факторов в течение года число ДТП значительно увеличивается [43].

1.6 Интеллектуальные транспортные системы и их влияние на эффективность перевозочного процесса

Основной задачей транспортной системы России является обеспечение эффективного функционирования транспортно-дорожного комплекса с обеспечением максимальной безопасности транспортных услуг.

Однако, без единой системы предоставления информационного сервиса участникам дорожного движения и субъектам транспортного процесса решения данной задачи будет проблематичным.

Предоставление такого всеобъемлющего информационного сервиса под силу только современной системе, построенной на использовании передовых ИТ – технологий и получившей название «Интеллектуальной транспортной системы» (ИТС).

Основным в построении ИТС является комплекс дорожно-транспортной, транспортно-технологической, транспортно-сервисной и информационной инфраструктуры.

Применение ИТС признаны общетранспортной идеологией интеграции достижений телематики во все виды транспортной деятельности – повышение транспортной безопасности, сокращение аварийности, повышение эффективности перевозочного процесса, улучшение экономических показателей и т.п.

Функционирование системы фото-видеофиксации нарушений Правил дорожного движения в настоящее время является наиболее эффективным способом снижения количества ДТП и повышения дисциплинированности участников дорожного движения в местах их концентрации. С целью развития данной системы необходимо увеличение количества приборов фото-видеофиксации на УДС г. Саратова и на территории всей области.

В разы возрастает количество штрафов, которые выписываются с помощью средств фото- и видеофиксации. Это значительно пополняет бюджет области.

Одним из наиболее значимых сегментов в транспортно-дорожном комплексе, где наиболее ощутимы результаты использования ИТС – это повышение безопасности и эффективности транспортного процесса.

Основными целями комплексного обеспечения безопасности дорожного движения с использованием подсистемы ИТС являются:

- контроль и оптимизация дорожной обстановки;
- снижение количества ДТП и смертей на дорогах;
- повышение пропускной способности дорог;
- организация парковочного пространства;
- контроль состояния дорожного покрытия;
- контроль соблюдения ПДД и т.д.

Для реализации этих целей на сегодняшний день разработаны различные устройства, системы фото-видеофиксации, датчики, детекторы и т.п., которые позволяют:

- определять скорость движения АТС;
- фиксировать различные нарушения ПДД;
- определять владельцев АТС и т.д.

Сегодня самыми распространенными системами фото-видеофиксации нарушения ПДД являются:

- стационарный комплекс «Арена»;
- стационарный фоторадарный комплекс «Крис-С»;
- фоторадарный передвижной комплекс «Крис-П»;
- мобильный пост (устанавливающейся в салоне патрульного автомобиля);
- передвижной фоторадар и др.

Все комплексы должны быть оснащены RFID-считывателями для распознавания грязных номеров (на которых в свою очередь должны стоять активные радиометки, как будет проходить их установка пока не ясно).

В соответствии с новыми стандартами аппаратура должна распознавать скорость от 5 до 250 км/ч. также теперь, в служебных письмах для каждого нарушения будет разное количество фотографий. Так, за превышение скорости

водитель должен получить два фотоснимка: автомобиль в момент нарушения и фотоснимок государственного номера; за проезд на запрещающий сигнал светофора – четыре фотоснимка: дорожно-транспортной обстановки в момент включения запрещающего сигнала светофора, где видно автомобиль, сигнала светофора, транспортного средства и фотоснимок госномера; за нарушение правил стоянки – три: неправильной парковки, фотоснимок государственного номера ТС нарушителя и фотоснимок, на котором видно, что нарушение не устранено после 5 минут; за движение по обочине, разделительной полосе, нарушение требований дорожной разметки и правил обгона – также три фотоснимка: автомобили в момент совершения нарушения, дополнительный снимок ТС нарушителя и фотоснимок государственного номера.

Все компоненты разделяются по количеству распознаваемых номеров. Камеры класса «А» смогут распознать номера более 15 стран и более 50 типов регистрационных знаков, класса «В» - государственные номера 5 стран и 20 типов, класса «С» только российские номера. Существуют допустимые погрешности распознавания: при определении скорости движения ТС камера может ошибиться не более чем на 1 км при скорости автомобиля до 100 км/ч и до 2% при большей скорости движения. Количество нераспознанных номеров не должно превышать 5%.

Основными функциями приборов фото и видеофиксации являются:

- измерение скорости движения автомобилей в потоке и расстояния до них;
- сохранение фотографий в памяти нарушений, в которой кроме самого фотоснимка содержится подробная информация о месте и времени нарушения, текущей скорости движения автомобиля, а также об инспекторе и приборе, с помощью которого получен снимок;
- сохранение фотографий в памяти без фиксации скорости движения автомобилей;
- запись видео для фиксации продолжительных по времени нарушений.

Учитывая стохастическую природу дорожного движения, динамичность изменения его характеристик во времени, по-прежнему большую сложность

представляет процесс качественной оценки и прогнозирования изменений дорожно-транспортных ситуаций на сети автомобильных дорог. Для реализации различных стратегий управления дорожным движением необходимо в реальном масштабе времени собирать достоверную информацию о движении автомобилей на сети с учетом вероятностных свойств транспортного потока.

Таким образом, необходим комплексный взгляд на создание ИТС, обеспечивающей нормальное (безопасное) функционирование транспортной инфраструктуры урбанизированной территории.

Не последней причиной образования заторов является неорганизованность автомобильного потока. Для того чтобы механизм дорожного движения эффективно функционировал во многих мегаполисах мира уже действуют интеллектуальные транспортные системы.

В отечественной практике реализованы и используются лишь отдельные элементы ИТС, тем не менее, наблюдается тенденция совершенствования и внедрения таких систем в процесс организации перевозок и движения. Анализ зарубежного опыта построения и развития ИТС, принципы их интеграции, использования для осуществления грузовых, пассажирских перевозок и управления дорожным движением позволяет сделать вывод о высокой их эффективности, технической возможности и целесообразности использования на автомобильном транспорте [44].

В целях перегруженности городской транспортной сети и повышения эффективности управления дорожным движением Правительство Москвы утвердило концепцию ИТС (рис. 1.18) [45].

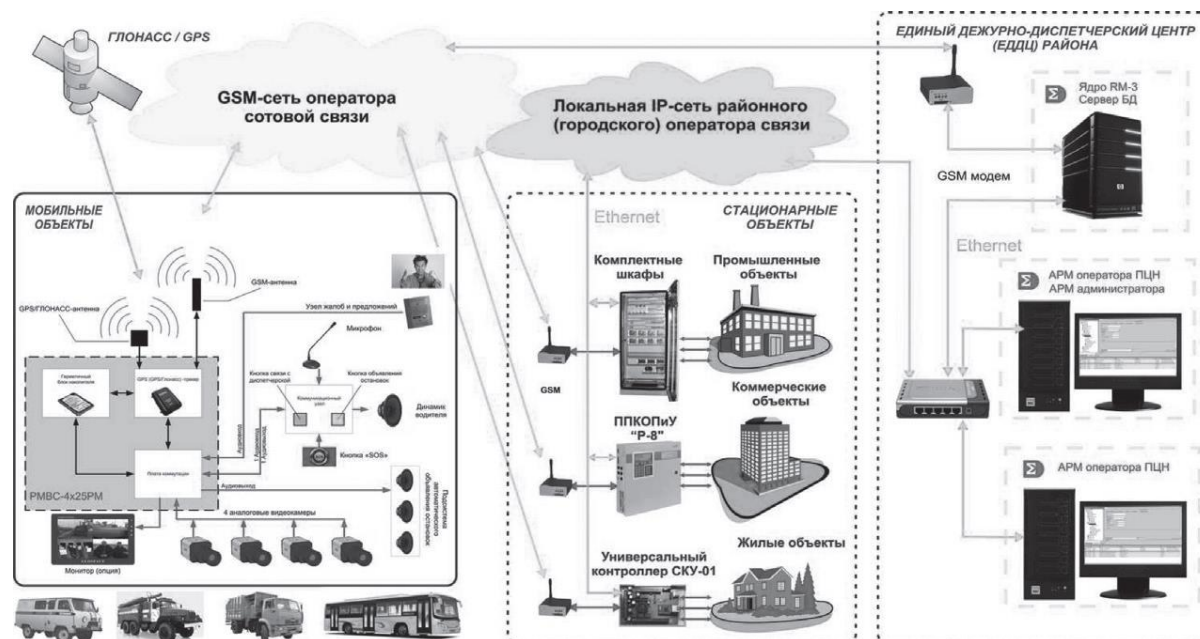


Рисунок 1.18– Обобщенная структура ИТС города

Для оптимальной реализации положений Концепции необходимо создать единую интеллектуальную систему, чтобы она могла осуществлять:

- сбор сведений о параметрах транспортных потоков;
- функцию автоматического выявления инцидентов;
- фиксацию нарушений правил дорожного движения;
- сбор сведений о наличии парковочных мест;
- контроль за движением общественного (пассажирского) и специального транспорта, а также автотранспорта служб городского хозяйства;
- передачу информации на абонентские (пользовательские) мобильные электронные устройства;
- функционирование геоинформационного ресурса.

Несмотря на большой потенциал ИТС программные продукты все еще не все присутствуют на рынке. Автомобили также в редком случае оборудованы системами телематики. Предполагается, что внедрение современного программного обеспечения и передача данных о параметрах дорожного движения в режиме реального времени способны сократить заторы на УДС городов на 40 %

, что положительно скажется на эффективности использования автотранспортных средств и на качестве перевозок (рис. 1.19).



Рисунок 1.19 – Интеллектуальные автомобильные системы

При решении задач в области управления ДД и процессом перевозок, ученые и специалисты столкнулись со следующими вопросами: соизмерение значения и степени важности мероприятий, которые направлены на улучшение обслуживания транспортных и пешеходных потоков. Вторым вопросом ставится – сопоставление и оценка этих мероприятий. Ответы на поставленные вопросы можно получить только с помощью экспериментов – натурных и вычислительных [46]. Натурный эксперимент представляет информацию о процессе или системе, которая собирается путем измерений в реальных условиях.

Вычислительный эксперимент представляет собой математическое моделирование, которое можно разделить на аналитическое и имитационное. Сложность процессов управления перевозками грузов и пассажиров в ходе

аналитического моделирования вынуждает прибегать к определенным ограничениям с целью его упрощения. Из чего следует, что аналитическая модель находит только приближенные решения задачи, делающие в некоторых случаях невозможным получение конструктивных результатов исследований, которые могут быть использованы при проектировании интеллектуальных транспортных систем. Имитационная модель, в отличие от аналитической, воспроизводит управление ТП любой сложности с заданным уровнем детализации с ограничением ресурсами компьютера [47].

Управление сложным объектом требует создания модели объекта управления. В ИТС – это модель транспортного потока [48]. Транспортный поток, как объект управления, представляет собой совокупность большого числа дискретных элементов - автомобилей. На основе исследований дорожного движения и практики его организации [10, 11, 49] выработаны многочисленные измерители и критерии. [10] К наиболее часто применяемым для характеристики движения показателям относятся: интенсивность движения (авт./ч; авт./сут.); скорость движения (км/ч; м/с); плотность транспортного потока (авт./м).

Целью управления транспортными потоками является обеспечение безопасного и эффективного движения транспортных средств, а также эффективной организации перевозочного процесса. Качественные оценки должны соотноситься с количественными критериями, которые необходимо измерить и оптимизировать: количество остановок, время задержки, длина очереди, средняя скорость движения, время движения, время доставки грузов, расход ГСМ. В качестве основополагающего критерия эффективности алгоритмов в ИТС принята величина задержки, приходящейся на одно транспортное средство. Каждая задержка ТС приводит к образованию очереди, что приводит к формированию затора и временным потерям на маршруте перевозок. Своевременное реагирование и изменение маршрута движения автотранспортных средств благодаря применению ИТС должно положительно сказаться на качестве перевозочного процесса в целом.

Координированное управление представляет собой обеспечение проезда группы автомобилей с необходимой скоростью движения через все регулируемые перекрестки дороги без остановок. С этой целью выбирается сдвиг фаз регулирования светофорном объектом в направлении координации, руководствуясь необходимой скоростью движения групп автомобилей и расстояниями между перекрестками (рис. 1.20).



Рисунок 1.20 – Интеллектуальная транспортная система города

Главной целью создания системы координированного управления является обеспечение условий для непрерывного и безопасного движения транспортных потоков и своевременного выполнения перевозок. Система обеспечит оперативное обнаружение любой нештатной и чрезвычайной ситуации, а также быстро передаст информацию на центр мониторинга (видеоизображение, видеокадры, сигналы от кнопки SOS, охранных и технологических датчиков).

Система мониторинга улично-дорожной сети необходима для эффективного управления транспортными потоками, повышения пропускной способности улично-дорожной сети, предотвращения автомобильных заторов, уменьшения задержек в движении транспорта, повышения безопасности дорожного движения,

оптимизации перевозочного процесса, информирования участников дорожного движения о дорожно-транспортной ситуации и вариантах оптимального маршрута движения, обеспечения бесперебойного движения наземного городского пассажирского транспорта (рис. 1.21).

Оптимизация перевозочного процесса заключается в оптимизации показателей качества грузовых и пассажирских перевозок (рис. 1.22). В рамках ИТС можно улучшить следующие показатели качества перевозок: своевременность выполнения перевозок, безопасность перевозок, экономические показатели, скорость перевозок, информационное обслуживание.



Рисунок 1.21 – Система мониторинга УДС



Рисунок 1.22 – Показатели качества перевозочного процесса

Однако все сегодняшние системы, относящиеся к транспортным средствам или инфраструктуре, имеют ограничения в функциях и эффективности, несмотря на то, что было продемонстрировано, что они способствуют осуществлению более эффективного, безопасного движения, которое не наносит ущерба окружающей среде. [50, 51] Только так называемые «объединённые системы телематики», т.е. системы, объединённые посредством связи в единую сеть, обладают потенциалом для повышения качества и готовности данных и информации, используемых для повышения эффективности перевозочного процесса и БДД.

Только на этой основе в рамках функционирования интеллектуальной транспортной системы могут, и будут решаться задачи обеспечения транспортного баланса между пропускной способностью спросом на ДД.

Таким образом, анализ исследований эффективности использования автомобилей выявил огромное количество факторов, влияющих на эффективность транспортного процесса.

К ним относятся конструктивные и эксплуатационные характеристики самого автомобиля, уровень подготовки и профессиональные качества водителя, технико-эксплуатационные показатели дороги, уровень организации транспортного процесса и дорожного движения, а также система управления перевозками грузов, пассажиров и состояние окружающей среды.

Одним из основных критериев эффективности использования автомобилей является его производительность и скорость доставки грузов и пассажиров.

Дифференцированный подход к оценке степени влияния этих факторов, позволил выявить наиболее значимые из них.

Выводы по главе

1. Существующие понятия и основные показатели эффективности использования автомобилей включают в себя большое количество факторов, зависящих от параметров транспортного потока и дороги.

2. Параметры транспортного потока взаимосвязаны, изменяются случайным образом и зависят от геометрических параметров УДС, планировки городов и организации перевозочного процесса.

3. Проведен анализ и ранжирование факторы, влияющих на транспортные задержки. Проанализированы последствия от дорожных заторов и их негативное влияние на экологическую обстановку городов.

4. Проведенный анализ выявил наиболее значимые факторы, влияющие на эффективность использования автомобилей, к которым относятся скорость, время доставки грузов и пассажиров, а также простои автомобилей на маршруте движения. Эти факторы зависят от показателей транспортного потока, а также от параметров дороги, характеристик УДС и величины транспортных задержек.

ГЛАВА 2. Аналитические предпосылки влияния показателей транспортного потока и дороги на эффективность использования автомобиля

2.1 Методы моделирования транспортных потоков

Постоянное увеличение транспортного потока на УДС влияет на эффективность использования автомобилей и требует систематического совершенствования УДС. Так как УДС складывается годами, а инженерные решения по ее совершенствованию очень затратные, то сложившиеся ее геометрические и технико-эксплуатационные параметры очень часто не соответствуют стремительно развивающемуся, и качественно и количественно транспортному потоку. Поэтому особую важность приобретает оптимальное планирование транспортных сетей и адаптация транспортного потока к УДС.

При этом особую актуальность приобретает распределение нагрузок на участках УДС с учетом закономерностей ее развития и параметров транспортного потока.

Для решения таких задач обычно используются математические модели.

В настоящее время нет сложившейся полной классификации математических моделей, описывающих взаимодействие параметров УДС с параметрами транспортного потока.

Поэтому, для простоты и понимания физического смысла каждой модели их группируют по функциональной роли:

- прогнозные модели;
- оптимизационные модели;
- имитационные модели.

Главная задача прогнозных моделей заключается в прогнозировании последствий при совершении изменений в транспортной сети.

Имитационные модели предназначены для детального анализа процесса движения и его развития во времени. Учитывая это можно сказать, что прогнозные и имитационные модели дополняют друг друга.

Оптимизационные модели используют для оптимизации функционирования транспортных сетей, для оптимизации маршрутов перевозок с позиции эффективного использования автомобилей, а также выбора оптимальной конфигурации сети с позиции безопасности перевозочного процесса и дорожного движения.

К имитационным моделям относятся большое количество моделей динамики транспортного потока. Данные модели отличаются по своим задачам – от моделирования движения каждого отдельного автомобиля до моделирования движения транспортного потока в целом. При этом, данные модели делятся на три общих класса:

- модели-аналоги;
- модели следования за лидером;
- стохастические модели.

Модели-аналоги описывают движение транспортных средств неким физическим законом. К моделям-аналогам относят газодинамические и гидродинамические модели. Поскольку эти модели описывают движение в целом, их относят к макроскопическим моделям.

В моделях следования за лидером описывается связь между движением соседних автотранспортных средств. Их относят к микроскопическим моделям, т.к. моделирование происходит для конкретного ТС и дает наиболее точное описание процесса перемещения в сравнении с макроскопическими моделями. Но для расчета таких моделей необходимы большие затраты времени и ресурсов.

Стохастические модели описывают транспортный поток как взаимодействие ТС на участках транспортной сети.

Модели должны учитывать максимум возможных факторов, влияющих на заторовые явления и дорожное движение, и быть доступными в их описании (рис. 2.1).

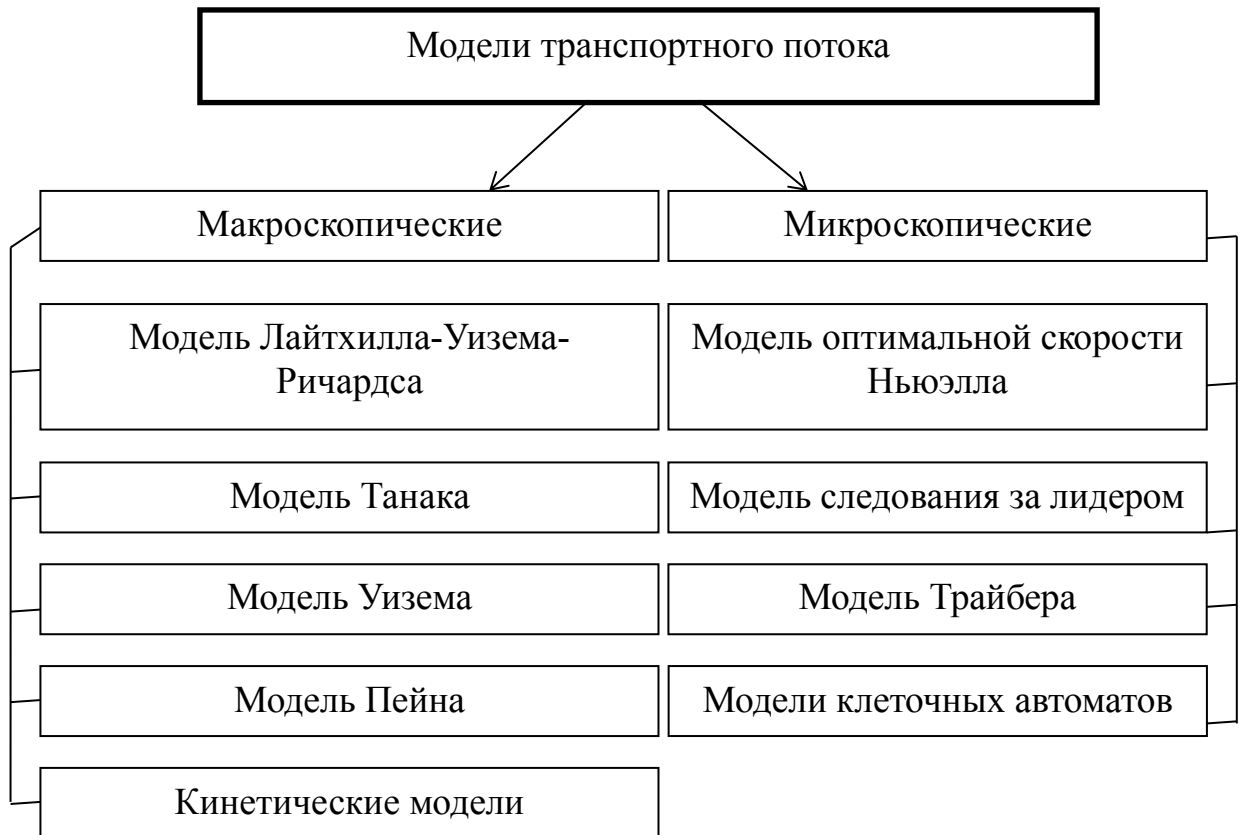


Рисунок 2.1 – Модели транспортного потока

2.1.1 Микроскопические модели

- Модель оптимальной скорости Ньюэлла.

Модель, разработанная Алленом Ньюэллом в 1961 г., является первой действенной микроскопической моделью [52].

$$v_n(t + \tau) = V\left(\frac{1}{h_n(t)}\right) \quad (2.1)$$

где V – безопасная скорость движения ТС;

h_n – дистанция до лидера;

τ – время реакции водителей;

$V'(\rho) < 0$.

Вводится функция от t, x :

$$h(t, x) = \frac{1}{h(t, x)}, v(t, x). \quad (2.2)$$

Система уравнений представляет собой модель Ньюэлла:

$$\begin{cases} v + (v_t + v \cdot v_x)\tau \cong V(\rho) + \frac{V'(\rho)}{2\rho}, \\ \rho_t + (v \cdot \rho)_x \cong 0. \end{cases} \quad (2.3)$$

- Модель следования за лидером General Motors.

Первой моделью и самой легкой в понимании является модель разработанная концерном General Motors [52].

$$s''_n(t + \tau) = \alpha \frac{s'_{n+1}(t) - s'_n(t)}{s_{n+1}(t) - s_n(t)}, \alpha > 0, \quad (2.4)$$

где $s''_n(t)$ – ускорение n-го автотранспортного средства.

Разность скоростей определяется следующим образом:

$$\Delta v_n(t) = s'_{n+1}(t) - s'_n(t).$$

Коэффициент пропорциональности $h_n(t)$ рассчитывается:

$$h_n(t) = s_{n+1}(t) - s_n(t). \quad (2.5)$$

Модель принимает вид:

$$\frac{dv_n(t)}{dt} = \alpha \frac{d}{dt} \ln h_n(t). \quad (2.6)$$

- Модель Трайбера объединяет две модели в одну – оптимальной скорости и следования за лидером [53].

$$s''_n(t) = F(s_{n+1}(t) - s_n(t), s'_{n+1}(t) - s'_n(t)). \quad (2.7)$$

Модель Трайбера в классическом представлении:

$$s''_n(t) = a_n \cdot \left[1 - \left(\frac{s'_n(t)}{V_n^0} \right)^\delta - \left(\frac{d'_n(s'_n(t), s'_{n+1}(t) - s'_{n+1}(t))}{s_{n+1}(t) - s_n(t)} \right)^2 \right], \quad (2.8)$$

где δ - переменная описывающая поведение автомобиля при разгоне ($\delta=1$ – экспоненциальный закон разгона по времени);

d'_n – желаемая дистанция между ТС;

$h_n(t)$ – фактическая дистанция между ТС.

Первая половина правой части уравнения $a_n \cdot \left[1 - \left(\frac{s'_n(t)}{V_n^0} \right)^\delta \right]$ показывает изменение ускорения автомобиля на пустой дороге, вторая часть уравнения показывает торможение в результате взаимодействия с впереди идущим автомобилем.

$$h_n(t) = s_{n+1}(t) - s_n(t). \quad (2.9)$$

Желаемая дистанция рассчитывается следующим образом:

$$d'_n(s'_n(t), s'_{n+1}(t) - s'_{n+1}(t)) = d_n + T_n s'_n(t) - \frac{s'_n(t)(s'_{n+1}(t) - s'_{n+1}(t))}{2\sqrt{a_n b_n}}, \quad (2.10)$$

где d_n – расстояние между ТС в период затора;

b_n – ускорение «комфортного» торможения;

T_n – время реакции водителя.

2.1.2 Макроскопические модели

Рассмотрим гидродинамические модели, особенностью которых является сравнение транспортного потока с потоком жидкости с понятной зависимостью между скоростью и плотностью потока.

- Модель Лайтхилла-Уизема-Ричардса (LWR).

В данной модели допускается, помимо зависимости скорости ТС и плотности потока, выполнение закона сохранения транспортных средств [54]:

$$v(t, x) = V(\rho(t, x)). \quad (2.11)$$

$$V'(\rho) < 0. \quad (2.12)$$

Скорость потока понижается с увеличением плотности потока.

Интенсивность транспортного потока определяется:

$$Q(\rho) = \rho V(\rho). \quad (2.13)$$

Для одной полосы движения:

$$Q''(\rho) < 0. \quad (2.14)$$

Функция имеет вогнутый вид, т.е. двигаясь по двум одинаковым полосам УДС с разными плотностями нежелательно, а движением по таким же полосам с одинаковой плотностью, которая определяется половиной суммы первоначальных плотностей, предпочтительно.

Закон сохранения количества ТС выглядит, как закон сохранения массы:

$$\oint_T \rho(t, x) dx - Q(\rho(t, x)) dt = 0. \quad (2.15)$$

Это соотношение также будет справедливо для функции с разрывов, где разрыв является границей затора и показывает резкое увеличение плотности.

Наиболее часто применяют модели LWR и ее варианты за счет простоты в применении. Более сложные модели требуют больших затрат ресурсов, больше данных, в результате чего преимущества не так необходимы. Модели LWR и следования за лидером не смотря на давность разработки актуальны и сейчас.

- Модель Уизема.

В данной модели, по сравнению с предыдущими учитывается снижение скорости ТС при увеличении впереди идущего потока и наоборот [55].

Модель описывается данным уравнением:

$$v(t, x) = V(\rho(t, x)) - \frac{D(\rho(t, x))}{\rho(t, x)} \frac{\partial \rho(t, x)}{\partial x}, D(\rho) > 0. \quad (2.16)$$

С учетом сохранения массы:

$$\frac{\partial \rho}{\partial t} + \frac{\partial Q(\rho)}{\partial x} = \frac{\partial}{\partial t}. \quad (2.17)$$

В результате получается следующее уравнение:

$$\frac{\partial \rho}{\partial t} + \frac{\partial (v\rho)}{\partial x} = 0. \quad (2.18)$$

- Модель Пейна.

В данной модели не описывается зависимость скорости от плотности потока. Скорость потока определяется следующим уравнением [56]:

$$\frac{d}{dt} v = \frac{\partial v}{\partial x} + v \frac{\partial v}{\partial x} = -\frac{1}{\tau} \left(v - \left(V(\rho) - \frac{D(\rho)}{\rho} \frac{\partial \rho}{\partial x} \right) \right), \quad (2.19)$$

где v – реальная скорость транспортного потока;

$V(\rho)$ – желаемая скорость транспортного потока;

τ – скорость стремления реальной скорости к желаемой.

Уравнение может принять вид:

$$\frac{d}{dt} \begin{pmatrix} \rho \\ v \end{pmatrix} + \begin{pmatrix} v \\ \frac{D}{\tau \rho} \end{pmatrix} \cdot \frac{\partial}{\partial x} \begin{pmatrix} \rho \\ v \end{pmatrix} = \frac{1}{\tau} \begin{pmatrix} 0 \\ V - v \end{pmatrix}, \quad (2.20)$$

Графически зависимость представляется гиперболически. Для строгой гиперболической системы существует решение, представляющее собой единство и устойчивость по начальным данным.

Недостатками данной модели являются значения параметров, которые дают недопустимые большие плотности транспортного потока.

$$\frac{d}{dt}(v + p(\rho)) = \frac{\partial(v+p(\rho))}{\partial t} + v \frac{\partial(v+p(\rho))}{\partial x} = 0, \quad (2.21)$$

$p'(\rho) > 0$ – при этом условии: $p(\rho) = \rho\gamma, \gamma > 0$, или $p(\rho) = -V(\rho)$

- Модель Танака

Модель Танака рассматривает однополосный поток, как и в прошлой модели.

Плотность транспортного потока определяется как [52]:

$$\rho(v) = \frac{1}{d(v)}, \quad (2.22)$$

где $d(v)$ – среднее расстояние между ТС.

$$d(v) = L + c_1 v + c_2 v^2, \quad (2.23)$$

где L – средняя длина автотранспортного средства;

c_1 – среднее время реакции водителей;

c_2 – коэффициент пропорциональности тормозного пути, определяется экспериментальным путем и зависит от дорожных факторов.

$V(\rho)$ в данной модели определяется аналогично.

Применительно к городским дорожным условиям предлагается использовать модель Танака, которая является аналогом «модели следования за лидером» и рассматривает однополосный транспортный поток. Это наиболее актуально для городских условий движения, где большинство участков УДС осуществляют движение по одной полосе, а также в городе имеются ограничения по скорости движения $V \leq 60$ км/ч.

При рассмотрении возникновения затора на автомагистрали за основу предлагается взять «модель следования за лидером». С помощью данной модели рассматривается вероятность возникновения ДТП, которые являются наиболее частой причиной возникновения заторов на автомагистралях. Переходя от этой модели к модели расчета коэффициента риска от параметров транспортного

потока для анализа использовалась зависимость этих параметров от параметров дороги.

2.2 Модель оценки состояния транспортного потока

В условиях свободного движения скорость движения транспортного средства можно определить с учетом возможных ограничений по формуле:

$$v_n \leq v_{\bar{o}} \leq v_{max}. \quad (2.24)$$

Основные принципы развития транспортной системы дают возможность развитию условий формирования средней скорости движения v_e , которая ограничивается обеспечением безопасной дистанции движения между автомобилем и $v_e = v_e(d_{\bar{o}})$ и плотностью потока $v_e = v_e(\rho)$.

Плотность потока ρ_c увеличением может привести к уменьшению возможной динамической дистанции между автомобилями d_e до величины d_{ρ} по формуле (2.25), что приводит к снижению безопасной дистанции $d_{\bar{o}}$ и к возможному снижению скорости автомобилей v_e в потоке, т.е. скорость меняет свое значение от величины максимальной скорости v_{max} к безопасной скорости $v_{\bar{o}}$ при соблюдении безопасной дистанции: $v_e \leq v_{\bar{o}}(d_{\bar{o}})$. По условию $v_{\bar{o}} \leq v_{max}$ [57].

Формирование скорости движения автомобилей v_e , как функции плотности потока обуславливается фазовыми переходами между состояниями транспортного потока. Дистанция по условию плотности транспортного потока не превышает фактическую дистанцию между друг за другом следующими автомобилями ($d_e < d_{\rho}$), а дистанция безопасности не превышает фактическую дистанцию ($d_{\bar{o}} \leq d_e$):

$$d_{\bar{o}} \leq d_e < d_{\rho}. \quad (2.25)$$

Формирование скорости движения автомобилей в транспортном потоке выглядит следующим образом: любое значение v_{max} соответствует безопасной

дистанции $d_\delta(v_{max})$. Условие $d_\delta(v_{max}) > d_\rho$, показывает, что дистанция по условию максимальной скорости $d_\delta(v_{max})$ не может быть обеспечена из условия плотности потока d_ρ . Из чего следует, что максимальное значение безопасной дистанции d_δ будет определяться исходя из плотности потока, а не из скорости движения $d_\delta = d_e(\rho) = d_\rho$ по формуле (2.25). Следовательно, максимально возможная скорость движения транспортного потока v_e будет иметь ограничение значением v_ρ , которое соответствует требованиям безопасности при $d_\delta = d_e$ и находится при $v_\rho = v_0$.

На рисунке 2.2 представлена фазовая диаграмма состояний транспортного потока. Основным интенсивным показателем является дистанция движения d_e . Экстенсивным показателем является скорость движения транспортного потока v_e [57].

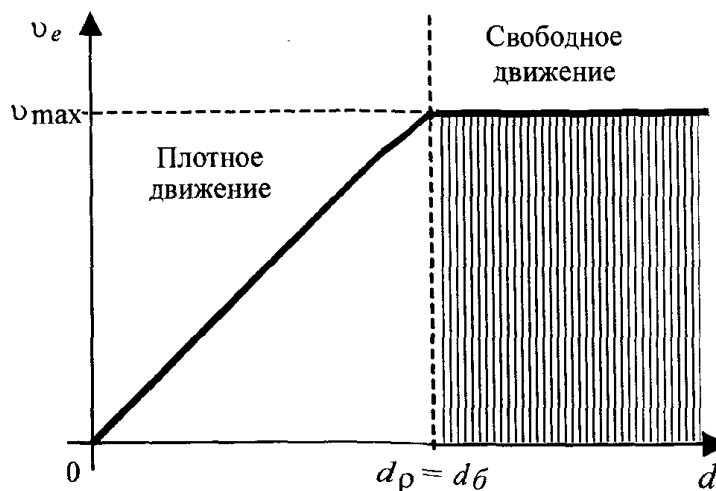


Рисунок 2.2 – Фазовая диаграмма состояний транспортного потока

На диаграмме показаны правила фазовых переходов состояний транспортного потока. Область плотного движения определяется условием: $d_\rho < d_\delta$. Из чего следует, что скорость транспортного потока ограничена дистанцией по плотности и ее величина ниже максимально возможной скорости v_{max} , которая определяется дорожными условиями. В случае увеличения дистанции по условиям плотности транспортного потока d_ρ скорость движения при соблюдении условий

безопасного движения (растущая функция) может быть увеличена. Область свободного движения определяется условием: $d_\rho > d_\phi$. В связи с чем, скорость движения транспортного потока имеет ограничения в виде возможных дорожных условий $v_{max} = \text{const}$ (прямая линия).

Отметим, что диаграмма фазовых переходов имеет сходство с кусочнонепрерывной функцией «плотность — скорость», разработанной Гринбергом (рис. 2.3), на которой транспортный поток представляет собой свободное движение со средней скоростью, стремящейся к величине v_{max} на участке дороги с небольшой плотностью плотности $(0, \rho_a)$ [99]. При возрастании плотности транспортного потока ($\rho_0 > \rho_a$) скорость движения потока снижается и при достижении максимального значения плотности ρ_{max} движение потока останавливается ($v_e = 0$) [57].

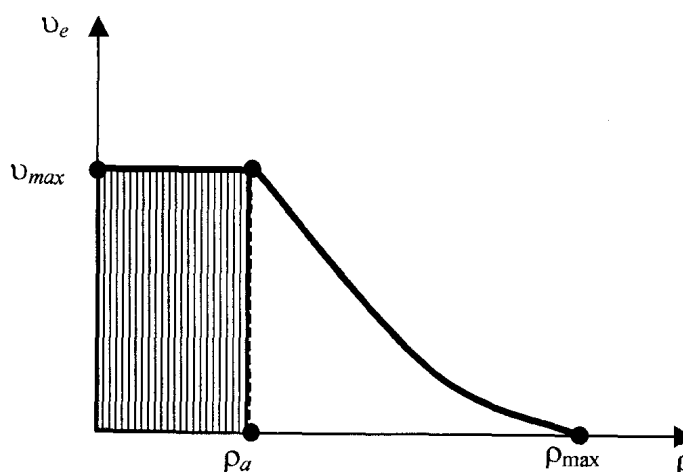


Рисунок 2.3 – Функция «плотность-скорость» (модель Гринберга)

Индикаторы состояния транспортного потока:

1) максимально возможная скорость движения транспортного потока v_{max} представляет собой ограничение скорости транспортного потока v_e и зависит от дорожных факторов, состава транспортного потока, уровня загрузки и т.п.;

2) плотность потока ρ , определяется экспериментальным или расчетным путем;

3) безопасная дистанция d_{δ} для определенной скорости транспортного потока, рассчитывается;

4) дистанция по условиям плотности транспортного потока d_{ρ} рассчитывается;

5) скорость транспортного потока v_{ρ} с учетом располагаемой дистанции d_{ρ} .

Агрегатным состоянием свободного движения является транспортный поток, находящийся в состоянии свободного движения, когда автомобили могут двигаться с максимально возможной скоростью v_{max} . Данное условие соблюдено для определенного значения плотности транспортного потока ρ , при котором выполняется неравенство $d_e(\rho) \geq d_{\delta}(v_{max})$.

Агрегатным состоянием плотного движения является транспортный поток, в котором увеличение ρ приводит к уменьшению d_e . Как только соотношение дистанций меняется: $d_e(\rho) < d_{\delta}(v_{max})$, то скорость движения транспортного потока v_e будет ограничена факторами потока при вероятном значении, равном v_{ρ} . В связи с чем, состояние транспортного потока меняется со свободного на плотное движение.

Модель фазовых состояний транспортного потока включает следующие положения:

- в состоянии свободного движения скорость транспортного потока v_e стремится к максимально возможной скорости движения v_{max} ;

- в состоянии плотного движения скорость транспортного потока v_e остается на уровне v_{ρ} , который соответствует безопасным условиям движения для дистанции d_{ρ} , которая ограничена плотностью потока [57]:

$$v_e = \begin{cases} v_{max}, & \text{если } d_{\delta} \leq d_{\rho} ; \\ v_{\rho}, & \text{если } d_{\delta} > d_{\rho} . \end{cases} \quad (2.26)$$

Таким образом, модель оценки состояния транспортного потока определяет сравнение скоростей транспортного потока v_{max} и v_{ρ} , которые устанавливаются

для определенных условий движения, наименьшее значение из которых устанавливается как скорость потока v_e :

- если $v_\rho < v_{max}$, то транспортный поток в плотном движении, при котором $v_e \rightarrow v_\rho$;

- если $v_{max} \leq v_\rho$, то транспортный поток в свободном движении, при котором $v_e \rightarrow v_{max}$.

В условиях плотного движения провозные характеристики транспортной системы не полностью задействованы. Соответственно, потери связаны с величиной «разрыва» между максимально возможной скоростью движения транспортного потока v_{max} и действительной скоростью движения транспортного потока v_ρ при условии высокой плотности:

$$\Delta v(\rho) = v_{max} - v_\rho. \quad (2.27)$$

Учитывая определенные цели исследования в ходе оценки состояния транспортного потока могут быть использованы средневзвешенные значения скорости транспортного потока по всей длине дороги [53]:

$$v = \frac{\sum_{i=1}^n v_i l_i}{L}, \quad (2.28)$$

где v_i — средняя скорость транспортного потока на каждом характерном участке дороги, км/ч;

l_i — протяженность каждого характерного участка, км;

n — число характерных участков;

L — длина дороги, км.

При необходимости выделить легковые и грузовые автомобили из общего состава потока можно воспользоваться следующими эмпирическими соотношениями [57]:

$$v_d = (1,30 \div 1,40) \cdot v, \quad (2.29)$$

$$v_z = (0,90 \div 0,92) \cdot v, \quad (2.30)$$

где v_d и v_z — средние скорости легковых и грузовых автомобилей соответственно, км/ч.

Представленная модель, описывающая агрегатные состояния транспортного потока может использоваться при обосновании проектов эффективного развития транспортных систем. На основе данной модели можно оценить влияние загрузки УДС на условия движения транспортных потоков и разработать обоснованные варианты эффективного использования транспортной сети.

2.3 Показатели адаптации транспортного потока к УДС

Основными причинами неэффективного использования автомобилей являются:

- снижение технической и эксплуатационной скоростей движения по самым различным причинам;
- неэффективное планирование перевозочного процесса и маршрута движения;
- загруженность улично-дорожной сети транспортными средствами при пропускной способности дороги, не соответствующей интенсивности движения;
- значительные простои в пробках и др.

Для повышения производительности и скорости доставки грузов и пассажиров необходимо «адаптировать» автомобиль и процесс перевозки к внешним условиям эксплуатации, включая обустроенность улично-дорожной сети и приспособленность ее к изменяющемуся транспортному потоку.

Адаптация (лат. *adapto* — приспособляю) — процесс приспособления к изменяющимся условиям внешней среды. Адаптивные системы — системы, способные к адаптации.

Различают пассивную адаптацию (реагирование системы на изменение окружающей среды) и активную (воздействие системы на окружающую среду).

Под внешней средой в данном случае будем понимать всю совокупность факторов, воздействующих на АТС в процессе эксплуатации.

Для оценки уровня приспособленности (адаптации) транспортного потока к дорожно-уличной сети используют различные показатели:

- величину энтропии;
- показатели транспортного потока;
- уровни удобств движения;
- риск возникновения заторовых явлений и т.д.

Оценка условий движения в городах описывает множество количественных показателей: длительность задержек, длина очереди, пропускная способность, скорость движения ТС, скорость сообщения, шум ускорения, наличие свободных мест на парковках, показатели безопасности дорожного движения. При оценке эффективности условий движения анализируется совокупность всех этих показателей, характеризующих скорость и безопасность движения, а также пропускную способность улично-дорожной сети. Показатель эффективности предъявляет определенные требования, основные на том, что он должен количественно описывать целевую функцию того или иного процесса дорожного движения. Этот показатель должен определяться одним числом и удовлетворять требованиям полноты и универсальности, а также иметь физический смысл и быть простым и легко вычисляемым.

Такого рода показатели используются для оценки адаптации в теории транспортных потоков. Множество вариантов организации дорожного движения (ОДД) определяет использование целого набора частных критериев. В целом критерии оценки условий дорожного движения, они же критерии оценки эффективности ОДД, можно разделить на частные и интегральные (обобщающие). В контексте рассматриваемой темы из всего множества критериев рассмотрим несколько интегральных критериев [58].

Первый из них – критерий оценки уровня обслуживания (Level of Service, или LOS) заимствован из теории массового обслуживания. Показатель уровня обслуживания определяется как «качественная характеристика, которая отражает такие совокупные факторы, как скорость движения, время поездки, свободу

маневрирования, безопасность и удобство управления автомобилем». Соответственно качественные характеристики состояния транспортного потока рассматриваются как функция степени загрузки транспортного сооружения, т.е. коэффициента загрузки k

$$k=N/P, \quad (2.31)$$

где N – интенсивность поступления требований (т.е. интенсивность движения);

P – интенсивность обслуживания требований (пропускная способность).

Хотя критерий уровня обслуживания достаточно прост, он не пригоден для оценки рассматриваемых условий движения. Вся правая ветвь основной диаграммы транспортного потока «плотность-интенсивность» (от исчерпания пропускной способности до состояния транспортного затора) оценивается как один уровень обслуживания.

Второй критерий – шум ускорения, который был предложен Б. Гриндшильдсом [59]. Шум ускорения описывает оперативную оценку качества ОДД и проводит оценку неравномерности движения потока транспортных средств. Количественно шум ускорения определяется как стандартное отклонение ускорения S [58]:

$$S = \sqrt{\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2}, \quad (2.32)$$

где x_i – значение ускорения на участке дорожно-уличной сети n или в момент времени i ;

$\bar{x}$ – среднее значение ускорения.

Шум ускорения не может отразить такие ситуаций, как наличие заторов на УДС или равномерное движение транспортного потока с низкой скоростью в предзаторовом состоянии.

2.4 Использование энтропии в качестве меры адаптации

Транспортный поток состоит из участников потока, которые совершают определенное количество передвижений. С учетом всех характеристик транспортного процесса они могут включать в себя, помимо передвижения ТС, также и передвижения пешеходов. При более узком рассмотрении задачи моделирования транспортного процесса можно учитывать только транспортные передвижения. Наиболее важные факторы, влияющие на количество передвижений и распределение по УДС показаны на рисунке 2.4.



Рисунок 2.4 – Факторы, влияющие на распределение транспортного потока и количество передвижений

При построении модели необходим учет всех этих факторов (рис. 2.4).

Задача моделирования транспортных потоков по УДС включает [60-62]:

- оценка количества отправлений и прибытий из каждого района города (Tripgeneration);

- разделение по способам перемещений (пешеходные перемещения, пассажирский общественный транспорт, личный транспорт, грузовой транспорт) (ModalSplit);
- матрица корреспонденций (количество передвижений между расчетными районами/участками города) (Tripdistribution);
- распределение корреспонденций по транспортной сети (определение всех маршрутов движения участников процесса и их количество) (Tripassignment).

Чтобы смоделировать комплексную загрузку транспортной сети с учетом всех факторов, необходимо разделить все пользователи на классы. Для каждого конкретного класса необходимо рассчитать матрицу корреспонденций и распределить их по сети. Причем, для каждого класса существует свой критерий оптимальности.

Одними из самых распространенных моделей расчета корреспонденций являются гравитационные модели, энтропийные модели, и др.

Энтропийная модель в сравнении с гравитационной моделью охватывает гораздо большее количество факторов, что позволяет приблизить модель к реальной ситуации.

Применение в моделировании движения транспортных потоков энтропии впервые предложил Вильсон [63]. Впоследствии данная концепция рассматривалась во многих трудах [64-67]. Энтропию как физическую величину предложил ввести в термодинамику Р. Клаузиус в 1865 г. Энтропия достаточно быстро проникла во все области физики, а затем затронула многие науки, такие как химия, биология, теория информации, математика и т.д.

Статистическая физика помогла математикам интерпретировать энтропию позволила ввести понятие метрической энтропии, как абстрактной величины. Метрическая энтропия характеризуется поведением неустойчивых динамических систем с экспоненциальной расходимостью близких в начальный момент времени траекторий (энтропия Крылова–Колмогорова–Синая) [68].

Физический смысл энтропии можно определить рассматривая микросостояния вещества (системы). Л. Больцман впервые установил связь энтропии с вероятност

состояния. М. Планк сформулировал эту связь выражением, которое называл принципом Больцмана. Выражение выглядит следующим образом [69]

$$S = k_B \ln W, \quad (2.33)$$

где k_B – постоянная Больцмана;

W – вероятность состояния (статистический вес).

Статистический вес W показывает количество способов или число микросостояний, которые способствуют реализации определенного макросостояния. Термодинамическая вероятность несколько отличается от математической вероятности, т.к. вторая выражается дробью, которая меньше либо равна одному. Поскольку чаще всего необходимо рассчитать разность энтропии (относительную вероятность W/W_0) [69], то эти различия не оказывают значительное влияние.

$$S - S_0 = k_B \ln \frac{W}{W_0}. \quad (2.34)$$

Математически модель энтропии представляет собой вероятностное описание предположительного поведения участников транспортного процесса. Участники транспортного процесса случайным образом распределяются по набору определенных состояний. Состоянием участника для расчета корреспонденций принято считать принадлежность его к корреспонденции из i в j . Каждый случайный выбор всеми участниками процесса приводит к определенным макроскопическим состояниям системы. Согласно теории энтропийной модели состояние системы, которое определяется в реальности, имеет наибольший статистический вес. Статистический вес состояний в энтропийных моделях используется, т.к. в таких моделях может не быть конечного и нормированного распределения вероятностей. Статистический вес показывает сравнительные вероятности различных состояний системы. В связи с этим, состояния с наибольшим статистическим весом являются наиболее вероятными. С математической точки зрения состояние с наибольшим статистическим весом определяется максимумом функции в пространстве состояний, которая является энтропией системы.

Энтропийная модель может давать статистическое обоснование для гравитационной модели (для выбора функции тяготения).

С помощью задачи максимизации энтропии можно осуществить расчет корреспонденций с распределением по видам передвижений транспортного потока [69].

Рассмотренная энтропийная модель транспортного потока, применяемая для определения транспортных корреспонденций, может дать лишь прогноз загруженности транспортной сети. Для борьбы с транспортными заторами в крупных городах помимо прогноза, необходимо применять имитационное и оптимизационное моделирование транспортных потоков. Важное значение имеет метод формирования обширной информации, основанной на различных социально-экономических и статистических данных о транспортных потоках в совокупности с основными параметрами транспортной сети.

2.5 Понятие и классификация рисков

На данный момент существует две противоположных позиции по определению термина «риск», которые дополняют друг друга. Согласно первой позиции, все риски имеют «отрицательный характер», т.е. связаны с возможным вредом или ущербом имущества, здоровья и жизни людей. Согласно второй позиции, риск – это не только возможная потеря, но и возможная удача.

Определение риска по толковому словарю Ожегова [70]:

1. Возможная опасность неудачи;
2. Действие наудачу в надежде на счастливый исход.

Риск – это оценка количественного многокомпонентного измерения опасности с оценкой величины ущерба от воздействия опасности для безопасности, вероятности возникновения этих опасностей и неопределенности в величине ущерба и вероятности.

Лучше всего риск описывается его структурными характеристиками, а также некоторыми другими дополнительными параметрами. Общая классификация рисков, выделенных по содержанию структурных характеристик риска:

- опасность;
- подверженность риску;
- чувствительность к риску;
- порядок взаимодействия с другими рисками;
- содержанию других его параметров:
- информация о риске;
- величина риска;
- расходы, связанные с риском.

Риск - понятие неоднозначное и многогранное. Поэтому для выделения конкретных рисков необходимо проводить их классификацию по различным критериям.

Выбор критериев зависит от целей и особенностей процедуры управления риском (рис. 2.5) [71].

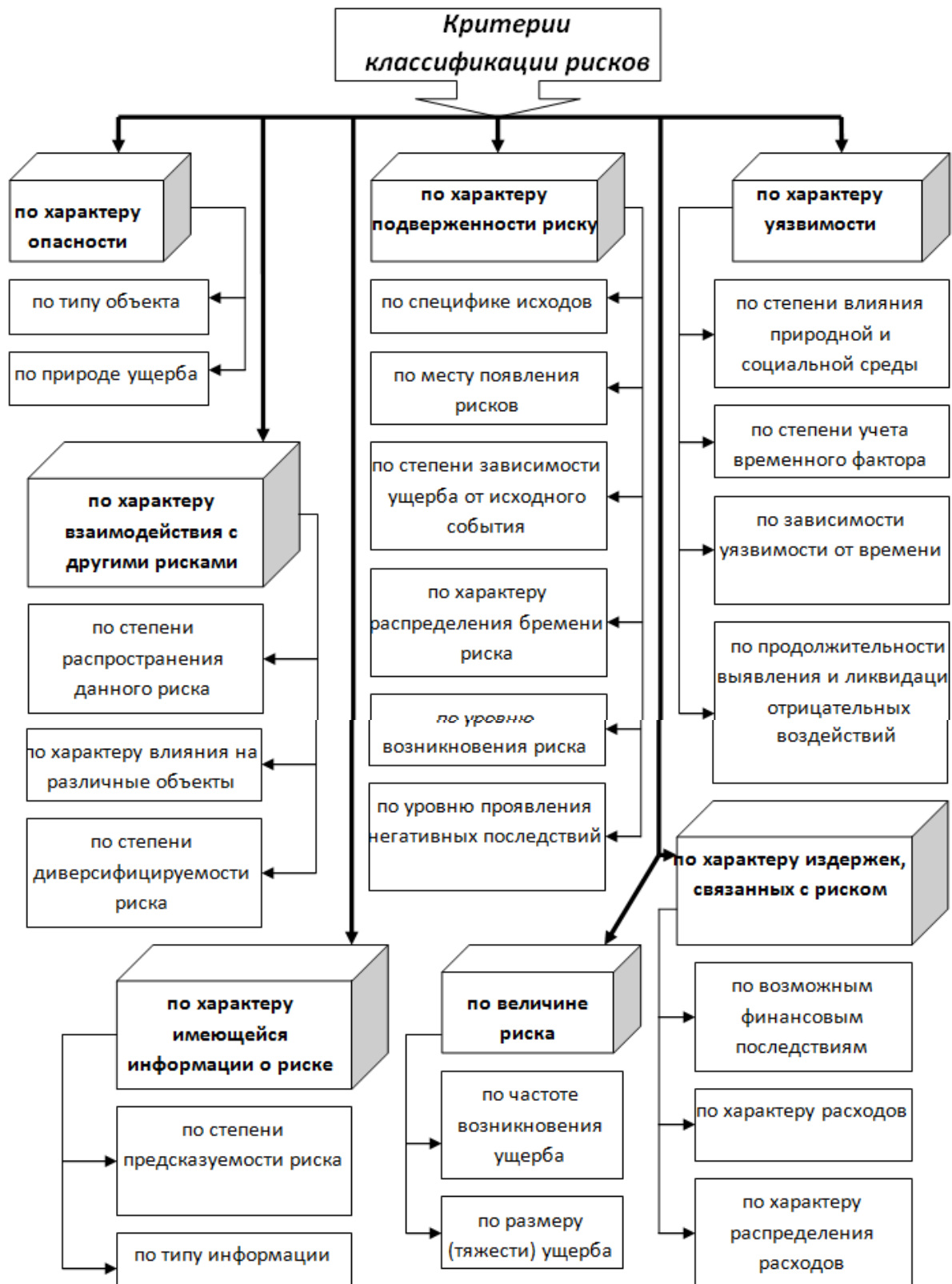


Рисунок 2.5 – Критерии классификации рисков

Большое количество критериев классификации связано с выяснением, какие именно факторы и каким образом влияют на риск. Учитывая сложность понятия «риска» подобный анализ становится еще более многосторонним.

В результате анализа необходимо выделить однородные риски, т.е. такие риски, которые ведут себя одинаково (в вероятностном смысле). Изучение неоднородных рисков имеет трудности со сложностью понятия связанных наблюдаемых эффектов со спецификой рисков или с неоднородностью их классификации.

Изучение определенных групп рисков позволил:

- более системно проанализировать рисковые ситуации путем определения основных параметров риска и тенденций изменения величины ущерба;

- разработать неблагоприятные сценарии событий с целью создания стандартизированных реакций на их возникновение;

- собрать статистические данные, необходимые для использования необходимых управленческих воздействий в рамках процедуры управления рисками.

На практике провести классификацию рисков по нескольким критериям не всегда представляется возможным, особенно с группировкой по однородности. Это связано с уникальностью каждого вида рисков, неполной информации и другими факторами. Риски, которые рассматриваются в рамках одной группы, зачастую бывают неоднородны, что требует дополнительного анализа этих рисков.

При оценке риска возникновения затора необходимо использовать определенные количественные параметры. В узком смысле использование улично-дорожной сети без заторов или ее участка можно определить вероятностью $p(t)$ того, что УДС или ее элемент будут использоваться без заторов в течении конкретного отрезка времени t [72, 73].

Интенсивность возникновения заторовых явлений на участке УДС $\lambda(t)$ является частным от деления плотности распределения времени движения транспортного потока в свободных условиях $f(t)$ на вероятность свободного движения транспортного потока $p(t)$:

$$\lambda(t) = \frac{f(t)}{p(t)}. \quad (2.35)$$

Плотность распределения времени свободного движения транспортного потока $f(t)$ рассчитывается по формуле:

$$f(t) \approx \frac{\Delta n(t)}{N \cdot \Delta t}, \quad (2.36)$$

где $\Delta n(t)$ – количество ТС, находящихся в заторе на отдельном участке времени;

N – количество всех ТС на УДС (или на определенном участке УДС);

Δt – длина элементарного участка времени.

При постоянной интенсивности возникновения заторовых явлений $\lambda(t)=\text{const}$, тогда по экспоненциальному закону вероятность свободного движения ТП $p(t)$ по улично-дорожной сети или ее участку можно описать:

$$P(t) = e^{-\lambda t}. \quad (2.37)$$

Очевидно, с увеличением плотности движения транспортного потока вероятность возникновения заторовых ситуаций на участке УДС возрастает. Интенсивность возникновения заторовых явлений может быть постоянной на определенном отрезке времени.

2.6 Оценка задержек транспортных средств на основе теории риска

В качестве одного из критериев адаптации транспортного потока к УДС предлагается использовать коэффициент риска для наиболее загруженных участков УДС города.

На основании теории вероятности сумма неизвестных нормально распределенных случайных величин описывается законом нормального

распределения. Количественным критерием оценки вероятности образования транспортных задержек на УДС может служить коэффициент риска.

Предложена модель оценки возникновения затора ТП для регулируемых перекрестков, т.к. они являются наиболее показательными, основанная на вероятностном методе, который разработал профессор В.В. Столяровым с целью определения рискованных ситуаций в области дорожного строительства [74-76]:

$$r = 0,5 - \Phi \left(\frac{d_{кр} - d_{\phi}}{\sqrt{\sigma_{d_{кр}}^2 + \sigma_{d_{\phi}}^2}} \right), \quad (2.38)$$

где d_{ϕ} - среднее значение расчетной или фактической величины транспортной задержки на регулируемом пересечении в «час пик», с;

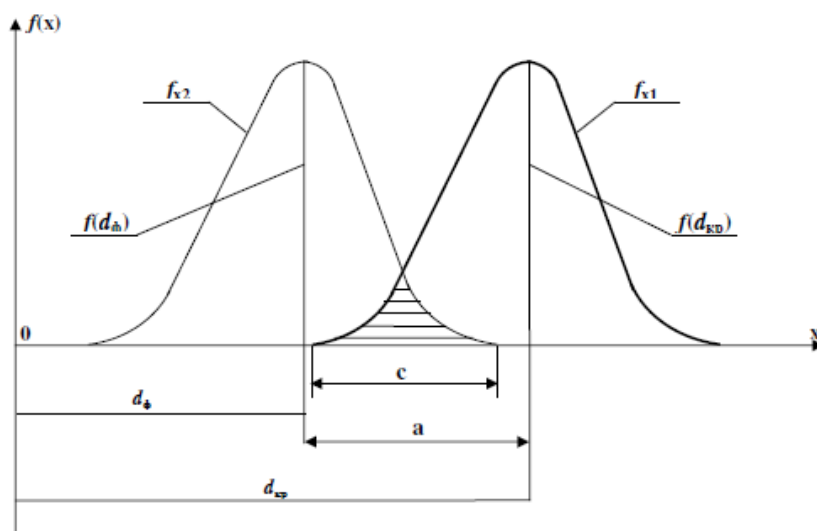
$d_{кр}$ - среднее значение предельной (критической) величины транспортной задержки на регулируемом пересечении в «час пик», при котором вероятность возникновения затора будет равна 50%, с;

$\sigma_{d_{\phi}}$ и $\sigma_{d_{кр}}$ - среднеквадратические отклонения текущих значений указанных параметров.

Моделирование теории риска представляет собой сравнение закона распределения предельной величины транспортной задержки $d_{кр}$ и фактической величины транспортной задержки d_{ϕ} . При этом фактический закон распределения подвижен, а закон распределения предельной величины транспортной задержки, в случае которого вероятность возникновения затора равна 50% будет неподвижен.

Чем больше схождение подвижного и неподвижного законов распределения, тем больше область риска (с), которая показывает, какая часть значений фактической транспортной задержки находится в области распределения предельной величины транспортной задержки. Интервал при этом выглядит следующим образом: $a = d_{кр} - d_{\phi}$ и уменьшается между средними значениями

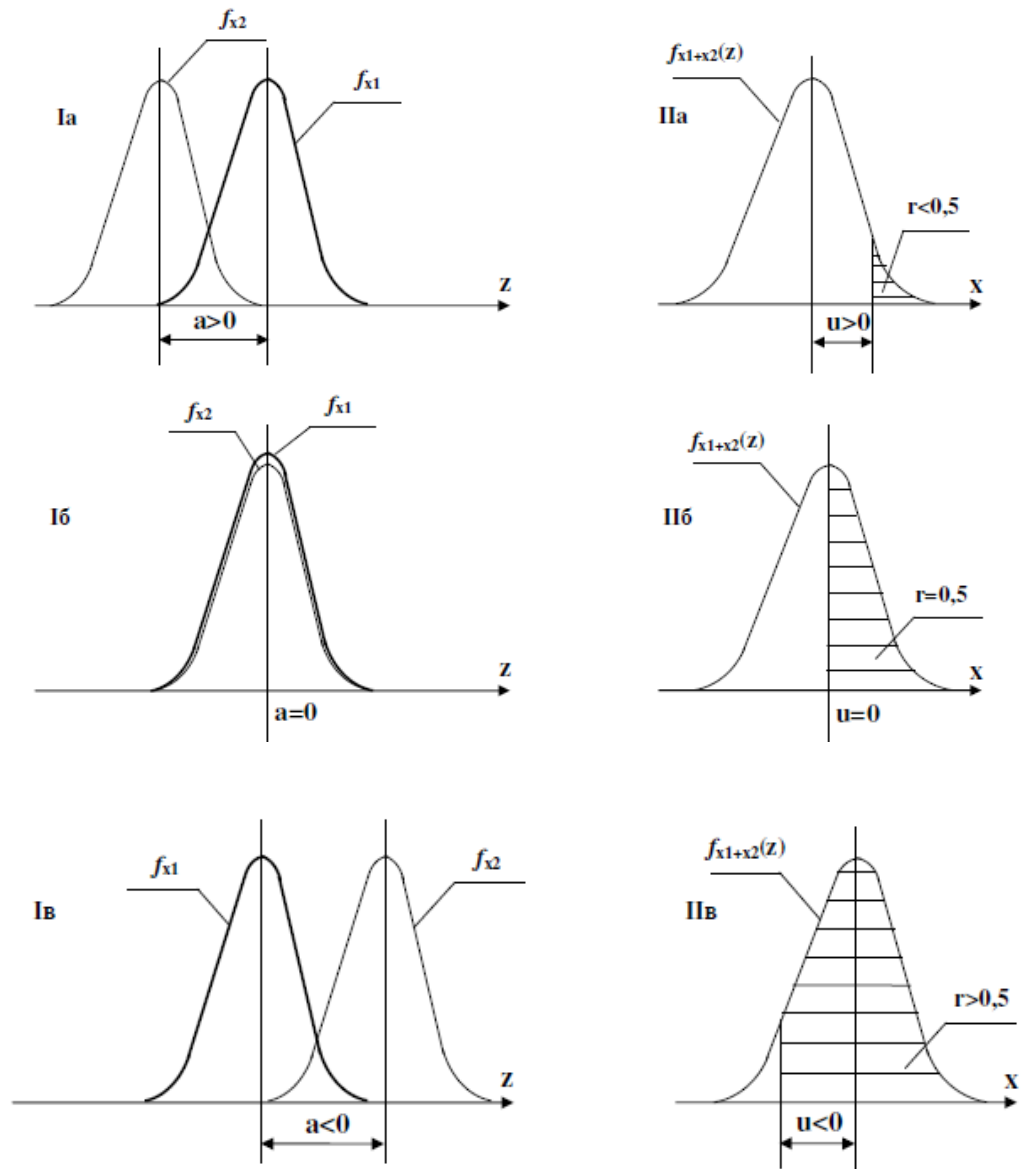
фактической величины транспортной задержки d_ϕ и предельной величины транспортной задержки $d_{кр}$ (рис. 2.6) [77].



c – область риска; a – интервал между средними значениями; $f(d_\phi)$ – поле рассеивания параметра d_i^ϕ в пределах плотности распределения $f(x_2)$; $f(d_{кр})$ – поле рассеивания параметра $d_i^{кр}$ в пределах плотности распределения $f(x_1)$

Рисунок 2.6 – Плотность распределения фактической и предельной задержки с представлением области риска

Если фактический параметр d_ϕ равен предельному параметру $d_{кр}$, то риск возникновения заторового явления равен 0,5. При $d_{кр} > d_\phi$, имеем $r_{тз} < 0,5$ и в пределе, когда $d_{кр} \gg d_\phi$, риск стремится к нулю. При $d_{кр} < d_\phi$, имеем $r_{тз} > 0,5$ и в пределе, когда $d_{кр} \ll d_\phi$, риск стремится к единице (рис. 2.7) [78].



различные положения исходных законов распределения (IIa, IIб, IIв):

А – при $u > 0$ и $a > 0$; б – при $u = 0$ и $a = 0$; в – при $u < 0$ и $a < 0$

Рисунок 2.7 – Область риска по суммарному закону распределения (Ia, Ib, Iv)

Наиболее известна приближенная формула Вебстера для регулируемых пересечений по определению средней транспортной задержки, упрощенный вид которой выглядит как [74]:

$$d = 0,9 \left(\frac{C(1-g/c)^2}{2[1-(g/c) \cdot x]} + \frac{x^2}{2N(1-x)} \right), \quad (2.39)$$

где d - средняя транспортная задержка за цикл светофорного регулирования, с;

C - длина цикла светофорного регулирования, с;

g - эффективная длительность зеленого сигнала светофора, с;

x - степень насыщения;

N - интенсивность прибытия транспортных средств, авт./с.

Формулу (2.39) можно преобразовать в следующее выражение:

$$d = K_{уч} + \frac{K_x}{2N}, \quad (2.40)$$

где $K_{уч} = \frac{0,9 \cdot C(1-g/c)^2}{2[1-(g/c) \cdot x]}$ – коэффициент, учитывающий режим работы светофора;

$$K_x = \frac{0,9x^2}{(1-x)} \text{ - коэффициент, учитывающий степень насыщения.}$$

С целью выявления всех переменных значений подставив в формулу (2.38) формулу (2.40), получена зависимость риска возникновения транспортного затора от интенсивности ТП:

$$r = 0,5 - \Phi \left(\frac{d_{кр} - K_{уч} - \frac{K_x}{2N}}{\sqrt{\sigma_{d_{кр}}^2 + \sigma_{\frac{K_x}{2N}}^2}} \right), \quad (2.41)$$

Для определения зависимости риска возникновения транспортного затора от скорости и плотности транспортного потока воспользуемся зависимостью интенсивности транспортного потока от скорости, полученной на основе модели транспортного потока Танака [79]:

$$N(V) = \frac{V}{m_2 V^2 + m_1 V + m_0}, \quad (2.42)$$

где V – скорость движения транспортного потока, м/с;

m_2 – коэффициент пропорциональности тормозному пути, с²/м;

m_1 – время, описывающее время реакции водителя, с;

m_0 – средняя длина транспортного средства, м.

Использование модели Танака обосновано тем, что она основана на продольном динамическом габарите безопасной езды, которая актуальна для городских условий формирования транспортного потока.

Подставив формулу (2.42) в формулу (2.41) получим зависимость риска возникновения транспортного затора от скорости:

$$r(V) = 0,5 - \Phi \left(\frac{d_{кр} - K_{уч} - \frac{K_x(m_2 V^2 + m_1 V + m_0)}{2V}}{\sqrt{\sigma_{d_{кр}}^2 + \sigma_{d_{\phi}}^2}} \right). \quad (2.43)$$

Аналогичным образом получаем зависимость коэффициента риска возникновения транспортного затора от плотности, используя зависимость интенсивности транспортного потока от плотности:

$$N(q) = \left[1 - \left(1 - \frac{q}{q_{\max}} \right)^{am_2 + b} \right]^\gamma \left[\frac{3,6 \left(-m_1 + \sqrt{m_1^2 - 4m_2 \left(m_0 - \frac{1000}{q} \right)} \right)}{2m_2} \right] q, \quad (2.44)$$

где q – плотность транспортного потока, авт./м;

$q_{\max} \frac{1}{m_0}$ – максимальная плотность транспортного потока, авт./м.

$a=61,5427$, $b=0,8308$ – коэффициенты при условии ограничения скорости ТП в городских условиях до 60 км/ч (значения коэффициентов получены Колесовым В.И.);

γ – константа, равная 0,6.

Подставив формулу (2.44) в формулу (2.41), получим зависимость коэффициента риска возникновения транспортного затора от плотности транспортного потока q :

$$r(q) = 0,5 - \Phi \left(\frac{d_{кр} - K_{yч} - \frac{m_2 \cdot K_x}{\left[1 - \left(1 - \frac{q}{q_{max}} \right)^{a m_2 + b} \right]^\gamma \cdot 3,6 \left(-m_1 + \sqrt{m_1^2 - 4m_2 \left(m_0 - \frac{1000}{q} \right)} \right) q}}{\sqrt{\sigma_{d_{кр}}^2 + \sigma_{d\phi}^2}} \right), \quad (2.45)$$

$$r(q) = 0,5 - \Phi \left(\frac{d_{кр} - K_{yч} - \frac{K_x}{\left[1 - \left(1 - \frac{q}{q_{max}} \right)^{a m_2 + b} \right]^\gamma} \cdot K_m}{\sqrt{\sigma_{d_{кр}}^2 + \sigma_{d\phi}^2}} \right), \quad (2.46)$$

$$K_m = \frac{m_2}{3,6 \left(-m_1 + \sqrt{m_1^2 - 4m_2 \left(m_0 - \frac{1000}{q} \right)} \right) q}$$

где K_m – коэффициент, учитывающий влияние времени реакции водителя, пропорциональность тормозного пути и длину ТС на плотность транспортного потока.

При установлении характера зависимостей показателей ТП (N , q , V) от геометрических показателей дороги используется модель «уровней удобства движения», которая разработана Сильновым В.В. и в которой описывается влияние геометрических параметров дороги на показатели ТП [80].

Зависимость модальных значений скорости движения транспортного потока от радиуса кривой в плане определяется:

$$V(R) = 78[1 - \exp(-0,0159R)]. \quad (2.47)$$

Подставив формулу (2.47) в формулу (2.43) получим коэффициент риска от радиуса кривой в плане:

$$r(R) = 0,5 - \Phi \left(\frac{d_{кр} - K_{yч} - \frac{K_x \cdot K_R}{2}}{\sqrt{\sigma_{d_{кр}}^2 + \sigma_{d\phi}^2}} \right), \quad (2.48)$$

где $K_R = \frac{(m_2(78[1 - \exp(-0,0159R)])^2 + m_1(78[1 - \exp(-0,0159R)]) + m_0)}{78[1 - \exp(-0,0159R)]}$ – коэффициент, учитывающий влияние времени реакции водителя, пропорциональность тормозного пути и длину ТС, радиуса поворота ТС на скорость ТС.

Значительное влияние на скорость движение транспортного потока оказывает ширина проезжей части B . В этом случае применяется следующее корреляционное уравнение для мгновенной скорости движения при $5 < B < 13$ м:

$$V(B) = 58 + 1,58B. \quad (2.49)$$

Подставив формулу (2.49) в формулу (2.43) получим:

$$r(B) = 0,5 - \Phi \left(\frac{d_{кр} - K_{уч} - \frac{K_x \cdot K_B}{2}}{\sqrt{\sigma_{d_{кр}}^2 + \sigma_{d_{\phi}}^2}} \right), \quad (2.50)$$

где $K_B = \frac{(m_2(58 + 1,58B)^2 + m_1(58 + 1,58B) + m_0)}{58 + 1,58B}$ – коэффициент, учитывающий влияние времени реакции водителя, пропорциональность тормозного пути и длину ТС, ширины проезжей части на скорость ТС.

Заметное изменение скорости движения транспортного потока наблюдается на участках подъемов. Значение установившейся скорости движения ТП, которое соответствует определенному уклону, находится по формуле:

$$V(\alpha) = V_0 / (1 + \alpha i), \quad (2.51)$$

где V_0 – начальная скорость движения при въезде на подъем, км/ч;

α – эмпирический коэффициент (табл. 1);

i – продольный уклон, отн. ед.

Таблица 2.1 – Эмпирический коэффициент α

Уклон, отн. ед.	0,02	0,03	0,04	0,05	0,06	0,07	0,08
Коэффициент, б	9	10	13,5	17,5	26,7	28,6	29,4

Подставив формулу (2.51) в формулу (2.43) получим:

$$r(\alpha) = 0,5 - \Phi \left(\frac{d_{кр} - K_{уч} - \frac{K_x \cdot K_\alpha}{2}}{\sqrt{\sigma_{d_{кр}}^2 + \sigma_{d_\phi}^2}} \right), \quad (2.52)$$

где $K_\alpha = \frac{(m_2(V_0/(1+\alpha i))^2 + m_1 V_0/(1+\alpha i) + m_0)}{V_0/(1+\alpha i)}$ – коэффициент, учитывающий влияние времени реакции водителя, пропорциональность тормозного пути и длину ТС, продольного уклона на скорость ТС.

Для оценки скорости движения в свободных условиях на двухголосных дорогах Сильновым В.В. рекомендуется следующая зависимость:

$$V = 29 + 3,85B - 0,53i + 0,096R + 10,8p_{л} - 10,3p_{авт}, \quad (2.53)$$

где B – ширина проезжей части, м;

i – продольный уклон, ‰;

R – радиус кривой в плане, м, $100 < R < 1000$ м;

$p_{л}, p_{авт}$ – количество легковых автомобилей и автопоездов в составе транспортного потока, отн. ед.

Подставив формулу (2.53) в формулу (2.43) получим зависимость риска возникновения транспортного затора от показателей элементов дороги:

$$r(D) = 0,5 - \Phi \left(\frac{d_{кр} - K_{уч} - \frac{K_x \cdot K_D}{2}}{\sqrt{\sigma_{d_{кр}}^2 + \sigma_{d_\phi}^2}} \right). \quad (2.54)$$

где $K_D = \frac{(m_2(29 + 3,85B - 0,53i + 0,096R + 10,8p_{л} - 10,3p_{авт})^2 + m_1(29 + 3,85B - 0,53i + 0,096R + 10,8p_{л} - 10,3p_{авт}) + m_0)}{29 + 3,85B - 0,53i + 0,096R + 10,8p_{л} - 10,3p_{авт}}$ – коэффициент, учитывающий влияние времени реакции водителя, пропорциональность тормозного пути и длину ТС, параметров дороги и состава транспортного потока на скорость ТС.

2.7 Модель адаптации транспортного потока к УДС

Одной из причин возникновения пробок на УДС – является ДТП. Соблюдение недостаточной дистанции между автомобилями, несоответствующей условиям безопасности, часто приводит к столкновениям ТС в случае экстренного торможения впереди идущего. Главным фактором, влияющим на значение безопасной дистанции, является скорость движения автомобилей: чем выше скорость движения, тем больше должна быть безопасная дистанция при движении.

Снижение безопасной дистанции в случае увеличения скорости движения автомобиля предполагает определенное ожидание водителей следующих за лидером автомобилей, что впереди идущий автомобиль не прибегнет к резкому торможению. Причем, чем «выше» это ожидание, количественную оценку которого можно определить уровнем риска, тем больше разница между значениями расчетной и фактической дистанций [81]:

$$d_{\sigma} \geq v_0^{k_p} \cdot \tau + d_{\min} , \quad (2.55)$$

где k_p – уровень риска внезапной остановки.

Проведенные исследования [81] показали, что значение параметра k_p различается в зависимости от условий движения.

Модель дистанции, описывающей уровень риска отражает субъективное восприятие и субъективную оценку водителями дорожной обстановки, которые не всегда соответствуют безопасности дорожного движения. В связи с чем, модель «уровень риска» может быть использована при проведении анализа влияний факторов различной природы на показатели транспортных потоков.

При этом, возникновение затора на дороге приводит к увеличению времени доставки грузов и пассажиров $T_{дост}$. Это связано с простоями в пробках, либо с ее объездом. В этом случае, оптимальное время доставки при объезде заторовой ситуации достигается увеличением средней скорости движения автомобилей на «свободном» участке улично-дорожной сети.

На основании выявленных зависимостей риска образования затора от параметров дороги и ТП с учетом влияния транспортных задержек на эффективность использования автомобилей, а именно на время доставки грузов и пассажиров $T_{дост}$, разработана модель адаптации транспортного потока к УДС с учетом риска возникновения затора [82]:

$$T_{дост} \leq \frac{S_{опт} + S_{доп}}{(V_{ср})^{(1-r_V)}} \quad (2.55)$$

где $T_{дост}$ – время доставки груза, ч;

$S_{опт}$ – оптимальное (кратчайшее) расстояние от поставщика до потребителя, км;

$S_{доп}$ – расстояние, потраченное на объезд пробки (дополнительное), км;

$V_{ср}$ – средняя скорость автомобиля в потоке, км/ч;

r_V – показатель риска возникновения затора.

Разработанная модель оценки риска образования транспортного затора с учетом параметров дороги и показателей транспортного потока позволит повысить эффективность использования автомобилей.

В результате обследования УДС города на основе теории риска можно разработать и выбрать оптимальный маршрут движения в объезд заторовым явлениям с учетом времени доставки. Использование данного метода позволит получить экономический эффект от снижения затрат времени на перевозку.

2.8 Принципы формирования объездных маршрутов

Проблема згрузки городов транспортным потоком является актуальной для многих регионов страны.

Рассмотрим в общем виде модель прохождения транспортного потока по транспортной сети города. На перекрестках происходит слияние транспортных потоков в единый.

Скорость совокупного транспортного потока по сети рассматривается как функция интенсивности потока [83]:

$$v_{ij} = v_p(N_{ij}), \quad (2.56)$$

где N_{ij} – интенсивность совокупного транспортного потока, авт./ч.

При состоянии плотного движения скорость потока v_{ij} на участках между перекрестками будет меньше возможной скорости движения, обеспеченной дорожными условиями ($v_{ij} < v_{max}$), а функционирование транспортной сети будет мало эффективно. Повышение эффективности использования автомобилей предполагает повышение эффективности работы транспортной системы за счет увеличения скорости движения и уменьшения плотности потока посредством выведения части транспортного потока на другой маршрут движения (объездной маршрут).

Увеличение скорости движения v_{ij} по участкам УДС обеспечивается за счет снижения интенсивности транспортного потока N_{ij} , в связи с переходом части транспортного потока на объезд $r_{об}$.

Таким образом обеспечивается повышение эффективности функционирования транспортной сети по объезду $r_{об}$.

В работе [83] отмечается, что объездной маршрут целесообразен при значительной разнице скоростей движения (1,5 раза). При более низком соотношении объездной путь $r_{об}$ может быть не эффективный для пропуска транспортного потока по нему, если продолжительность его движения по первоначальному маршруту t_{ij} будет меньше, чем время движения по объездному маршруту $t_{об}$.

Однако, в случае затора, речь идет вообще о доставке грузов и пассажиров в конечный пункт. Поэтому, при возникновении заторовых ситуаций, необходимо

прогнозировать объездные маршруты с учетом своевременной доставки грузов и пассажиров с наименьшими затратами при этом.

Основными параметрами объездных маршрутов являются расстояние первоначального маршрута и протяженность объездного сегмента $l_{обij}$. Из возможных вариантов объезда как правило выбирается маршрут с наименьшей протяженностью $l_{обij} \rightarrow \min$. Кроме того, при одинаковой скорости движения по двум объездными сегментами ($v_{об3} = v_{об4}$), общее время движения по полному объездному пути ($l_{об3} + l_{об4}$) будет больше, чем время движения по полному объездному пути с $l_{об1} + l_{об2}$.

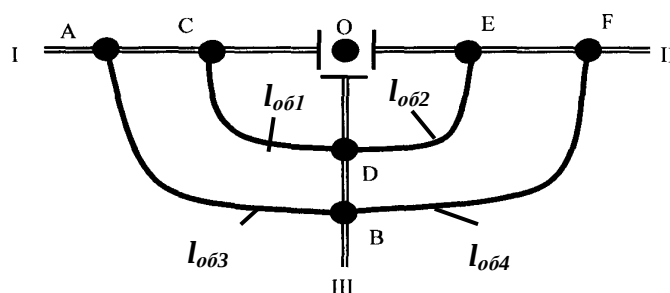


Рисунок 2.8 – Альтернативные варианты объездных путей

Когда необходимо организовать объезд, соединяющий несколько смежных улиц, возможны ситуации, когда для одной улицы, но для различных направлений, могут быть получены разные оптимальные решения параметров объезда. Например, для направления I-II (рис. 2.8) оптимальным может быть объезд C-D-E. В то же время для направлений I-III и II-III оптимальным могут быть соответственно обходы A-B и B-F. Создавать параллельные объезды, как правильно, нерационально. В этом случае выбирается вариант объезда с учетом потерь в автомобиле-часах.

При оптимальных параметрах объезда продолжительность движения по альтернативному варианту будет больше. Величина возможных потерь в автомобиле-часах определяется как произведение количества транспорта $G_{об}^{\phi}$ по данному направлению на разность продолжительности движения по

альтернативному пути $t'_{об}$ и продолжительность движения по оптимальному объезду $t^*_{об}$ [83]:

$$\Delta G = G_{об}^{\Phi}(t'_{об} - t^*_{об}). \quad (2.57)$$

Выбирается тот вариант объезда, неиспользование которого приведет к наибольшим потерям ΔG по одному из прямых маршрутов.

На основе теоретических исследований влияния параметров УДС на коэффициент риска предлагается разрабатывать объездные маршруты на основе данных полученных о состоянии УДС из паспортов отдельных участков УДС.

Из паспортов участков УДС формируется база данных в которую заносятся: ширина УДС (B), количество полос движения (H), радиус дороги в плане (R), помехонасыщенности участка УДС ($Kп$), уклон (i).

С использованием программного обеспечения рассчитываются коэффициенты риска на этих участках дороги с учетом выше указанных параметров УДС и на основе этих расчетов выбирается оптимальный маршрут по минимальному значению коэффициента риска $г$.

На основе совокупности аппроксимированных зависимостей $г=f(B;i;R)$ в одинаковых условиях определяются уровни адаптации движения автомобилей с учетом риска возникновения транспортного затора. Каждый уровень соответствует скоростному интервалу в 5 км/ч и определенному коэффициенту риска возникновения затора.

Таким образом, определяются уровни адаптации ТП к УДС по скорости движения и времени доставки, при которой возникают предельные значения риска возникновения транспортного затора на УДС.

Выводы по главе

1. Математические модели, описывающие взаимосвязь параметров УДС с параметрами транспортного потока, не учитывают всего многообразия их

взаимного влияния и не позволяют однозначно оценить состояние транспортного потока.

2. Увеличение транспортного потока на УДС формирует ряд негативных воздействий, влияющих на эффективную и безопасную эксплуатацию автомобилей. Для решения этой проблемы требуется оптимальное планирование УДС и адаптация ТП к ней. Оценка адаптации в теории транспортных потоков производится различными критериями, характеризующими количество передвижений. Однако, они не отображают ситуацию о наличии затора или состояния предшествующего ему.

3. В качестве критерия адаптации предлагается использовать коэффициент риска, который может служить количественной характеристикой оценки вероятности образования транспортных задержек на УДС.

4. Механизм возникновения задержек с учетом множества факторов системы водитель-автомобиль-дорога-среда описать математической моделью достаточно сложно. Анализ методов определения транспортных задержек показывает, что все они направлены на количественное их определение. Ни одна из методик не позволяет рассчитать вероятность возникновения транспортного затора, на основании которой можно было бы определить наиболее загруженные участки УДС.

5. На основании выявленных зависимостей риска образования затора от параметров дороги и ТП разработаны модель оценки риска возникновения затора и модель адаптации транспортного потока к УДС, позволяющие сформировать объездные маршруты для сокращения непроизводительных простоев в пробках и повышения эффективности использования автомобилей.

ГЛАВА 3. Методика экспериментального исследования

3.1 Общие положения методики

На эффективность перевозочного процесса влияют большое количество факторов. Перевозочный процесс возможен лишь при четком функционировании системы В-А-Д-С и надежной работе каждого из ее элементов. Неправильное функционирование какого-либо из этих элементов приводит к задержкам (заторам), что отрицательно сказывается на эффективности перевозочного процесса. Поэтому для повышения эффективности перевозочного процесса необходимо уметь прогнозировать вероятность возникновения заторов. Для этого необходимо иметь какой-либо количественный показатель, характеризующий вероятность возникновения затора. Кроме того необходимо установить зависимости этого показателя от эксплуатационных факторов – водителя, автомобиля, дороги и среды. Для этой цели необходимо четко классифицировать параметры (показатели) наиболее объективно характеризующие эти эксплуатационные факторы, их взаимосвязь и влияние на вероятность возникновения затора. Поскольку эти зависимости стохастические, то параметры их в конкретных условиях целесообразно определять по экспериментальным данным.

Целью экспериментального исследования является получение на основе режимометрирования зависимости показателя адаптации УДС, в качестве которого предложен коэффициент риска, от показателей транспортного потока и геометрических параметров дороги.

Показатели транспортного потока (N , q , V_{mn}) в огромной степени зависят от технико-эксплуатационных показателей дороги и автомобилей.

Поэтому экспериментальные исследования намечено проводить последовательно, рассматривая влияние технико-эксплуатационных показателей автомобиля и дороги на состав транспортного потока и его параметры, а затем влияние параметров транспортного потока на коэффициент риска (показатель

адаптации) и далее зависимости коэффициента риска от технико-эксплуатационных показателей дороги.

Экспериментальное исследование состоит из нескольких частей:

- эксплуатационные исследования параметров УДС, показателей и состава транспортного потока в различное время суток в наиболее загруженных местах;
- натурные исследования, цель которых – получение параметров зависимости показателей транспортного потока (N, q, V) от геометрических параметров дороги;
- лабораторные исследования, цель которых – получение параметров зависимости коэффициента риска от показателей транспортного потока (N, q, V).

Основной задачей разработки методики экспериментального исследования является обеспечение практически возможного снижения величины погрешности единичного измерения, результата опыта, затрат средств, труда и времени. Погрешностью измерения является ошибка эксперимента, т.к. внешняя среда и ее постоянство, одинаковость условий, в которых необходимо провести измерения, характеризуют совершенство методики исследования. С целью снижения значения погрешности результатов эксперимента, снизили значение случайных ошибок результатов исследования:

- в связи с непостоянством внешней среды (относительное постоянство);
- в связи с непостоянством остальных факторов (инструктор-оператор, объекта исследования и т.п.).

Точность полученных результатов исследования влияния конкретных факторов на возникновение заторов зависит от продолжительности, режима измерений, а также от обработки результатов и точности приборов, которые измеряются при проведении замеров.

При выборе способа измерения необходимо учитывать возможность применения в реальных эксплуатационных условиях, доступность и трудоемкость.

Достоверностью результатов экспериментального исследования первой части достигается с помощью значительного объема выборки.

Исходя из цели второй части экспериментального исследования, как качественной проверки аналитически полученных зависимостей, достоверность результатов достигается следующими основными требованиями:

- выделение исследуемого фактора;
- минимизация действия посторонних факторов.

Основные требования к третьей части экспериментального исследования для получения достоверных результатов: достаточный объем выборки измерений, дифференциация показателей по дорожным условиям.

Экспериментальное исследование проведено на УДС г. Саратова, в наиболее загруженной центральной части города.

Математический аппарат для определения параметров экспериментальных зависимостей и оценка их значимости – программное обеспечение ПК.

Полученные зависимости используются в дальнейшем для корректировки маршрутов перевозки и прогнозирования вероятности возникновения заторов.

3.2 Методика натурных исследований влияния показателей транспортного потока на транспортные задержки

Практическое использование метода фото-видеофиксации определения параметров транспортных потоков (интенсивности, плотности и скорости) на больших территориях УДС города дает возможность собрать данные о составе и интенсивности движения транспортного потока в пиковое время, максимальную загрузку, плотность и скорость транспортных потоков на пересечениях и на перегонах улиц.

Учитывая огромное количество обследуемых транспортных перекрестков и улицы, при традиционной методике обследования потребовалось бы большое количество людей одновременно фиксирующих показатели ТП на объектах.

Каждая улица, примыкающая к транспортному узлу, была разбита на зоны по направлениям движения транспортных средств (прямое и обратное) с разграничительной линией - осью дороги. Шириной зоны является половина

ширины проезжей части улицы. Ширина зоны улиц с односторонним движением соответствует ширине проезжей части этой улицы. Максимальная длина зоны соответствует расстоянию между двумя соседними пересечениями, если между ними нет примыкающих улиц или дорог, куда могут поворачивать автомобили. В данном случае длина зоны будет соответствовать длине перегона. Для удобства дальнейшей обработки информации зонам присваиваются номера. На крестообразном перекрёстке каждая улица делится на 4 зоны, на примыкании или на разветвлении одна улица также делится на 4 зоны, на другой – 2 зоны (рисунок 3.1, 3.2).

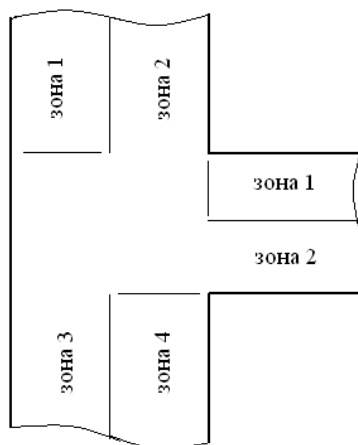


Рисунок 3.1 – Схема зонирования на примыканиях улиц для определения параметров транспортных потоков

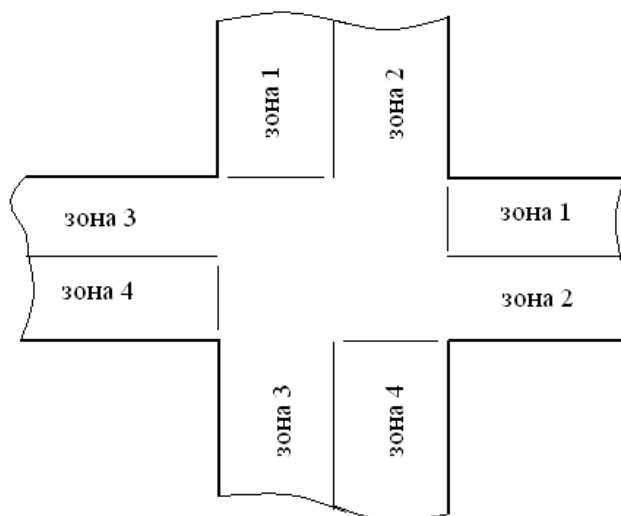


Рисунок 3.2 – Схема зонирования на крестообразных перекрестках для определения параметров транспортных потоков

Интенсивность движения транспортного потока определяется количеством транспортных средств, проходящих через поперечное сечение дороги за единицу времени (час, сутки, год) в одном или двух направлениях.

Интенсивность движения можно выразить как единицу принятых натуральных и приведенных единиц.

Натуральные единицы представляют собой различные виды транспорта: легковые и грузовые автомобили, автопоезда, автобусы, троллейбусы, велосипеды, мототранспортные средства.

Приведенной единицей измерения является легковой автомобиль, остальные транспортные средства в потоке приводятся к нему с помощью коэффициентов приведения по формуле [10]:

$$N_{\text{пр}} = \sum_i k_i \cdot N_{i \text{ нат}}, \quad (3.1)$$

где $N_{\text{пр}}$ – интенсивность движения транспортного потока в приведенных единицах;

k_i – коэффициент приведения i -го вида транспортного средства к легковому автомобилю (табл. 3.1);

$N_{i \text{ нат}}$ – интенсивность движения i -го вида транспортного средства в натуральных единицах.

Натурными наблюдениями за интенсивностью и составом транспортного потока при отсутствии технических средств фото-видеофиксации проводят визуальным методом. Фиксация наблюдений может проводиться как на перегонах, так и на перекрестках. Сложнее всего проводить обследование на перекрестках, т.к. транспортный поток помимо движения в прямом и обратном направлениях поворачивает налево и направо на примыкающую улицу.

Таблица 3.1 – Коэффициент приведения к легковому автомобилю

№ п/п	Транспортные средства	Коэффициент приведения к легковому автомобилю
1	Легковые автомобили	1
2	Мотоциклы с коляской	0,75
3	Мотоциклы и мопеды	0,5
4	Велосипеды	0,3
5	Автобусы простые, в том числе	2,5
6	малой вместимости (25-50 пасс.)	1,5
7	средней вместимости (25-50 пасс.)	2,0
8	большой вместимости (25-50 пасс.)	2,5
9	Троллейбусы	3
10	Грузовые автомобили:	
11	до 2 т	1,5
12	до 6 т	2
13	до 8 т	2,5
14	до 14 т	3

Транспортный поток обусловлен разными скоростями движения автомобилей. Средняя скорость потока V_{cp} , км/ч складывается из движущихся в нем транспортных средств. Распределение количества транспортных средств по скоростям движения описывается нормальным законом.

Скорости движения транспортных средств необходимо измерять по полосам движения дороги. Измерения проводят на участках или в сечении дороги с использованием метода натурных наблюдений. При измерении скорости движения автомобилей в сечении дороги применяются специальные радары. Сечение дороги представляет собой линию, проведенную на отдельном участке перпендикулярно дороге.

На определенном отрезке дороги делают замеры скорости движения автомобилей V_i , км/ч, количество n автомобилей, $i=1, 2, \dots n$. Обычно принимают $n = 100$, что упрощает обработку результатов. Результаты замеров фиксируют в таблицу наблюдений.

3.3 Методика эксплуатационных исследований параметров УДС и транспортного потока

Эксплуатационные исследования параметров УДС и транспортного потока проводились на УДС г. Саратова.

Для дифференцирования условий работы и режимов движения были выделены три группы дорог:

- УДС с регулируемым перекрестком;
- УДС с нерегулируемым перекрестком;
- УДС смешанного вида.

При измерении параметров УДС использовали лазерный дальномер (Leica DISTO x310, табл. 3.2, рис. 3.3), рулетку и уровень (рейка РДУ-КОНДОР, табл., 3.3, рис. 3.4). При этом также использовали данные паспортов различных участков УДС.

Таблица 3.2 – Характеристики лазерного дальномера Leica DISTO x310

Наименование показателя	Значение показателя
Дальность измерения с/без отражателем	100/80 м
Точность измерения	± 1 м
Длина волны	635 Нм
Вес	0,155 кг
Длина	55 мм
Ширина	31 мм
Высота	122 мм
Рабочая температура	от -10 до +50 $^{\circ}\text{C}$



Рисунок 3.3 – Лазерный дальномер Leica DISTO x310

Таблица 3.3 – Характеристика рейки РДУ-КОНДОР

Наименование показателя	Значение показателя
Измерение просветов под рейкой	0,5-15 мм
Измерение толщины слоев	0-15 см
Измерение линейных параметров	0-3000 мм
Измерение уклонов	0-100 ‰
Ширина основания	50,5 мм
Максимальная высота	15 мм
Угол между гранями	5±45°
Длина	3000 мм
Ширина	50 мм
Высота	110 мм
Масса рейки в сборе	8,5 кг



Рисунок 3.4 – Измерение уклона дорожного полотна рейкой с уровнем

При измерении параметров транспортного потока использовали современные приборы видеофиксации (АМАТА и Спектр 1).

При этом дорожные условия характеризовались технической категорией дороги (согласно строительным нормам и правилам), типом рельефа местности, типом покрытия, состояния покрытия (сухое, сырое, заснеженное, гололед).

Климатические условия характеризовались температурой окружающего воздуха, состоянием окружающей среды (дождь, туман, снег).

Количественно же эксплуатационные факторы, характеризующие совокупность условий формирования транспортного потока, оценивали по величине подъемов, уклонов (ровности профиля дороги), сопротивления качению, сложности дороги в плане (количество поворотов на единицу пути), помехонасыщенность дороги (количество дорожных знаков, пешеходных переходов, перекрестков и т.п. на единицу пути).

При оценке транспортного потока фиксировали количество автобусов, грузовиков и легковых автомобилей, проходящих через поперечное сечение дороги (состав транспортного потока), а так же использовали видеоматериалы приборов видеофиксации.

При этом измерения дифференцированы по временам года, месяцам, дням недели и часам суток (табл. 3.4 для примера, рис. 3.5).

Таблица 3.4 – Интенсивность движения по часам суток в обоих направлениях на пересечении ул. Астраханская/ ул. Вавилова

Часы суток	Понедельник	Вторник	Среда	Четверг	Пятница	Суббота	Воскресенье
1	2	3	4	5	6	7	8
0:00	635	644	726	702	750	718	480
1:00	572	580	654	633	675	647	432
2:00	572	580	654	633	675	647	432
3:00	572	580	654	633	675	647	432
4:00	630	638	720	696	743	712	475
5:00	687	696	785	759	810	777	519
6:00	1145	1160	1309	1265	1351	1294	865
7:00	1717	1739	1963	1898	2026	1941	1297
8:00	1474	1298	1746	1494	1554	1680	1137
9:00	1574	1594	1799	1740	1857	1780	1189
10:00	1431	1449	1636	1582	1688	1618	1081

Продолжение таблицы 3.4

1	2	3	4	5	6	7	8
11:00	1431	1449	1636	1582	1688	1618	1081
12:00	1447	1701	1497	1876	1983	2027	1656
13:00	1431	1449	1636	1582	1688	1618	1081
14:00	1717	1739	1963	1898	2026	1941	1297
15:00	1717	1739	1963	1898	2026	1941	1297
16:00	2231	2219	2443	2128	2195	1729	1405
17:00	1860	1884	2127	2056	2195	2103	1405
18:00	1431	1449	1636	1582	1688	1618	1081
19:00	1431	1449	1636	1582	1688	1618	1081
20:00	1145	1160	1309	1265	1351	1294	865
21:00	859	870	982	949	1013	971	648
22:00	859	870	982	949	1013	971	648
23:00	572	580	654	633	675	647	432



Рисунок 3.5 – Фрагмент УДС города Саратова в состоянии затора

3.3.1 Методика видеофиксации параметров транспортного потока

В настоящее время используются в основном два вида дистанционных измерителей скоростей:

—Измерители скорости радарного типа, работающие в диапазоне радиочастот спектра.

—Лазерные измерители скорости, работающие в инфракрасном диапазоне спектра.

«АМАТА» – прибор, построенный на основе лазерного измерителя, что позволяет достоверно выделить автомобиль, скорость которого измеряется в данный момент, из потока (табл. 3.5). Это неоспоримое преимущество перед радарными регистраторами, широко используемыми сейчас.

Таблица 3.5 – Технические характеристики лазерного измерителя АМАТА

Наименование показателя	Значение показателя
Диапазон измерения скорости	1,5-350 км/ч
Погрешности измерения скорости: - в диапазоне от 1,5 - 50 км/ч - в диапазоне от 50 – 350 км/ч	$\pm 2,5 \%$ $\pm 1 \%$
Предельная дальность измерения скорости: - минимальная - максимальная	15 м 700 м
Абсолютная погрешность измерения дальности	± 1
Период измерения скорости	0,29-0,31 с
Габаритные размеры	230 мм x 120 мм x 95 мм
Масса	1,5 кг
Диапазон рабочих температур	-30 - +40 °C

Точность показателей приборов обоих типов сопоставимы при идеальных условиях эксплуатации, однако им присущи критические различия, выявляемые в условиях реальной работы (табл. 3.6, рис. 3.6).

Таблица 3.6 – Параметры измерителей радарного и лазерного типов

Параметры	Радарный измеритель	Лазерный измеритель
Зависимость от погодных условий эксплуатации	Слабая зависимость	Уменьшение дальности действия
Выделение ТС в потоке	Не возможно	Возможно
Помехоустойчивость и помехозащищенность	Низкая	Высокая
Влияние близкорасположенных объектов на диаграмму излучения передатчика	Влияет	Не влияет



Рисунок 3.6 – Способ установки измерителя скорости АМАТА

Схема установки измерителя скорости АМАТА приведена на рисунке 3.6.

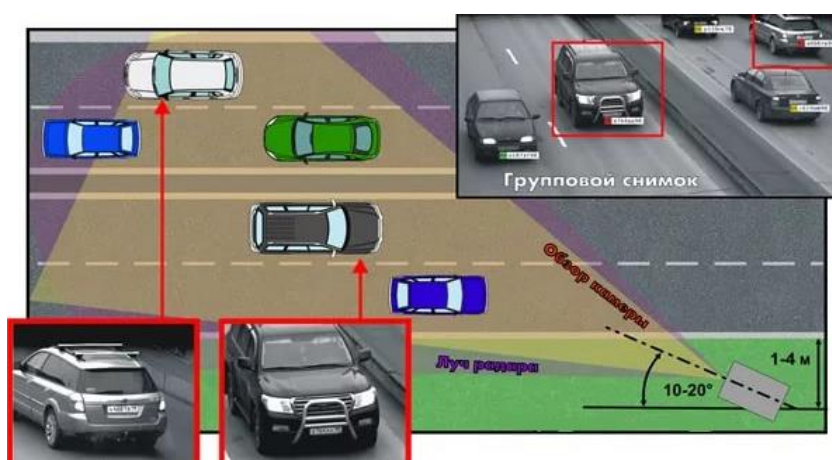


Рисунок 3.7 – Схема размещения прибора «АМАТА»

Работа детектора «Спектр 1» основана на бесконтактном мониторинге проезжей части дороги сигналом сверхвысокой частоты с линейной частотной модуляцией. Спектр 1 может контролировать не более восьми полос движения (рис. 3.7). Детектор может обнаружить и зафиксировать движущиеся и остановившиеся транспортные средства. Работает детектор независимо от времени суток и заданных условий. Основной задачей прибора является сбор данных об интенсивности движения.

Прибор накапливает статистические данные относительно: интенсивности движения, занятости зоны, средней скорости движения и количества длинномерных транспортных средств.



Рисунок 3.8 – Способ установки детектора Спектр 1

3.3.2 Методика обработки результатов видео-регистрации параметров транспортного потока

По результатам видео-регистрации параметров транспортного потока в конкретных условиях эксплуатации были построены картограммы распределения транспортного потока по направлениям. Принцип построения картограмм хорошо понятно из рисунка 3.9 (табл. 3.6).

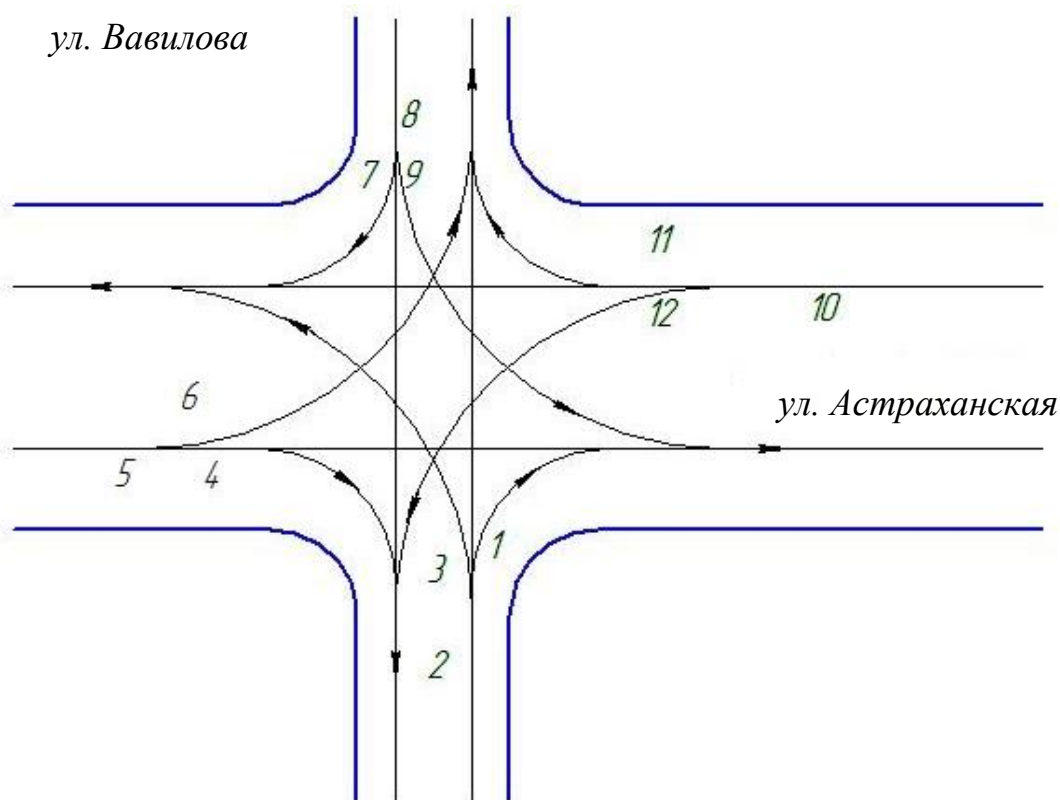


Рисунок 3.9 – Картограмма перекрестка ул. Астраханская/ ул. Вавилова

Таблица 3.7 – Данные об интенсивности транспортных потоков на перекрестке ул. Астраханская / ул. Вавилова

Направление	Интенсивность движения, авт./ч			
	Легковые автомобили	Грузовые автомобили	Автобусы	Всего
1	180	3	-	183
2	367	8	48	423
3	273	6	-	279
4	82	24	-	106
5	191	34	15	240
6	137	29	8	174
7	250	-	-	250
8	158	-	56	214
9	204	-	-	204
10	122	31	6	159
11	101	22	-	123
12	76	12	-	88

Обработка результатов видео-регистрации и натурных наблюдений позволили получить распределение транспортного потока по составу транспортных средств в различное время суток.

3.4 Методика исследования влияния параметров автомобиля и геометрических параметров дороги на показатели транспортного потока

Для исследования влияния весогабаритных параметров автомобиля и геометрических параметров дороги на показатели транспортного потока были проведены натурные наблюдения в различных местах УДС и видео-фиксация транспортного потока в этих местах в различное время суток (рис. 3.10).



Рисунок 3.10 – Состав транспортного потока на УДС г. Саратова

При этом фиксировали количество проходящих через поперечное сечение дороги в данный момент времени:

- грузовых автомобилей;
- автобусов;
- легковых автомобилей.

При этом также измеряли геометрические параметры дороги в конкретной точке УДС (рис. 3.11):

- ширина дорожного полотна;
- количество полос движения;
- радиус поворота.



Рисунок 3.11 – Фрагмент разметки на УДС г. Саратова

Полученные результаты использовались в дальнейшем при определении влияния габаритов автомобиля на вероятность возникновения заторов.

3.5 Методика обработки результатов экспериментального исследования

Проводя экспериментальное исследование по выявлению зависимости какого-либо результирующего признака от одного или нескольких факторов нельзя учесть влияние на результирующий признак всех факторов. Кроме того, при инструментальном определении величины результирующего признака появляются погрешности, связанные с измерением. Поэтому экспериментальные (особенно статистические) данные являются стохастическими, т.е. каждому значению аргумента соответствует не строго определенная величина результирующего признака, а закон его распределения (как правило нормальный закон распределения).

Статистические данные по различным участкам УДС имеют гораздо большее рассеивание от полученной зависимости, хотя они по возможности дифференцированы по категориям дорог и эксплуатационным факторам.

Находят фактический диапазон изменения скоростей, используя минимальное и максимальное значение V_i . Диапазон изменения скоростей V_i разбивают на интервалы $V_{Hj} \dots V_{Kj}$, где V_{Hj} и V_{Kj} — скорость в начале и конце интервала. Длину интервала $\Delta V_j = V_{Kj} - V_{Hj}$ обычно принимают от 5 до 20 км/ч, и таким образом задают число n интервалов: $n = 7 \dots 15, j = 1, 2, \dots n$. Вычисляют средние скорости на интервалах $V_{Cj} = (V_{Hj} + V_{Kj})/2$.

Выполняют полную обработку сводки наблюдений. Подсчитывают числа A_j автомобилей (частоты), скорости которых располагается в интервалах ΔV_j . Вычисляют частоты: $a_j = A_j/N$. Частота a_j равна вероятности появления события: скорость движущегося в потоке автомобиля располагается в интервале ΔV_j .

Вычисляют суммы S_j частот на предыдущих интервалах [84]:

$$S_j = \sum_{k=1}^j a_k. \quad (3.2)$$

Сумму s_j называют накопленной частотой, она равна сумме частот на интервалах 1, 2, ..., j . Накопленная частота отражает вероятности события: скорость автомобиля меньше или равна скорости V_{Kj} .

Вычисляют вероятности p_j : $p_j = p(V_{Cj}) = a_j/\Delta V_j$. Значение p_j равновероятности события: скорость автомобиля находится в интервале 1 км/ч при средней скорости интервала V_{Cj} .

Результаты обработки заносят в таблицу и представляют в графическом виде.

Полученные экспериментальные данные аппроксимируют нормальным законом распределения [85]:

$$p(V) = \frac{e^{-\frac{(V-V_{cp})^2}{2\sigma^2}}}{\sigma\sqrt{2\pi}}, \quad (3.3)$$

где $p(V)$ – функция вероятности от скорости;

σ – среднее квадратичное отклонение скоростей автомобилей от значения V_{cp} .

Неизвестные параметры V_{cp} и Δ вычисляют по экспериментальным данным на компьютере. Целевой функцией является минимальное среднее квадратичное отклонение S значений $p(V_{Cj})$ от экспериментальных значений p_j [85]:

$$S = (\sum_{j=1}^n (p(V_{Cj}) - p_j)^2) / (n - 1). \quad (3.4)$$

Если автомобили движутся в транспортном потоке без ограничений, то распределение скоростей описывается нормальным законом. При действии знаков ограничения скорости, наличии помех движению и др. фактическое распределение отличается от нормального распределения, описываемого функцией $p(V)$.

Параметры зависимостей определяли методом наименьших квадратов.

Оценку степени соответствия экспериментальных данных и аналитической линейной зависимости проводили по величине коэффициента корреляции и его погрешности, а криволинейной зависимости – по корреляционному отношению. Значимость параметров оценивали по критерию Стьюдента.

Порядок определения линейной зависимости методом наименьших квадратов достаточно известен. Несколько сложнее определять параметры нелинейных зависимостей, в общем виде типа:

$$y = a + b \cdot x^m. \quad (3.5)$$

Однако при известных из эксперимента значениях « a », параметры этой зависимости можно определить по методу наименьших квадратов, преобразовав ее в линейную логарифмированием

$$\ln(y - a) = \ln(b) + m \ln(x). \quad (3.6)$$

Дальнейший порядок определения коэффициента корреляции и корреляционного отношения общеизвестен. Обработку экспериментальных данных вели на компьютере по специальной программе.

Выводы по главе

1. Эффективность перевозочного процесса зависит от огромного количества факторов, образующих и обеспечивающих функционирование системы В-А-Д-С.

Для оценки их взаимосвязей и влияния на вероятность возникновения заторов необходимо четко классифицировать параметры системы и проводить исследования поэтапно.

2. Влияние этих факторов на формирование транспортных потоков и показатели перевозочного процесса носят случайный характер, поэтому параметры зависимостей целесообразно определять по экспериментальным данным.

3. Для оценки условий формирования транспортного потока и динамики его изменений, необходимо использовать современные приборы видеофиксации и конкретные методики измерений.

ГЛАВА 4. Анализ результатов экспериментального исследования

4.1 Анализ натурных исследований показателей транспортного потока

На эффективность перевозочного процесса влияют большое количество факторов. Перевозочный процесс возможен лишь при четком функционировании системы В-А-Д-С и надежной работе каждого из ее элементов. Неправильное функционирование какого-либо из этих элементов приводит к задержкам (заторам), что отрицательно сказывается на эффективности перевозочного процесса. Поэтому для повышения эффективности перевозочного процесса необходимо уметь прогнозировать вероятность возникновения заторов. Коэффициент риска является количественным показателем прогнозирования вероятности возникновения затора.

В ходе анализа результатов экспериментального исследования влияния параметров ТП и дороги на эффективность использования автомобилей были получены зависимости величины риска возникновения транспортного затора от параметров дороги и ТП. Определены также уровни адаптации транспортного потока к УДС с учетом риска возникновения транспортного затора.

Обработка наблюдений за изменением скорости движения автомобилей включала 4 пункта.

Определение диапазона изменения скоростей. Находили максимальное $V_{\max}$ значение скорости в статистических данных и округляли его в большую сторону с шагом 10 км/ч. Минимальное значение принимали равно нулю [85].

Разбивка диапазона на интервалы $V_{Hj} \dots V_{Kj}$. Диапазон скоростей разбивали на интервалы $V_{Hj} \dots V_{Kj}$.

Заполнение таблицы и расчет вероятностей. Заполняли столбцы 1 и 2 таблицы 4.1. Вычисляли средние скорости V_{Cj} на интервалах и заполняли столбец 3 таблицы. Находили длины ΔV_j интервалов, записывали их в столбец 4 таблицы.

Подсчитывали автомобили, скорости которых располагаются в интервалах ΔV_j : $V_i > V_{Hj}$, $V_i \Delta V_{Kj}$. Заполняли столбец 3 таблицы наблюдений. Подсчитывали

частоты A_j , и записывали их в столбец 5 таблицы. Контролировали сумму частот (она равна N) [85].

Вычисляют вероятности. Сначала вычисляли частоты a_j и заполняли столбец 6 таблицы. Контролировали сумму частотей (сумма равна 1). Вычисляли накопленные частоты s_j , заполняли столбец 7. Затем вычисляли вероятности p_j , и заполняли столбец 8.

Таблица 4.1 – Обработка статистических наблюдений за скоростью движения ТП

j	$V_{Hj} \dots$ V_{Kj}	V_{cp}	V_{cj}	ΔV_j	A_j	a_j	s_j	p_j
1	2	3	4	5	6	7	8	9
1	0-10	8,23	5	10	10	0,1	0,1	0,010
2	10-20	15,06	15	10	52	0,53	0,63	0,050
3	20-30	23,89	25	10	18	0,18	0,81	0,018
4	30-40	34,14	35	10	8	0,07	0,88	0,007
5	40-50	44,73	45	10	8	0,07	0,95	0,007
6	50-60	56,1	55	10	3	0,04	0,99	0,004
7	60-70	61,7	65	10	1	0,01	1,00	0,001
Сумма					100	1		

С целью выявления заторовых ситуаций было проведено натурное исследование транспортного потока на УДС г. Саратова с детализированным подходом по оценке количества транспортных средств на значимых перекрестках города. Интенсивность движения фиксировалась с помощью детектора и прибора видеофиксации в утренний, обеденный и вечерний час-пик в течении недели по всем направлениям движения с разбивкой по составу потока, в результате был получен массив статистических данных о плотности, интенсивности и скорости движения транспортного потока в различное время суток.

Одним из качественных показателей транспортного потока является коэффициент загрузки (см. 2 главу). Анализ результатов натурных исследований

показал, что коэффициент загрузки носит неравномерный характер по дням недели и часам суток (рис. 4.1).

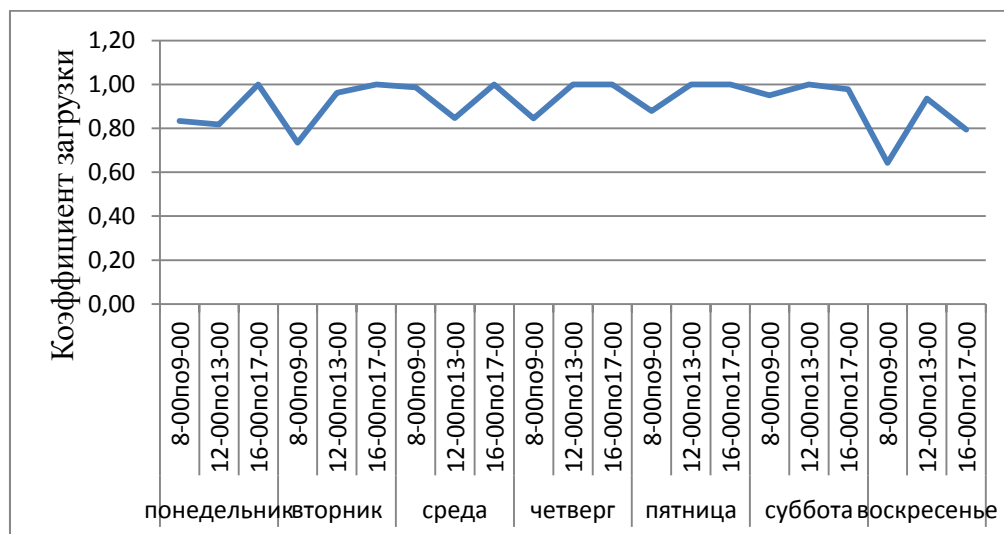


Рисунок 4.1 – Динамика изменения коэффициента загрузки

Пульсирующий характер изменения коэффициента загрузки приводит к нестационарному транспортному потоку по часам суток, к уменьшению средней скорости транспортного потока (рис. 4.2) и как следствие к повышению вероятности возникновения заторов.

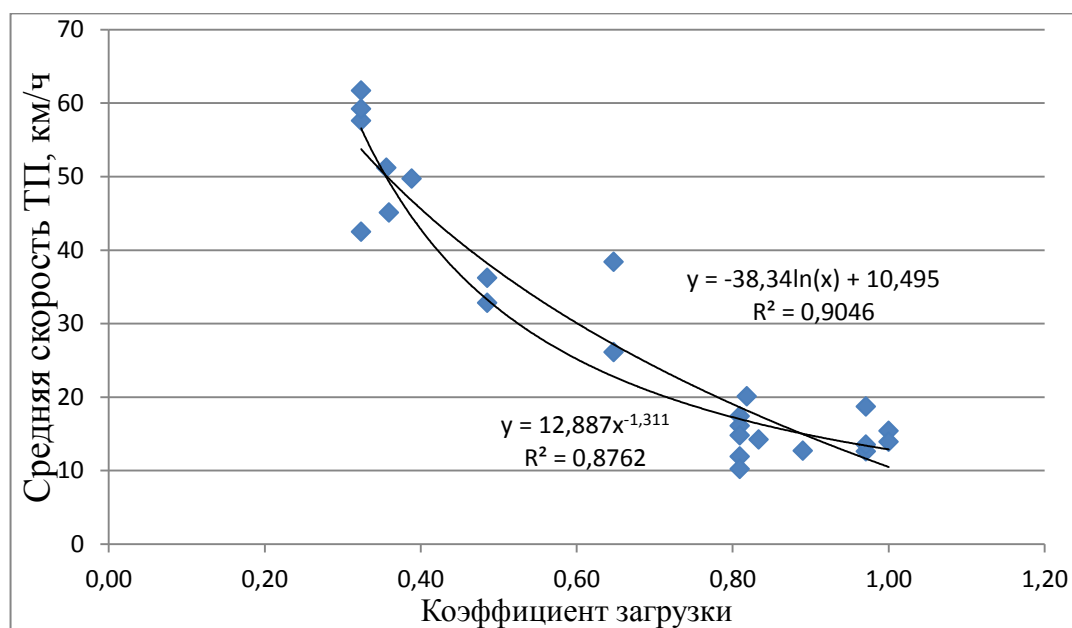


Рисунок 4.2 – Зависимость средней скорости от коэффициента загрузки

В результате исследования был выделен участок центральной части города с наиболее загруженными перекрестками (рис. 4.3).

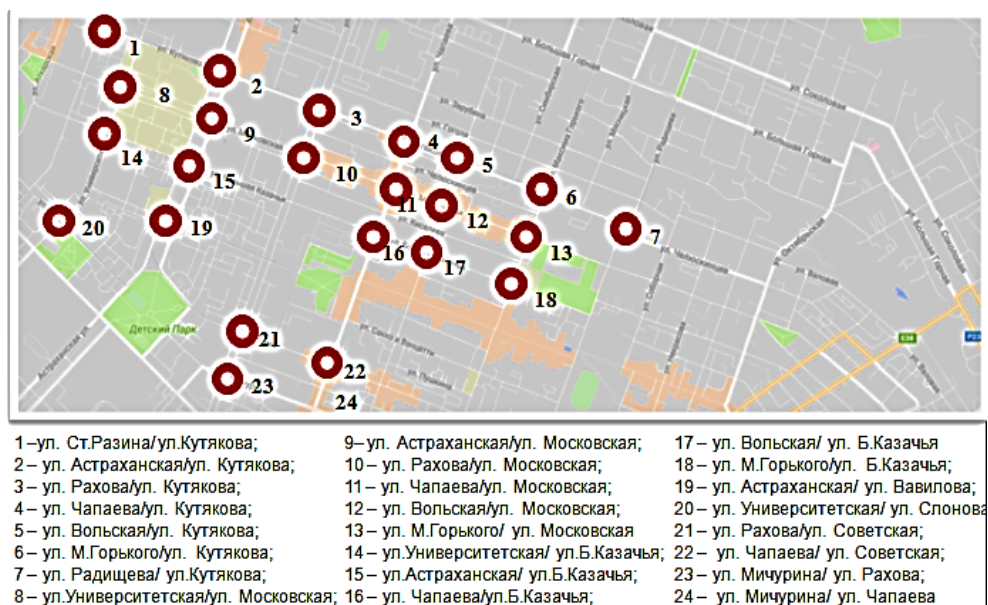


Рисунок 4.3 – Схема центральной части г. Саратова

На рисунке 4.4 представлена круговая диаграмма состава транспортного потока на исследуемом участке УДС, которая указывает на значительную долю грузового транспорта в общем потоке.

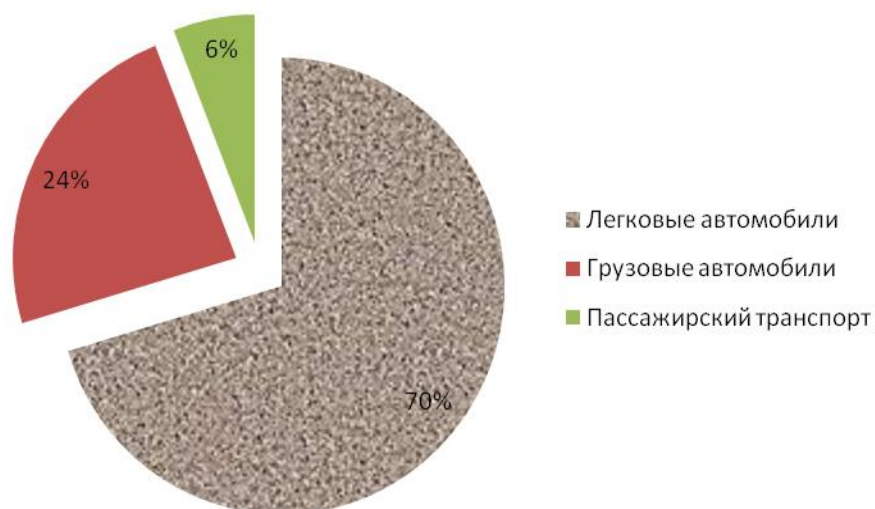


Рисунок 4.4 – Состав транспортного потока на участке УДС г. Саратова

Более того, анализ состава транспортного потока в часы пик показывает, что значительное количество грузовых автомобилей и автобусов формируют транспортный поток в утренние часы, а легковые автомобили – в вечерние часы (рис. 4.5). Следовательно, грузовики и автобусы чаще всего попадают в пробки в утренние часы, на которые приходится самое производительное время работы.

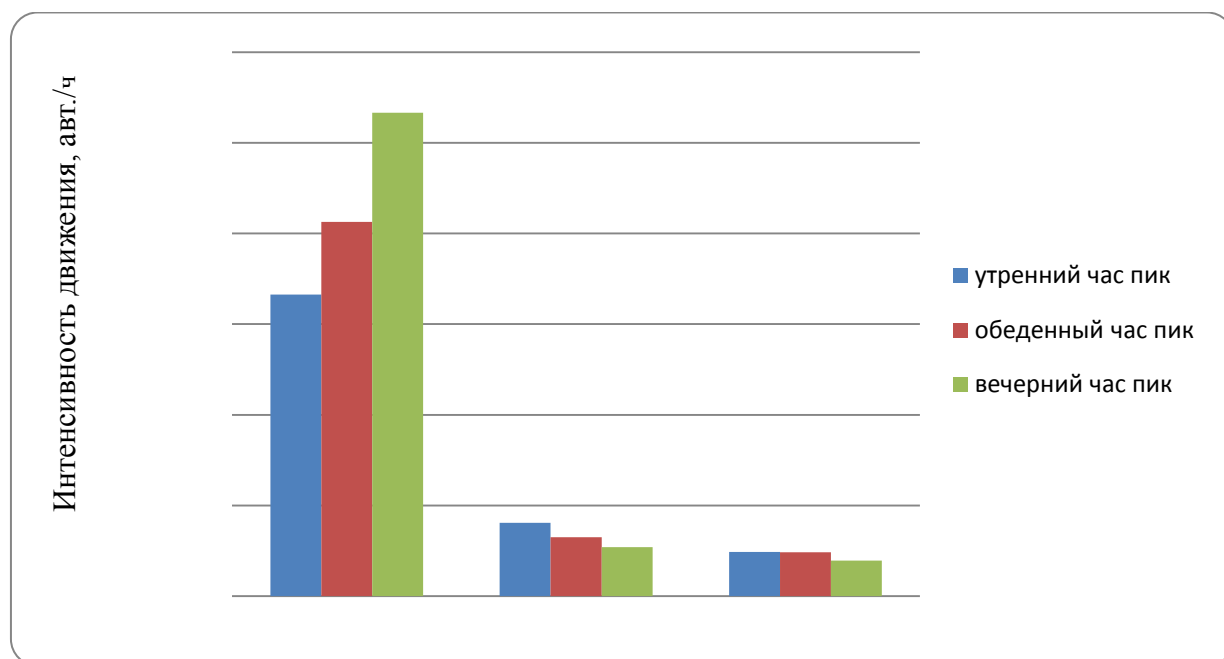


Рисунок 4.5 – Состав транспортного потока в часы пик

Интенсивность движения транспортного потока на основных загруженных участках УДС показаны на рисунках 4.6, 4.7, 4.8.

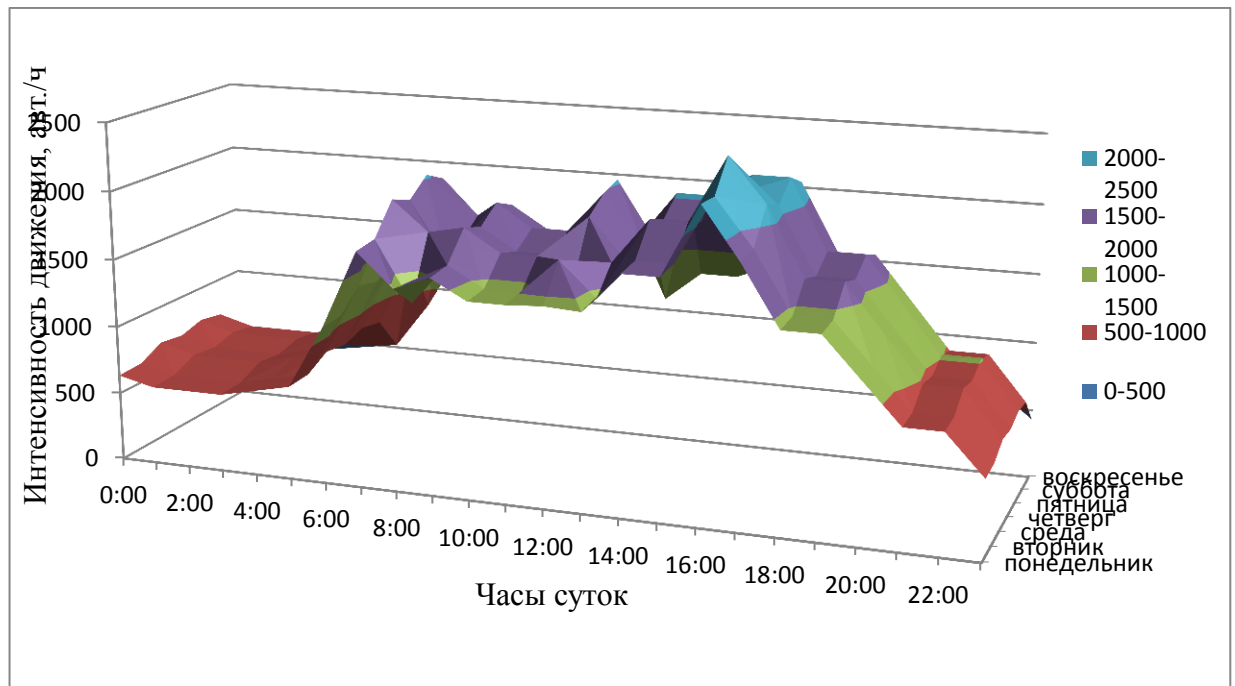


Рисунок 4.6 – Интенсивность движения на перекрестке ул. Астраханская/ ул. Вавилова г. Саратов

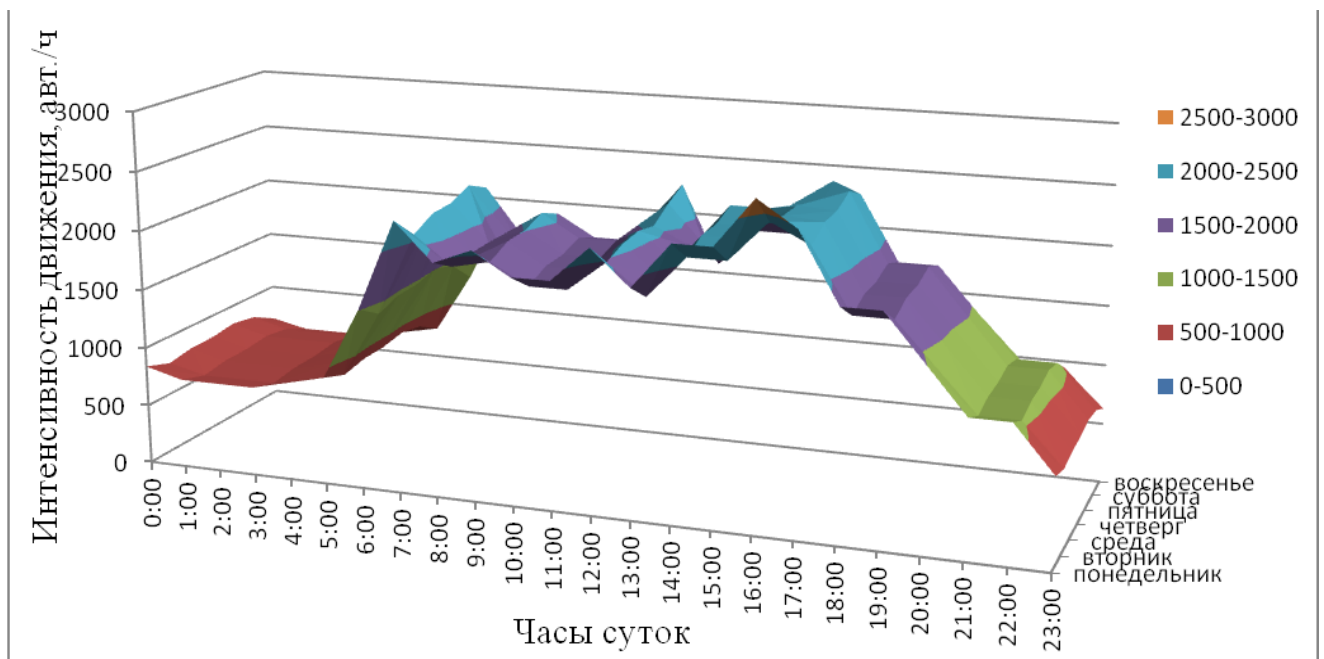


Рисунок 4.7 – Интенсивность движения на перекрестке ул. Степана Разина/ ул. Кутякова г. Саратов

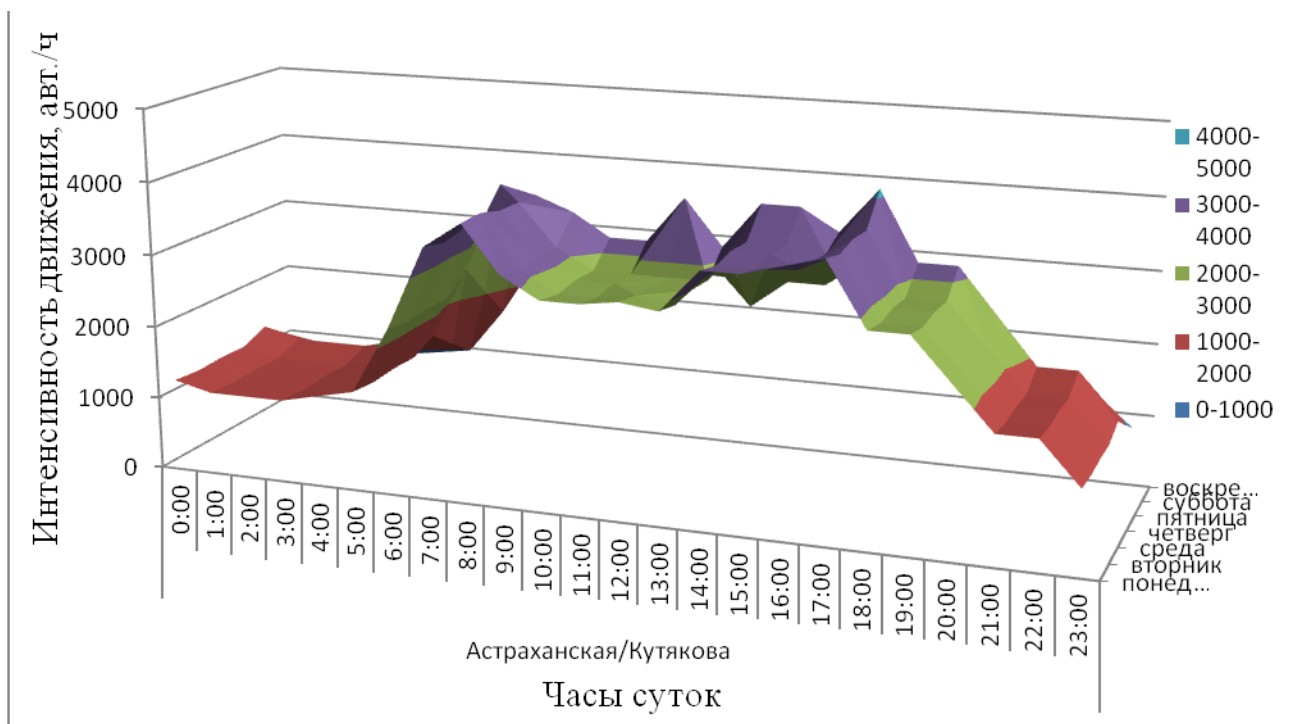


Рисунок 4.8 – Интенсивность движения на перекрестке ул. Астраханская/ ул. Кутякова г. Саратов

4.2 Оценка влияния параметров УДС на показатели транспортного потока и коэффициент риска

Всесторонний анализ транспортного потока на наиболее загруженных участках УДС позволил выявить закономерности изменения параметров транспортного потока от параметров дороги.

Проведенные ранее исследования в СГТУ позволили получить зависимость коэффициента риска от показателей транспортного потока. Ниже приведены графики зависимости коэффициента риска возникновения затора от скорости движения и интенсивности ТП (рис. 4.9, 4.10).

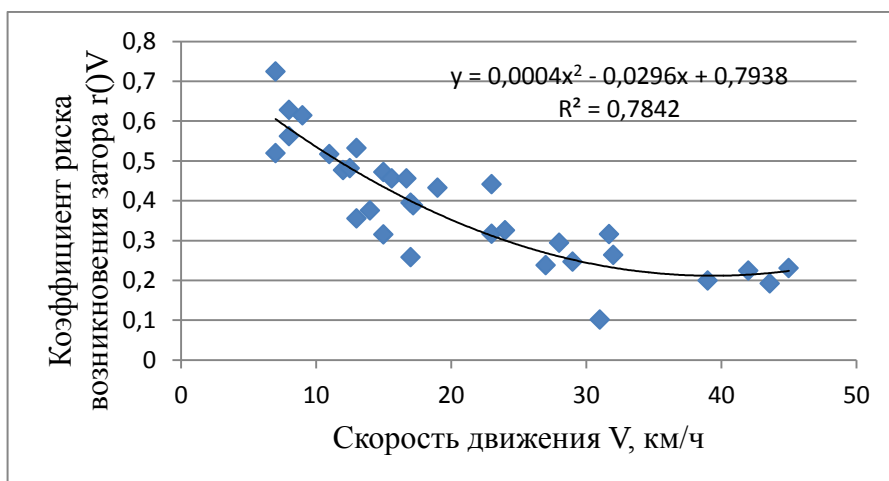


Рисунок 4.9 – Зависимость коэффициента риска возникновения затора от скорости движения

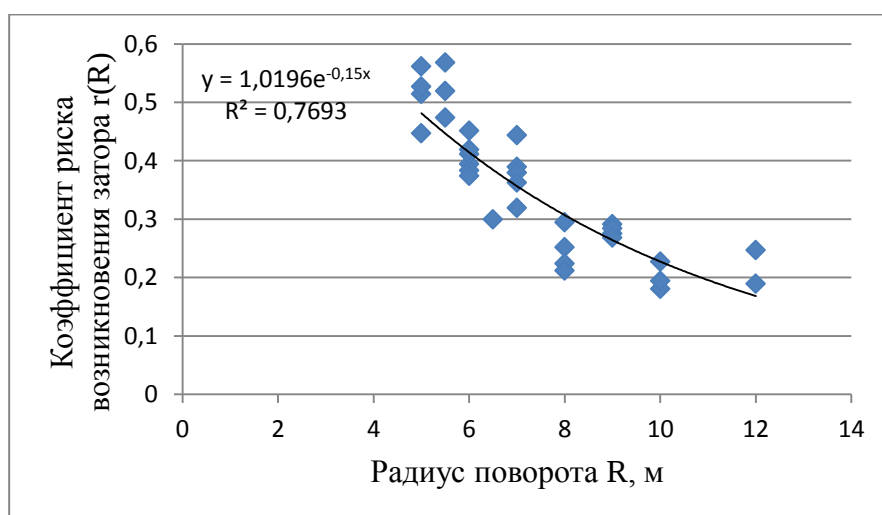


Рисунок 4.10– Зависимость коэффициента риска возникновения затора от интенсивности движения

Исходя из зависимости коэффициента риска от скорости транспортного потока в одинаковых условиях (рис. 4.9), коэффициент риска (r) стремится к 1 при снижении скорости и повышении интенсивности ТП (рис. 4.10), которая стремится к величине пропускной способности дороги, в результате чего плотность ТП будет возрастать, что соответствует основной диаграмме ТП [86, 87].

Учитывая характер и степень влияния интенсивности (N), плотности (q) и скорости (V) транспортного потока на коэффициент риска (r), были получены зависимости коэффициента риска (r) от показателей дороги.

Анализ зависимостей коэффициента риска от ширины проезжей части дороги (B), уклона дороги (i), радиуса поворота (R) показывает, что коэффициент риска (r) связан с V , i , B полиномиальной зависимостью, а с N , R - экспоненциальной зависимостью. Во всех случаях коэффициенты детерминации $R^2 \approx 0,8$. Из чего следует, что уравнения регрессии значимы.

Экспериментально подтверждено, что зависимость коэффициента риска (r) от параметров дороги носит нелинейный характер.

Графическое отображение зависимостей коэффициента риска от параметров дороги (радиуса поворота R , ширины проезжей части B , уклона дороги i) представлено на рисунках 4.11-4.13.

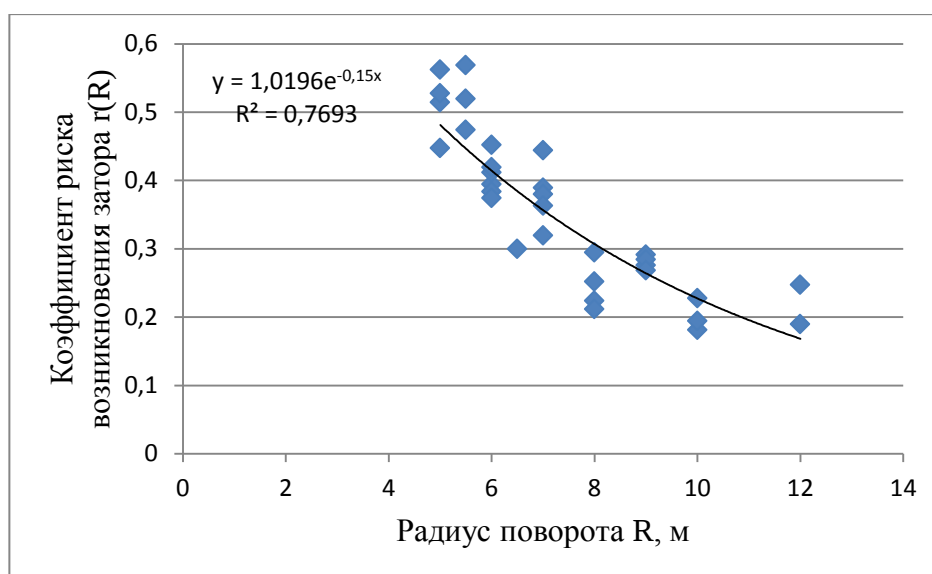


Рисунок 4.11 – Зависимость коэффициента риска от радиуса поворота

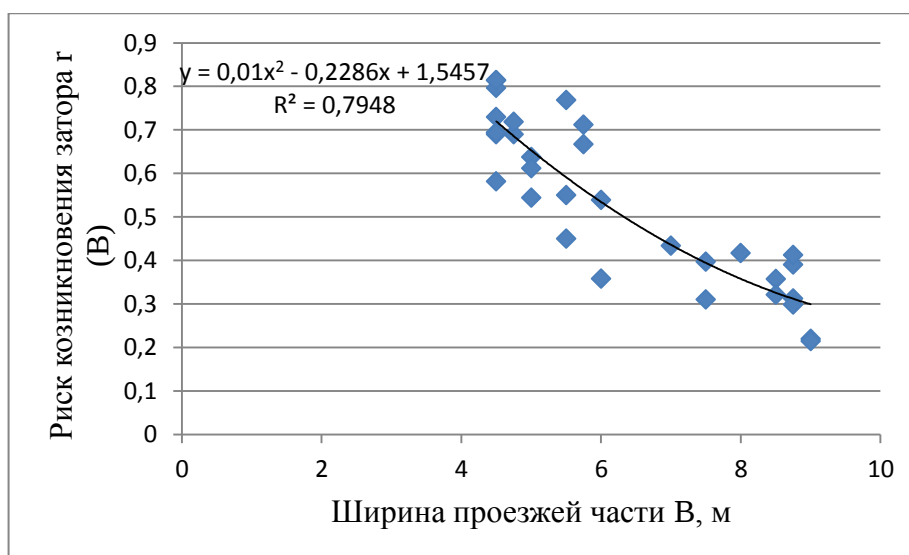


Рисунок 4.12 – Зависимость коэффициента риска от ширины проезжей части

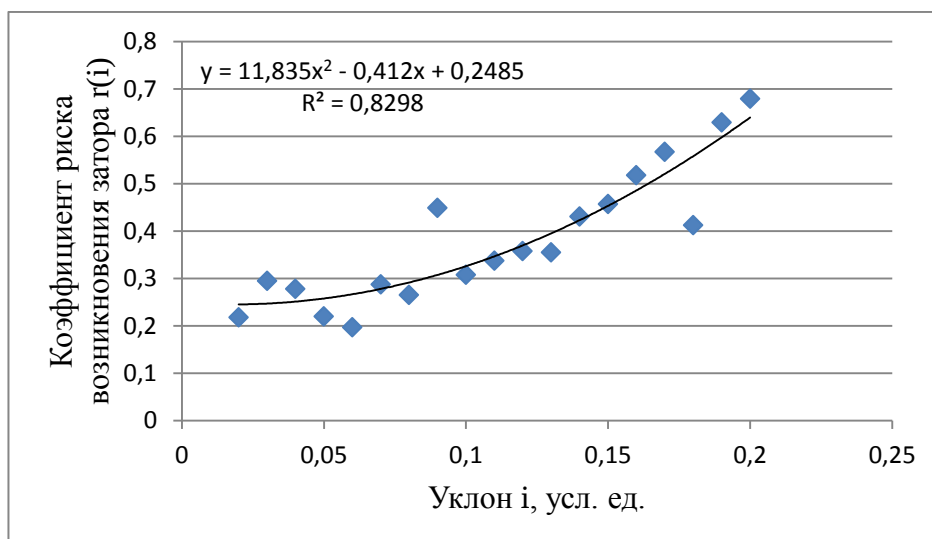


Рисунок 4.13 – Зависимость коэффициента риска от уклона

Проведенный регрессионный анализ зависимостей коэффициента риска от радиуса поворота (R), ширины проезжей части (B) и уклона дороги (i) показал хорошую сходимость теоретической модели с экспериментальными данными. Коэффициент детерминации R^2 статистически значим по критерию Фишера и находится в пределах 0,76-0,82. Зависимости (рис. 4.11-4.13) получены по осредненным статистическим данным в условиях реального движения в транспортном потоке на 24 пересечениях УДС города. В результате:

- получено уравнение регрессии от уклона дороги (i) – $r = 11,835 \cdot i^2 - 0,412i + 0,2485$ с коэффициентом детерминации $R^2 = 0,8298$;
- получено уравнения регрессии от ширины проезжей части (B) – $r = 0,01x^2 - 0,228x + 1,545$ с коэффициентом детерминации $R^2 = 0,794$;
- получено уравнение регрессии от радиуса поворота (R) $r = 1,0196e^{-0,15R}$ с коэффициентом детерминации $R^2 = 0,7693$.

4.3 Разработка объездных маршрутов с учетом вероятности возникновения заторов

На основе теоретических исследований влияния параметров УДС [88] на коэффициент риска предлагается разрабатывать объездные маршруты на основе

данных полученных о состоянии УДС из паспортов отдельных участков УДС.

Пример паспортов отдельных участков УДС показан на рис. 4.14-4.15.

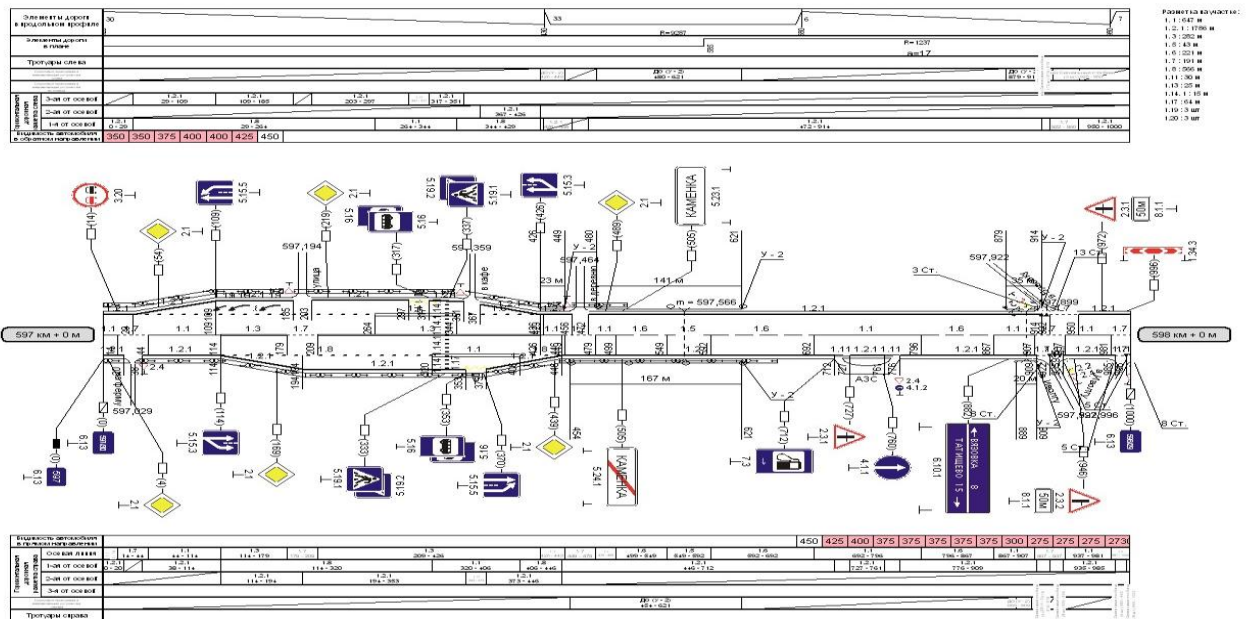


Рисунок 4.14 – Паспорт участка УДС с большой помехонасыщенностью

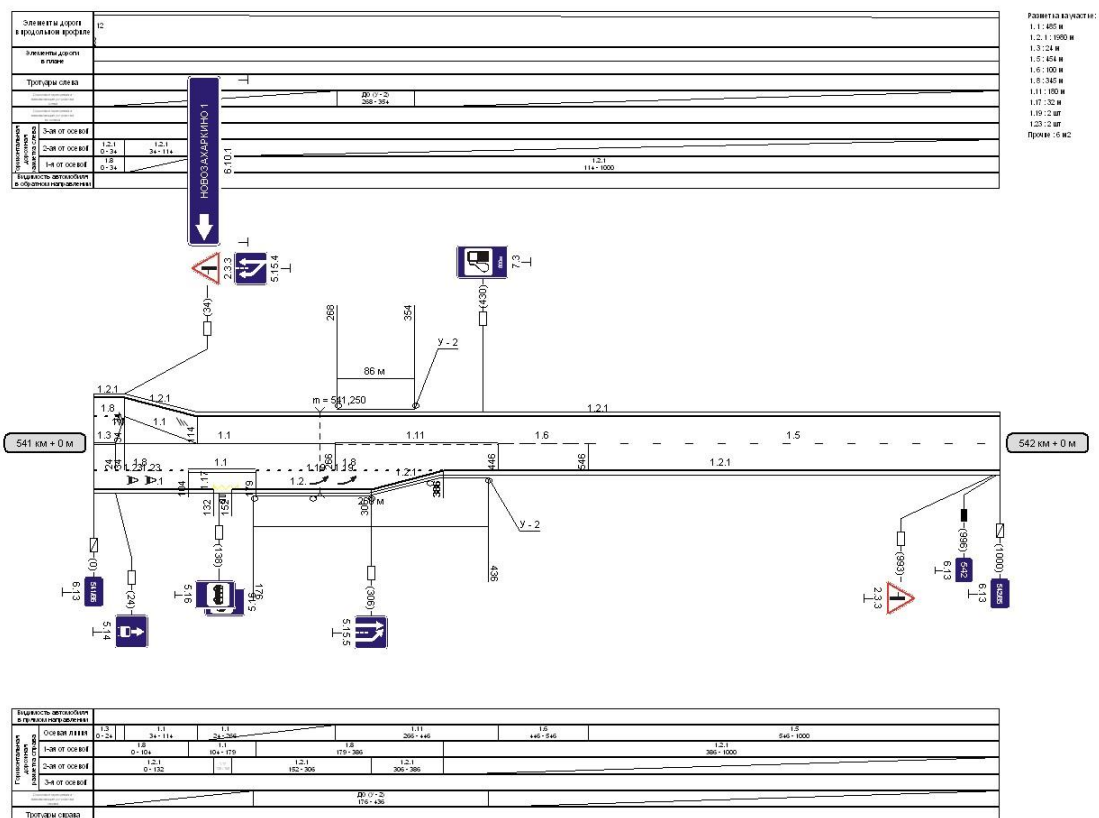


Рисунок 4.15 – Паспорт участка УДС с низкой помехонасыщенностью

Из паспортов участков УДС формируется база данных в которую заносятся: ширина УДС (B), количество полос движения (H), радиус дороги в плане (R), помехонасыщенности участка УДС (Kn), уклон (i) и др.

С использованием программного обеспечения рассчитываются коэффициенты риска на этих участках дороги с учетом выше указанных параметров УДС и на основе этих расчетов выбирается оптимальный объездной маршрут по минимальному значению коэффициента риска r .

Пример расчета модели объездных путей на основе данных полученных с участков УДС города Саратова приведен на рисунке 4.16 [89].

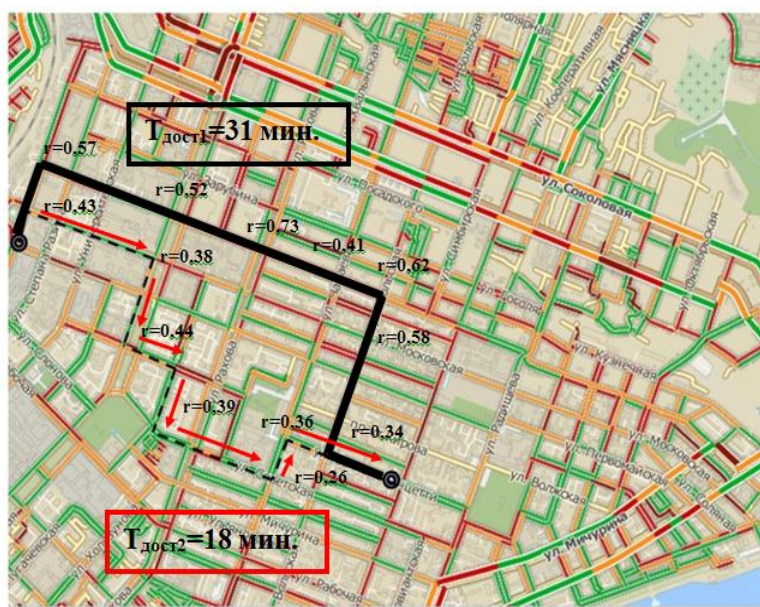


Рисунок 4.16 – Модель объезд загруженных участков УДС

На основе совокупности аппроксимированных зависимостей коэффициента риска от параметров УДС (R , B , i) в одинаковых условиях определены уровни адаптации движения автомобилей с учетом риска возникновения транспортного затора. Каждый уровень соответствует скоростному интервалу в 5 км/ч и определенному коэффициенту риска возникновения затора (рис. 4.17).

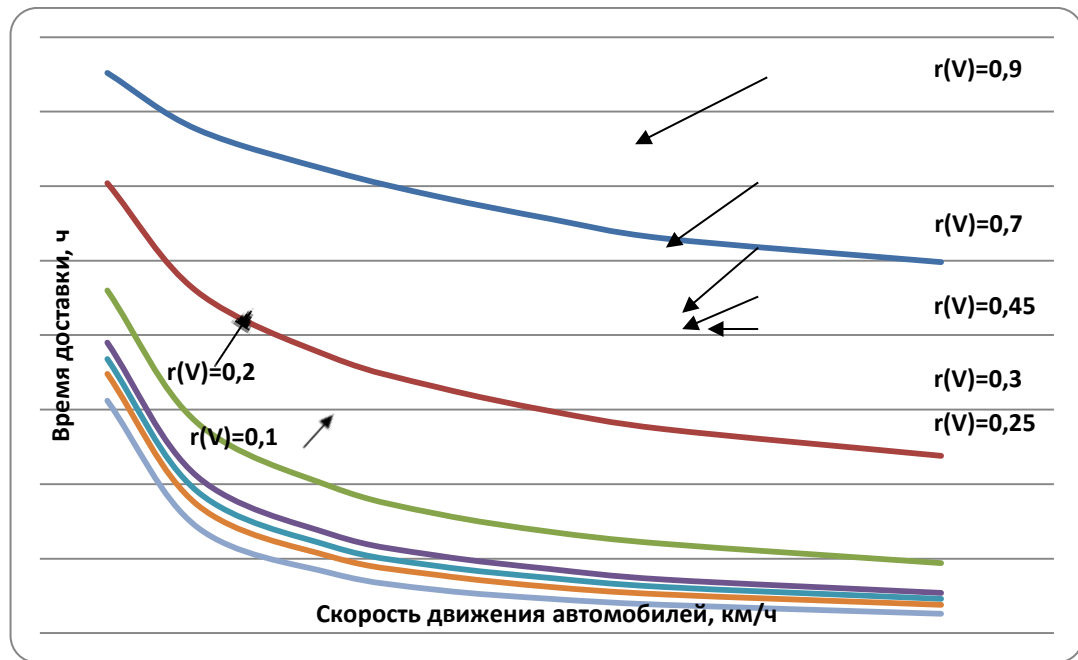


Рисунок 4.17 – Зависимость времени доставки от скорости движения с учетом уровней адаптации

Таким образом, определено 7 уровней адаптации ТП к УДС по скорости движения и времени доставки, при которой возникают предельные значения риска возникновения транспортного затора на УДС (таблица 4.2).

Таблица 4.2 – Уровни адаптации движения с учетом риска возникновения транспортного затора

Уровень адаптации	Скорость, км/ч	Риск возникновения транспортного затора	Время доставки, ч
I	0-5	0,85-1	3,58-5,3
II	5-10	0,48-0,85	2,05-2,51
III	10-15	0,34-0,48	0,9-1,13
IV	15-20	0,27-0,34	0,48-0,59
V	20-25	0,23-0,27	0,34-0,4
VI	25-30	0,19-0,23	0,24-0,28
VII	>30	<0,19	< 0,17

На основе анализа этих уровней производится оценка функционирования транспортной сети в целом по городу.

Выводы по главе

1 Результаты обработки натурных исследований транспортного потока и УДС города позволили произвести оценку и выявить наиболее загруженные участки и получить на них распределение интенсивности и скорости движения по часам суток и дням недели.

2 Результаты экспериментальных исследований подтвердили характер зависимостей коэффициента риска от параметров транспортного потока и параметров дороги с большой долей достоверности.

3 Полученные в ходе экспериментальных исследований закономерности возникновения заторовых ситуаций позволили разработать модель объездных маршрутов с учетом вероятности возникновения пробок.

ГЛАВА 5. Экономическая эффективность от внедрения предложенных мероприятий

Поскольку сегодня загруженность улично-дорожной сети близка к критической, появляется необходимость формирования организационно-технических мероприятий, которые направлены на повышение эффективности использования автомобилей в условиях ограниченности ресурсов.

Предполагается, что экономический эффект мероприятий в области эффективного использования автомобилей определяется за счет сокращения времени доставки грузов и пассажиров, повышения качества транспортного обслуживания, уменьшения негативного воздействия на окружающую среду и экономических издержек на транспортное обслуживание, а также снижения количества ДТП.

Факторами, оказывающими повышение экономического эффекта, являются:

- скорости движения транспортных средств;
- количество и продолжительность транспортных задержек на пути следования;
- затраты на транспортное обслуживание;
- качество транспортного обслуживания населения;
- экологичность;
- безопасность дорожного движения
- и т.д.

5.1 Составляющие социально-экономического эффекта

Транспорт является одной из ведущих отраслей народном хозяйстве. Любые нарушения в перевозочном процессе сказываются на экономических показателях работы транспорта и всего народного хозяйства в целом. Поэтому социально-экономический эффект от работы транспорта имеет различные составляющие,

включая потери от неэффективной организации транспортного процесса, потери от непроизводительных простоев, от воздействия на экологическую среду обитания самого человека и многие другие.

Суммарная величина стоимостной оценки экономического эффекта $S(j)$ включает в себя основные показатели:

- транспортные $\mathcal{E}_{тр}$;
- нетранспортные $\mathcal{E}_{нетр}$;
- от системы В-А-Д-С $\mathcal{E}_{ВАДС}$ и др.

$$S(j) = \mathcal{E}_{тр}(j) + \mathcal{E}_{нетр}(j) + \mathcal{E}_{ВАДС}(j). \quad (5.1)$$

Транспортные показатели включают в себя экономический эффект от мероприятий на общественном городском пассажирском транспорте ($\mathcal{E}_{пасс}$), грузовом транспорте ($\mathcal{E}_{гр}$) и легковом транспорте ($\mathcal{E}_{л}$).

$$\mathcal{E}_{тр}(j) = \mathcal{E}_{пасс}(j) + \mathcal{E}_{гр}(j) + \mathcal{E}_{л}(j). \quad (5.2)$$

Эффект от транспортных показателей достигается путем изменения скоростного режима, влияющего на эффективность использования автомобилей.

Эффект на пассажирском транспорте получается главным образом от:

—сокращения времени пользования ТС в связи с увеличением скорости движения из-за разгрузки УДС, что приводит к уменьшению интервалов движения транспорта;

—повышения коэффициента использования транспорта пассажирами в связи с увеличением скорости движения и сокращением интервалов движения транспорта и др.

Эффект на грузовом транспорте складывается от:

—сокращения времени доставки и соответственно автомобиле-часов работы автомобилей при заданном количестве транспортной работы, в связи с повышением эксплуатационной скорости движения;

—уменьшение необходимого количества ТС для выполнения транспортной работы за счет увеличения эксплуатационной скорости и уменьшения времени доставки и др.

Эффект на легковом транспорте состоит из:

- увеличения дохода, в связи с сокращением времени в пути пользователей легкового транспорта, а также таксомоторного и ведомственного;
- увеличение дохода при таксомоторных перевозках за счет увеличения скорости движения и др.

Нетранспортный эффект зависит от потерь товарно-материальных ценностей в процессе перевозки, скоропортящихся грузов, количества ДТП и т.д.

Эффект по комплексу системы В-А-Д-С состоит из:

- снижения переменных нормативных затрат автомобилей (расход топлива) в связи со скоростным режимом;
- снижение затрат на ГСМ, ремонт и восстановление шин, ТО и ТР, амортизационным отчислениям;
- снижение загрязнения окружающей среды отработавшими газами и уменьшение шумового воздействия, обусловленного изменением скорости движения и др.

5.2 Снижение потерь от загрязнения окружающей среды и шума при возникновении заторов

Помимо загрязнения воздуха шум от автомобилей является опасным параметрическим загрязнителем окружающей среды.

Многие люди в городах с развитой УДС и высокими показателями транспортного потока испытывают воздействие шума более 65 дБа, при этом предельно допустимый уровень (ПДУ) согласно СН 2.24/2.1.8.562-96 [92] считается 55 дБа для территории вблизи жилых домов. Шум оказывает отрицательное воздействие на нервную систему человека, приводит к сердечно-сосудистым и желудочно-кишечным заболеваниям. Человеческий организм способен переносить без последствий в течение долгого времени шумовое

воздействие в 20-25 дБА, в случае, когда человек находится в больном состоянии, ощущает действие шума в 30 дБА[90, 91].

Существует множество способов снижения шумового загрязнения от автомобилей на пути его распространения. Эти способы в большинстве случаев, базируются на детерминированном подходе. При этом некоторые ученые придерживаются иного мнения, считают, что неприемлемо использовать в различных моделях только средние показатели характеристик шумового воздействия без учета их средних квадратических отклонения и коэффициентов вариации.

В связи с этим в СГТУ разработана методика оценки экологической безопасности по уровню шума, опирающаяся на вероятностно-статистические методы.

Это позволило прогнозировать уменьшение уровня шумового воздействия от автомобильного транспорта (ГОСТ 20444-85) [93].

Шумовая характеристика транспортного потока подразумевает уровень звука, который устанавливается в 7,5 м от оси первой полосы проезжей части и на высоте 1,5 м от поверхности земли.

Учитывая условия движения транспортного потока по УДС города шумовая характеристика устанавливается для периода с 7-00 до 23-00.

Уровень звука рассчитывается в зависимости от показателей транспортного потока, в частности от интенсивности движения транспортного потока в целом в часы пик, средней скорости движения, а также доли грузового и пассажирского транспорта в транспортном потоке.

Исследования проведенные на УДС г. Саратова показывают, что шумовые характеристики транспортных потоков находятся в пределах от 64 до 82 дБА (табл. 5.1), что превышает ПДУ (СН 2.24/2.1.8.562-96) [94].

Таблица 5.1 – Расчетные значения шумовых характеристик транспортных потоков

Наименование перекрестков	Шумовая характеристика, дБА
ул. Университетская/ул. Рабочая	77
ул. Университетская/ул. Вавилова	79
ул. Университетская/ул. Московская	81
ул. Университетская/ул. Кутякова	82
ул. Слонова/ ул. Аткарская	70
ул. Слонова/ ул. Ст. Разина	69
ул. Слонова/ ул. Университетская	71
ул. Слонова/ ул. Железнодорожная	64
ул. Слонова/ ул. Астраханская	70

Таким образом, анализ шумовых характеристик позволяет оценить вероятность возникновения шумового загрязнения от автомобильного транспорта.

На основе этого можно назначать необходимые мероприятия для снижения шумового воздействия на окружающую среду и человека от движения транспортного потока по дорогам города.

Для количественной оценки величины выбросов токсичных компонентов отработавших газов может быть использована следующая методика [95].

Расчетное значение токсичного компонента отработавших газов на выбранном участке рассчитывается по формуле:

$$M_i^p = \sum_{j=1}^k M_{ij}^{pn} + \sum_{j=1}^l M_{ji}^{hn} + \sum_{j=1}^r M_{ij}^{np}, \quad (5.3)$$

где k , l и r – соответственно количество регулируемых перекрестков, нерегулируемых перекрестков и перегонов на выбранном участке;

M_{ij}^{pn} , M_{ji}^{hn} , M_{ij}^{np} – соответственно массовые выбросы токсичного компонента на выбранном регулируемом перекрестке, на нерегулируемом перекрестке и на перегоне, г/ч.

Массовый выброс i -го компонента отработавших газов на пересечении

$$M_i^n = \sum_{j=1}^k m_{ji}^n, \quad (5.4)$$

где k – количество регулируемых направлений на регулируемом перекрестке или количество второстепенных направлений на нерегулируемом перекрестке.

Часовой массовый выброс i -го токсичного компонента на выбранном перекрестке определяется по формуле:

$$m_i^n = n_o \sum_{j=1}^2 N_j S_{ij} + \frac{t_{xx}}{3600} \sum_{j=1}^2 N_j D_{ij}, \quad (5.5)$$

где n_o – доля остановившихся ТС в данном направлении;

N_j – интенсивность движения автомобилей на данном направлении, авт./ч;

S_{ij} – среднее значение массового выброса окиси углерода и окислов азота для j -ой группы автомобилей на каждую остановку, г/ост.;

t_{xx} – средняя задержка транспортных средств на данном направлении, с;

D_{ij} – среднее значение массового выброса окиси углерода и окислов азота для j -й группы автомобилей, работающих на холостом ходу, г/ч.

Значения массовых выбросов S_{ij} и массовых выбросов D_{ij} приведены в табл. 5.2-5.3.

Таблица 5.2 – Массовые выбросы S_{ij}

Наименование загрязняющего вещества	Массовый выброс, г/ост.	
	легковые автомобили	грузовые автомобили
Окись углерода	3,4	14,6
Окислы азота	0,41	2,1

Таблица 5.3 – Массовые выбросы D_{ij}

Наименование загрязняющего вещества	Массовый выброс, г/ч	
	легковые автомобили	грузовые автомобили
Оксид углерода	287	698
Оксиды азота	36	106

Таким образом, для оценки негативного воздействия транспортного потока на окружающую среду в первую очередь необходимы количественные показатели и методики определения величины выбросов токсичных компонентов, а затем, используя теорию рисков можно определить вероятные зоны негативных воздействий АТС и учитывать это при формировании маршрутов движения.

5.3 Методика расчета времени потерь от задержек транспортных средств на пересечениях

При оценке потерь времени от задержек используются различные методики. Особенности их является то, что не все они учитывают простои в стихийно-возникших пробках с учетом максимально наблюдаемых длин затора и временем его существования.

При расчете экономического эффекта необходимо определить временные потери на маршруте движения. Для этого используется методика расчета потерь времени от задержек ТС на регулируемых и нерегулируемых пересечениях.

Величина потерь времени за год на регулируемом пересечении определяется по формуле [96]:

$$T_{trp} = \frac{365 \cdot (N_{gl} + N_{gm})}{3600 \cdot K_n}, \quad (5.6)$$

где N_{gl} – интенсивность транспортных средств по главному направлению дороги в «час пик» в обоих направлениях, авт./ч;

N_{gm} – интенсивность транспортных средств по второстепенному направлению дороги в «час пик» в обоих направлениях, авт./ч;

K_n – коэффициент неравномерности движения в течении суток ($K_n=0,1$).

t_0 – средневзвешенная задержка 1 автомобиля на перекрестке в «час пик», с.

Расчет величины средневзвешенной задержки проводится по упрощенной формуле и учитывает все направления на перекрестке:

$$t_0 = \frac{\sum_1^n t_{0i} \cdot N_i}{\sum_i^n N_i}, \quad (5.7)$$

где N_i – интенсивность движения в данном направлении, авт./ч;

t_{0i} – средняя задержка на перекрестке i-го направления, с.

Средняя задержка автомобиля на направлении определяется по формуле [96]:

$$t_{0i} = \frac{(T_u - t_{zi})^2}{2T_u} + t_{pi}, \quad (5.8)$$

где T_u – длительность цикла светофора, с;

t_{zi} – длительность зеленого сигнала, с;

t_{pi} – средняя задержка на одного автомобиля при разъезде очереди, с, определяется по среднему количеству автомобилей в очереди по таблице 5.4.

Таблица 5.4 – Средняя задержка на один автомобиль при разъезде очеред

Количество автомобилей m_i	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
Величина задержки t_{pi} , с	3,2	4,8	6,2	8	9,7	11	12,5	14	15	16	17

Величина годовых потерь времени транспортных средств на нерегулируемых перекрестках может быть определена по формуле [96]:

$$T_{тр н} = \frac{365 \cdot N_{вт} \cdot t_0}{3600 \cdot K_n}, \quad (5.9)$$

где t_0 – средняя задержка 1 автомобиля на перекрестке в «час пик», с.

Средняя задержка 1 автомобиля на нерегулируемом перекрестке может быть определена по формуле [96]:

$$t_0 = \frac{e^{n_{2л} \cdot t_{2л}} - n_{2л} \cdot t_{2л} - 1}{n_{2л} \cdot n_{6л} e^{n_{2л} \cdot t_{2л}} - n_{2л} \cdot t_{2л} - 1}, \quad (5.10)$$

где e – основание натурального логарифма;

$n_{2л}$ – интенсивность движения по главной дороге в обоих направлениях, авт./с;

$n_{6л}$ – средняя интенсивность движения по второстепенной дороге, авт./с;

$t_{2л}$ – граничный интервал, который принимает при количестве полос главной дороге [9]:

- до 2 полос – 6...7 с;

- 3 или 4 полосы – 9 с;

- более 4 полос – 10 с.

Интенсивность движения по главной дороге определяется по формуле:

$$n_{2л} = \frac{N_{2л}}{3600}, \quad (5.11)$$

Среднее количество автомобилей в очереди определяется по формуле:

$$m_i = \frac{N_i(T_{ц} - t_{3i})}{3600n_i}, \quad (5.12)$$

где n_i – количество полос движения на направлении.

5.4 Методика расчета потерь от заторов

Потери от задержек транспорта на отдельном регулируемом пересечении рассчитываются как суммарные от однократной остановки при движении в заторе. При условии отсутствия затора на пересечении потери времени определяются по формуле, предложенной М.С. Фишельсоном для движения в режиме однократной остановки.

На основании обследований движения транспортных потоков в часы существования затора, потери времени можно рассчитывать по формуле [97]:

$$П_{зам} = \sum_{i=1}^d \frac{D \cdot N \cdot t_3}{3600 \cdot K_{\max}} \cdot T_{зам}, \quad (5.13)$$

где D – число дней с существованием заторов на УДС, принято 300 за вычетом выходных и праздничных дней;

$T_{зат}$ – среднее время существования затора в зависимости от длины затора и принадлежности магистральной улицы к характерному району (центр, периферийная зона или остальные магистрали);

K_{max} – коэффициент, учитывающий отношение максимальной наблюдаемой длины затора к его средней длине;

t_3 – время задержки, т.е. движения автомобиля в заторе, сек, определяется по формуле:

$$t_3 = \frac{L_{зат} \cdot 3,6}{V_{зат}} + 0,24 \cdot V_p, \quad (5.14)$$

где $L_{зат}$ – средняя максимально наблюдаемая длина затора в «час пик», м;

V_p – средняя скорость движения перед подъездом к пересечению, принимается 40 – 60 км/ч;

$V_{зат}$ – средняя скорость движения автомобиля в заторе, км/ч, определяется по формуле:

$$V_{зат} = \frac{N \cdot l_{cp}}{1000 \cdot n}, \quad (5.15)$$

где N – интенсивность движения в направлении пересечения в «час пик», авт./ч;

l_{cp} – среднее расстояние, занимаемое одним автомобилем в заторе, м;

n – число полос движения на подходе к пересечению.

Далее, путём умножения потерянного времени на эквивалентное значение стоимости одного чел.-часа можно получить значения экономических потерь.

Для автомобилей всех групп стоимость потерянного времени, очевидно, будет выражаться стоимостью машино-часа эксплуатации автомобиля с учетом амортизационных отчислений.

5.5 Расчет экономии от снижения затрат времени нахождения транспортных средств в заторе

Экономия от сокращения временных затрат транспортных средств определяется, как разница между стоимостной оценкой затрат времени ТС на каждом перекрестке в существующих и предполагаемых условиях:

$$\mathcal{E}_{тр} = C_{тр}^{сущ} - C_{тр}^{пр}, \quad (5.16)$$

где $C_{тр}^{сущ}$ – стоимостная оценка затрат времени ТС в существующих условиях, руб.;

$C_{тр}^{пр}$ – стоимостная оценка затрат времени ТС в предполагаемых условиях, руб.

Если в результате получается отрицательно значение, то предполагаемые условия вызывают увеличение затрат, а не снижение.

Стоимость затрат времени ТС при простое на пересечениях за год определяются по формуле:

$$C_{тр} = T_{тр} \cdot S_{ср}, \quad (5.17)$$

где $T_{тр}$ – годовые потери времени ТС при простое автомобилей в заторе;

$S_{ср}$ – средневзвешенная стоимость 1 авт./ч.

Средневзвешенная стоимость 1 авт./ч определяется с учетом состава транспортного потока по следующей формуле:

$$S_{ср} = d_{гр} \cdot C_{ач}^{гр} + d_{лег} \cdot C_{ач}^{л} + d_{автоб} \cdot C_{ач}^{автоб}, \quad (5.18)$$

где $d_{гр}$, $d_{лег}$, $d_{автоб}$ – доля грузовых, легковых и автобусов в общем транспортном потоке;

$C_{ач}^{гр}$, $C_{ач}^{л}$, $C_{ач}^{автоб}$ – средняя стоимостная оценка 1 авт./ч по группам состава транспортного потока.

Результаты расчета экономических потерь от задержек транспортных средств на исследованных пересечениях в пиковые часы в среднем составляют 91,8 руб./ч на 1 человека. Результаты расчетов представлены в Приложении 8.

Выводы по главе

1. Практическая реализация результатов исследования позволяет определить риск возникновения транспортных заторов на различных участках транспортной сети и рассчитать экономические потери от задержек автотранспорта.

2. Экономический эффект из-за снижения потерь от задержек транспортных средств составляет в среднем 91.8 руб./ч на 1 человека.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

1. На основе выполненного исследования решена новая важная научно-практическая задача повышения эффективности управления перевозочным процессом с учетом риска возникновения транспортного затора на УДС города.

2. Анализ существующих методов определения величины значений задержек ТП не выявил возможности расчета вероятности возникновения транспортного затора.

3. Получены зависимости коэффициента риска возникновения транспортного затора на УДС с использованием теории риска, обоснованные предельной величиной транспортной задержки.

4. Получены показатели зависимости величины риска возникновения транспортного затора от параметров дороги и ТП (значения коэффициентов детерминации по осредненным значениям для обследованного участка УДС в среднем $R^2 = 0,8$).

5. Разработана модель адаптации транспортного потока к УДС по времени доставки с учетом скорости движения и коэффициента риска образования затора.

6. Предложено ранжирование уровней адаптации участков УДС по степени риска возникновения транспортного затора на пересечениях с учетом скоростных интервалов движения и времени доставки.

7. Разработана методика ранжирования уровней адаптации участков УДС с методикой выбора оптимального кратчайшего маршрута для ТС по минимальному риску вероятности возникновения транспортного затора. Это позволяет сократить время движения до 28 %, потери на одного человека, находящегося в заторе, составляют в среднем 91,8 руб./ч.

СПИСОК ИСПОЛЬЗУЕМОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

- 1 Бюллетень социально-экономического кризиса в России. 2015. Динамика грузоперевозок в России [Электронный ресурс]. – М. – 2015. – №8. Режим доступа: URL: <http://www.mintrans.ru/documents/detail.php>.
- 2 Россия 2015: Статистический справочник. – М.: Росстат, 2014. – 62 с.
- 3 Россия 2016. Статистический справочник. – М.: Росстат, 2015. – 64 с.
- 4 Транспортная стратегия Российской Федерации на период до 2030 года (утв. распоряжением Правительства Российской Федерации от 22 ноября 2008 г. № 1734-р (ред. от 11.06.2014) [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://base.consultant.ru/cons/cgi/online.cgi?req=doc;base=LAW;n=164761>
- 5 Федеральные дороги России. Статистический аналитический сборник. – М.: Росавтодор, 2008. – 123 с.
- 6 Щеголева, Н.В. Образование заторов в транспортном потоке. Техническое регулирование в транспортном строительстве / Н.В. Щеголева, В.А. Гусев, М.А. Ворожейкин // ООО «Научно-исследовательский центр технического регулирования». – 2016. – №5 (19). – С. 25-28.
- 7 Маркичев, В. А. Оценка потерь, связанных с автомобильными «пробками» в мегаполисе / В.А. Маркичев // Молодой ученый. — 2016. — №22. — С. 17-19.
- 8 Горев, А.Э. Грузовые автомобильные перевозки: учеб. пособие для студ. высш. учеб. заведений / А.Э. Горев. – М.: «Академия», 2008. – 288 с.
- 9 Вельможин, А.В. Грузовые автомобильные перевозки. Учебник / А.В. Вельможин, В.А. Гудков, Л.Б. Миротин, А.В. Куликов. – М: Горячая Линия-Телеком, 2006. – 560 с.
- 10 Иносе, Х. Управление дорожным движением: Пер. с англ. / Х. Иносе, Т. Хамада. – М.: Транспорт, 1983. – 248 с.
- 11 Клинковштейн, Г.И. Организация дорожного движения: учебник для вузов. – 5-е изд., перераб. и доп. / Г.И. Клинковштейн, М.Б. Афанасьев. – М.: Транспорт, 2001. – 247 с.

12 Гасников, А.В. Введение в математическое моделирование транспортных потоков: учеб. пособие / А.В. Гасников, С.Л. Кленов, Е.А. Нурминский, Я.А. Холодов, Н.Б. Шамрай. – М., 2010. – 362 с.

13 Кременец, Ю.А. Технические средства организации дорожного движения / Ю.А. Кременец, М.П. Печерский, М.Б. Афанасьев. – М.: Академкнига, 2005. – 279 с.

14 Морозов, В.В. Интенсивность как параметр транспортного потока / В.В. Морозов, С.А. Ярков // Организация и безопасность дорожного движения: материалы VIII Всерос. науч.-практ. конф., 12 марта 2015 г., Тюмень: ТюмГНГУ. 2015.

15 Морозов, В.В. . Проблема транспортных заторов и существующие методы их решения / В.В. Морозов, С.А. Ярков // Проблемы функционирования систем транспорта: материалы всерос. науч.-практ. конф. студентов, аспирантов и молодых учёных (с международным участием), 5–7 ноября 2014 г. Т. 2 / отв. ред. В.И. Бауэр, Тюмень: ТюмГНГУ. 2014.

16 Петридис, А.В. Организация движения: учеб. пособие / А.В. Петридис, И.А. Новиков И.А., П.А. Воля.– Курск: Изд-во Планета, 2011. – 287 с.

17 Highway Capacity Manual. // TRB, Washington, DC, 2015. – 1134 p.

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

19 Пугачев, И.Н. Организация и безопасность движения: учеб. пособие / И. Н. Пугачев. – Хабаровск: Изд. по Хабар. гос. техн. ун-та, 2004. - 232 с.

20 Чванов, В.В. Влияние загрузки дорог на уровень безопасности движения / В.В. Чванов, И.Ф. Живописцев // Наука и техника в дорожной отрасли. – 2004. – №1.- С. 10-13.

21 Столяров, В.В. Математическая модель транспортного потока, основанная на микроскопической теории «следования за лидером» / В. В. Столяров, Д. М. Немчинов, В. А. Гусев, Н. В. Щеголева // Дороги и мосты. – 2015. – №34 /2. – С. 291–318.

22 Столяров, В.В. Совершенствование методов применения принципов технического регулирования в дорожной деятельности: монография / В.В. Столяров, А.П. Бажанов. – Пенза: ПГУАС, 2014. – 212 с.

23 Берзин, П.О. Анализ причин возникновения транспортных заторов / П.О. Берзин // Прогрессивные технологии и процессы. 2-я междунар. молодеж. научн.-практ. конф. 24-25 сентября 2015. – Курск: ЗАО «Университетская книга», 2015. – С. 137-139.

24 ECMT, Managing urban traffic congestion : European Conference of Ministers of Transport. – Paris, France, 2004. – 294 p.

25 Bovy, P. Ill-Predictability of Road Traffic Congestion / P. Bovy, S. Hoogendoorn // Reliability of Transport Networks. – Research Studies Press. Baldock, United Kingdom, 2000. – pp. 43-53.

26 Капитанов, В. Т. Управление транспортными потоками в городах / В. Т. Капитанов, Е. Б. Хилажев. – М.: Транспорт, 1985. – 94 с.

27 Михеева, Т.И. Модели управления транспортными потоками в условиях затора / Т.И. Михеева, С.В. Михеев // Программные продукты и системы. – 2012. – № 3. – С. 50-55.

28 Изотов, Н.Н. Проблемы ликвидации «пробок» в больших городах / Н.Н. Изотов, А.Р. Фаизов // Сборник материалов 68 научно-методической и научно-исследовательской конференции, 01 – 06 фев. 2010 г. – М.: МАДИ, 2010 г.

29 Traffic index Moscow: [Электронный ресурс]. – Режим доступа: // TomTom International BV. URL: https://www.tomtom.com/en_gb/trafficindex/city/MOS.

30 Сидоренко, Н.Н. Техничко-экономическая оценка эффективности режимов работы светофорного регулирования на пешеходных переходах городских магистралей / Н.Н. Сидоренко, Я.К. Линник К.Е. Иванов // Избранные доклады 60-й университетской научно-технической конференции студентов и молодых ученых. – Томск: Изд-во Том. гос. архит.-строит. ун-та, 2015. – С.123-128.

31 Инструкция по учету потерь народного хозяйства от дорожно-транспортных происшествий при проектировании автомобильных дорог: ВСН3-81. – М.: Транспорт, 1982. – 56 с.

32 Указания по определению экономической эффективности капитальных вложений в строительство и реконструкцию автомобильных дорог: ВСН 21-83. – М.: Транспорт, 1985. – 125 с.

33 Сидоренко, Н.Н. Экономическое обоснование проектных решений при проектировании автомобильных дорог и транспортных сооружений с учетом изменения во времени себестоимости перевозок, ремонтных работ, заработной платы работающего населения / Н.Н. Сидоренко, А.А. Бурлуцкий // Вестник ТГАСУ. – 2014. – № 1. – С. 135–141.

34 Лобанов, Е.М. Проектирование дорог и организация движения с учетом психофизиологии водителя / Е.М. Лобанов. - М.: Транспорт, 1980. - 311 с.

35 Сильянов, В.В. Теория транспортных потоков в проектировании дорог и организации движения / В.В. Сильянов. - М.: Транспорт, 1977. - 303 с.

36 Крысин, С.П. Режимы движения автомобилей при маневрах на городских четырех полосных магистралях / С.П. Крысин // Технико-экономическое обоснование параметров автомобильных дорог. Сборник науч. тр. – Омск: ОмПИ, 1986. – 89 с.

37 Laval, J.A. A mechanism to describe the formation and propagation of stop-and-go waves in congested freeway traffic / J.A. Laval, L. Leclercq // DOI: 10.1098/rsta.2010.0138. – Phil.: Trans. R. A, 2010 – 368 p.

38 Бражник, А.А. Анализ влияния дорожных факторов и информационных характеристик на величину пропускной способности автомобильных дорог / А.А. Бражник // Харьковский национальный автомобильно-дорожный университет. Вестник ХНАДУ. – 2009. – № 47. – С. 23-28.

39 Левашев, А.Г. Проектирование регулируемых пересечений: учеб. пособ. / А.Г. Левашев, А.Ю. Михайлов, И.М. Головных. – Иркутск: Изд-во ИрГТУ, 2007. – 208 с.

40 Дашунина, М.С. Влияние макрошероховатости дорожного покрытия на безопасность движения / М.С. Дашунина // Материалы 68-й студ. научн. конф. / под ред. И.Г. Чернышевой. – Брянск: БГТУ, 2013. – 674 с.

41 Космачева, М.М. Оценка влияния ровности покрытия автомобильной дороги на безопасность движения / М.М. Космачева // Материалы 68-й студ. научн. конф. / под ред. И.Г. Чернышевой. – Брянск: БГТУ, 2013. – 674 с.

42 Демичев, С.Н. Влияние ровности дорожного покрытия на безопасность движения / С.Н. Демичев // Материалы 68-й студ. научн. конф. / под ред. И.Г. Чернышевой. – Брянск: БГТУ, 2013. – 674 с.

43 Бережная, А.А. Обеспечение безопасности дорожного движения в разных метеорологических условиях / А.А. Бережная // Материалы 68-й студ. научн. конф. / под ред. И.Г. Чернышевой. – Брянск: БГТУ, 2013. – 674 с.

44 Жанказиев, С.В. Интеллектуальные транспортные системы: учеб. пособие / С.В. Жанказиев. – М.: МАДИ, 2016. – 120 с.

45 Кораблин, М.А. Наследование свойств в задачах объектно-ориентированного программирования на языке Модуль-2 / М.А. Кораблин, С.В. Смирнов // Программирование. – 1990. – №4. – С. 38–43.

46 Михеева, Т.И. Использование принципов объектно-ориентированного проектирования интеллектуальной транспортной системы / Т.И. Михеева // Вестник СамГТУ. – 2005. – № 34. – С. 141 – 148.

47 Михеева, Т.И. Модели наследования в системе управления дорожным движением / Т.И. Михеева, С.В. Михеев // Информационные технологии. – 2001. – № 7. – С. 50-54.

48 Артынов, А.П. Управление взаимодействием транспортных систем / А.П. Артынов, Г.А. Кондратьев. – М.: Наука, 1986. – 197 с.

49 Басков, В.Н. Оценка уровня адаптации транспортного потока к улично-дорожной сети / В.Н. Басков, Е.И. Видманова // Вестник СГТУ. – 2013. – № 2 (71). – С. 355-360.

50 Михеева, Т.И. Методы и средства проектирования систем управления дорожным движением / Т.И. Михеева, С.В. Михеев // Интеллектуальные системы: Тр. Шестого международного симпозиума (INTELS' 2004) / под ред. К.А. Пупкова. – М.: РУСАКИ, 2004. – С. 406 – 409.

51 Остроух, А.В. Интеллектуальные информационные системы и технологии: монография / А.В. Остроух, Н.Е. Суркова. – Красноярск: Научно-инновационный центр, 2015. – 370 с.

52 Урыков, В.А. Математические модели транспортных потоков / В.А., Урыков, Л.И. Зеленина // Современные научные исследования и инновации. – 2014. – № 12. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: URL: <http://web.snauka.ru/issues/2014/12/41692>.

53 Treiterer, J. The hysteresis phenomenon in traffic flow / J. Treiterer, J.A. Myers / In D.J. Buckley, editor, Proc. – Artarmon, New South Wales, 1974. – P. 13.

54 Lighthill, M.J. On kinetic waves II. A theory of traffic flow on crowded roads / M.J. Lighthill, F.R.S. Whitham // Proc. of the Royal Society Ser. – 1995. – Vol. 229. No. 1178. – P. 317-345.

55 Уизем, Дж. Линейные и нелинейные волны / Дж. Уизем. – М.: Мир, 1977. – 624 с.

56 Payne, H.J. Models of freeway traffic and control / H.J. Payne // Mathematical models of Public Systems. Ed. Bekey G. A. V. 1 La Jolla. – CA: Simulation Council, 1971. – P. 51-61.

57 Ларин, О.Н. Развитие транзитного потенциала автотранспортных систем регионов. Теоретические аспекты формирования скорости движения в автотранспортном потоке / О.Н. Ларин, А.П. Приходько, В.Д. Шепелев и др. // Российская акад. наук: монография. – М.: ВИНТИ, 2010. – 343 с.

58 Пугачев, И.Н. Организация движения автомобильного транспорта в городах / И. Н. Пугачев. – Хабаровск: Изд. ТОГУ, 2005. - 196 с.

59 Greenshields, B.D. A study of traffic capacity / B.D. Greenshields // Proc. (US) highway research. board. – US, 1934. – Vol. 14. – P. 448-494.

60 Басков, В.Н. К вопросу о регулировании транспортного потока оптимизацией задержек на улично-дорожной сети / В.Н. Басков, А. В. Игнатов // Математические методы в технике и технологиях - ММТТ: материалы международной научно-практической конференции, Саратов 2014 г.– Саратов: СГТУ имени Гагарина Ю.А. , 2014. - С. 108-110.

61 Швецов, В.И. Математическое моделирование транспортных потоков / В.И. Швецов // Автоматика и телемеханика. – 2003. – №11. – С. 3-46.

62 Ломакин, Д.О. Мезоскопические модели транспортных потоков / Д.О. Ломакин // Информационные технологии и инновации на транспорте: материалы 2-ой международной научно-практической конференции, Орел 17-18 мая 2016 г./ под общей редакцией А.Н. Новикова. – Орел: ФГБОУ ВО "Орловский государственный университет имени И.С. Тургенева", 2016. - С. 53-59.

63 Wilson, A. G. A statistical theory of spatial distribution models / A. G. Wilson // Transpn. Res. – 1967. – V. 1. – P. 253–270.

64 Wilson, A. G. Entropy in urban and regional modeling / A. G. Wilson. – London: Pion, 1970.

65 Wilson, A. G. A family of spatial interaction models and associated developments / A. G. Wilson // Envir. & Plan. A. – 1971. – V. 3. – P. 255–282.

66 Harris, B. Equilibrium values and dynamics of attractiveness terms in production-constrained spatial-interaction models / B. Harris, A. G. Wilson // Envir. & Plan. A. – 1978. – V. 10. – P. 371–388.

67 Popkov, Yu. S. Macrosystems theory and its applications / Yu. S. Popkov. – Berlin: Springer Verlag, 1995.

68 Шамбадаль, П. Развитие и приложения понятия энтропии / П. Шамбаль. – М.: Наука, 1967. – 283 с.

69 Осипов, А.И. Энтропия и ее роль в науке / А.И. Осипов, А.В. Уваров // Соросовский образовательный журнал. Том 8. – 2004. – № 1. – С. 70-79.

70 Ожегов, С. И., Толковый словарь русского языка / С.И. Ожегов, Н.Ю. Шведова. – 4-е изд. – М.: ИТИ Технологии, 2006. – 944 с.

71 Чернова Г.В. Управление рисками: учебное пособие / Г.В. Чернова, А.А. Кудрявцев. – М.: Проспект, 2007. – 160 с.

72 Орлов, А. И. Подходы к общей теории риска / А.И. Орлов, О.В. Пугач // Управление большими системами. Выпуск 40. – М.: ИПУ РАН, 2012. – С. 49-82.

73 Орлов, А. И. Организационно-экономическое моделирование в условиях неопределенности и риска / А.И. Орлов // Доклад на научном семинаре

Лаборатории экономико-математических методов в контроллинге МГТУ им. Н.Э. Баумана [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://ibm.bmstu.ru/nil/biblio.html#stats-14-neopr>.

74 Игнатов А.В. Совершенствование управления перевозками с учетом риска возникновения транспортного затора на улично-дорожной сети города: Дисс. ... канд. техн. наук: 05.22.10 / Игнатов Антон Валерьевич. – Саратов, 2015. – 246 с.

75 Столяров, В.В. Проектирование автомобильных дорог с учетом теории риска: в 2 ч. / В.В. Столяров. – Саратов: СГТУ, 1994. – Ч. 1. – 184 с.

76 Столяров, В.В. Дорожные условия и организация движения с использованием теории риска: учеб. пособие / В.В. Столяров. – Саратов: СГТУ, 1999. – 168 с.

77 Столяров, В.В. Риск и надежность инвестиций / В.В. Столяров // Рыночные отношения в машиностроительном комплексе межвуз. науч. сб. – Саратов: СГТУ, 1994. – С. 18-23.

78 Столяров, В.В. Теория риска в проектировании плана дороги и организации движения / В.В. Столяров. Саратов: СГТУ, 1995. – 84 с.

79 Колесов, В.И. Идентификация модели реального транспортного потока в городе [Текст] / В.И. Колесов, М.Л. Гуляев, А.М. Осипенко // Вестник Оренбургского государственного университета. 2011. - № 10 (29). – С. 43-48.

80 Сильянов, В.В. Транспортно-эксплуатационные качества автомобильных дорог и городских улиц / В.В. Сильянов, Э.Р. Домке. – М.: Академия, 2009. – 32 с.

81 Ларин, О.Н. Моделирование обходных путей населенных пунктов для пропуска транзитных потоков / О.Н. Ларин // Транспорт: наука, техника, управление. – 2008. – №5. – С. 37-40.

82 Басков, В.Н. Влияние загруженности УДС на эффективность перевозочного процесса / В.Н. Басков, Е.И. Исаева // Организация автомобильных перевозок и безопасность дорожного движения: материалы IX междунар. заочн. науч.-техн. конф. – Пенза, 2013. – С. 23-26.

83 Ларин, О.Н. Моделирование обходных путей населенных пунктов для пропуска транзитных потоков / О.Н. Ларин // Транспорт: наука, техника, управление. – 2008. – №5. – С. 37-40.

84 Кендалл, М. Многомерный статистический анализ и временные ряды / М. Кендалл, А. Стьюарт. – М.: Наука, 1976. - 736 с.

85 Малюгин, П.Н. Измерение и расчет параметров транспортных потоков / П.Н. Малюгин, Е.В. Парсаев. – Омск: СибАДИ, 2012. – 25 с.

86 Басков, В.Н. К вопросу о регулировании транспортного потока оптимизацией задержек на улично-дорожной сети / В.Н. Басков, А. В. Игнатов // Математические методы в технике и технологиях - ММТТ: материалы международной научно-практической конференции, Саратов 2014 г.– Саратов: СГТУ имени Гагарина Ю.А. , 2014. - С. 108-110.

87 Басков, В.Н. Анализ методов расчета и оценки задержек транспортного потока на улично-дорожной сети / В.Н. Басков, А.В. Игнатов // Вестник развития науки и образования – 2014. - №2. – С. 14-19.

88 СНиП 2.05.02-85. Автомобильные дороги. – М.: Госстрой России, 2004. – 76 с.

89 Басков, В.Н. Анализ загруженных участков УДС города Саратова / В.Н. Басков, Е.И. Исаева // Техническое регулирование в транспортном строительстве. – 2017. - №3 (23). Электронный ресурс. – Режим доступа: URL: trts.esrae.ru/42-307.

90 Большаков, В.Д. Теория математической обработки геодезических измерений / А.Д.Большаков, П.А.Гайдаев. – М.: Недра, 1997. – 368 с.

91 Кокодеева, Н.Е. Методологические основы комплексной оценки надежности автомобильных дорог в системе технического регулирования дорожного хозяйства: дис. ... д-ра техн. наук / Наталия Евсегнеевна Кокодеева – С-Пб.: ПГУПС, 2013. – 340 с.

92 СН 2.2.4/2.1.8.562-96 «Шум на рабочих местах, в помещениях жилых, общественных зданий и на территории жилой застройки» от 31 октября 1996 г. № 36. – М.,1997. – 37 с.

93 ГОСТ 20444-2014 «Шум. Транспортные потоки. Методы измерения шумовой характеристики» от 01 июля 2015 г.— М.: Стандартинформ, 2015.

94 Столяров, В. В. О системе технического регулирования / В.В. Столяров, Н.Е. Кокодеева // Техническое регулирование в транспортном строительстве. – 2013. – № 1 [Электронный ресурс]. – Режим доступа: URL: trts.esrae.ru/1-2.

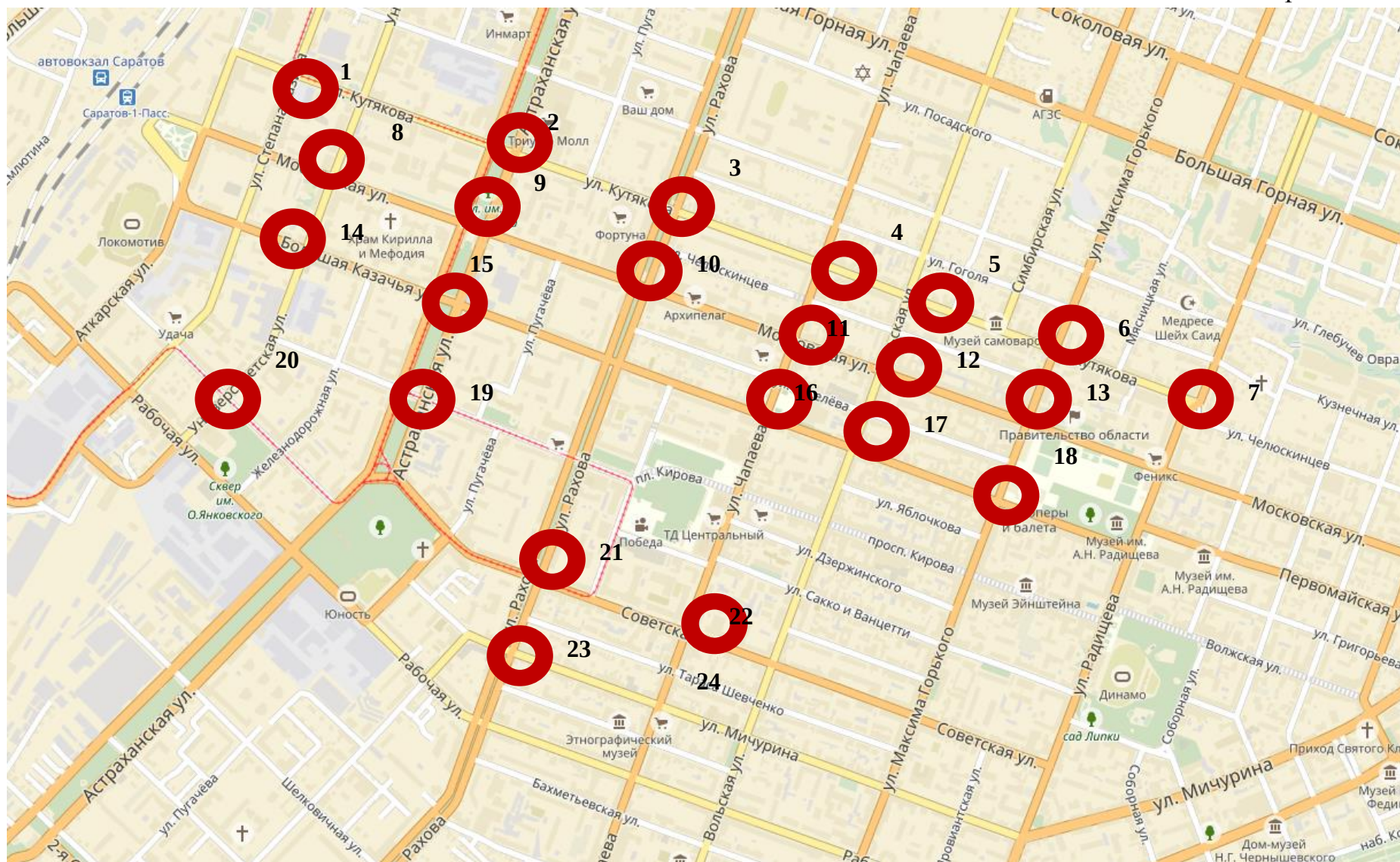
95 Комаров, Ю.Я. Оценка риска на экологически небезопасных участках городских магистралей / Ю.Я. Комаров, В.Н. Федотов // Прогресс транспортных средств и систем – 2005: Материалы международной научно-практической конференции, ч. 2. – Волгоград: ВолгГТУ, 2005. – С. 17-22.

96 Храпова, С.М. Определение уровня загрузки автомобильным транспортом городских магистралей: дисс. ... канд.техн.наук: 05.22.10 / Храпова Светлана Михайловна. – Омск, 2010. – С. 182.

97 Андронов, Р.В. Моделирование очередей на регулируемых пересечениях улично-дорожной сети крупного города в условиях плотного транспортного потока: дисс. ... канд. техн. наук: 05.13.18, 05.23.11 / Андронов Роман Валерьевич. – Тюмень, 2007. – С. 184.

ПРИЛОЖЕНИЯ

Приложение А



*Схематичное изображение участка УДС г. Саратова на котором проводилось исследование**

*Примечание – красными кругами изображено 24 обследованных перекрестков

Анкета обследования транспортного потока (ТП)

Условные обозначения:

« | » - прямое и обратное направления движения ТП по одной улице (Московская); « ⊥ » - прямое и обратное направления движения ТП по перпендикулярной улице (Чапаева)

Дата: 14.07.2015	Ширина дороги, м: <i>Московская – 16 м; Чапаева – 14 м</i>	Режим работы светофора: <table><tr><td rowspan="2"></td><td colspan="3">Время, с</td></tr><tr><td>кр</td><td>ж</td><td>з</td></tr><tr><td>Московская</td><td>4</td><td>1</td><td>8</td></tr><tr><td>Чапаева</td><td>3</td><td>2</td><td>6</td></tr></table>				Время, с			кр	ж	з	Московская	4	1	8	Чапаева	3	2	6
	Время, с																		
	кр				ж	з													
Московская	4				1	8													
Чапаева	3				2	6													
День недели: <i>четверг</i>	Состояние дор. покрытия (асфальт – сухой, мокрый): <i>Московская – сухой; Чапаева - мокрый</i>																		
Место (перекресток): <i>Московская - Чапаева</i>	t° С окр. среды: 34 ° С																		

Вре мя суто к	Легковые автомобили		Автобусы		Грузовые автомобили		Примеч ание
	прямое направление	обратное направление	прямое направление	обратное направление	прямое направление	обратное направление	
1	2	3	4	5	6	7	8
8 ⁰⁰ - 9 ⁰⁰							
12 ⁰⁰ - 13 ⁰⁰							
16 ⁰⁰ - 17 ⁰⁰							

Приложение В
Таблица 1

Интенсивность движения на перекрестке ул. Степана Разина - ул. Кутякова (авт./ч)

Месяц	День недели	Время суток	Ширина проезжей части, м	Состояние дорожного покрытия	t° С окр. среды	Режим работы светофора			Прямое направление			Обратное направление			Суммарная интенсивность
						крас.	жел.	зел.	Л	А	Г	Л	А	Г	
август	пон.	8.00-9.00	Ст. Разина 9 м Кутякова 11,5 м	сух.асфальт	27	23	4	23	1658	18	8	242	14	12	1952
		12.00-13.00		сух.асфальт	30	23	4	23	1540	18	24	564	18	20	2184
		16.00-17.00		сух.асфальт	29				1958	20	16	628	30	18	2670
август	вт.	8.00-9.00		сух.асфальт	24	23	4	23	1570	10	4	230	12	10	1836
		12.00-13.00		сух.асфальт	27	23	4	23	1418	14	16	512	10	14	1984
		16.00-17.00		сух.асфальт	28				1756	20	8	594	22	12	2412
август	ср.	8.00-9.00		сух.асфальт	21	23	4	23	1576	24	12	224	14	14	1864
		12.00-13.00		сух.асфальт	24	23	4	23	1516	6	10	496	18	6	2052
		16.00-17.00		сух.асфальт	25				1748	10	14	572	32	8	2384
август	чет.	8.00-9.00		сух.асфальт	28	23	4	23	1592	32	6	214	18	12	1874
		12.00-13.00		сух.асфальт	33	23	4	23	1546	10	14	486	12	10	2078
		16.00-17.00		сух.асфальт	32				1730	6	16	584	34	14	2384

август	пят.	8.00-9.00		сух.асфальт	29	23	4	23	1376	26	16	202	14	18	1652
		12.00-13.00		сух.асфальт	33	23	4	23	1514	14	22	464	12	14	2040
		16.00-17.00		сух.асфальт	31				1606	10	28	562	26	20	2252
август	субб.	8.00-9.00		сух.асфальт	29	23	4	23	1360	56	14	194	24	16	1664
		12.00-13.00		сух.асфальт	33	23	4	23	1560	44	18	502	20	10	2154
		16.00-17.00		сух.асфальт	32				1636	8	12	586	18	6	2266
август	воскр.	8.00-9.00		сух.асфальт	30	23	4	23	1224	18	12	216	16	8	1494
		12.00-13.00		сух.асфальт	31	23	4	23	1632	26	18	532	24	12	2244
		16.00-17.00		сух.асфальт	32				1716	32	20	560	28	14	2370

Приложение В

Таблица 2

Интенсивность движения на перекрестке ул. Астраханская - ул. Кутякова (авт./ч)

Месяц	Дата	День недели	Время суток	Ширина проезжей части, м	Состояние дорожного покрытия	t° С окр. среды	Режим работы светофора			Прямое направление			Обратное направление			Суммарная интенсивность
							крас.	жел.	зел.	Л	А	Г	Л	А	Г	
август	август	пон.	8.00-9.00	Астраханская 9 м Кутякова 9,5 м	сух.асфальт	19	54	4	31	1596	228	150	1536	178	105	3793
			12.00-13.00		сух.асфальт	21	51	4	34	1184	221	133	1087	182	133	2940
			16.00-17.00		сух.асфальт	22				1452	227	157	1409	210	129	3584
август	август	вт.	8.00-9.00		сух.асфальт	26	54	4	31	1612	228	140	1524	178	120	3802
			12.00-13.00		сух.асфальт	27	51	4	34	1151	215	135	1074	185	120	2880
			16.00-17.00		сух.асфальт	29				1381	205	138	1363	184	122	3393
август	август	ср.	8.00-9.00		сух.асфальт	18	54	4	31	1583	214	125	1485	181	118	3706
			12.00-13.00		сух.асфальт	20	51	4	34	1143	204	135	1064	182	105	2833
			16.00-17.00		сух.асфальт	21				1390	194	119	1354	180	120	3357
август	август	чет.	8.00-9.00		сух.асфальт	22	54	4	31	1571	210	129	1484	180	119	3693
			12.00-13.00		сух.асфальт	24	51	4	34	1118	206	134	1069	186	108	2821
			16.00-17.00		сух.асфальт	25				1368	194	108	1358	176	110	3314
август		пят.	8.00-9.00		сух.асфальт	20	54	4	31	1552	212	117	1480	190	113	3664
			12.00-13.00		сух.асфальт	23	51	4	34	1100	205	113	1080	186	102	2786
			16.00-17.00		сух.асфальт	22				1484	204	100	1387	191	114	3480

август		субб.	8.00-9.00		сух.асфальт	25	54	4	31	1289	182	109	1184	171	110	3045
			12.00-13.00		сух.асфальт	28	51	4	34	1035	185	115	981	171	101	2588
			16.00-17.00		сух.асфальт	29				1253	200	91	1157	182	102	2985
август		воскр.	8.00-9.00		сух.асфальт	20	54	4	31	995	181	82	944	163	90	2455
			12.00-13.00		сух.асфальт	22	51	4	34	1033	191	84	993	172	96	2569
			16.00-17.00		сух.асфальт	23				1071	197	91	1138	182	99	2778

Приложение В

Таблица 3

Интенсивность движения на перекрестке ул. Кутякова - ул. М. Горького (авт./ч)

Месяц	Дата	День недели	Время суток	Ширина проезжей части, м	Состояние дорожного покрытия	t° С окр. среды	Режим работы светофора			Прямое направление			Обратное направление			Суммарная интенсивность
							крас.	жел.	зел.	Л	А	Г	Л	А	Г	
август	08.08.2011	пон.	9.00-10.00	Кутякова 17 м М. Горького 10,5 м	сух.асфальт	23				1964	152	126	780	37	54	3113
			13.00-14.00		сух.асфальт	28				1264	114	124	538	33	56	2129
			17.00-18.00		сух.асфальт	27				2640	124	128	894	48	48	3882
август	09.08.2011	вт.	9.00-10.00		сух.асфальт	27				2202	123	129	913	42	72	3481
			13.00-14.00		сух.асфальт	30				1462	117	115	521	37	62	2314
			17.00-18.00		сух.асфальт	31				3054	124	148	829	54	52	4261
август	10.08.2011	ср.	9.00-10.00		сух.асфальт	26				2445	119	163	845	46	74	3692
			13.00-14.00		сух.асфальт	28				1289	96	104	416	43	83	2031
			17.00-18.00		сух.асфальт	28				3327	126	151	893	52	52	4601
август	11.08.2011	чет.	9.00-10.00		сух.асфальт	23				2154	134	152	792	45	89	3366
			13.00-14.00		сух.асфальт	27				1534	104	114	452	44	84	2332
			17.00-18.00		сух.асфальт	28				3154	54	188	736	51	55	4238
август	12.08.2011	пят.	9.00-10.00		сух.асфальт	24				2202	120	170	841	42	72	3447
			13.00-14.00		сух.асфальт	27				1584	113	138	537	40	70	2482
			17.00-18.00		сух.асфальт	29				2047	134	169	435	47	46	2878

август	13.08.2011	субб.	9.00-10.00		сух.асфальт	24				735	81	85	243	34	33	1211
			13.00-14.00		сух.асфальт	28				630	75	77	272	42	34	1130
			17.00-18.00		сух.асфальт	29				921	85	86	312	36	47	1487
август	14.08.2011	воскр.	9.00-10.00		сух.асфальт	25				531	72	73	208	33	33	950
			13.00-14.00		сух.асфальт	27				512	78	101	198	34	45	968
			17.00-18.00		сух.асфальт	27				671	66	73	182	33	34	1059

Средняя скорость движения транспортного потока V (км/ч) на исследованных пересечениях

№ п/п	Название перекрестка	Средняя скорость движения транспортного потока, км/ч			
		Будние дни		Выходные дни	
		Прямое направление	Обратное направление	Прямое направление	Обратное направление
1	ул. Ст. Разина	25,35	-	30,55	-
	ул. Кутякова	29,37	24,87	30,24	31,52
2	ул. Астраханская	23,33	26,11	30,62	27,7
	ул. Кутякова	28,92	28,05	32,16	30,68
3	ул. Кутякова	22,88	27,12	32,85	31,42
	ул. М. Горького	29,37	-	31,25	-
4	ул. Кутякова	28,33	27,51	28,57	31,42
	ул. Радищева	27,52	29,85	30,71	31,87
5	ул. Московская	25,4	31,2	34,28	29,8
	ул. Рахова	19,28	24,16	27,85	26,66
6	ул. Московская	27,51	28,89	33,27	29,14
	ул. Чапаева	18,72	24,64	24,16	28,57
7	ул. Астраханская	27,86	21,42	30,71	27,86
	ул. Б. Казачья	24,06	-	32,14	-

8	ул. Астраханская	27,51	21,12	30,71	25,94
	ул. Вавилова	18,92	23,75	24,16	23,98
9	ул. Рахова	22,14	24,37	27,86	24,28
	ул. Советская	25,71	28,57	30,71	32,14
10	ул. Рахова	24,92	20,86	25,23	22,51
	ул. Мичурина	21,65	-	34,82	-
11	ул. Университетская	26,25	-	31,43	-
	ул. Слонова	19,16	23,21	25,17	23,68

Поток насыщения в «час пик» по каждому пересечению, М (авт./час)

№ п/п	Название перекрестка	Значения потока насыщения, авт./ч	
		Прямое направление	Обратное направление
1	ул. Ст. Разина	4725	-
	ул. Кутякова	3018,25	3018,25
2	ул. Астраханская	2362,5	2362,5
	ул. Кутякова	2493,75	2493,75
3	ул. Кутякова	4462,5	4462,5
	ул. М. Горького	5250	-
4	ул. Кутякова	4200	4200
	ул. Радищева	2756,25	2756,25
5	ул. Московская	4200	2100
	ул. Рахова	3675	3675
6	ул. Московская	4725	1575
	ул. Чапаева	3150	3150
7	ул. Астраханская	3150	3150
	ул. Б. Казачья	2625	-
8	ул. Астраханская	3150	3150
	ул. Вавилова	2625	2625
9	ул. Рахова	3150	3150
	ул. Советская	2625	2625
10	ул. Рахова	3675	3675
	ул. Мичурина	4200	-
11	ул. Университетская	2625	-
	ул. Слонова	2625	2625

Транспортные задержки (d_{ϕ} , с)
и вероятность возникновения транспортного затора (Γ_R , Γ_B , Γ_a) на исследованных пересечениях в «часы пик»

Название перекрестка	Фактические транспортные задержки, с		Вероятность возникновения затора Γ_R		Вероятность возникновения затора Γ_B		Вероятность возникновения затора Γ_a	
	Прямое направление	Обратное направление	Прямое направление	Обратное направление	Прямое направление	Обратное направление	Прямое направление	Обратное направление
ул. Ст. Разина	6,8	-	0,447	-	0,219	-	0,448	-
ул. Кутякова	10,77	9,05	0,297	0,335	0,667	0,712	0,307	0,337
ул. Астраханская	17,75	15,89	0,345	0,344	0,689	0,796	0,357	0,354
ул. Кутякова	29,33	27,93	0,324	0,328	0,690	0,718	0,43	0,457
ул. Кутякова	8,2	8,34	0,647	0,33	0,262	0,359	0,68	0,335
ул. М. Горького	10,99	-	0,395	-	0,434	-	0,411	-
ул. Кутякова	9,04	8,74	0,474	0,426	0,357	0,321	0,474	0,426
ул. Радищева	11,93	11,34	0,66	0,542	0,452	0,418	0,652	0,394
ул. Московская	15,39	12,09	0,612	0,212	0,517	0,384	0,491	0,349
ул. Рахова	9,29	9,14	0,523	0,487	0,671	0,438	0,495	0,384
ул. Московская	13,18	11,92	0,517	0,378	0,762	0,467	0,557	0,411
ул. Чапаева	10,91	10,74	0,628	0,312	0,549	0,298	0,532	0,317
ул. Астраханская	12,79	13,27	0,508	0,319	0,557	0,327	0,297	0,243

ул. Б. Казачья	9,83	-	0,681	-	0,734	-	0,413	-
ул. Астраханская	9,66	8,81	0,403	0,396	0,768	0,814	0,22	0,196
ул. Вавилова	11,83	9,05	0,282	0,263	0,612	0,543	0,287	0,265
ул. Рахова	15,84	13,71	0,517	0,326	0,492	0,302	0,51	0,402
ул. Советская	10,37	9,86	0,568	0,629	0,611	0,59	0,551	0,527
ул. Рахова	8,72	9,36	0,612	0,681	0,498	0,487	0,612	0,492
ул. Мичурина	8,25	-	0,413	-	0,395	-	0,297	-
ул. Университетская	11,98	-	0,354	-	0,512	-	0,217	-
ул. Слонова	10,3	27,01	0,436	0,283	0,637	0,539	0,295	0,277

Приложение Ж

Расчет экономических потерь от задержек транспортных средств на исследованных
пересечениях в пиковые часы, руб./ч на 1 человека

№ п/п	Название перекрестка	Экономические потери, руб./ч	
		Прямое направление	Обратное направление
1	ул. Ст. Разина	105,83	-
	ул. Кутякова	92,72	67,98
2	ул. Астраханская	81,43	94,95
	ул. Кутякова	85,74	96,37
3	ул. Кутякова	83,98	117,19
	ул. М. Горького	118,95	-
4	ул. Кутякова	85,81	81,74
	ул. Радищева	101,27	85,18
5	ул. Московская	92,58	89,34
	ул. Рахова	86,35	87,07
6	ул. Московская	88,47	71,04
	ул. Чапаева	84,67	85,24
7	ул. Астраханская	81,43	84,16
	ул. Б. Казачья	72,45	-
8	ул. Астраханская	97,1	85,8
	ул. Вавилова	99,08	92,98
9	ул. Рахова	119,27	107,41
	ул. Советская	92,84	77,76
10	ул. Рахова	99,72	92,82
	ул. Мичурина	87,28	-
11	ул. Университетская	111,85	-
	ул. Слонова	74,91	118,94

Статистические данные по степенной регрессии r_R

№ п/п	Название перекрестка	Множественный R	R-квадрат	Нормированный R-квадрат	Стандартная ошибка
1	ул. Ст. Разина ул. Кутякова	0,885	0,839	0,786	0,051
2	ул. Астраханская ул. Кутякова	0,927	0,899	0,807	0,04
3	ул. Кутякова ул. М. Горького	0,837	0,803	0,783	0,045
4	ул. Кутякова ул. Радищева	0,898	0,852	0,794	0,047
5	ул. Московская ул. Рахова	0,914	0,894	0,82	0,039
6	ул. Московская ул. Чапаева	0,874	0,805	0,598	0,048
7	ул. Астраханская ул. Б. Казачья	0,894	0,817	0,638	0,046
8	ул. Астраханская ул. Вавилова	0,781	0,754	0,542	0,068
9	ул. Рахова ул. Советская	0,842	0,724	0,694	0,062
10	ул. Рахова ул. Мичурина	0,985	0,97	0,955	0,036
11	ул. Университетская/ ул. Слонова	0,844	0,713	0,427	0,058



МВД РОССИИ
ГУ МВД РОССИИ ПО САРАТОВСКОЙ
ОБЛАСТИ
УПРАВЛЕНИЕ ГОСУДАРСТВЕННОЙ
ИНСПЕКЦИИ БЕЗОПАСНОСТИ
ДОРОЖНОГО ДВИЖЕНИЯ

410038, г. Саратов,
6-ой Соколовогорский проезд, б/н

18.05.2019. № 34/А-418

АКТ

**о внедрении результатов диссертационного исследования
Исаевой Екатерины Игоревны
«ПОВЫШЕНИЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ
АВТОМОБИЛЕЙ С УЧЕТОМ ВЕРОЯТНОСТИ ВОЗНИКНОВЕНИЯ
ТРАНСПОРТНЫХ ЗАТОРОВ»**

на соискание ученой степени кандидата технических наук
в Управлении ГИБДД ГУ МВД России по Саратовской области

Настоящим актом удостоверяем, что результаты диссертационного исследования Исаевой Е.И. используются в качестве превентивных мер по снижению количества ДТП, происходящих в связи с превышением транспортной нагрузки на участках улично-дорожной сети.

В том числе, при организации дорожного движения с учетом риска возникновения транспортных заторов на УДС и разработке прогнозов влияния управленческих воздействий на безопасность дорожного движения.

В целом, разработки и рекомендации, представленные в диссертационной работе Исаевой Е.И. имеют практическую ценность для повышения эффективности работы органов местного самоуправления в сфере организации дорожного движения.

Акт составлен для предоставления в объединенный диссертационный совет Д 999.111.03 на базе ФГБОУ ВО «Орловский государственный университет имени И.С. Тургенева», ФГБОУ ВО «Липецкий государственный технический университет», ФГБОУ ВО «Тульский государственный университет»

Начальник УГИБДД ГУ МВД России
по Саратовской области,
полковник полиции



Рогов П.А.

ПРИЛОЖЕНИЕ К

«УТВЕРЖДАЮ»

Исполнительный директор

ОАО «Центральная

диспетчерская служба»

г. Саратов

В.В. Петров



АКТ

о внедрении результатов диссертационного исследования

Исаевой Екатерины Игоревны

**«ПОВЫШЕНИЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ
АВТОМОБИЛЕЙ С УЧЕТОМ ВЕРОЯТНОСТИ ВОЗНИКНОВЕНИЯ
ТРАНСПОРТНЫХ ЗАТОРОВ»**на соискание ученой степени кандидата технических наук
в ОАО «Центральная диспетчерская служба» г. Саратова

Настоящий акт составлен в том, что рекомендации диссертационной работы позволили определить риск возникновения транспортных заторов на различных участках транспортной сети с учетом параметров транспортного потока и параметров УДС.

На основе данного исследования было проведено ранжирование уровней адаптации транспортного потока на различных участках транспортной сети города для формирования объездных маршрутов доставки грузов и пассажиров, с учетом вероятности возникновения заторов на УДС. При этом достигается своевременная доставка грузов, разгрузка транспортной сети путем перераспределения транспортного потока, а также повышается эффективная доля использования времени в наряде.

Акт составлен для предоставления в объединенный диссертационный совет Д 999.111.03 на базе ФГБОУ ВО «Орловский государственный университет имени И.С. Тургенева», ФГБОУ ВО «Липецкий государственный технический университет», ФГБОУ ВО «Тульский государственный университет»

ПРИЛОЖЕНИЕ Л

«УТВЕРЖДАЮ»

Генеральный директор АО «Саратовское
грузовое автотранспортное
предприятие № 6»

С.Н. Кирясов



АКТ

**о внедрении результатов диссертационного исследования
Исаевой Екатерины Игоревны
«ПОВЫШЕНИЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ
АВТОМОБИЛЕЙ С УЧЕТОМ ВЕРОЯТНОСТИ ВОЗНИКНОВЕНИЯ
ТРАНСПОРТНЫХ ЗАТОРОВ»**

на соискание ученой степени кандидата технических наук
в АО «Саратовское грузовое автотранспортное предприятие №6»

АО СГАТП №6 настоящим актом удостоверяет, что результаты диссертационного исследования использованы для повышения эффективности работы грузовых автомобилей. При совершенствовании перевозочного процесса использовались данные исследования с целью прогнозирования вероятности возникновения транспортных заторов на транспортной сети в зависимости от параметров дороги. Это позволяет назначать маршрут движения автомобилей, исключая простои в транспортных заторах, при этом максимально сокращать время доставки грузов.

В целом разработки и рекомендации, представленные в диссертационной работе Исаевой Екатерины Игоревны, имеют практическую ценность для повышения эффективности использования автомобилей с учетом вероятности возникновения транспортных заторов.

Акт составлен для предоставления в объединенный диссертационный совет Д 999.111.03 на базе ФГБОУ ВО «Орловский государственный университет имени И.С. Тургенева», ФГБОУ ВО «Липецкий государственный технический университет», ФГБОУ ВО «Тульский государственный университет»



МИНОБРНАУКИ РОССИИ
Федеральное государственное
бюджетное образовательное
учреждение высшего образования
«Саратовский государственный
технический университет
имени Гагарина Ю.А.»
(СГТУ имени Гагарина Ю.А.)

ул. Политехническая, 77, г. Саратов, 410054
Телефоны: (8452) 99-88-11;
факс (8452) 99-88-10;
(8452) 99-86-03; факс (8452) 99-86-04
E-mail: sstu_office@sstu.ru

№ _____

На № _____

СПРАВКА

об использовании результатов кандидатской диссертационной работы
Исаевой Екатерины Игоревны
«Повышение эффективности использования автомобилей с учетом
вероятности возникновения транспортных заторов»

Результаты диссертационного исследования Исаевой Екатерины Игоревны используются в учебном процессе Саратовского государственного технического университета им. Ю.А. Гагарина на кафедре «Организация перевозок, безопасность движения и сервис автомобилей».

В частности, материалы диссертационной работы используются при подготовке бакалавров и магистров по направлению «Технология транспортных процессов», по профилям «Организация перевозок и управления на транспорте» и «Организация и безопасность движения», в ряде дисциплин, связанных с организацией перевозочного процесса и организацией дорожного движения.

Кроме того, разработки и рекомендации данного исследования, используются при выполнении выпускных квалификационных работ.

Проректор по учебной работе



Г.В. Лобачева