**ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ БЮДЖЕТНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ НАУКИ
ИНСТИТУТ ПРОБЛЕМ ТРАНСПОРТА ИМ. Н.С. СОЛОМЕНКО
РОССИЙСКОЙ АКАДЕМИИ НАУК**

На правах рукописи

СЕЛИВЕРСТОВ Святослав Александрович

МЕТОДЫ ОРГАНИЗАЦИИ И АНАЛИЗА ТРАНСПОРТНОЙ СИСТЕМЫ МЕГАПОЛИСА С МИНИМИЗАЦИЕЙ УРОВНЯ КОНФЛИКТНОСТИ ДОРОЖНЫХ СИТУАЦИЙ

Специальность:
05.22.01 – Транспортные и транспортно-технологические системы страны, ее регионов и городов, организация производства на транспорте

Диссертация на соискание ученой степени кандидата технических наук

Научный руководитель

д.т.н., доцент Стариченков Алексей Леонидович

Санкт-Петербург – 2016

ОГЛАВЛЕНИЕ

ВВЕДЕНИЕ…….... 5
ГЛАВА 1. АНАЛИЗ ПРЕДМЕТНОЙ ОБЛАСТИ ..……. 13
1.1. Анализ области исследования транспортных конфликтов….. 13
1.2. Обзор методов анализа транспортных конфликтов……..... 37
1.2.1. Метод Рейнгольда…….……..... 38
1.2.2. Метод конфликтных точек (метод Раппопорта)…….... 38
1.2.3. Метод оценки конфликтных точек по десятибалльной системе…….. 42
1.2.4. Метод оценки показателя конфликтности (метод Шнабеля-Лозе)...…….... 43
1.2.5. Метод оценки опасности конфликтной точки.…… 44
1.2.6. Метод конфликтных ситуаций……...…… 46
1.2.7. Метод оценки аварийности……..…...…… 47
1.2.8. Метод коэффициентов безопасности……...…..… 48
1.2.9. Метод коэффициентов аварийности…….……...…..… 48
1.3. Обзор развития интеллектуальных транспортных систем……. 49
1.4. Анализ перечня показателей транспортной обеспеченности..... 53
1.5. Постановка задачи исследования..... 66
Выводы по главе 1……..……... 68
ГЛАВА 2. РАЗРАБОТКА МЕТОДА ОРГАНИЗАЦИИ БЕСКОНФЛИКТНОГО НЕПРЕРЫВНОГО ПРОЦЕССА ДВИЖЕНИЯ ТРАНСПОРТА 70
2.1. Разработка системы классификации транспортных конфликтов. Формализация бесконфликтности процесса движения транспорта…… 70
2.2. Формализация аксиоматики непрерывного процесса

движения транспорта…… 77
2.3. Построение и организация транспортно-коммуникационной системы ……..... 83
2.3.1. Схема организации транспортно-коммуникационной системы …….. 83
2.3.2. Принцип построения и организации коммуникации движения……. 84
2.3.3. Принцип построения и организации коннект коммуникации……..……...……...…… 86
2.3.4. Принцип построения и организации коммуникации хранения…….. 88
2.3.5. Принцип построения и организации коммуникации смены направления движения…….. 89
2.3.6. Принцип построения внутренней структуры транспортно-коммуникационного распределительного узла……..... 91
2.4.Разработка метода организации бесконфликтного непрерывного процесса движения транспорта……. 93
Выводы по главе 2……..……... 100
ГЛАВА 3. РАЗРАБОТКА СИСТЕМЫ ОРГАНИЗАЦИИ И РАЗВИТИЯ ТРАНСПОРТНОЙ СИСТЕМЫ МЕГАПОЛИСА…… 101
3.1. Архитектура системы организации и развития транспортной системы мегаполиса……. 101
3.2. Описание внешней структуры системы организации и развития транспортной системы мегаполиса……. 103
3.3. Описание внутренней структуры системы организации и развития транспортной системы мегаполиса……. 105
Выводы по главе 3……..……... 123

ГЛАВА 4. МЕТОД АНАЛИЗА ТРАНСПОРТНОЙ ОБЕСПЕЧЕННОСТИ МЕГАПОЛИСА……. 125

4.1. Формирование перечня показателей транспортной обеспеченности мегаполиса…… 125

4.2. Формализация базового городского квартала как сборочной единицы городской среды…… 139

4.3. Разработка метода анализа транспортной обеспеченности мегаполиса…… 142

Выводы по главе 4…….……...…… 151

ЗАКЛЮЧЕНИЕ……....……. 153

СПИСОК СОКРАЩЕНИЙ И УСЛОВНЫХ ОБОЗНАЧЕНИЙ……... 158

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ……..... 160

Приложение А. Методы анализа конфликтов дорожного движения..... 184

А1. Метод дженерал моторс……..... 184

А2. Голландский объективный метод анализа конфликтов дорожного движения..... 203

Приложение Б. Пример анализа участка улично-дорожной сети методом аксиоматической организации…… 212

Приложение В. Пример работы реляционного регулятора согласования…… 215

Приложение Г. Пример работы метода анализа транспортной обеспеченности мегаполиса…….. 223

ВВЕДЕНИЕ

Актуальность темы исследования и степень ее разработанности. Развитие в городах социально-экономических процессов таких как: разнообразие форм занятости, территориальное разделение труда, интенсификация социально-пространственных связей, расширение потребительского рынка, сфер здравоохранения и образования, и увеличение скорости их изменения, а так же усложнение многоотраслевой системы городской хозяйственной деятельности стало причиной ускоренного увеличения численности их населения. В период 2010–2014 годов численность городского населения, в мировом масштабе, ежегодно увеличивалась в среднем на 1,2%. По данным отчета «Мировые перспективы урбанизации: пересмотренное издание 2014 года» подготовленного отделом народонаселения департамента Организации объединенных наций (ООН), сегодня в городах проживает более 50% населения Земли - 3,9 млрд. человек, а к 2050 году это число превысит отметку 6 млрд. человек. Для России, по данным переписи на 2014 год величина населения проживающего в городах достигла 74,03%, а к 2030 году по данным Всемирного банка превысит размер 80%. Таким образом, стремительное увеличение численности населения в городах и усложнение их социально-экономических систем обуславливает переход города к более сложной форме расселения – мегаполису. В терминологии ООН, мегалополисом называют образование с населением не менее 5 млн. жителей [1]. К последнему можно причислить такие города как Санкт-Петербург, Москва, Нью-Йорк и Токио и другие.

Процессы урбанизации мегаполисов оказывают существенное влияние на качество функционированиия их транспортных систем (ТС). Затрагивают факторы устойчивого роста мобильности городского населения, спроса на перевозки и доступности транспортных услуг для всех групп населения, поэтому обеспечение устойчивого развития транспортной системы мегаполиса (ТСМ) является серьезной научной задачей, актуальность

которой отмечается в Транспортной стратегии Российской Федерации на период до 2030 года, стратегии социально-экономического развития Российской Федерации до 2020 года, а так же в первой, второй и третьей задачах Транспортной стратегии Санкт-Петербурга до 2025года.

Недостаточное развитие принципов организации транспортных систем современных мегаполисов (таких как Санкт-Петербург и Москва) при увеличении индивидуальных автомобильных транспортных средств стало причиной роста плотности и интенсивности транспортных потоков. Последнее негативно отразилось на пропускной способности улично-дорожных сетей (УДС), явилось причиной их перегруженности и привело к снижению скорости городского сообщения индивидуального и пассажирского видов транспорта и росту дорожно-транспортных происшествий (ДТП). Итог – снижение эффективности ТС, качества удовлетворения транспортных услуг и экологической ситуации в мегаполисе.

Решение столь сложных задач предлагается искать в совершенствовании методов организации и анализа транспортных систем современных мегаполисов с учетом снижения транспортных конфликтов (ТК) на УДС и повышения эффективности процесса движения транспорта (ПДТ).

Над развитием методов организация и анализа ТСМ работают множество отечественных и зарубежных ученых транспортников.

Фундаментальными проблемами организации и развития городских транспортных систем (ГТС) занимались И.Я. Аксенов [2, 3] О.В. Белый [15-21], В.Г. Галабурда [33-35], А.Э. Горев [40-42], О.Г. Кокаев [63, 111], И.В. Кочетов [67], Е.М. Лобанов [77], С.А. Попов [96], В.А. Персианов [90, 91], С.М. Резер [101], Э.А. Сафронов [104, 105], В.В Сильянов [123], С.А. Тархов [133-136], Н.А. Троицкая [137], М.С. Фишельсон [141], М.Р. Якимов [151, 152, 154, 155]. Проблемы организации дорожного движения в городах отражены в работах Л.Л. Афанасьева [5,60], В.Ф. Бобкова [7-11], С.А. Ваксмана [25], Ю.А. Врубеля [32], О.Е. Губенкова

[45], В.В. Зырянова [53], В.Т. Капитанова [57], Г.И. Клинковштейна [60, 126], Л.Н. Коротаева [65], П.А. Кравченко [68-70], Е.М. Лобанова [78], Н.В. Пеньшина [89], И.Н. Пугачева [98-100],С.И. Смирнова [126], В.В. Столярова [132].

Проблемами устранения транспортных конфликтов в транспортных сетях занимались В.Ф. Бабков [7, 8], Г.И. Клинковштейн [60], П.А. Кравченко [68, 70], Е.М. Лобанов [78], А.М. Плотников [93], А.А. Рыбальченко [122], Д.С. Самойлов [149], В.М. Сиденко [122], М.С. Фишельсон [141], В.А. Юдин [149], а так же зарубежные ученые - В.А. Гютингер [172], Л.Е. Кинг [163], Дж. Край [178, 185, 186], Р.Е. Кэмпбелл [163], Р. Макфарланд. [190], А.Л. Мозли [190], С. Оппе [185, 198, 199], С.Р. Перкинс [201-203], А. Свенссон [187, 214], Б.Р. Спайсер [211, 212], Т.В. Форбс [170], Дж. И. Харрис [201, 203], Дж.Ч. Хейворд [173, 174], Хорст А.Р.А. Ван дер [175, 176, 177, 178, 185].

Решение проблем управления городскими транспортными и транспортно-логистическими системами в рамках системного анализа представлено в работах Л.Л. Афанасьева [6], Н.П. Бусленко [24], Т.П. Воскресенской [30, 31], А.Э. Горева [38, 39], О.Н. Ларина [73, 74, 75, 84], В.С. Лукинского [79,80], Л.Б. Миротина [84], В.В. Щербакова [148]. Транспортно-экологические проблемы раскрыты в трудах Л.Д. Бариновой [12, 13, 14], М.В. Графкина [43, 44], Л.Э. Забалканской [12, 13, 14, 47, 48], Е.И.Павловой [87], С.М. Резера [102].

Математические методы оптимизации ГТС были проработаны в трудах П.П. Бобрика [22], А.В. Гасникова [36, 142], В.В Захарова [50, 51, 52], В.В. Зырянова [53], В.Т. Капитанова [56], Ю.Г. Карпова [58], Ю.А. Кременца [71], Е.А. Нурминского [85], В.А. Паршикова [88], М.П. Печерского [92], Г.А. Полякова [94,95], Я.В. Хомяка [143], Я.А Холодова [142], Н.Б Шамрай [85], В.И. Швецова [147], М.Р. Якимова [153], и других. Вопросы безопасности транспортных систем рассмотрены в трудах Л.С. Абрамова [1], В.Ф. Бобкова [7, 8], П.А. Кравченко [70,71], И.Г. Малыгина [82],

М.Л. Маринова [83], А.И. Рябчинского [103], А.Л. Стариченкова [124, 125, 129, 130, 131], Н.В. Шаталовой [145, 146]. Развитию процессов построения интеллектуальных транспортных систем (ИТС) посвящены труды О.В. Белого [20], А.П. Буслаева [23], В.И. Васильева [26], Б.Г. Ильясова [26], И.В. Кабашкина [55], О.Г. Кокаева [63], О.Ю. Лукомской [63], И.Н. Пугачёва [98], Я.А. Селиверстова [119], К.В. Аххаусена [162], М. Батты [162], Жанг Хыонга [223], И. Катлинга [192], К. Кеена [184], Б. Маккуина [192], Е. Морфи [184], Г. Новацкого [196], Хао Шенга [223].

Основу организации ГТС определяет конфигурация УДС с учетом ее пропускной способности и сложности пересечений, а так же с учетом расположения основных фокусов тяготения транспортных потоков и количества связей между ними.

Повышение качества функционирования ГТС в границах направленного развития возможно при условии:

а) технологий интеллектуализации ее транспортной инфраструктуры, функциональные области которой, затрагивают процессы управления: дорожным движением и транспортными средствами;

б) технологий транспортного моделирования, позволяющих отображать реальные транспортные процессы, производить вычисление транспортных потоков и загрузку элементов УДС с целью перераспределения транспортных потоков на ее особо загруженных участках;

с) методов проектирования узловых пунктов УДС, включая планировочные характеристики, пропускную способность, организацию движения транспорта и пешеходов и степень конфликтности узла;

д) развития существующих и новых видов городского пассажирского и индивидуального транспорта с целью осуществления качественных пассажироперевозок и удовлетворения транспортного спроса;

е) методов анализа эффективности функционирования ГТС.

Однако, в условиях роста крупных городов с повышением плотности застройки и уровня автомобилизации, непроработанными остаются задачи анализа ТК и совершенствования методов их разрешения, не решены задачи интеллектуального управления процессом пространственного развития и организации транспортных сетей мегаполиса, а так же требуют совершенствования методы анализа эффективности ТСМ.

Таким образом, в настоящее время существует актуальная научная задача разработки методов организации и анализа городской транспортной системы.

Объект исследования – транспортная система мегаполиса.

Предмет исследования – методы организации и анализа городских транспортных систем, методы анализа транспортных конфликтов в городской транспортной системе.

Цель исследования состоит в решении задачи повышения качества организации ГТС в условиях пространственного дефицита за счет разработки новых и совершенствования существующих методов организации и анализа транспортной системы мегаполиса.

Для достижения поставленной цели решены следующие **основные задачи**:

1. Исследование методов анализа транспортных конфликтов;
2. Анализ показателей транспортной обеспеченности мегаполиса;
3. Анализ процесса развития интеллектуальных транспортных систем;
4. Разработка системы классификации транспортных конфликтов;
5. Разработка аксиоматики непрерывного процесса движения транспорта;
6. Разработка метода организации бесконфликтного непрерывного процесса движения транспорта;
7. Разработка системы организации и развития транспортной системы мегаполиса;

8. Разработка метода анализа транспортной обеспеченности мегаполиса;

Теоретико-методологические основы исследования. Теоретико-методологической основой исследования послужили отечественные и зарубежные труды в области организации и развития транспортных систем городов, методы анализа эффективности процесса организации городских и региональных транспортных систем; методы исследования и анализа транспортных конфликтов, а так же монографии, публикации в периодических изданиях и материалах научно-практических конференций. В качестве основных методов исследования были использованы: метод системного анализа, методы и алгоритмы реляционной алгебры, методы дискретной алгебры и теории чисел.

Результатами диссертационного исследования, выносимыми на защиту, являются:

1. Система классификации транспортных конфликтов;
2. Метод организации бесконфликтного непрерывного процесса движения транспорта;
3. Внешняя и внутренняя структура системы организации и развития транспортной системы мегаполиса;
4. Метод анализа транспортной обеспеченности мегаполиса.

Научная новизна результатов работы.

Новизна первого научного результата заключается в том, что предложена система классификация транспортных конфликтов, позволяющая, в отличие от существующих, фиксировать транспортные конфликты по видам транспорта и видам транспортных коммуникаций.

Новизна второго научного результата заключается в том, что предложен метод организации бесконфликтного непрерывного процесса движения транспорта, позволяющий, в отличие от существующих, реализовать подход распараллеливания транспортных потоков по видам подвижных транспортных объектов, их состояниям, условиям организации

движения, а так же по видам транспортных коммуникаций и структуре их взаимодействия.

Новизна третьего научного результата заключается в том, что разработана внешняя и внутренняя структура системы организации и развития транспортной системы мегаполиса, позволяющая, в отличие от существующих, реализовать процесс управления организацией и развитием системы транспорт-мегаполис-пользователь, выходящий за рамки показателей коммуникационной эффективности.

Новизна четвертого научного результата заключается в том, что разработан метод анализа транспортной обеспеченности мегаполиса, позволяющий, в отличие от существующих решений, производить оценку структурно-функциональной организации транспортной системы мегаполиса.

Практическая значимость работы и полученных результатов определяется необходимостью перехода транспортной системы мегаполиса на новый уровень организации. Внедрение разработанных методов и подходов анализа и организации в систему городского транспортного управления и транспортную инфраструктуру позволит повысить эффективность улично-дорожной сети, а так же индивидуальных, пассажирских, грузовых и специальных перевозок, безопасность дорожного движения и экологическую ситуацию в мегаполисе.

Достоверность основных положений исследования, обеспечена корректной постановкой задач, обобщением существующих информационных источников, применением системного подхода при анализе предметной области, корректным использованием современных расчетных методов и согласованностью полученных результатов с результатами работ других исследователей. Достоверность научных результатов подтверждается апробацией основных положений диссертации.

Обоснованность научных результатов определяется строгой аргументацией разработанных методов и подходов, доказательным и корректным использованием апробированных методов исследования.

Реализация. В рамках диссертационного исследования был выполнен научно-исследовательский проект «Разработка системы анализа и развития транспортных процессов в городских транспортных сетях». Научное направление: Транспорт. Диплом: серия ПСП №13413. Проект стал лауреатом конкурсного отбора среди молодых ученых, молодых кандидатов наук вузов и академических институтов, расположенных на территории Санкт-Петербурга в 2013 году и был поддержан Комитетом по науке и высшей школе Правительства Санкт-Петербурга.

Внедрение результатов работы

Результаты диссертационного исследования были использованы ФГБУН Институтом проблем транспорта им. Н.С. Соломенко Российской академии наук (ИПТ РАН) при выполнении следующих государственных научно- исследовательских работ 2011-2015 годах:

1. «Разработка методологии имитационного моделирования процесса интегрального обслуживания мультимодальных транспортных потоков», № гос. регистрации: 1-121-09;

2. Разработка научных основ построения интеллектуальных транспортных систем на примере мегаполиса», № гос. регистрации: 114080450059;

Публикации. По теме диссертации опубликовано 12 печатных работ, в том числе 7 статей в ведущих рецензируемых журналах и изданиях перечня ВАК, 5 публикаций в материалах научных конференций, научных журналах и сборниках научных трудов.

Структура и объем работы. Диссертация состоит из введения, 4 глав, заключения, списка сокращений и обозначений, списка литературы, включающего 224 источника и приложения. Общий объем работы 227 страниц, 79 рисуноков, 21 таблица.

ГЛАВА I
АНАЛИЗ ПРЕДМЕТНОЙ ОБЛАСТИ

1.1 Анализ области исследования транспортных конфликтов

Первые методы определения приемлемого уровня безопасности дорожного движения включали простые техники наблюдения таких дорожных транспортных ситуаций как «неустойчивое вождение», «опасные маневры» и «опасные сближения» [219].

Данные методы (техники) были впервые формализованы Р. Макфарландом и А.Л. Мозли [190], которые экспериментально исследовали «опасные сближения» транспортных средств (междугородних автобусов и грузовиков) расцениваемые как чрезвычайные ситуации или критические инциденты, которые потенциально могут привести к аварии и ДТП.

Позднее Т.В. Форбсом [170] на основании собранных данных по ДТП, произошедших по причине «опасных сближений», были выявлены причинно-следственные связи между поведением транспортного средства и потенциальной опасностью возникновения аварии.

Только в 1966 году, по данным [191, 219] была предпринята попытка сделать запись «опасных сближений» между транспортными средствами (последние описаны как транспортные конфликты[1]). Два инженера компании «Дженерал Моторс» С.Р. Перкинс и Дж.И. Харрис в ходе разработки техники наблюдения для ответа на вопрос: «..были ли автомобили компании «Дженерал Моторс» относительно менее вовлечены в небезопасные транспортные ситуации, чем автомобили других изготовителей?.», исследовали движение на перекрестках. С.Р. Перкинсом и Дж.И. Харрисом было установлено, что большинство водителей реагируют на потенциальные конфликтные ситуации действием торможения или уклонением [203]. По

[1] *traffic conflict*

существу эти ТК определялись возникновением вынужденных маневров транспортного средства (торможение, уклон, поворот, ускорение и др.), позволяющих избежать ДТП или нарушение правил дорожного движения.

С.Р. Перкинс и Дж.И. Харрис [201, 203] определили понятие транспортный конфликт как любую потенциально аварийную ситуацию, приводящую к совершению «уклончивых» действий, таких как торможение или сворачивание и подразделили конфликты на две категории: 1) внезапные (неожиданные) действия участников дорожного движения, совершаемые чтобы избежать столкновения; 2) нарушение правил дорожного движения.

С.Р. Перкинс и Дж.И. Харрис в своих работах [201, 202] выделяют пять классов транспортных конфликтов: I – конфликты при повороте налево (рисунок 1.1); II – конфликты при смене полосы движения (рисунок 1.2); III – конфликты при пересечении движения (рисунок 1.3); IV – конфликты при движении на желтый сигнал светофора (рисунок 1.4); V – конфликты при опасности заднего столкновения (рисунок 1.5);

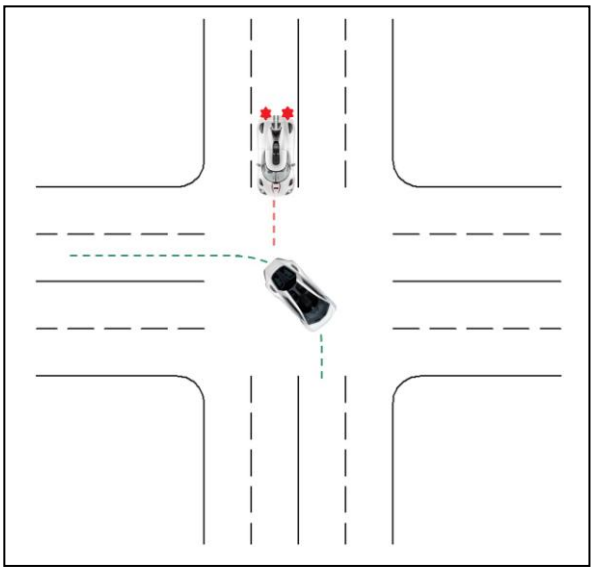


Рисунок 1.1 – Конфликт при левом повороте

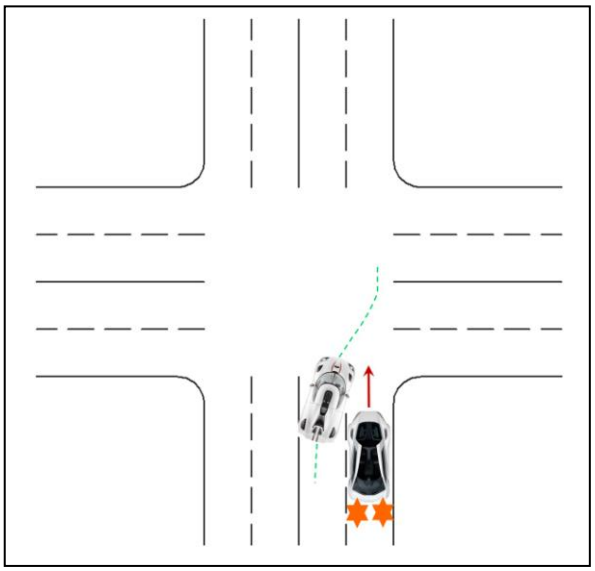


Рисунок 1.2 – Конфликт при смене полосы движения

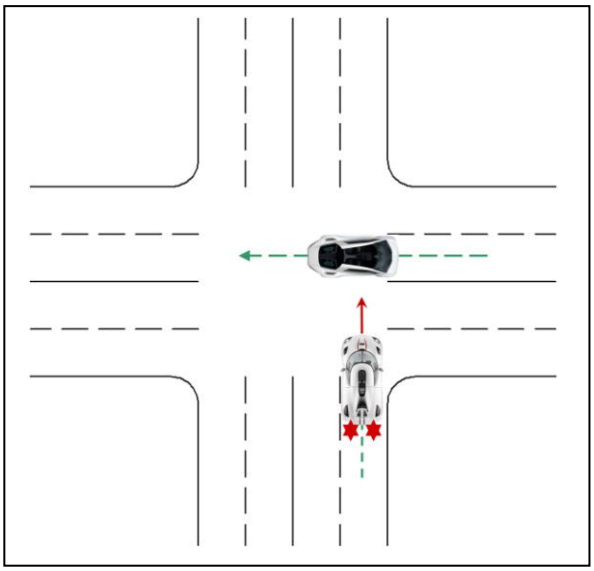


Рисунок 1.3 – Конфликт при пересечении движения

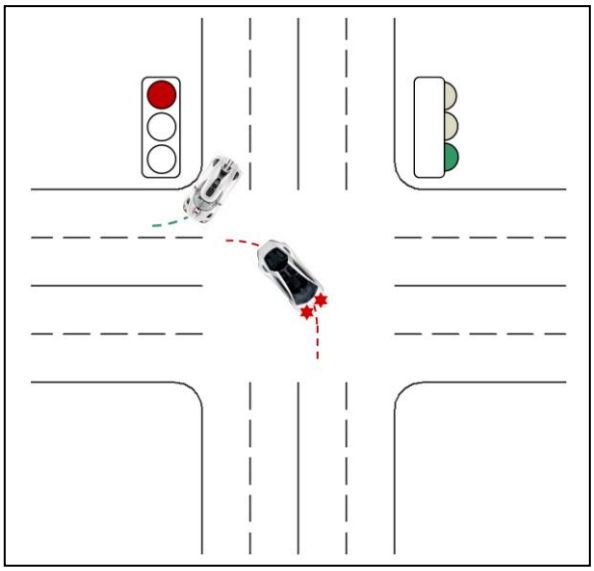


Рисунок 1.4 – Конфликт при движении на желтый свет

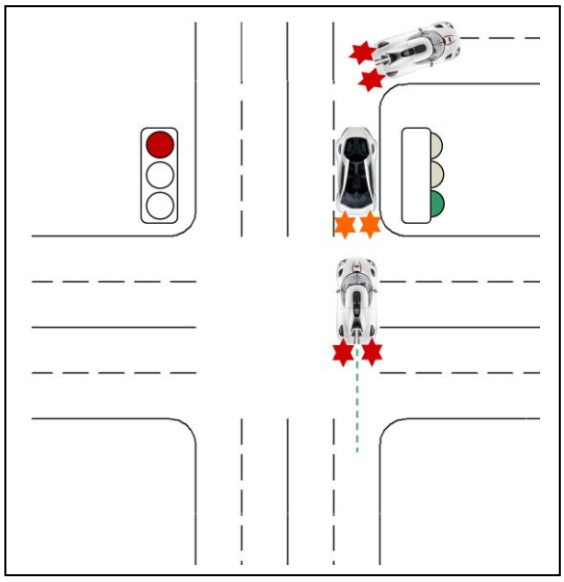


Рисунок 1.5 – Конфликты при опасности заднего столкновения

Объективным маркером (свидетельством) транспортного конфликта был световой сигнал торможения или изменения полосы движения, произведенный «конфликтующим» транспортным средством. Данная техника исследования транспортных конфликтов [222] получила название «метод Дженерал Моторс».

Сильная сторона «метода Дженерал Моторс» заключалась в простоте его применения (более подробно «метод Дженерал Моторс» рассмотрен в приложении А диссертации).

С.Р. Перкинс и Дж.И. Харрис на основании исследования табличных схем сделали вывод [202] о том, что высокая частота аварий всегда связанна с высокой частотой транспортных конфликтов, однако, ввиду того, что данные об авариях были собраны только за один год, статистический анализ, достоверно подтверждающий корреляцию между ними проведен не был.

Вскоре после этого, Р.Е. Кэмпбелл и Л.Е. Кинг [163] используя «технику Дженерал Моторс» и тот же тип конфликтов пришили к почти аналогичным выводам. Разница состояла лишь в том, что они собрали данные об авариях за два года, и, применив метод ранговой корреляции Спирмена, получили результат, утверждающий, что величина транспортных конфликтов на количество транспортных средств и ДТП на количество транспортных средств коррелируют между собой, однако эта корреляция не была очень высокой.

Позднее В.Т. Бейкер исследуя результаты проекта, проводимого Федеральной дорожной администрацией США [161], нашел взаимосвязь между авариями и транспортными конфликтами на регулируемых и не регулируемых перекрестках. Согласно Бейкеру, эта техника конфликта была лучше применима на перекрестках с низкими объемами трафика и также на других участках транспортной сети.

В 1971 году техника исследования транспортных конфликтов С.Р. Перкинса и Дж.И. Харриса была усовершенствованна Б.Р. Спайсером для использования в Великобритании. Б.Р. Спайсером [211] были измерены все транспортные конфликты, в которых внезапная реакция участников дорожного движения (водителей) выражалась совершением действия торможения или отклонением с линии движения, чтобы избежать столкновения. Такое простое определение конфликта существенно не коррелировалось со столкновениями. Следующий шаг состоял в выделении пяти классов тяжести транспортных конфликтов, чтобы сделать ясное различие между серьезными и (менее серьезными) конфликтами (таблица 1.1).

Таблица 1.1 – Классификация конфликтов по степени тяжести (согласно [211])

Степень тяжести конфликта	Класс	Определение
Легкий	1	Предупредительное торможение или перестроение на другую полосу или другое упреждающее торможение или перестроение на другую полосу с низкой вероятностью столкновения.
	2	Контролируемое торможение или контролируемое перестроение на другую полосу, чтобы избежать столкновения с небольшим временем маневрирования.
Серьезный	3	Резкое торможение, быстрое перестроение на другую полосу или резкая остановка, чтобы избежать столкновения, приводящее почти к аварии (нет никакого времени для контролируемых маневров).
	4	Экстренное торможение или сильный занос, в результате чего происходит очень опасное сближение или небольшое столкновение.
	5	Экстренное действие, сопровождаемое столкновением.

Значение оценки корреляции между столкновением и серьезным конфликтом измерялось в зависимости от времени суток и места на дороге и оказалось отличным от нуля. В последующих работах Б.Р. Спайсер [213] подтвердил более ранние результаты своего исследования [211], и, кроме того, нашел более сильную корреляцию между конфликтами и несчастными случаями, поскольку объемы трафика увеличились.

В 1973 Б.Р. Спайсер повторил исследование 1971 года, добавив данные еще с пяти перекрестков [212]. В результате исследования была найдена корреляция между конфликтами и несчастными случаями, включая различие между маневрами отклонения транспортных средств и их расположением на дороге. Таким образом, Б.Р. Спайсер пришел к заключению, что результаты исследования оправдывают использование его метода для определения безопасности перекрестков.

Позднее классификация тяжести транспортных конфликтов была пересмотрена [186, 215], чтобы облегчить трудности наблюдателей, при оценки тех конфликтов, серьезность которых, была выше, чем класс 2, но не была достаточно серьезной, чтобы соответствовать точному определению класса 3.

Таким образом, в класс серьезных конфликтов был введен класс - 2+, не смотря на то, что его толкование было сложным (таблица 1.2).

Позднее в 1977 году на первой Международной конференции по транспортным конфликтам в Осло [206] была принята общая договоренность о толковании определения «транспортного конфликта». После проверки было установлено, что не все существующие классы транспортных конфликтов удовлетворяют этому определению. Кроме того, число этих наблюдаемых транспортных конфликтов показало низкую корреляцию с числом несчастных случаев. По этим причинам, транспортный конфликт Класса 1 был отменен после 1979 года. Это позволило пересмотреть существующие классы тяжести транспортных конфликтов, показанные в таблице 1.2.

Таблица 1.2 – Классификация конфликтов по степени тяжести (согласно [186, 215])

Степень тяжести конфликта	Класс (1971)	Описание	Модифицированный класс	
			1977	1979
Легкий	1	Предупредительное торможение или перестроение на другую полосу или другое упреждающее торможение или перестроение на другую полосу с низкой вероятностью столкновения.	1	-
	2	Контролируемое торможение или контролируемое перестроение на другую полосу, чтобы избежать столкновения с небольшим временем маневрирования.	2	1
Серьезный	-	Торможение или смена полосы движения для того чтобы избежать столкновения. Запас времени для маневра уклонения меньше чем для легкого конфликта.	2+	2
	3	Резкое торможение, быстрое перестроение на другую полосу или резкая остановка, чтобы избежать столкновения, приводящее почти к аварии.	3	3

Таблица 1.2 – Классификация конфликтов по степени тяжести (согласно [186, 215]) (продолжение)

Степень тяжести конфликта	Класс (1971)	Описание	Модифицированный класс	
			1977	1979
		Нет запаса времени для контролируемых маневров.		
	4	Экстренное торможение или сильный занос, в результате чего происходи очень опасное сближение или небольшое столкновение.	4	4
	5	Экстренное действие, сопровождаемое столкновением	5	5

Продолжая исследования существования взаимосвязи между транспортными конфликтами и авариями «техникой Дженерал Моторс» Р.Д. Паддок [200] расширил базу данных, используемую в Огайо В.Т. Бейкером [161]. В своей работе он пришел к следующим выводам:

1. серьезные транспортные конфликты коррелируются с несчастными случаями;

2. проблемы безопасности дорожного движения на перекрестках могут быть обнаружены быстро и достоверно;

3. «техника Дженерал Моторс» показывает лучшие результаты на УДС с низким объемом трафика.

Наравне с американскими и английскими учеными исследования в области транспортных конфликтов велись и в Швеции. Планфорская рабочая группа в 1972 году разработала и испытала в городе Уппсала собственный метод [185, 205]. Основная идея этого метода состояла в том, что риск

персональной аварии мог быть описан как соотношение между числом участников транспортного потока и количеством участников, которые в настоящее время вовлечены в серьезную конфликтную ситуацию. Риск аварии изменяется в зависимости от условий дорожного движения, дорожной ситуации и транспортных средств. Вместе эти элементы образуют класс конфликта.

Для описания опасности транспортной конфликтной ситуации Дж.Ч. Хейворд [173, 174] предложил ввести меру «*time-measured-to-collision»* (*tmtc* или *ttc*), которая означает «*измеряемое время до столкновения*» или «*время до столкновения*» (ВДС). Эта мера представляет собой время, необходимое для двух транспортных средств, чтобы столкнуться, если они продолжают следовать без изменения скорости движения и траектории.

Для транспортных средств, движение которых осуществляется в одном и том же направлении, ВДС согласно [165] определяется как

$$ttc = \frac{\left(X_{i-1,t} - X_{i,t}\right) - L_{i-1,t}}{V_{i,t} - V_{i-1,t}}, \qquad (1.1)$$

где *ttc* - время до столкновения, t – временной интервал; X – позиционирование транспортных средств (i – рассматриваемое транспортное средство; $i-1$ – транспортное средство движущееся впереди *i-го*); L – длинна транспортного средства; V – скорость транспортного средства.

Эта мера является непрерывной во времени. Теоретическая форма кривой ВДС представлена на рисунке 1.6.

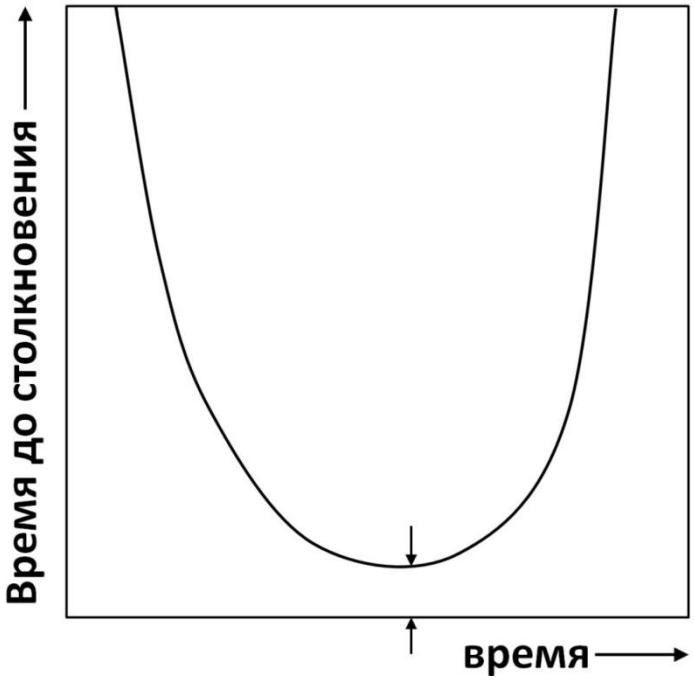


Рисунок 1.6 – Теоретическая форма кривой времени до столкновения, согласно [174]

Если транспортные средства не находятся на траектории столкновения (встречных курсах следования), значение ВДС бесконечно. Тем не менее, изменение скорости или пути движения одного из транспортных средств может привести к столкновению, подразумевая, что ВДС конечна и будет уменьшаться со временем. Эта функция будет линейной, пока скорость и курс обоих транспортных средств постоянны. Если не будут предприняты никакие действия, то это приведет к столкновению, то есть $ttc=0$.

Уклончивое действие (замедление, экстренное торможение или отклонение с траектории столкновения) может привести к минимальному значению меры ВДС. В практике безопасности дорожного движения часто происходят ситуации, когда участники движения, находятся на встречных курсах, однако, это очень редко приводит к реальным столкновениям, потому что водители постоянно поддерживают необходимую скорость и совершают действия уклонения. Минимальное значение показателя ВДС является критически важной мерой для оценки риска, связанного с взаимодействием

между участниками дорожного движения. Классическая иллюстрация, отражающая концепцию ВДС, приведена на рисунке 1.7.

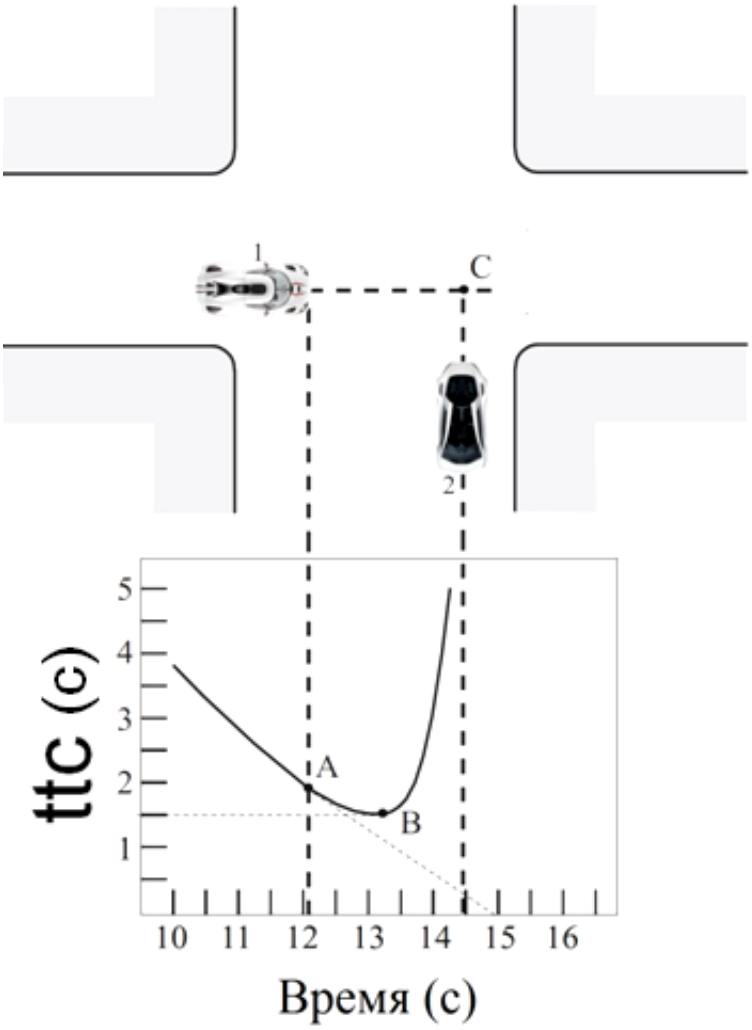


Рисунок 1.7 – Транспортная конфликтная ситуация иллюстрирующая кривую времени до столкновения, согласно [165]

Участнику транспортного движения 1, находящемуся на курсе столкновения, требуется определенное количество времени, чтобы осознать и отреагировать на потенциально-конфликтную ситуацию (точка А на рисунке 1.7). Показатель ВДС достигает своего минимального значения (ttc_{min}) в точке *B* и резко возрастает после нее. Точка *C* на рисунке 1.7 является потенциальной точкой столкновения участников дорожного движения 1 и 2.

Дж.Ч. Хейворд [174] так же предложил принять минимальное (пороговое) значение меры «*время до столкновения*» *ttc = 1,0 сек*. Транспортные конфликтные ситуации со значением *ttc < 1,0 сек*. были определены как серьезные конфликты. Таким образом, Дж.Ч. Хейворд предложил следующее определение в рамках меры ВДС: транспортный конфликт - это каждая дорожная ситуация с минимальным ВДС менее 1,0 сек.

Дж.Ч. Хейворд так же рассчитал кривые ВДС, анализируя записи ДТП.

Позднее В.А. Гютингер в своей работе [172] провел сравнительную оценку трех основных методов (таблица 1.3) и определил их преимущества и недостатки.

Таблица 1.3 – Сравнение методов согласно В.А. Гютингеру [172]

Метод	Преимущества	Недостатки
С.Р. Перкинса и Дж.И. Харриса	– Объективные определения в терминах уклончивых действий и нарушений правил движения; – Легко применимый (непосредственное наблюдение в местах исследования транспортных конфликтов).	– Надежность непроверенна; – Отсутствуют существенные и устойчивые связи с авариями (обоснованность);
Б.Р. Спайсера	– Введение категории тяжести транспортных конфликтов: различие серьезных и менее серьезных конфликтов (5 классов); – Тесная связь между серьезным конфликтам и авариями.	– Субъективные эксплуатационные определения конфликтов; – Надежность не проверена;
Дж.Ч. Хейворда	– Объективная регистрация периода и времени столкновения посредством видео и компьютерного оборудования.	– Обоснованность не проверена. –Дорогое оборудование;

Таблица 1.3 – Сравнение методов согласно В.А. Гютингеру [172] (продолжение)

Метод	Преимущества	Недостатки
		– Не всегда возможно практическое применение.

Основываясь на проведенном анализе В.А. Гютингер предложил метод транспортных конфликтов с участием детей-пешеходов и транспортных средств в жилых районах.

Позднее Х. Хайден попытался упростить метод [174] со слегка другим определением транспортного конфликта. Он предложил увеличить критическое значение величины «времени до столкновения» с 1,0 сек до 1,5сек.

Х. Эрке и Б. Зимолонг продолжили исследования по тем же направлениям, что С.Р. Перкинс и Дж.И. Харрис на трех крупнейших дорожных пересечениях в немецких городах. Они определили различные типы конфликтного поведения для области перекрестка и для прилегающих к перекрестку зон [167]. При анализе корреляции между транспортными конфликтами и авариями (в зависимости от типа маневра уклонения и типа участка дороги) были зафиксированы ситуации с высоким значением последней.

Французские ученые Малатерре и Мухлрад [189, 185] в своих работах пришили к аналогичным выводам. Анализ проводился на восьми перекрестках в городских районах. В результате была установлена взаимосвязь между конфликтами и авариями, а также между классом конфликта и классом аварий.

Продолжая свои исследования Х. Хайден в [181] указывает на существование общей измеримой степени тяжести для всех конфликтных событий, происходящих с транспортными средствами в движении, и

предлагает *модель континуума транспортных событий*, описывающую связь между тяжестью таких событий и частотой их появления (рисунок 1.8).

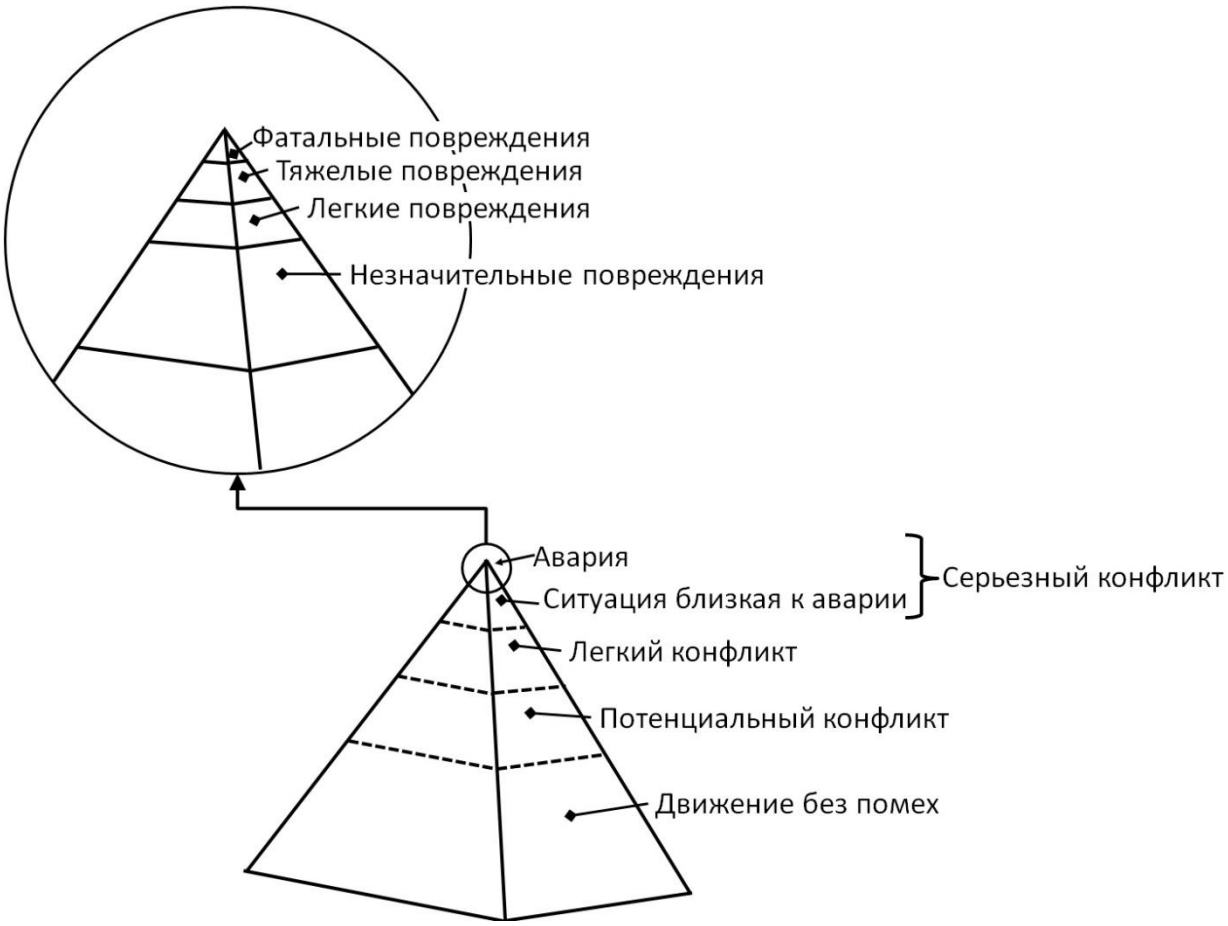


Рисунок 1.8 – Модель континуума транспортных событий от движения без помех до несчастных случаев со смертельным исходом[2], согласно [181]

Согласно этой модели, чем выше степень тяжести события, произошедшего в результате транспортного конфликта (такие события представлены в виде вертикального положения пирамиды), тем меньше частота появления таких событий (объем горизонтального среза пирамиды на этой высоте). Данный процесс представлен на рисунке 1.9.

[2] Оригинальное название - the continuum of traffic events from undisturbed passages to fatal accidents [181]

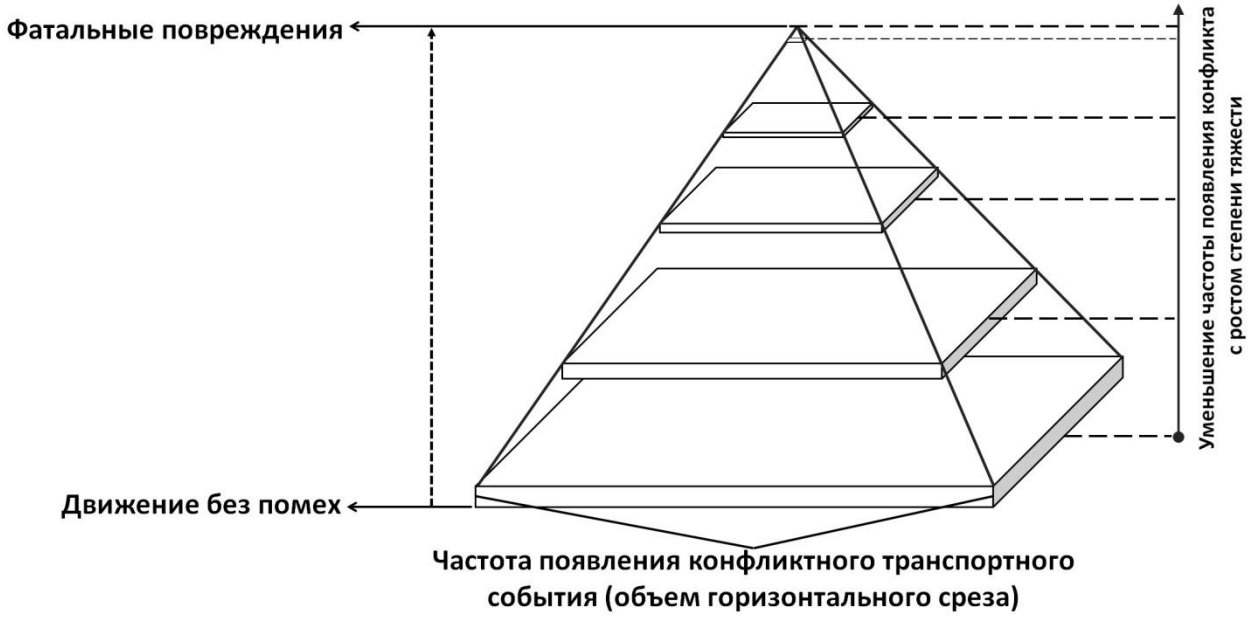


Рисунок 1.9 – Уменьшение частоты появления конфликта с ростом степени его тяжести

Понятие тяжести аварии, согласно [181], определяется ее последствиями, например, числом смертей и травм в ДТП или затратами в денежном эквиваленте.

В качестве меры измерения степени тяжести транспортных конфликтов, от «движения без помех» до «аварии», была принята мера «*time to accident*» (*tta*) или «*время до аварии*» (ВДА). Понятие ВДА в научно-практическом аспекте обладает большим охватом, чем понятие ВДС используемое Х. Хайденом в своих ранних исследованиях [180]. Согласно [181, 159] *время до аварии* – это время, которое остается до момента аварии, т.е. время начала маневра уклонения от аварии одного из участников дорожного движения при условии ее неизбежности, в случае, если транспортные средства продолжают следовать без изменения скорости движения и траектории.

Первоначальное определение серьезного конфликта, т.е. *tta* <1,5 сек. можно проиллюстрировать графом «*время до аварии*»–«*скорость транспортного средства*» (рисунок 1.10).

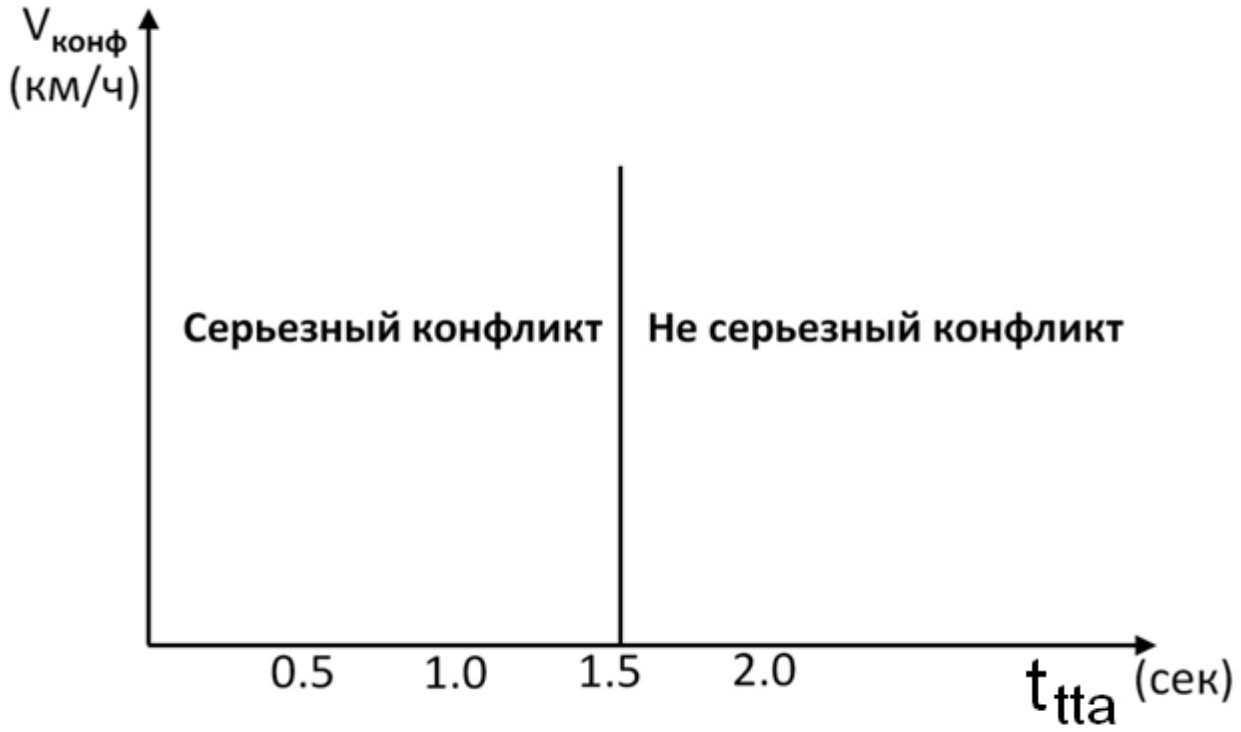


Рисунок 1.10 – Определение серьезности конфликта в виде графа *время до аварии*»–«*скорость транспортного средства*», согласно [181]

Таким образом, степень тяжести серьезного конфликта должна отражать вероятность столкновения, а, следовательно, пороговый уровень (*tta = 1.5сек*), должен представлять собой границу перехода, от не серьезного конфликта к серьезному [181]. Это утверждение является очевидным, но не совсем верным, так как при низких скоростях столкновения избежать значительно легче, чем при высоких, учитывая то же самое значение *tta*.

Позднее Х. Хайден пришел к выводу, что пороговый уровень между серьезным и менее серьезным конфликтом должен учитывать и скорость движения участников транспортного движения $V_{конф}$ в дополнение к t_{tta}, [181].

Основываясь на результатах исследования [159] для проверки было выбрано пять альтернативных версий определения тяжести или серьезности конфликта [181]. Все пять версий отличались друг от друга скоростью движения $V_{конф}$ и временем до аварии t_{tta}.

Граница старого и нового определения, согласно [181] представлена на рисунке 1.11.

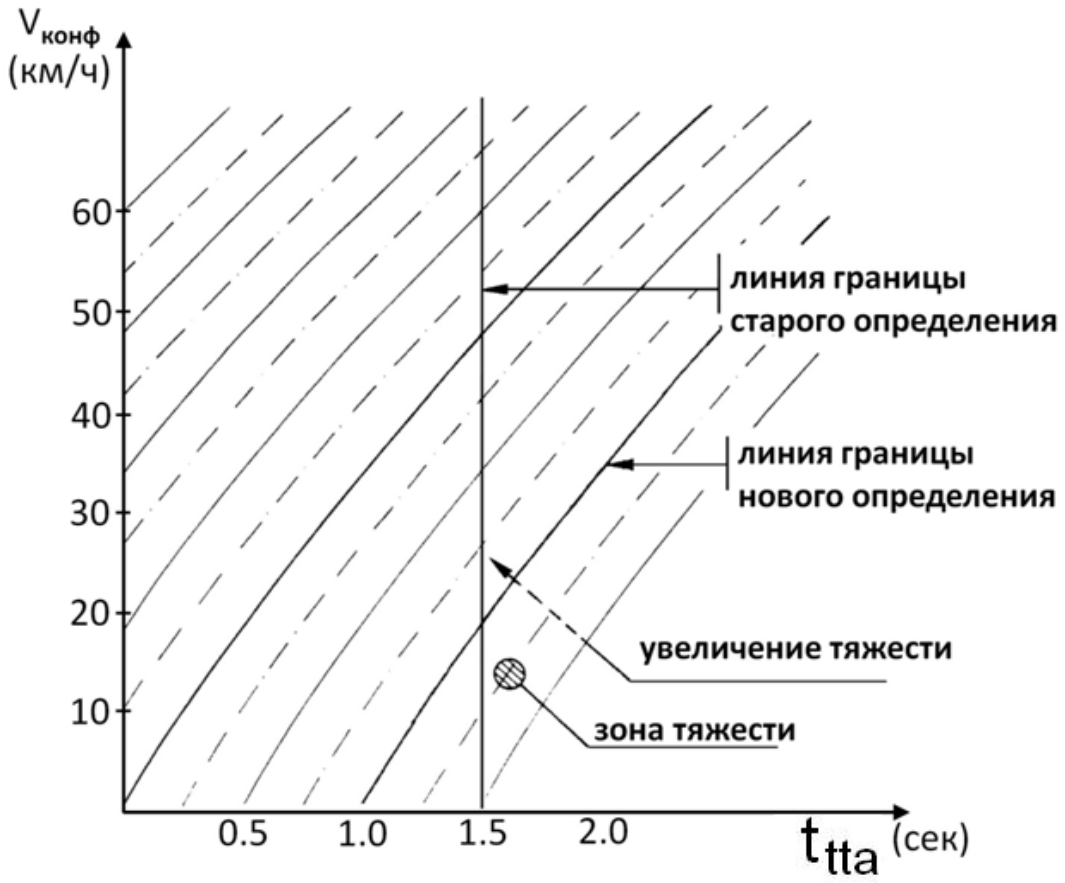


Рисунок 1.11 – Старое и новое определение серьезности конфликта и определение тяжести согласно [181]

Позже Х. Хайден ввел критические значения, зависящие от скорости [181].

С 1977 года было развернуто интенсивное международное сотрудничество в области анализа и развития методов транспортных конфликтов.

На первой практической конференции по методам транспортных конфликтов в Осло [158], было принято общее определение транспортного конфликта: «*Транспортный конфликт является наблюдаемой ситуацией, в которой два или более участников дорожного движения приближаются друг к другу в пространстве и времени до такой степени, что существует риск столкновения, если их траектории движения остаются неизменными*».

Позднее, после двух других практических конференций, а именно в Париже [197] и Лейдсендаме [186], Международный комитет по методам транспортных конфликтов[3] начал в 1983 году совместное международное исследование на Мальме [157, 171]. Все команды одновременно исследовали конфликтные транспортные ситуации дорожного движения на трех перекрестках в городе Мальмё. В этом исследовании значительные успехи были сделаны в области сравнения различных методов.

С. Оппе [198], исследуя анализ сходств и различий международных групп наблюдателей в Мальме предложил универсальную шкалу оценки степени тяжести транспортных конфликтов, общий вид которой представлен на рисунке 1.12.

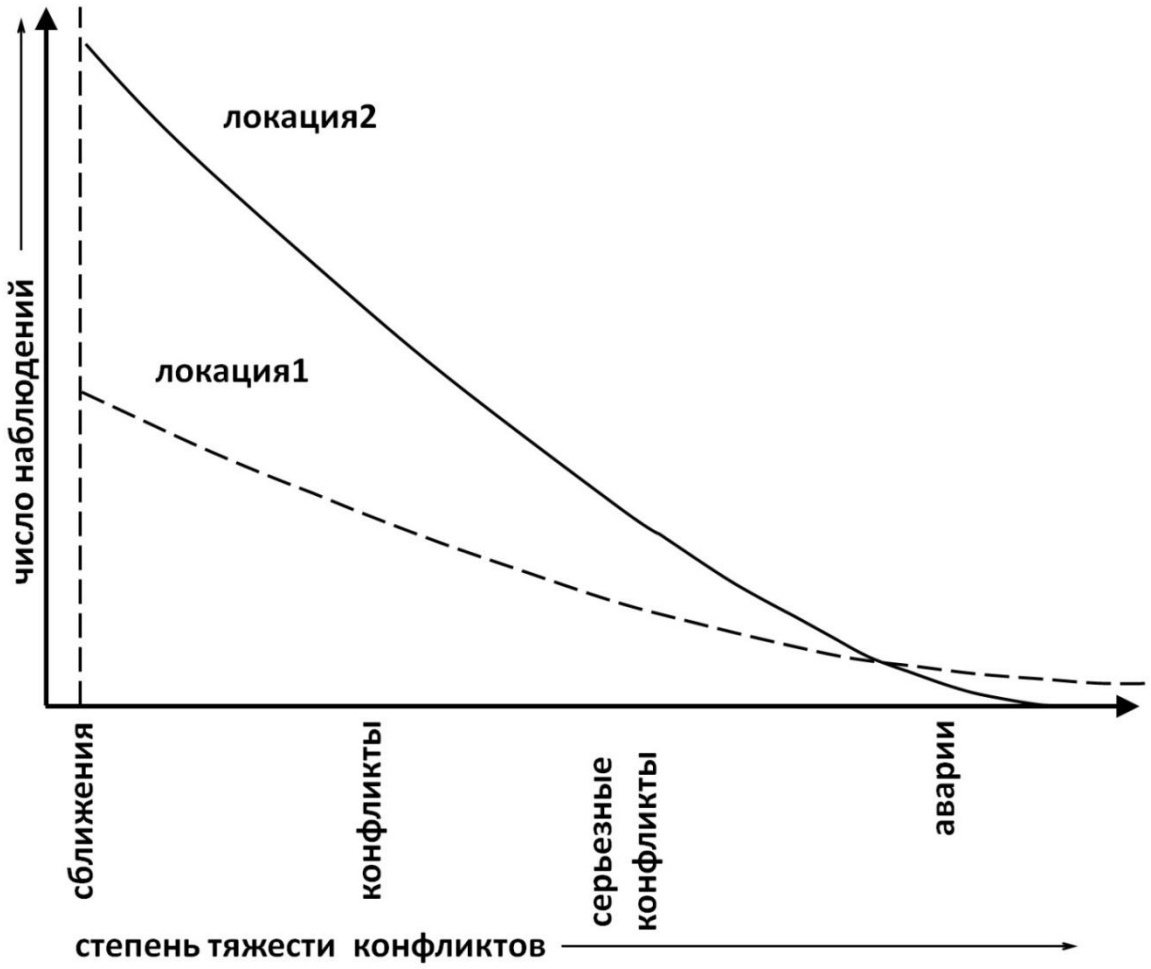


Рисунок 1.12 – Шкала оценки степени тяжести транспортных конфликтов в различных локациях согласно [198]

[3] International Committee on Traffic Conflict Techniques (ICTCT)

По оси абсцисс отложена степень тяжести конфликтов, а по оси ординат число различных наблюдаемых транспортных ситуаций в локации 1 и локации 2. В своей работе С. Оппе выделяет следующие виды тяжести конфликтов: встречи, конфликты, серьезные конфликты, аварии, и аварии со смертельным исходом.

На рисунке 1.12 область под кривой для локации 1 равна общему числу конфликтов для локации 1. Область под кривой для локации 2 равна общему числу конфликтов для локации 2. Таким образом, если мы оценим относительную безопасность локации 1 в отношении локации 2 из соотношения между количеством конфликтов в локации 1 и локации 2, то локация 2 будет являться более опасной. Однако если мы оценим только серьезные конфликты, обе локации будут почти одинаково опасны. При оценке аварий, локация 1 будет являться более опасной, чем локация 2.

Предложенная С. Оппе техника сравнения имела так же успех в области оценки достоверности и надежности методов конфликта.

Не менее важным результатом в Мальме стала работа в области количественного анализа видеозаписей конфликтов [176]. Данная работа указала на меру ВДС, которую следует считать одним из основных факторов при измерении степени серьезности конфликтов.

Понятие ВДС требовало, чтобы транспортные средства находились на траектории (или курсе) столкновения [177]. Однако в процессе дорожного движения возникают ситуации, когда участники дорожного движения едва пропускают друг друга на высокой скорости без значительного изменения курса движения или скорости, находясь при этом не на встречных курсах. При таких обстоятельствах все еще существует реальный шанс столкновения, то есть даже небольшое изменение в процессе движения способно привести к фактическому столкновению. Б.Л. Аллен и др. [156], часто фиксировали этот тип столкновений при выполнение транспортными средствами маневра левого поворота на регулируемых перекрестках. Исходя из анализа столкновений и конфликтов сделанном с использованием

покадровой видеосъемки на одном регулированном перекрестке в течение пятнадцати месяцев [177], они пришли к выводу, что *время после нарушения* (ВПН) (Post-Encroachment-Time, (*pet*)) является значимой, мерой определяющей конфликтную ситуацию.

ВПН было определено, как время между моментом, когда первый участник дорожного движения уходит с курса второго в тот момент, когда второй участник дорожного движения достигает курса первого. Определение меры ВПН согласно [177] представлено на рисунке 1.13.

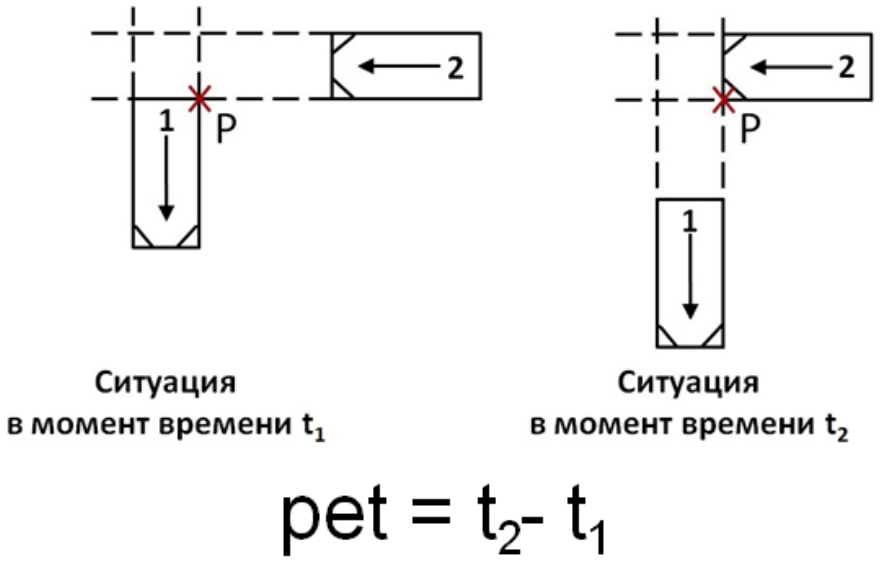


Рисунок 1.13 – Определение времени после нарушения, согласно [177]

Мера ВПН выражает величину того, насколько близко участники транспортного движения избежали столкновения в его заключительной фазе.

В отличие от ВДС мера ВПН состоит только из одного значения, которое представляет собой окончательный запас времени до столкновения между обоими участниками транспортного движения. Чем ниже значение ВПН, тем больше вероятность столкновения.

Во второй международной конференции, проходившей в городе Траутенфельс, С. Оппе [199] установил, что мера ВПН наиболее эффективна при исследовании на регулированных перекрестках.

Позднее концепция ВПН получила широкое применение в качестве составной части голландского метода анализа конфликтов дорожного

движения, [4] рассматриваемого в работах [178, 185]. Более подробно голландский метод анализа конфликтов рассмотрен в приложении А диссертации.

Иное понимание концепции меры ВДС было предложено применительно к оценке безопасности дорожного движения вблизи пешеходных переходов и пересечений (полосы «зебра»). Данный индикатор получил название *время приближения к полосе зебра* (ВППЗ) (Time-to-Zebra (*ttz*)). Показатель ВППЗ был использован в работе А. Вархели [216], для оценки частоты и тяжести критических сближений между транспортными средствами, приближающимися к пешеходному переходу и пешеходам. В данном исследовании критическое время и интервалы расстояний определялись по отношению к скорости движения приближающихся транспортных средств, а так же была разработана схема классификации, позволяющая фиксировать различные возможные исходы между транспортными средствами и пешеходами. На основе этого исследования был сделан вывод о том, что многие водители не снижают скорость при подъезде к пешеходным переходам, и не учитывают потенциальный риск опасности столкновения с пешеходом. Исследование показало, что только один из четырех водителей останавливается или замедляет скорость движения вблизи пешеходного перехода. Согласно [159] эти исследования были проведены до реформы в Швеции, которая регламентировала водителям значительно снижать скорость или останавливаться, чтобы позволить пешеходам и велосипедистам осуществить переход через пешеходное пересечение.

Позднее голландские исследователи М.М. Миндерхауд и П. Бови [193] предложили два альтернативных показателя безопасности, основанных на общих принципах концепции вычисления меры ВДС. Первый из них упоминается как *длительность воздействия времени до столкновения*

[4] Dutch Objective Conflict Technique for Operation and Research (DOCTOR)

(ДВВС) (*time exposed ttc* (tet)) который представляет собой меру длины ВДС ниже обозначенного порогового значения ВДС.

Вычисление данного показателя согласно [165] для *i*-го транспортного средства производится по формуле (1.2)

$$tet_i^* = \sum_{t=0}^{T} \delta_i(t)\tau_{sc}$$
$$\delta_i(t) = \begin{cases} 1 & \forall \quad 0 \le ttc_i(t) \le ttc^* \\ 0 \end{cases} \tag{1.2}$$

где: tet_i^* – значение показателя длительности воздействия времени до столкновения для *i*-го транспортного средства; $\delta_i(t)$ – интервалы времени для *i-го* транспортного средства, в течение которых значение *ttc* ниже порогового значения; $T = \frac{H}{\tau_{sc}}$ – общее количество наблюдаемых временных интервалов; H - общее время, в течение которого рассматривается исследование; τ_{sc} – длительность временного интервала [с] для определения постоянного значения *ttc* (например, 0,1с).

Это означает, что чем ниже значение ДВВС, тем меньше времени транспортное средство находится в конфликтной ситуации и, таким образом, тем безопаснее ситуация. Несложно заметить, что недостатком показателя ДВВС является то, что любое значение ВДС, ниже, чем пороговое (критическое), не входит в расчет, поэтому для устранения этого несоответствия был предложен второй показатель, который называется *интегрированное время до столкновения* (ИВС) (time integrated ttc (*tit*)). Данный показатель представляет собой интеграл от ВДС по времени ниже порогового значения и вычисляется согласно [165] как площадь поверхности между пороговым значением ВДС и реальным значением ВДС. Вычисление данного показателя, согласно [165], для *i*-го транспортного средства производится по формуле (1.3)

$$tit^* = \sum_{i=1}^{N} \int_{T}^{0} \left[ttc^* - ttc_i(t) \right] dt$$
$$\forall \quad 0 \le ttc_i(t) \le ttc^* \quad , \tag{1.3}$$

где tit_i^* – значение показателя ИВС для i-го транспортного средства; ttc^* – пороговое (критическое) значение ВДС.

Индикаторы длительность воздействия времени до столкновения и интегрированное время до столкновения представлены на рисунке 1.14.

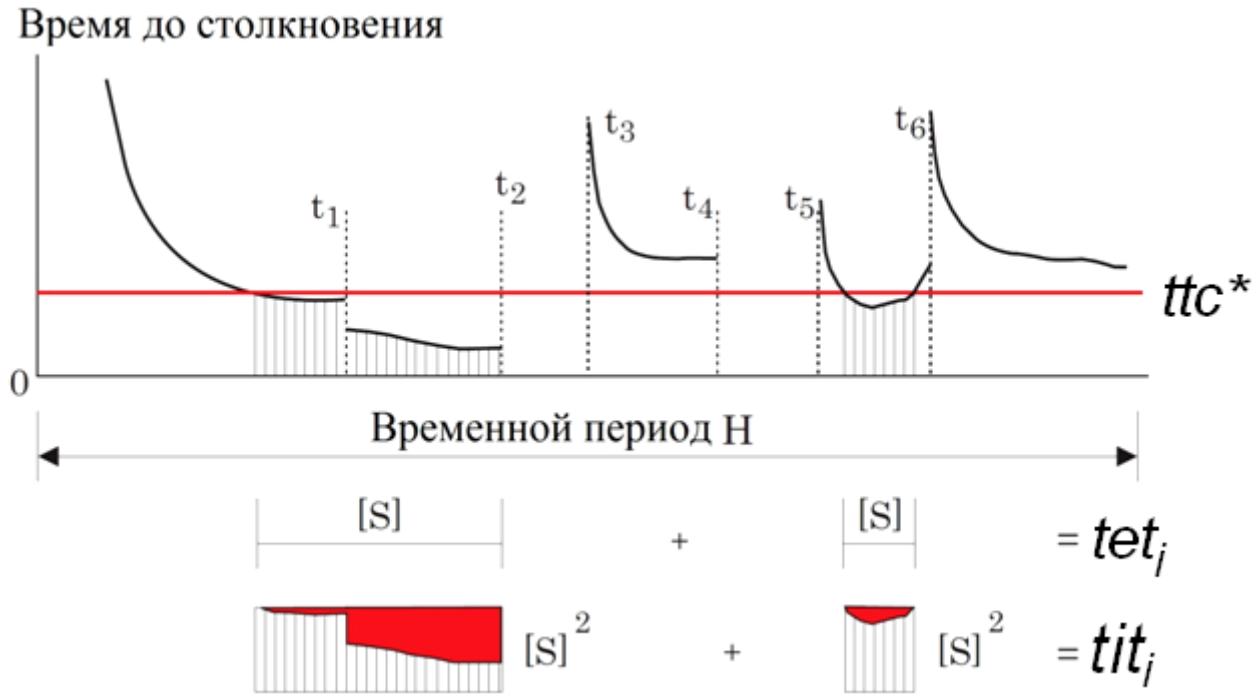


Рисунок 1.14 – Индикаторы безопасности: длительность воздействия времени до столкновения и интегрированное время до столкновения, согласно [165]

Дальнейшее развитие мер на основе концепции меры ВПН разрабатывалось в рамках исследования, проводимого Федеральной ассоциацией шоссе США [168 159], и включало следующие меры:

1) промежуточное время (Gap Time (GT)) – промежуток времени между завершением времени захвата конфликтного участка дороги, произведенного участником дорожного движения I при повороте, и временем прибытия участника дорожного движения II, пересекающего траекторию движения

участника дорожного движения I, если они продолжают движение без изменения скорости и траектории;

2) время нарушения (Encroachment Time (ET)) – продолжительность времени, в течение которого транспортное средство, выполняющее маневр поворота ущемляет право преимущественного проезда транспортных средств, движущихся в прямом (сквозном) направлении;

3) время нарушения после захвата конфликтного участка дороги (Initially Attempted Post Encroachment Time (IAPT)) – промежуток времени между началом времени нарушения, произведенного участником дорожного движения при повороте, плюс ожидаемое время для магистральных (движущихся в прямом направлении) участников дорожного движения в направлении общей точки конфликта, и временем завершения нарушения, произведенного участником дорожного движения, выполняющего поворот.

Позднее вопросы исследования в области анализа мер безопасности дорожного движения, учитывающих аспекты времени столкновения на регулируемых и не регулируемых перекрестках транспортной сети рассматриваются в работах Хорста [177], Тарека А. Сайеда [210], Николе Мухлрада [195], Хунг-Хор Чина и Сер-Тонг Куека [164], Асе Свенссона [214], Джеффри Арчера [159], Аляксея Лаурещина и Х. Хайдена [187].

Наравне с европейскими [182, 211-213] и американскими [168, 201-203] учеными серьезные результаты в области анализа транспортных конфликтов были получены и российскими учеными. Однако понятие транспортный конфликт рассматривалось преимущественно в аспектах ДТП и повышении безопасности дорожного движения. Последнее раскрывается в работах В.Ф. Бабкова [7, 8]; Г.И. Клинковштейна [60]; Е.М. Лобанова [77, 78], Д.С. Самойлова и В.А. Юдина [149]; М.С. Фишельсона [141].

Среди прочих, целесообразно отметить следующий вклад в решение проблем транспортных конфликтов.

В.М. Сиденко и А.А Рыбальченко (1978) [122] разработали комплексный показатель условий безопасности дорожного движения,

который учитывает различные факторы системы водитель-автомобиль-дорога-среда.

Е.М. Лобановым (1980) [78] была предложена методика оценки показателя конфликтности, которая учитывает степень опасности конфликтной точки, зависящей от интенсивности конфликтующих транспортных потоков, условий видимости участников дорожного движения, состояния покрытия рассматриваемого участка дорожной сети и траектории маневра участников дорожного движения. В.Ф. Бабков [4, 7], совершенствуя аспекты безопасности дорожного движения, предложил итоговый коэффициент аварийности, позволяющий выявлять наиболее опасные участки автомобильных дорог.

А.М. Плотниковым (2011) [93] был разработан инновационный алгоритм оптимизации пропускной способности на одноуровневых регулируемых перекрестках, предполагающий адаптивную оценку опасности конфликтных пересечений. Данный алгоритм позволяет максимизировать пропускную способность регулируемого перекрестка и повышает безопасность дорожного движения на узловых пересечениях УДС.

1.2 Обзор методов анализа транспортных конфликтов

Обзору и сравнительному анализу методов транспортных конфликтов посвящено множество отечественных и зарубежных трудов [1, 5, 10, 11, 60, 106, 127, 128, 165, 159, 168, 177, 186, 219].

Представляется целесообразным рассмотреть те из них, которые являются наиболее проработанными и применимыми на практике.

1.2.1 Метод Рейнгольда

Для выявления и устранения наиболее опасных участков УДС в 1938 году Ф. Рейнгольдом [60] был предложен показатель опасности V_0, определяемый согласно (1.4), как

$$V_0 = p_0 n_0 + p_1 n_1 + p_2 n_2 + p_3 n_3, \quad (1.4)$$

где p_0, ..., p_3 – условные коэффициенты тяжести последствий; n_0, ..., n_3 – число ДТП с материальным ущербом, легким ранением, тяжелым ранением, гибелью людей, соответственно.

Однако, показатель Ф. Рейнгольда не учитывает интенсивности движения транспортных средств и рассчитан на небольшой участок дороги (пересечение, мост и т. п.).

Если же рассматривается протяженная часть УДС, то расчет следует производить в удельных показателях с учетом протяженности дороги и интенсивности движения. Показатель опасности V'_0 для протяженного участка дороги l (магистраль) с учетом величины среднесуточной интенсивности движения N_a будет определяться согласно выражению (1.5)

$$V'_0 = \frac{\sum p_i n_i}{365 \cdot l \cdot N_a}, \quad (1.5)$$

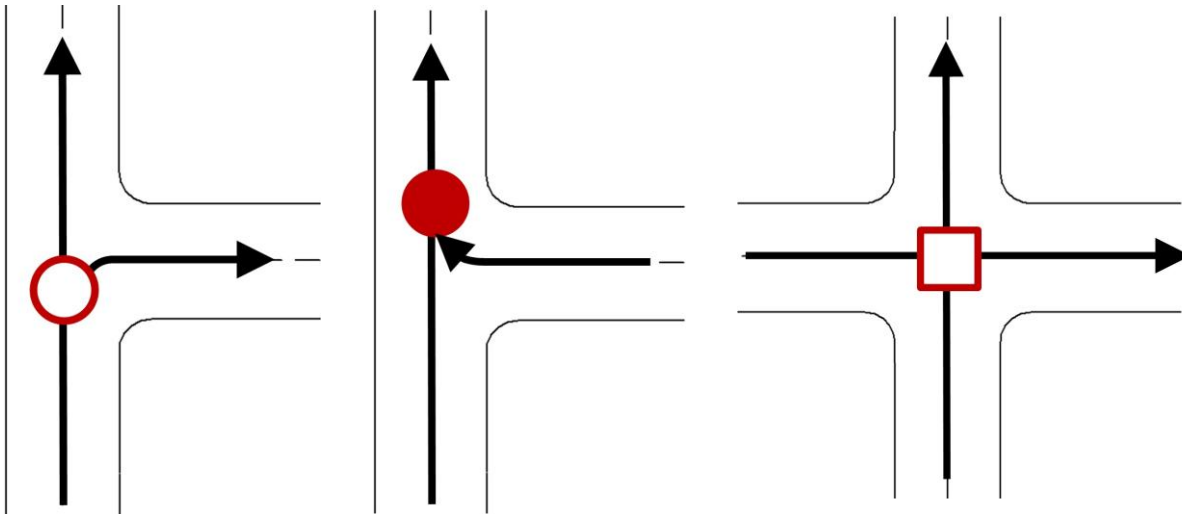
где p_i – коэффициент тяжести ДТП данной группы; n_i – число ДТП данной группы.

1.2.2 Метод конфликтных точек (метод Раппопорта)

В процессе исследований ДТП Г. Раппопортом [1, 60, 207] было выявлено, что наибольшее их число происходит в конфликтных точках, т. е. в местах, где на одном уровне взаимодействуют траектории движения транспортных средств или транспортных средств и пешеходов, а также в местах отклонения или слияния (разделения) транспортных потоков. Такие

взаимодействия могут быть трех видов – отклонения (ответвления), слияния (разделения) и пересечения.

На рисунке 1.15 представлены траектории движения транспортных потоков, образующие при взаимодействии: конфликтные точки отклонения (рисунок 1.15,а), конфликтные точки слияния (рисунок 1.15,б) и конфликтные точки пересечения (рисунок 1.15,в).



а) б) в)

Рисунок 1.15 – Конфликтные точки: а) точка отклонения (ответвления), б) точка слияния, в) точка пересечения транспортного потока

Количество конфликтных точек зависит от типа перекрестка, его конструкционных особенностей и принципов организации дорожного движения. В качестве примера на рисунке 1.16,а представлены конфликтные точки на четырехстороннем перекрестке, а на рисунке 1.16,б – конфликтные точки на перекрестке с круговым движением.

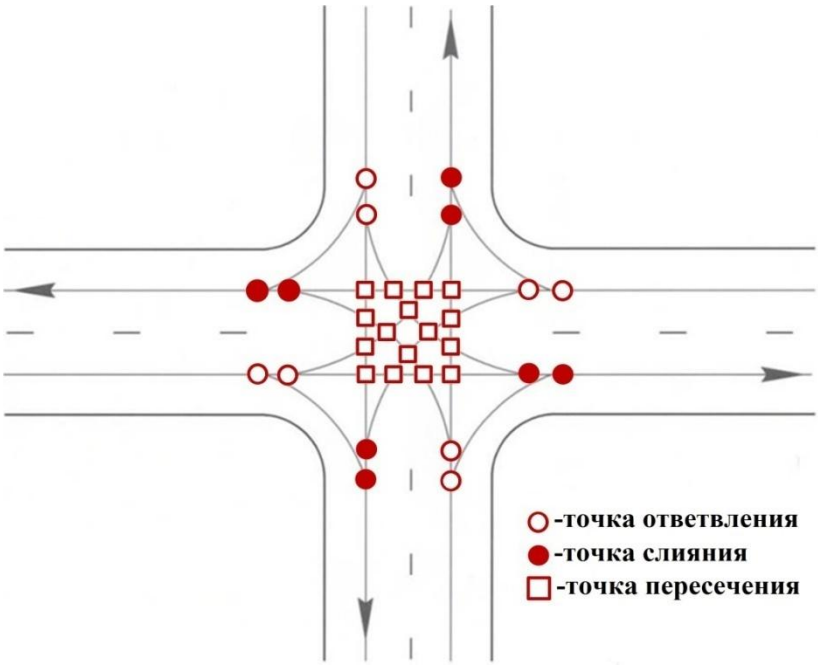


Рисунок 1.16а – Конфликтные точки на четырехстороннем перекрестке

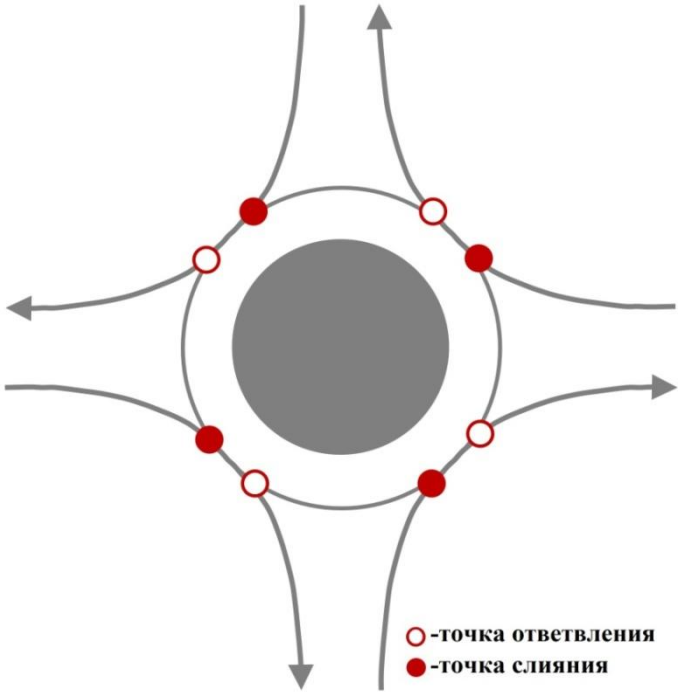


Рисунок 1.16б – Конфликтные точки на перекрестке с круговым движением

Согласно [60, 127, 207] при расчете показателя сложности пересечения (узла) за единицу сложности было принято отклонение (ответвление).

Точка ответвления оценивается одним условным баллом, точка слияния – тремя условными баллами, и точка пересечения – пятью

условными баллами, то есть слияние в три, а пересечение – в пять раз сложнее отклонения.

Показатель сложности (или конфликтности) дорожного пересечения (узла) рассчитывается согласно (1.6), как

$$m = n_0 + 3n_C + 5n_П, \tag{1.6}$$

где, n_0 n_C, $n_П$ - число точек соответственно отклонения (ответвления), слияния и пересечения.

Согласно [60] различают дорожные узлы:

– малой сложности, $m \prec 40$;

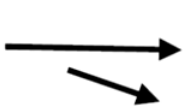
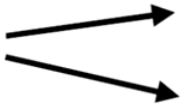
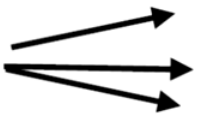
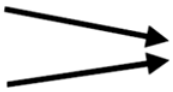
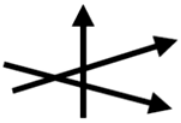
– средней сложности, $m = 40 - 80$;

– сложные, $m = 81 - 150$;

– очень сложные, $m \succ 150$.

В работах [60, 127] так же была предложена классификация маневров участников дорожного движения (таблица 1.4) и их обозначения применительно к взаимодействиям траекторий движения транспортных потоков.

Таблица 1.4 – Классификация маневров, согласно [60]

Маневр	Обозначение маневра			
Отклонение	 вправо	влево	 взаимное	 многократное
Слияние	справа	слева	 взаимное	многократное
Пересечение	справа	слева	взаимное	 многократное

Анализ конфликтных точек позволяет сравнивать различные схемы организации дорожных сетей.

1.2.3 Метод оценки конфликтных точек по десятибалльной системе

В работах [1, 60, 127] так же была предложена десятибалльная система оценки конфликтных точек, которая позволяет более подробно проанализировать их на выбранном участке УДС, в частности, учитывать угол встречи при возможном транспортном конфликте, а так же встречное движение по одной полосе. Данная ситуация может возникнуть, например, при закрытии на ремонт одной половины двухполосной проезжей части дороги или моста.

При анализе степени опасности пересечения (или узла) по десятибалльной системе конфликтные точки оцениваются условными баллами (таблица 1.5)

Таблица 1.5 – Десятибалльная система оценки конфликтных точек

Конфликтные точки	**Балл**
Отклонения	1
Слияния	2
Пересечения под углом, град.:	
30	3
60	4
90	6
120	7
150	9
180 (встречное движение по полосе)	10

Для промежуточных значений углов пересечения значения коэффициентов опасности можно определять интерполяцией.

При рассмотрении схем и траекторий движения транспортных средств часто выделяют также маневр переплетения. Он характерен для перестроения

в рядах движения, в частности, на развязках с круговым движением. По существу переплетение – это сочетание двух маневров: слияния и последующего отклонения.

1.2.4 Методика оценки показателя конфликтности (метод Шнабеля-Лозе)

Предложенная немецкими учеными В. Шнабелем и Д. Лозе методика [1, 218], базируется на представленном выше методе оценки конфликтных точек с учетом значения интенсивности M_{min} только минимального из конфликтующих в каждой точке взаимодействия транспортных потоков при следующих коэффициентах опасности K_0 в зависимости от типа маневра транспортного средства: точка пересечения – 12; слияние слева – 5; слияние справа – 4; ответвление – 2.

Из представленного на рисунке 1.17 участка УДС значение M_{min} для точек I, II, III, IV, V составляет 100, 50, 50, 200,50 соответственно.

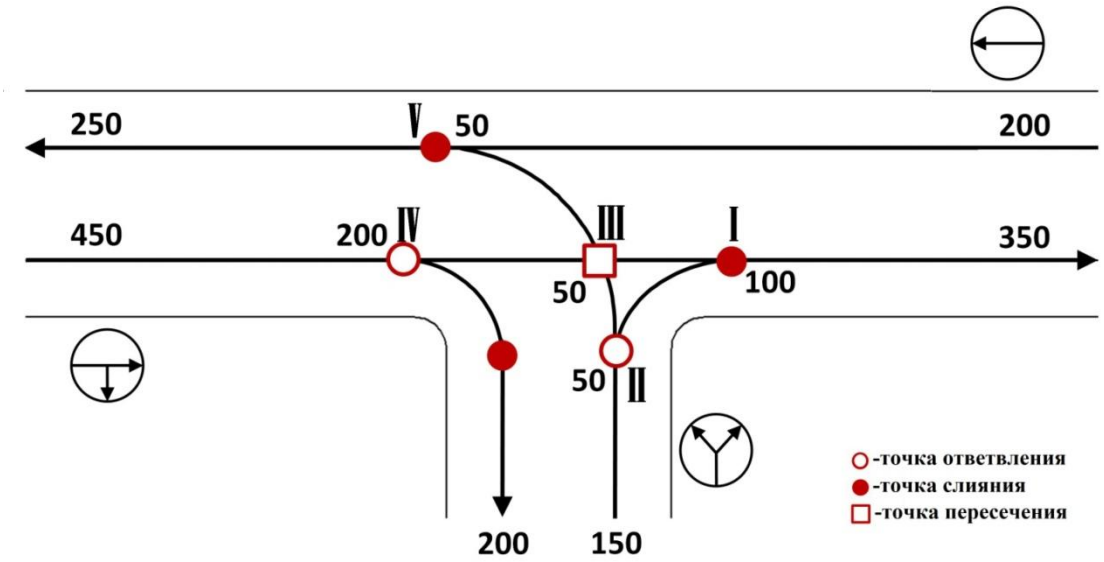


Рисунок 1.17 – Минимальное значение интенсивности M_{min} транспортных потоков в конфликтных точках на трехстороннем перекрестке

Общий показатель G_n для анализируемого участка УДС формируется из суммы оценки каждой конфликтной точки i и рассчитывается по (1.7), как

$$G_n = \sum_{i=1}^{n} K_o G_i \,, \tag{1.7}$$

где $G_i = (K_o M_{\min})/10^4$ – показатель конфликтности для *i*-той конфликтной точки.

1.2.5 Метод оценки опасности конфликтной точки

При пересечениях на одном уровне безопасность движения зависит от направления, интенсивности пересекающихся транспортных потоков, числа конфликтных точек, а также от расстояния между ними. Чем больше транспортных средств проходит через конфликтную точку, тем больше вероятность возникновений в ней ДТП. Данный факт был всесторонне исследован Е.М. Лобановым [78, 127]. Им же был предложен показатель опасности конфликтной точки и показатель степени опасности пересечения.

Опасность конфликтной точки можно оценить по возможной аварийности в ней q_i. Данный показатель измеряется количеством ДТП за 1 год и рассчитывается согласно (1.8), как

$$q_i = K_i M_i N_i \frac{25}{K_r} 10^{-7} \,, \tag{1.8}$$

где K_i – относительная аварийность конфликтной точки; M_i и N_i – интенсивности движения на главной и второстепенной дороге соответственно, пересекающихся в данной конфликтной точке потоков, авт./сут; K_r – коэффициент годовой неравномерности движения; коэффициент *25* введен в формулу для учета среднего количества рабочих дней в месяце, в течение которых загрузка дорог резко превышает загрузку в нерабочие дни.

Согласно [78, 138] при расчетах, проводимых для существующих дорог, коэффициент K_r – принимают для месяца, в который проводился учет

интенсивности движения. Для вновь проектируемых дорог, отношение $25/K_r$ принимают равным 365.

Степень опасности пересечения оценивается показателем безопасности движения, характеризующим количество ДТП на 10 млн. автомобилей, прошедших через пересечение (1.9)

$$K_a = \frac{G \cdot 10^7 K_r}{(M+N)25}, \quad (1.9)$$

где $G = \sum_{i=1}^{n} q_i$ – теоретически вероятное количество ДТП на пересечении за 1 год; n – число конфликтных точек на пересечении; M – интенсивность на главной дороге, авт./сут; N – то же, для второстепенной дороги; K_r – коэффициент годовой неравномерности движения (определяется согласно таблице 1.6 в соответствии с [138])

Таблицей 1.6 – Коэффициент годовой неравномерности движения

Месяцы	Коэффициент K_r при среднегодовой суточной интенсивности движения, авт./сут			
	до 1000	1000-2000	2000-6000	> 6000
I	0,0885	0,0800	0,0510	0,0510
II	0,0860	0,0660	0,0550	0,0585
III	0,0860	0,0714	0,0550	0,0670
IV	0,0800	0,0750	0,0690	0,0790
V	0,0800	0,0850	0,0750	0,0850
VI	0,0860	0,0714	0,0860	0,0855
VII	0,0816	0,0784	0,1160	0,1000
VIII	0,0875	0,0850	0,1230	0,1320
IX	0,0900	0,1100	0,1130	0,1080
X	0,0840	0,0960	0,0870	0,0890
XI	0,0715	0,0850	0,0834	0,0800
XII	0,0775	0,0790	0,0760	0,0780

Показатель K_a характеризует степень обеспечения безопасности движения на пересечении (Таблица 1.7):

Таблица1.7 – Степень обеспечения безопасности движения

K_a	< 3	3,0-8,0	8,1-12	> 12
Опасность пересечения	Неопасное	Мало опасное	Опасное	Очень опасное

При проектировании новых дорог или реконструкции существующих для каждого варианта пересечения определяют показатель K_a. Чем он меньше, тем удачнее схема пересечения. На вновь проектируемых дорогах показатель безопасности для пересечений на одном уровне не должен превышать 8.

1.2.6 Метод конфликтных ситуаций

Метод конфликтных ситуаций применяется при разработке проектов УДС. Согласно [78, 138] под конфликтной понимается дорожно-транспортная ситуация, возникающая между участниками дорожного движения или движущимся автомобилем и обстановкой на дороге, при которой возникает опасность ДТП, если в действиях участников движения не произойдет изменений, и они будут продолжать движение. Показателем конфликтной ситуации является изменение скорости или траектории движения автомобиля. Степень опасности этой ситуации характеризуется отрицательными продольными и поперечными ускорениями, возникающими при маневрах автомобилей.

Конфликтные ситуации по степени опасности делятся на три типа: легкие – K_1, средние – K_2, критические – K_3, (таблица 1.9)

Количество конфликтных ситуаций, приведенных к критической $K_{кс}$, рассчитывается согласно (1.10), как:

$$K_{кс} = 0{,}44 \cdot K_1 + 0{,}83 \cdot K_2 + K_3 \qquad (1.10)$$

Таблица 1.9 – Конфликтные ситуации по степени опасности

Критерии конфликтных ситуаций	Начальная скорость движения, км/ч	Отрицательные продольные и поперечные ускорения, м/с^2, для конфликтной ситуации		
		легкой K_1	средней K_2	критической K_3
Отрицательные продольные ускорения	Более 100	0,5—0,9	0,9—1,9	1,9
	100—80	0,5—1,9	1,9—2,6	2,6
	80—60	0,5—2,3	2,3—3,2	3,2
	Менее 60	0,5—2,9	2,9—3,7	3,7
Поперечные ускорения	Более 100	0-0,3	0,3-0,7	0,7
	100—60	0,4—0,6	0,6-1,1	1,1
	Менее 60	0,8—1,2	1,2-1,5	1,5

Число конфликтных ситуаций каждого типа определяется методом наблюдений.

1.2.7 Метод оценки аварийности

Для получения достоверной оценки при анализе дорожных условий, согласно [78, 138] были предложены коэффициенты относительной аварийности или коэффициенты происшествий.

Для длинных и однородных, по геометрическим элементам, участков дорог, коэффициент происшествий - k_a, измеряемый количеством ДТП на 1 млн. автомобиле-километров рассчитывается как

$$k_a = \frac{10^6 \cdot \sum n}{365N \cdot l}, \tag{1.11}$$

где $\sum n$ – количество ДТП в год; N – среднегодовая суточная интенсивность движения в обоих направлениях, определяется по данным учета движения, авт/сут; l – длина участка дороги, км.

Для коротких участков УДС, коэффициент происшествий измеряют количеством ДТП на 1 млн. автомобилей согласно (1.12):

$$k_a = \frac{10^6 \cdot \sum n}{365N}, \tag{1.12}$$

Данные коэффициенты могут быть использованы для первичной обработки статистических данных о ДТП на отдельных участках УДС.

1.2.8 Метод коэффициентов безопасности

Для оценки безопасности отдельных участков УДС В.Ф. Бабковым [46] был предложен коэффициент безопасности. Коэффициентом безопасности $K_{без}$ согласно [7, 46, 138] называют отношение максимальной скорости движения на участке V_{max} к максимальной скорости въезда автомобилей на этот участок $V_{вх}$ (начальная скорость движения), то есть,

$$K_{без} = \frac{V_{\max}}{V_{вх}} \tag{1.13}$$

1.2.9 Метод коэффициентов аварийности

Данный метод, предложенный В.Ф. Бабковым [1, 4, 49], основан на определении итогового комплексного коэффициента аварийности, который рассчитывается согласно (1.14), как

$$K_{ит} = \prod_{i=1}^{n} K_i \tag{1.14}$$

где – K_i частные коэффициенты аварийности, определяемые по результатам анализа статистических данных о ДТП и характеризующие влияние на безопасность движения параметров дорог и улиц, элементов обустройства, интенсивности движения, состояния покрытия; $i=1...n$ - число частных коэффициентов аварийности, учитываемых при оценке безопасности движения на дорогах или городских улицах различной категории.

Частные коэффициенты аварийности определяются согласно [138]. Данный коэффициент включен в нормативную документацию по определению безопасности дорожного движения.

1.3 Обзор развития интеллектуальных транспортных систем

Развитию интеллектуальных транспортных систем (ИТС) посвящено множество трудов российских и зарубежных ученых [64, 107, 109, 115, 116, 117, 119, 120, 162, 184, 188, 196, 223]. По данным [188, 220] наиболее прогрессивно процесс развития ИТС протекает в США, странах Европы, Японии, Австралии и России.

Первым этапом становления ИТС в США призвано считать [196, 184, 209] появление в 1960 году *электронной системы управления маршрутом* (Electronic Route Guidance System – ERGS). Позднее концепция ERGS была принята за основу *системы автоматического управления маршрутом* (Automatic Route Control System – ARCS), разработанной в середине 1970 годах [209]. ARCS представляла собой первый пример автоматизированной системы поддержки маршрута с использованием цифровых карт [196].

В 1980 году исследователи из Университета Калифорнии в Беркли сыграли ключевую роль в организации конференции, которая включала презентации национальных экспертов и участие представителей Федеральной администрации автомобильных дорог. Кульминацией стала встреча девятнадцати транспортных лидеров от правительства, частного сектора и научных кругов в Национальной академии наук США в Вашингтоне, состоявшаяся в июне 1988 года. На данной встрече было принято решение двигаться в направлении планового развития ИТС, под контролем государства и частных организаций. Позднее на проводимых рабочих конференциях в 1989 и 1990 гг. было объявлено о формировании программы развития *системы дорог для интеллектуальных транспортных средств* (Intelligent Vehicle Highway Systems – IVHS) [192]. Пограничным считается 1990 год, когда конгрессом США была призднана система IVHS, а к началу 1994 года IVHS Америка была переименована в ИТС Америку.

Самым ранним прообразом ИТС в Европе с 1970 по 1976 годы была система *управления автомобильным транспортом с использованием*

системы радиовещания (Autofahrer Rundfunk Information – ARI) [196]. С 1986 года была учреждена *Программа для передвижения по Европе с эффективной и беспрецедентной безопасностью* (the Program for European Traffic with Efficiency and Unprecedented Safety – PROMETHEUS). Движущей силой PROMETHEUS был консорциум, состоящий из 18 европейских компаний по производству автомобилей. В ходе развития PROMETHEUS с 1987 по 1994 год разрабатывались многочисленные прикладные программы ИТС, в том числе проекты интеллектуальных транспортных средств ARGO и VITA II. Приемником PROMETHEUS с 1995 года стала *программа мобильности передвижения по Европе* (Program for Mobility in Transportation in Europe – PROMOTE).

Наряду с программами PROMETHEUS и PROMOTE Европейская комиссия в 1988 году создала программу *специализированной дорожной инфраструктуры для безопасности транспортных средств в Европе* (Dedicated Road Infrastructure for Vehicle Safety in Europe – DRIVE) [184] сфокусированную на магистральных ИТС и коммуникационной инфраструктуре с акцентом на информационные системы для путешественников и управление транспортом [192]. Вторая фаза программы DRIVE II согласно Киин и Мэрфи [184] охватывала семь областей: 1)управление спросом; 2)трафик и информация о поездках; 3)интегрированное управление городским транспортом; 4)интегрированное междугороднее управление движением; 5) помощь водителю и кооперативное движение; 6) управление грузовым автопарком; 7) управление городским транзитом. Реализация проекта DRIVE проходила в период с 1989 по 1992 годы. Внедрение транспортной телематики в III Рамочную программу ЕС (1990 – 1994 годы) обусловило широкое распространение данного термина. Развитие транспортной телематики и ее приложений было предусмотрено в IV Рамочной программе ЕС (1994-1998 годы).

Первой фазой развития ИТС в Японии призвано считать [196, 223] проект *комплексной системы автомобильного контроля* (Comprehensive Automobile Control System – CACS), в поддержке которого в 1973 году приняло участие Министерство внешней торговли и промышленности Японии.

В начале 1980-х годов началась работа по проекту развития *дорожно-автомобильной коммуникационной системы* (Road/Automobile Communication System – RACS), которая легла в основу нынешней системы автомобильной навигации. Дальнейшее развитие ИТС Японии получает в проектах CIMS (Control Intelligent Management System) - *интеллектуальная система контроля* и ASV (Advanced System of Vehicle) – *система поддержки процесса управления транспортными средствами*. Параллельно в 1989 году инициируются работы в направлении *адаптивной автоматизированной системы управления трафиком* (Adaptive Responsive Traffic System – ARTS).

В Австралии Департамент главных дорог в 1970 году устанавливает первую систему, которая охватывает 30 сигнализируемых перекрестков с централизованным контролем и возможностью адаптивного управления трафиком (Traffic responsive Capabilities – TRC). В 1985 году устанавливается система второго поколения адаптивным управлением дорожного движения (Traffic Responsive Adaptive Control – TRACS). Дальнейшее развитие системы TRACS позволяет создать в 1998 году первую версию ИТС STREAMS. Данная система представляла собой интегрированную интеллектуальную транспортную систему, обеспечивающую управление циклами светофорного регулирования, управление и отслеживание инцидентов, управление трафиком на автомагистрали, информирование путешественников и сопровождение парковки. На рисунке 1.18. представлен исторический анализ развития ИТС.

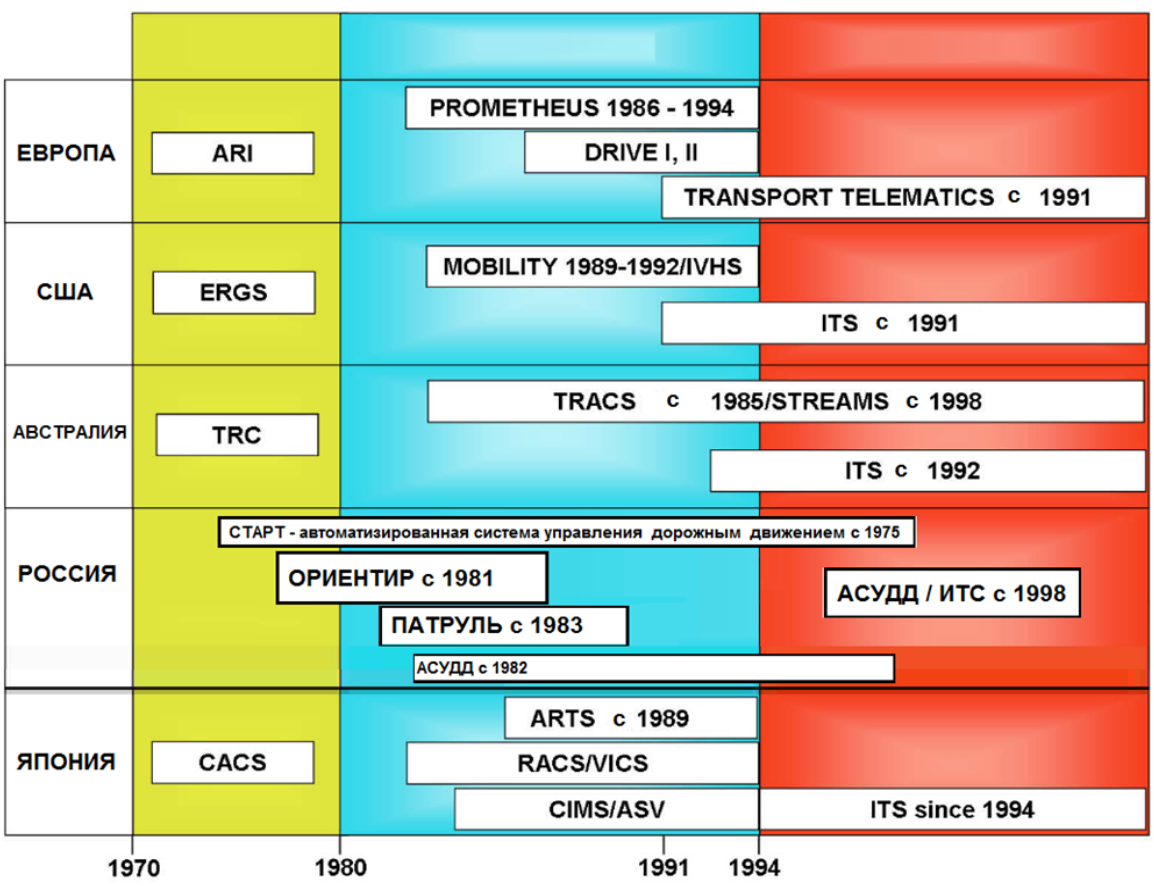


Рисунок 1.18 – Исторический анализ ИТС

ИТС гражданского применения в России [26, 55, 65, 92,] началась в 1975 году с разработки Системы телеавтоматического управления дорожным движением (Система «Старт»). В 1981 году реализуются первые исследования в области транспортных информационно-управляющих радиоэлектронных систем. В рамках НИР «Ориентир» сотрудниками Омского политехнического института проводятся предварительные исследования возможности применения сигналов фазовой радионавигационной системы «Omega» для местоопределения автомобилей в городских условиях, а в 1982 году был испытан экспериментальный образец системы местоопределения милицейских патрульных автомобилей. В 1983 году сотрудники Московского научно-исследовательского института автоматической аппаратуры и Ленинградского научно-исследовательского радиотехнического института приступили к разработке автоматической

системы управления передвижением подвижных милицейских групп города Москвы с использованием системы«Чайка» и системы «Патруль».

В середине 1980-х гг. в России начинается разработка первой автоматизированной системы управления дорожным движением (АСУДД) «Сигнал», выполняемая НПО «Автоматика». Дальнейшее развитие АСУДД в России проходило под воздействием западных технологий [65, 92]. Начиная с 1998 года начало реализовываться создание национальной ИТС.

Согласно [26, 55 ,65], передовые архитектуры ИТС охватывают такие функции как управление дорожным движением, управление общественным транспортом, управление техническими системами транспортных средств, электронный сбор платежей, управление чрезвычайными ситуациями на транспорте, управление грузами и грузоперевозками, информационное обеспечение участников дорожного движения и кооперативные технологии.

1.4 Анализ перечня показателей транспортной обеспеченности

Решению задачи анализа процесса развития транспортных систем городов и регионов посвящено множество отечественных и зарубежных научных трудов, таких как [33, 108, 110, 111, 112, 113, 114, 139, 166].

Структурно-функциональный облик транспортной системы, с учетом технико-экономических особенностей развития сетей по крупным географическим регионам впервые формируется в трудах С.С. Ушакова, Л.И. Василевского [139]. При этом рассматриваемая система анализа включает: относительные показатели развития транспорта [139, стр.14], показатели развития сети путей сообщения по видам транспорта [139, стр.15-22], относительные показатели густоты сетей путей сообщения [139, стр.25-28] и комплексные показатели обеспеченности территорий (коэффициент Энгеля, коэффициент Успенского [139, стр.29-32]). Позднее, в трудах В.Г. Галабурды, В.А. Персианова, А.А. Тимошина [33] предлагается классификация схем территориальной организации транспорта и деление его

на иерархические уровни [33, стр. 12-15]. Разрабатываются характеристические показатели транспортной обеспеченности и доступности [33, стр.28-30], анализируется статическая и динамическая подвижность населения [33, стр.45-46], предлагаются показатели качества транспортного обслуживания по видам транспорта.

Последующая формализация проблем организации транспортного обслуживания и взаимодействия в структуре обменных социально-экономических процессов позволила подойти к решению вопросов: взаимосвязанного развития транспорта и расселения (Г.А. Гольц [37]), формирования планировочной структуры систем расселения и функционального зонирования (В.В. Владимиров, Н.И. Наймарк, Г.В. Субботин [29]), проектирования комплексных схем транспорта в генеральных планах городов (М.С. Фишельсон [141], В.А. Черепанов [144]). Позднее, проблемы транспортной планировки города получают свое продолжение в трудах Е.М. Лобанова [77], раскрывающих методологические основы функционального зонирования города и организации дорожного движения, а с позиции жизнеобеспечения территории рассматриваются Э.А. Сафроновым [105]. Предлагаемая система показателей городского пассажирского транспорта (ГПТ) по Сафронову включает показатель предлагаемой и удельной работы системы ГПТ, характеристику производительности и коэффициент полезного действия системы ГПТ [105, стр. 20]. Спустя год, В.М. Дубовым и др. [96] предложен на концептуальном уровне системный подход, включающий оценку свойств и ресурсной устойчивости транспортной системы в зависимости от иерархии организационных и функциональных структур. Дальнейшее развитие система показателей транспортного обеспечения получает в работе [61], при этом последние предлагается разделить на семь групп. В работе [150] предложен механизм формирования основных критериев качества транспортного обслуживания. В работе [123, 86] представлена система показателей анализа дорожных транспортных сетей мегаполиса. В работе

[108] предложен метод субъективной оценки эффективности организации дорожного движения участниками транспортного процесса.

На основе проведенного анализа была сформирована таблица 1.8 наиболее используемых показателей оценки и эффективности транспортной обеспеченности мегаполиса.

Таблица 1.8 – Показатели транспортной обеспеченности мегаполиса

№	Показатель	Аналитическое выражение	Размерность	Источник
Показатели материально-технической базы				
1	Эксплуатационная протяженность путей сообщения (по видам транспорта - m)	L^m	$[км]$	[33]
2	Пропускная способность элементов транспортной сети по видам транспортного сообщения	ρ_i^m	$\left[\frac{ед.трс}{ед.врем}\right]$	[40]
3	Наличие (численность) подвижного состава транспорта общего пользования - o (по видам транспорта)	$N_{V_o^m}$	$[ед]$	[33],
4	Наличие (численность) подвижного состава по видам транспорта	N_{V^m}	$[ед]$	[33], [112]
5	Структура парка транспортных средств по маркам и модификациям (по видам)	M_{V^m}	$[ед]$	[33], [112]
Показатели перевозочной работы				
6	Объем перевозок по видам транспорта	$\sum P^m$	$[т]$	[33], [112]
7	Грузооборот по видам транспорта	Γ^m	$[т-км]$	[133], [112]
8	Объем пассажирских перевозок по видам транспорта	$\sum h^m$	$[чел]$	[33], [112]
9	Объем пассажирских перевозок транспорта общего пользования по видам сообщения	$\sum h_o^m$	$[чел]$	[33], [112]
10	Пассажирооборот по видам транспорта общего пользования	$П_o^m$	$[пасс-км]$	[33], [112]
11	Пассажирооборот транспорта общего пользования по видам сообщения	$П^c$	$[пасс-км]$	[33], [112]

Таблица 1.8 – Показатели транспортной обеспеченности мегаполиса (продолжение)

№	Показатель	Аналитическое выражение	Размерность	Источник
Показатели густоты путей сообщения				
12	Густота сети сообщения (по видам) с учетом площади территории	$D_{LS} = \frac{L}{S}$	$\left[\frac{км}{км^2}\right]$	[61], [112]
13	Густота сети сообщения (по видам) с учетом количества жителей	$D_{LH} = \frac{L}{H}$	$\left[\frac{км}{чел.}\right]$	[61], [112]
14	Густота сети сообщения с учетом общего объема продукции, произведенной на рассматриваемой территории	$D_{LQ} = \frac{L}{Q}$	$\left[\frac{км}{т.}\right]$	[61], [112]
15	Густота сети сообщения с учетом веса отправляемых грузов	$D_{LP} = \frac{L}{P}$	$\left[\frac{км}{т.}\right]$	[61] ,[112]
16	Густота сети сообщения с учетом площади территории и численности населения (показатель Энгеля)	$D_{LSHQ} = \frac{L}{\sqrt{SH}}$	$\left[\frac{км}{\sqrt{км^2 чел}}\right]$	[61] ,[112]]
17	Густота сети сообщения с учетом площади территории и количества населенных пунктов (показатель Гольца)	$D_{LS\tau} = \frac{L}{\sqrt{S\tau}}$	$\left[\frac{км}{\sqrt{км^2 ед.}}\right]$	[37], [112]]
18	Густота сети с учетом площади территории, численности населения и общего веса отправляемых грузов (показатель Ю.И. Успенского)	$D_{LSHQ} = \frac{L}{\sqrt[3]{SHP}}$	$\left[\frac{км}{\sqrt[3]{км^2 \cdot чел \cdot т}}\right]$	[61], [112]

Таблица 1.8 – Показатели транспортной обеспеченности мегаполиса (продолжение)

№	Показатель	Аналитическое выражение	Размерность	Источник
19	Густота сети сообщения с учетом площади территории, численности населения и общего объема продукции произведенной на рассматриваемой территории (показатель Л.И. Василевского)	$D_{LSHQ} = \frac{L}{\sqrt[3]{SHQ}}$	$\left[\frac{км}{\sqrt[3]{км^2 \cdot чел \cdot т}}\right]$	[61], [112]
Показатели объема грузовых перевозок				
20	Объем грузовых перевозок с учетом площади территории	$D_{\Sigma PS} = \frac{\Sigma P}{S}$	$\left[\frac{т}{км^2}\right]$	[61], [112]
21	Объем грузовых перевозок с учетом численности населения	$D_{\Sigma PH} = \frac{\Sigma P}{H}$	$\left[\frac{т}{чел}\right]$	[61], [112]
22	Объем грузовых перевозок с учетом общего объема произведенной продукции на рассматриваемой территории	$D_{\Sigma PQ} = \frac{\Sigma P}{Q}$	$\left[\frac{т}{т}\right]$	[61], [112]
23	Объем грузовых перевозок с учетом площади территории и численности населения	$D_{\Sigma PSH} = \frac{\Sigma P}{\sqrt{SH}}$	$\left[\frac{т}{\sqrt{км^2 \cdot чел}}\right]$	[61], [112]
24	Объем грузовых перевозок с учетом площади территории, численности населения и объема произведенной продукции на рассматриваемой территории	$D_{\Sigma 3SHQ} = \frac{\Sigma P}{\sqrt[3]{SHQ}}$	$\left[\frac{т}{\sqrt[3]{км^2 \cdot чел \cdot т}}\right]$	[61], [112]]
Показатели грузооборота				
25	Грузооборот	$\Gamma = \Sigma PL$	$[т - км]$	[61], [112]
26	Грузооборот с учетом площади территории	$D_{\Gamma S} = \frac{\Gamma}{S}$	$\left[\frac{т - км}{км^2}\right]$	[61], [112]

Таблица 1.8 – Показатели транспортной обеспеченности мегаполиса (продолжение)

№	Показатель	Аналитическое выражение	Размерность	Источник
27	Грузооборот с учетом численности населения	$D_{ГН} = \frac{Г}{H}$	$\left[\frac{т-км}{чел}\right]$	[61], [112]
28	Грузооборот с учетом общего объема произведенной продукции на рассматриваемой территории	$D_{ГQ} = \frac{Г}{Q}$	$\left[\frac{т-км}{т}\right]$	[61], [112]
29	Грузооборот с учетом площади территории и численности населения	$D_{ГSH} = \frac{Г}{\sqrt{SH}}$	$\left[\frac{т-км}{\sqrt{км^2 \cdot чел}}\right]$	[61], [112]
30	Грузооборот с учетом площади территории, численности населения и объема произведенной продукции на рассматриваемой территории	$D_{ГSHQ} = \frac{Г}{\sqrt[3]{SHQ}}$	$\left[\frac{т-км}{\sqrt[3]{км^2 \cdot чел \cdot т}}\right]$	[61], [112]
Показатели транспортного дохода				
31	Транспортные доходы мегаполиса с учетом площади территории	$gS = \frac{\Sigma Д}{S}$	$\left[\frac{руб}{км^2}\right]$	[61], [112]
32	Транспортные доходы мегаполиса с учетом численности населения	$gN = \frac{\Sigma Д}{H}$	$\left[\frac{руб}{чел}\right]$	[61], [112]
33	Транспортные доходы с учетом общего объема произведенной продукции на рассматриваемой территории	$gQ = \frac{\Sigma Д}{Q}$	$\left[\frac{руб}{т}\right]$	[61], [112]
34	Транспортные доходы с учетом площади территории и численности населения	$gSH = \frac{\Sigma Д}{\sqrt{SH}}$	$\left[\frac{руб}{\sqrt{км^2 \cdot чел}}\right]$	[61], [112]

Таблица 1.8 – Показатели транспортной обеспеченности мегаполиса (продолжение)

№	Показатель	Аналитическое выражение	Размерность	Источник
35	Транспортные доходы с учетом площади территории, численности населения и объема произведенной продукции на рассматриваемой	$gSHQ = \frac{\Sigma Д}{\sqrt[3]{SHQ}}$	$\left[\frac{руб}{\sqrt[3]{км^2 \cdot чел \cdot т}}\right]$	[61], [112]
Показатели транспортных затрат				
36	Транспортные расходы мегаполиса с учетом площади территории	$cS = \frac{\Sigma З}{S}$	$\left[\frac{руб}{км^2}\right]$	[61], [112]
37	Транспортные расходы мегаполиса с учетом численности населения	$cH = \frac{\Sigma З}{H}$	$\left[\frac{руб}{чел}\right]$	[61], [112]
38	Транспортные расходы с учетом общего объема произведенной продукции на рассматриваемой территории	$cQ = \frac{\Sigma З}{Q}$	$\left[\frac{руб}{т}\right]$	[61], [112]
39	Транспортные расходы с учетом площади территории и численности населения	$cSH = \frac{\Sigma З}{\sqrt{SH}}$	$\left[\frac{руб}{\sqrt{км^2 \cdot чел}}\right]$	[61], [112]
40	Транспортные расходы с учетом площади территории, численности населения и объема произведенной продукции на рассматриваемой территории	$cSHQ = \frac{\Sigma З}{\sqrt[3]{SHQ}}$	$\left[\frac{руб}{\sqrt[3]{км^2 \cdot чел \cdot т}}\right]$	[61], [112]
41	Критерий сравнения вариантов развития (для автомобильных дорог)	$P = \frac{l_n \cdot Ц_c \cdot N \cdot 365 \cdot M}{V \cdot 1000000} + K_н \cdot L + K_n$	$[руб]$	[112]
Показатели обеспеченности транспортным обслуживанием				
42	Удельный уровень насыщенности транспортной сети мегаполиса подвижным составом	$K_{нпс} = \frac{\sum_{i=1}^{n} N_v^m}{L^m}$	$\left[\frac{ед.трс}{км}\right]$	[112]

Таблица 1.8 – Показатели транспортной обеспеченности мегаполиса (продолжение)

№	Показатель	Аналитическое выражение	Размерность	Источник
43	Удельный уровень насыщенности мегаполиса транспортной сети пассажироместами	$K_{нпс} = \frac{\sum_{i=1}^{n} q_{нi} \gamma_{нi}}{L^m}$	-	[112]
44	Удельный уровень насыщенности мегаполиса подвижным составом	$K_{нпс} = \frac{\sum_{i=1}^{n} N_v^m}{H}$	-	[112]
45	Удельный уровень насыщенности мегаполиса пассажироместами с учетом определенного уровня качества обслуживания населения к числу жителей	$K_{нпс} = \frac{\sum_{i=1}^{n} q_{нi} \gamma_{нi}}{H}$	-	[112]
46	Удельная годовая подвижность населения (эффективность подвижного состава)	$K_{пн} = \frac{\Sigma p_{общ}}{\sum_{i=1}^{n} N_v^m}$	-	[112]
Показатели эффективности функционирования				
47	Подвижность населения	$p = \frac{N^{П}}{N^{K}}$	$[ед]$	[74]
48	Транспортная подвижность	$p_{тр} = \frac{N^{П_{тр}}}{N^{K_{ж}}} = \frac{\Sigma h_{г}}{N^{K_{ж}}}$	$[ед]$	[74]
49	Пробег транспортных средств (по видам транспорта)	$[VKT]$	$[км]$	[108]

Таблица 1.8 – Показатели транспортной обеспеченности мегаполиса (продолжение)

№	Показатель	Аналитическое выражение	Размерность	Источник
50	Интенсивность движения	$N = \frac{n_{V^m}}{t}$	$\left[\frac{ед.трс}{ед.вр}\right]$	[40],[112]
51	Объем движения	$V_N = \frac{n_a}{l}$	$\left[\frac{ед.трс}{км}\right]$	[123], [112]
52	Грузонапряженность транспортной коммуникации (брутто)	$Q = \frac{M_{\Sigma}^{l}}{t}$	$\left[\frac{т}{сут}\right], \left[\frac{т}{год}\right]$	[123], 112]
53	Грузонапряженность транспортной коммуникации (нетто)	$Q = \frac{M_{\Sigma}^{l}}{t}$	$\left[\frac{т}{сут}\right], \left[\frac{т}{год}\right]$	[123], 112]
54	Пропускная способность транспортной коммуникации	$P = \frac{n_a^l}{t}$	$\left[\frac{ед.трс}{ед.вр}\right]$	[112]
55	Пропускная способность транспортной коммуникации	$M = \frac{m_{гр/пасс}}{t}$	$\left[\frac{пасс}{ч}\right], \left[\frac{т}{час}\right]$	[123]
56	Средняя техническая скорость	$v_т = \frac{l_м}{t_{дв}}$	$\left[\frac{км}{ч}\right]$	[108]
57	Средняя эксплуатационная скорость транспортного средства на линии (для автомобильного транспорта)	$v_э = \frac{L_{общ}}{T_н}$	$\left[\frac{км}{ч}\right]$	[108]
58	Коэффициент скорости движения (для автомобильного транспорта)	$c = \frac{v_z}{v_ж}$	-	[108]

Таблица 1.8 – Показатели транспортной обеспеченности мегаполиса (продолжение)

№	Показатель	Аналитическое выражение	Размерность	Источник
59	Коэффициент использования линейного времени (для автомобиля-такси)	$\eta_m = \frac{T_n}{T_н}$	-	[112]
60	Коэффициент платного пробега (для автомобиля-такси)	$\beta_{пл} = \frac{L_{пл}}{L_{сс}}$	-	[112]
61	Время среднесуточных передвижений жителя с использованием транспорта	$t_{жит} = \frac{t_{пас} A_м}{NK_н}$	$[ч]$	[77], [112]
62	Время сообщения	$t_с$	$[ч]$	[77], [112]
Интегральные показатели ГПТ				
63	Предлагаемая удельная работа системы городского пассажирского транспорта	$G = \frac{\Omega ПW}{N}$	$\left[\frac{место\ км}{жит.\ сут}\right]$	[77], [112]
64	Используемая удельная работа системы городского пассажирского транспорта	$\bar{l} = \frac{A_м l}{N}$	$\left[\frac{место\ км}{жит.\ сут}\right]$	[77], [112]
65	Средняя скорость передвижения одного жителя города (характеристика производительности системы городского пассажирского транспорта)	$V_{пер} = \frac{\bar{l}}{t_{жит}}$	$\left[\frac{место\ км}{жит.\ сут}\right]$	[77], [112]
66	Коэффициент полезного действия системы городского пассажирского транспорта	$K_н = \frac{\bar{l}}{G}$	-	[77], [112]
67	Коэффициент службы дороги	$K_{сл} = \frac{v_ф}{v_р}$	-	[77], [112]

Таблица 1.8 – Показатели транспортной обеспеченности мегаполиса (продолжение)

№	Показатель	Аналитическое выражение	Размерность	Источник
68	Коэффициент безопасности (для автомобильного транспорта)	$K_{без} = \frac{v}{v_{вх}}$	-	[77], [112]
69	Эксплуатационный коэффициент обеспеченности расчетной скорости движения (для автомобильного транспорта)	$K_{р.с.э} = \frac{v_{ф\max}}{v_{расч}}$	-	[77], [112]
70	Коэффициент субъективной оценки	$k_{со} = \frac{\tau^{д}}{\tau^{r}}$	-	[108], [112]

Расшифровка сокращений таблицы: m – виды транспорта; o – транспорт общего пользования; H – численность жителей в мегаполисе [чел]; S – площадь территории мегаполиса, [км^2]; τ – количество районов (населенных пунктов) в мегаполисе, [ед]; $\Sigma Д$ – транспортные доходы региона по грузовым перевозкам, [руб.]; $\Sigma З$ – расходы транспорта по грузовым перевозкам, [руб.]; n_a – число автомобилей проходящих через некоторое поперечное сечение дороги, [ед.]; $q_{нi}$ – номинальная вместимость *i-го* типа подвижного состава, [пасс.]; $\gamma_{нi}$ – номинальный коэффициент наполнения *i-го* типа подвижного состава с учетом установленного уровня качества обслуживания; $\Sigma p_{общ}$ – годовая подвижность населения; $N^{П}$ – количество передвижений за год, [ед]; N^{K} – число участников передвижений, [ед.]; $N^{П_{тр}}$ – количество передвижений на транспорте в течение года, [ед.]; $N^{K_{ж}}$ – число жителей населенного пункта, [чел.]; $\Sigma h_г$ – число пассажиров, перевезенных за год; P – общая сумма расходов, [руб.]; $Ц_с$ – усредненная стоимость одного машино-часа работы автомобиля, [руб.]; $l_п$ – протяженность участка строительства нового направления, [км.]; $K_н$ – нормативная стоимость строительства одного километра участка дороги, [руб.]; $K_п$ – расходы на обустройство территории, [руб.]; M – коэффициент, определяющий соотношение суммы затрат за расчетный срок и затрат одного года; M^l_{Σ} – суммарная масса грузов и автомобилей, прошедших по данному участку дороги, [т]; n^l_a – число автомобилей, проезжающих через участок дороги, [ед]; $L_{общ}$ – длинна пройденного автобусом или автомобилем пути, [км]; $T_н$ – время затраченное на движение, [мин]; $Tп$ – время полезного использования автомобиля-такси на линии, [мин.]; $T_п$ – общее время пребывания автомобиля-такси на линии, [мин]. v_z – комфортная скорость движения, [км/ч]; $v_ж$ – желаемая скорость движения, [км/ч]; $L_{пл}$ – производительный пробег, [км]; $L_{сс}$ – общий пробег, [км]; Ω – средняя номинальная вместимость подвижного состава, [мест];

$П$ – суточный пробег подвижного состава, [км]; W – количество подвижного состава, [ед]; N – количество перевозимых пассажиров, [чел.]; $A_м$ – объем перевозок в маршрутных поездках, [пасс.]; $t_{пас}$ – время полного передвижения пассажира, [мин]; $l_м$ – дальность маршрутной поездки, [км.]; $t_{жит}$ – время среднесуточных передвижений жителя с использованием транспорта, [мин]; $l_{пас}$ – дальность полной поездки пассажира; [км], $k_{со}$ – коэффициент субъективной оценки эффективности организации процесса дорожного движения; $\tau_г$ – среднее время нахождения транспортного средства в транспортной сети за день; $\tau^Д$ – среднее время нахождения транспортного средства на уличной дорожной сети за день при допустимой скорости передвижения.

Представленные показатели оценки позволяют осуществлять интегральную оценку транспортной обеспеченности мегаполиса и ее эффективность, а также выявлять сложные структурно-функциональные особенности взаимодействия организации городской среды и транспортной системы.

1.5 Постановка задачи исследования

Проведенный в разделе 1.1 и разделе 1.2 анализ развития исследований в области решения задач транспортных конфликтов, возникающих в процессе движения транспортных потоков внутри транспортных сетей, свидетельствует о том, что в настоящее время существуют различные подходы, позволяющие: выявлять транспортные конфликты [185, 186, 200-203], фиксировать их [185, 186, 200-203, 165, 159, 168], осуществлять оценку степени их тяжести [165, 159, 168, 186] и частично устранять их возможное возникновение [1, 60, 138] в границах принятого понятийного определения [206].

Однако, понимание того, что *транспортный конфликт является наблюдаемой ситуацией, в которой два или более участников дорожного движения приближаются друг к другу в пространстве и времени до такой степени, что существует риск столкновения, если траектории их движения*

остаются неизменными, сформировалось после его официального закрепления на первой Международной конференции по транспортным конфликтам [206] в основном исходя из аспектов безопасности дорожного движения [7-11, 60, 165, 200-203, 219] и не получило серьезного развития в теории транспортных систем.

Таким образом, до настоящего времени остается непроработанными задачи:

1. системного понимания понятия транспортный конфликт;
2. классификации, позволяющей системно формализовать конфликтующие транспортные средства с инфраструктурными элементами транспортной сети, в границах которой возникает данная конфликтная ситуация;
3. формализации понятия бесконфликтности ПДТ;
4. формализации понятия непрерывности ПДТ;
5. разработки метода организации транспортной сети, позволяющего реализовать процесс бесконфликтного непрерывного ПДТ.

Решению данных задач и посвящена глава 2 настоящего диссертационного исследования.

Проведенный в разделе 1.3. обзор развития интеллектуальных транспортных систем указывает на существование множества подходов для создания интеллектуальных транспортных систем и технологий. Существующие рамочные архитектуры ИТС охватывают такие функции как управление дорожным движением, управление общественным транспортом, управление техническими системами транспортных средств, электронный сбор платежей, управление чрезвычайными ситуациями на транспорте, управление грузами и грузоперевозками, информационное обеспечение участников дорожного движения и кооперативные технологии. Однако до настоящего времени, даже на концептуальном уровне не затрагивалась задача построения системы организации и развития транспортной системы мегаполиса.

Решентю данной задачи и посвящена глава 3 настоящего диссертационного исследования.

Проведенный в разделе 1.4 анализ показателей транспортной обеспеченности свидетельствует о том, что существующие показатели

рассчитываются, опираясь лишь на данные эксплуатационной длины транспортной сети и численность населения в регионе. Данные показатели не позволяют производить интегральную оценку транспортной обеспеченности при изменении площади территории, протяженности транспортной сети, численности населения и количества транспортных средств по видам транспорта. Непроработанными остаются так же задачи организации транспортной составляющей в границах городского квартала и ее надлежащей оценки.

Решению данного комплекса задач и посвящена глава 4 настоящего диссертационного исследования.

Выводы по главе 1

В ходе проведенных исследований в главе 1 были получены следующие результаты:

1. Проведен анализ отечественного и зарубежного опыта развития методов анализа транспортных конфликтов в городских транспортных сетях, в том числе установлены критерии определения транспортного конфликта и существующие системы классификации транспортных конфликтов по степени тяжести, а также проведена сравнительная оценка мер определения транспортных конфликтов.

2. Проведен анализ основных методов оценки участков улично-дорожной сети, позволяющих оценить возможность появления в них потенциальных транспортных конфликтов и степень их опасности, как на стадии функционирования участков УДС, так и на стадии разработки новых проектов улично-дорожной сети.

3. Проведен анализ отечественного и зарубежного опыта создания интеллектуальных транспортных систем. Раскрыты функциональные свойства основных архитектур ИТС и представлен процесс их развития.

4. Проведен анализ отечественного и зарубежного опыта в области формирования показателей транспортной обеспеченности ГТС. Раскрыты аспекты

развития показателей анализа транспортной обеспеченности городов. Представлена система существующих показателей, позволяющая производить интегральную оценку транспортной обеспеченности.

ГЛАВА 2
РАЗРАБОТКА МЕТОДА ОРГАНИЗАЦИИ БЕСКОНФЛИКТНОГО НЕПРЕРЫВНОГО ПРОЦЕССА ДВИЖЕНИЯ ТРАНСПОРТА

2.1 Разработка системы классификации транспортных конфликтов. Формализация бесконфликтности процесса движения транспорта

При разработке системы классификации транспортных конфликтов объектом исследования будет выступать ГТС, а предметом исследования – законы структурно-функционального взаимодействия ее элементов. Таким образом, решается проблема формализации научного аппарата, способного логически непротиворечиво описать конфликтные и бесконфликтные состояния транспортных средств и транспортной инфраструктуры, предназначенной для их передвижения, хранения и функционирования [106, 130, 131].

Изложение уместно начать с ввода основных понятий и определений, на которые мы будем опираться в ходе дальнейшего исследования.

Введем следующие понятия: «непрерывность состояния процесса движения транспорта», «транспортный ресурс движения» и «транспортный конфликт».

Непрерывность состояния процесса движения транспорта – это состояние транспортной системы, при котором функциональные состояния каждого подвижного транспортного объекта однозначно соответствуют (принадлежат) функционально-структурным элементам транспортно-коммуникационной системы.

Транспортный ресурс движения (ТРД) - структурный элемент транспортно-коммуникационной системы, предназначенный для движения подвижных транспортных объектов согласно их функциональному состоянию.

Транспортный конфликт – состояние, при котором в один и тот же момент времени элементам транспортной системы требуется один и тот же ТРД.

Предмет конфликта – транспортный ресурс движения.

Предлагаемая структура системы классификации транспортных конфликтов представлена на рисунке 2.1. Система включает конфликты первого рода, конфликты второго рода и конфликты третьего рода. Последовательно рассмотрим каждый из них.

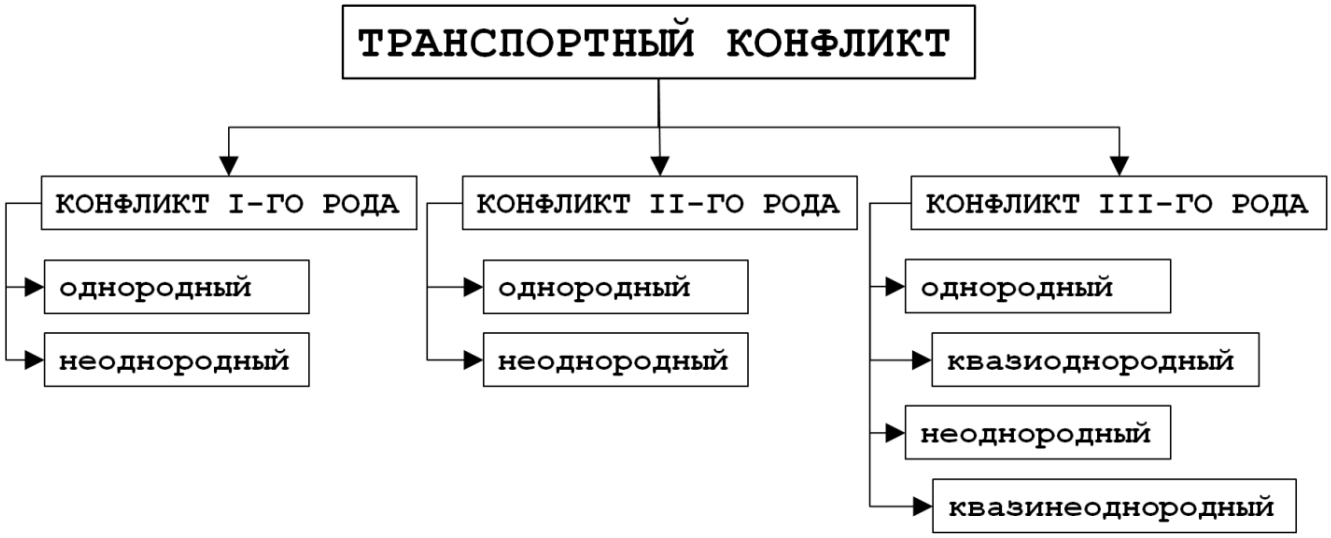


Рисунок 2.1 – Система классификации транспортных конфликтов

Конфликт I рода (Ψ^{I}) - это состояние, при котором множеству подвижных транспортных объектов в один и тот же момент времени требуется один и тот же транспортный ресурс движения.

Графическая интерпретация конфликта первого рода представлена на рисунке 2.2, а формальная выражением (2.1).

$$\Psi^{I} = v_i\big|_{t=t_k} \bigcap v_j\big|_{t=t_k} = \Theta,\ \forall v_i, v_j \in TCom \qquad (2.1)$$

Символами v_i, v_j обозначены подвижные транспортные объекты, принадлежащие участку транспортной коммуникации (*TCom*); Θ – транспортный ресурс движения, требуемый подвижным транспортным объектам в один и тот же момент времени t_k.

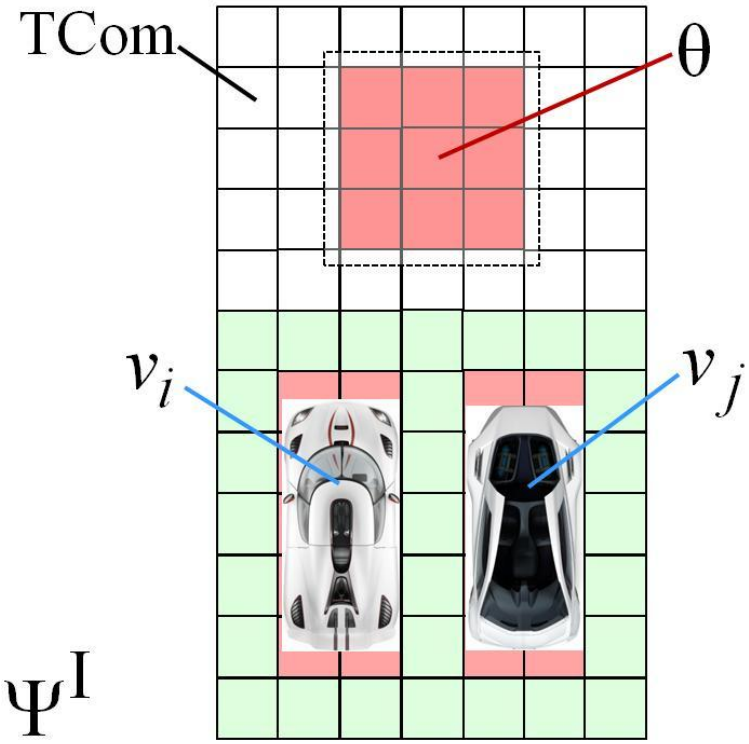


Рисунок 2.2 – Конфликт первого рода

Конфликт первого рода, протекающий между подвижными транспортными объектами одного вида транспорта, будем называть *однородным* (Ψ^{I_h}) конфликтом первого рода.

Графическая интерпретация однородного конфликта первого рода представлена на рисунке 2.3а), а формальная выражением (2.2).

$$\Psi^{I_h} = v_i^a\Big|_{t=t_k} \bigcap v_j^a\Big|_{t=t_k} = \Theta, \forall v_i^a, v_j^a \in TCom, \tag{2.2}$$

где v_i^a, v_j^a - ПТО одного вида транспорта, конкурирующие за ТРД (Θ).

Конфликт I рода, протекающий между подвижными транспортными объектами разного вида транспорта будем называть *неоднородным* ($\Psi^{I_{in}}$) конфликтом первого рода.

Графическая интерпретация неоднородного конфликта первого рода представлена на рисунке 2.3б), а формальная выражением (2.3).

$$\Psi^{I_{in}} = v_i^a\Big|_{t=t_k} \bigcap v_j^b\Big|_{t=t_k} = \Theta, \forall v_i^a, v_j^b \in TCom, \tag{2. 3}$$

где v_i^a, v_j^b - ПТО разного вида, конкурирующие за ТРД (Θ).

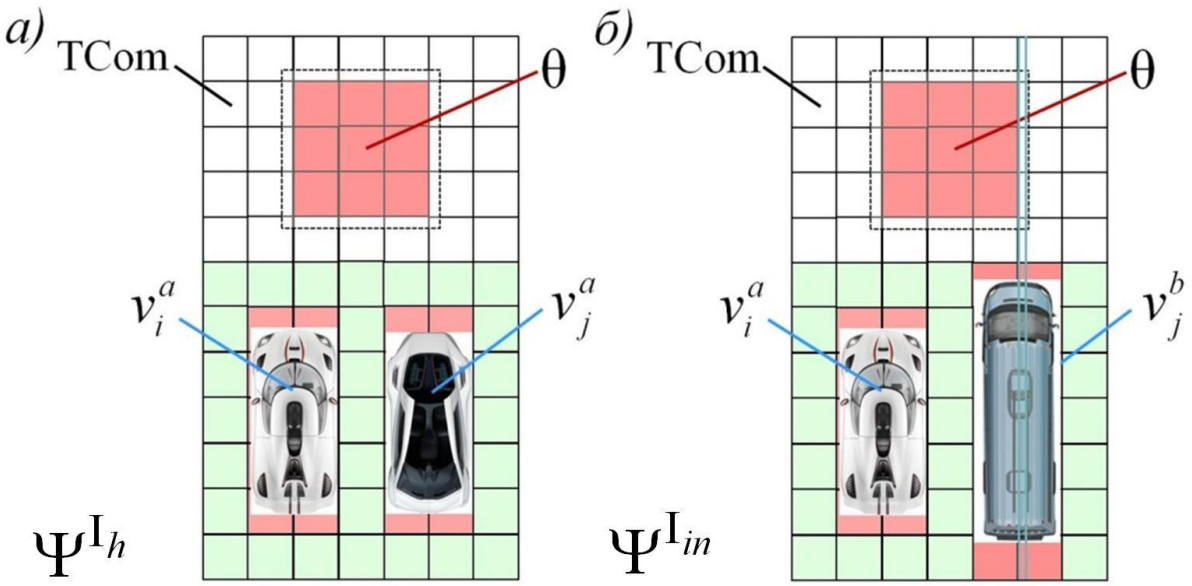


Рисунок 2.3 – Конфликты первого рода а) однородный, б) неоднородный

Конфликт второго рода (Ψ^{II}) – это состояние области пересечения транспортных коммуникаций, при котором коммуникаций постоянно потребляют один и тот же ресурс дорожной сети($\tilde{\Theta}$).

Графическая интерпретация конфликта второго рода представлена на рисунке 2.4, а формальная выражением (2.4).

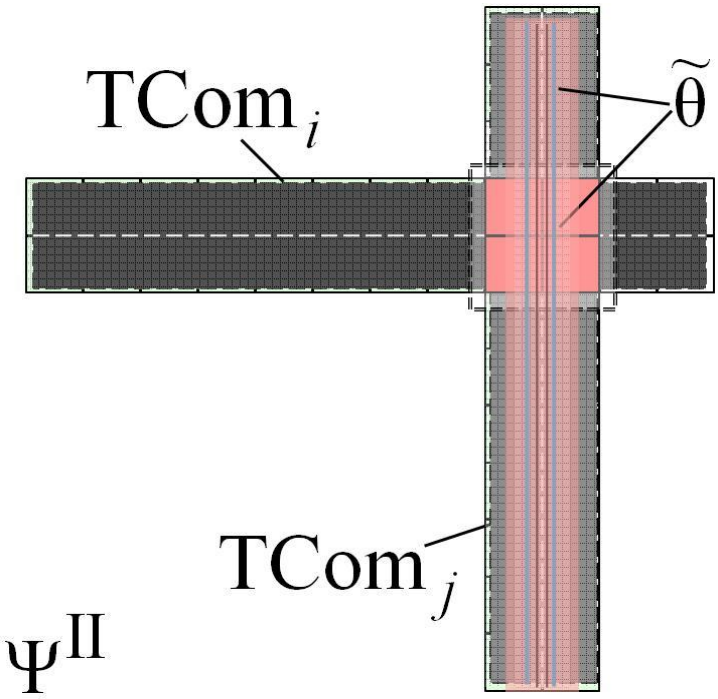


Рисунок 2.4 – Конфликт II рода

$$\Psi^{\text{II}} = TCom_{\text{i}} \bigcap TCom_{\text{j}} = \tilde{\Theta}, \tag{2.4}$$

где $TCom_i$, $TCom_j$ – конкурирующие за ресурс дорожной сети ($\tilde{\Theta}$) транспортные коммуникации.

Конфликт второго рода, протекающий между коммуникациями одного вида транспорта будем называть *однородным* конфликтом второго рода (Ψ^{II_h}). Графическая интерпретация однородного конфликта второго рода представлена на рисунке 2.5а), а формальная выражением (2.5).

$$\Psi^{\text{II}_h} = TCom_i^a \bigcap TCom_j^a = \tilde{\Theta}, \tag{2.5}$$

где $TCom_i^a, TCom_j^a$ – транспортные коммуникации одного вида конкурирующие за транспортный ресурс дорожной сети ($\tilde{\Theta}$).

Конфликт II рода, протекающий между коммуникациями разного вида транспорта будем называть *неоднородным* конфликтом второго рода ($\Psi^{\text{II}_{in}}$). Графическая интерпретация неоднородного конфликта второго рода представлена на рисунке 2.5б), а формальная выражением (2.6).

$$\Psi^{\text{II}_{in}} = TCom_i^a \bigcap TCom_j^b = \tilde{\Theta}, \tag{2.6}$$

$TCom_i^a, TCom_j^b$ – транспортные коммуникации разного вида транспорта, конкурирующие за ресурс дорожной сети ($\tilde{\Theta}$).

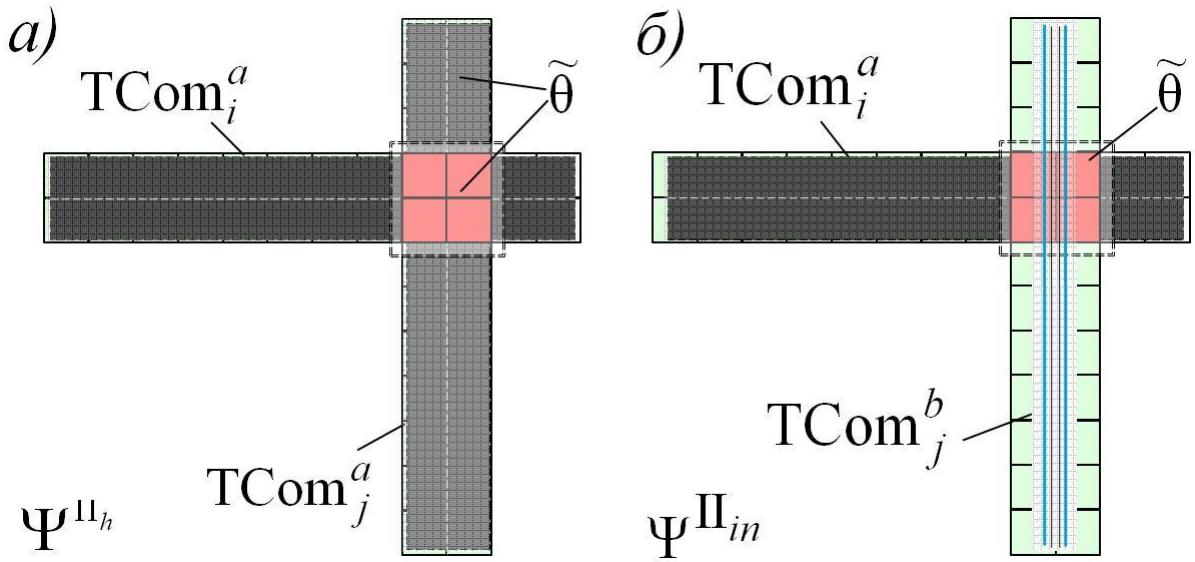


Рисунок 2.5 – Конфликты второго рода а) однородный, б) неоднородный

Конфликт третьего рода (Ψ^{III}) – смешанный конфликт первого и второго рода. Графическую интерпретацию конфликта третьего рода представим на рисунке 2.6,а), а формальную выражением (2.7):

$$\Psi^{III} = \Psi^{I} \wedge \Psi^{II}, \tag{2.7}$$

где Λ – логическое конъюнктивное объединение конфликтов первого и второго рода.

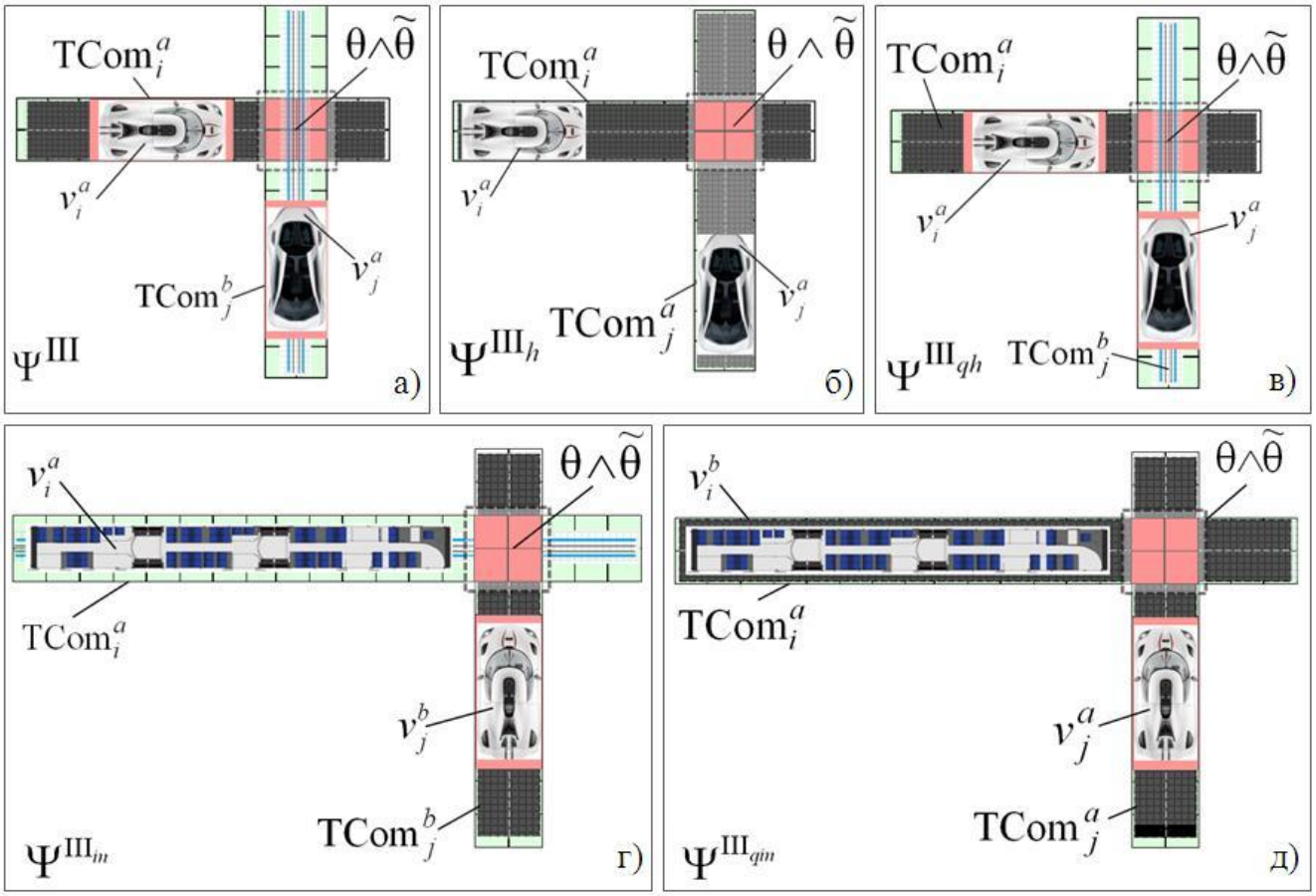


Рисунок 2.6 – Транспортные конфликты третьего рода: а) общий вид конфликта третьего рода, б) однородный, в) квазиоднородный, г) неоднородный, д) квазинеоднородный

Смешанный конфликт однородного конфликта первого и однородного конфликта второго рода будем называть – *однородным* конфликтом третьего рода $\left(\Psi^{III_h}\right)$. Графическую интерпретацию однородного конфликта третьего рода представим рисунке 2.6,б), а формальную выражением (2.8):

$$\Psi^{III_h} = \Psi^{I_h} \wedge \Psi^{II_h} \tag{2.8}$$

Смешанный конфликт однородного конфликта первого и неоднородного конфликта второго рода будем называть – *квазиоднородным конфликтом третьего рода* $\left(\Psi^{\mathrm{III}_{qh}}\right)$. Графическую интерпретацию квазиоднородного конфликта третьего рода представим на рисунке 2.6,в), а формальную выражением (2.9):

$$\Psi^{\mathrm{III}_{qh}} = \Psi^{\mathrm{I}_h} \wedge \Psi^{\mathrm{II}_{in}}, \tag{2.9}$$

Смешанный конфликт неоднородного конфликта первого и неоднородного конфликта второго рода будем называть – *неоднородным конфликтом третьего рода* $\left(\Psi^{\mathrm{III}_{in}}\right)$. Графическую интерпретацию неоднородного конфликта третьего рода представим рисунке 2.6,г), а формальную выражением (2.10):

$$\Psi^{\mathrm{III}_{in}} = \Psi^{\mathrm{I}_{in}} \wedge \Psi^{\mathrm{II}_{in}} \tag{2.10}$$

Смешанный конфликт неоднородного конфликта первого рода и однородного конфликта второго рода будем называть – *квазинеоднородным конфликтом III рода* $\left(\Psi^{\mathrm{III}_{qin}}\right)$. Графическую интерпретацию квазинеоднородного конфликта третьего рода представим на рисунке 2.6,д), а формальную выражением (2.11):

$$\Psi^{\mathrm{III}_{qin}} = \Psi^{\mathrm{I}_{in}} \wedge \Psi^{\mathrm{II}_h} \tag{2.11}$$

Тогда, под *бесконфликтностью процесса движения транспорта* ($\Lambda_{\mathrm{T}}^{\Psi}$) будем понимать отсутствие в транспортной системе всех конфликтов первого, второго и третьего рода. Формально это условие выглядит как (2.12).

$$\Lambda_{\mathrm{T}}^{\Psi} : TS \notin \left\lfloor \Psi^{\mathrm{I}}, \Psi^{\mathrm{II}}, \Psi^{\mathrm{III}} \right\rfloor \tag{2.12}$$

Для разрешения конфликтов первого, второго и третьего рода предлагается разработать аксиоматические принципы структурно-функционального распараллеливания процесса движения транспорта.

2.2 Формализация аксиоматики непрерывного процесса движения транспорта

При разработке логико-алгебраического описания организации непрерывного процесса движения транспорта ставится задача формализации связей между функциональными состояниями подвижных транспортных объектов [97] и соответствующей этим функциям структуры транспортно-коммуникационной системы (ТКС или TCS).

Выбор аксиоматического способа формализации непрерывности состояния ПДТ обусловлен необходимостью создания базовых положений, которые в последствие, лягут в основу формальных методов структурно-функциональной организации транспортно-коммуникационной системы.

Логико-алгебраическое представление вызвано стремлением формально описать реальные процессы движения, протекающие в транспортной системе [96, 106, 130, 131]. Структурное построение подобных моделей выполняется согласно [96, 72], разрешение проблем прагматики и семантики описания – согласно [27] с использованием лингвистической концепции [72, 97, 183]. При этом достигается адекватность аксиоматического описания исходной предметной области [96, 151].

Опираясь на вышеизложенное, перейдем к основному изложению аксиоматики.

Аксиома функционального состояния подвижного транспортного объекта.

Подвижный транспортный объект (*V*) в процессе своего функционирования (*C*) пребывает в двух состояниях: состоянии движения (*M*) или состоянии покоя (*S*).

Логически это аксиоматическое утверждение представим в виде (2.13), а графически – на рисунке 2.7.

$$C_V : M \vee S \tag{2.13}$$

где C_V - множество состояний ПТО;

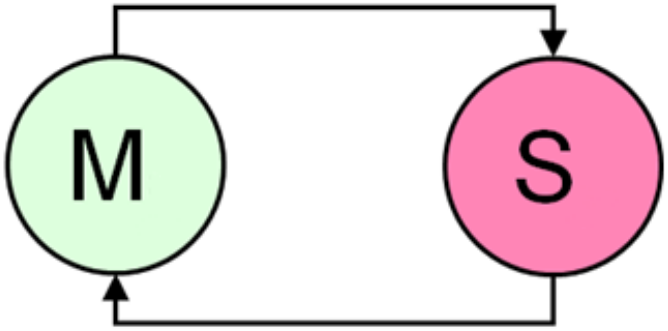


Рисунок 2.7 – Функциональный статус состояния подвижного транспортного объекта.

Аксиома целевых состояний подвижного транспортного объекта.

Цикличность смены состояний движения (*M*) и покоя (*S*) ПТО (2.13) можно представить циклом функционально-целевых состояний: {функция покоя – состояние покоя}- $\langle S \rangle \rightarrow$ {функция перехода из состояния покоя в состояние движения – состояние перехода} – $\langle S - M \rangle \rightarrow$ {функция движения – состояние движения} – $\langle M \rangle \rightarrow$ {функция перехода из состояния движения в состояние покоя – состояние перехода} – $\langle M - S \rangle$ и функция покоя $\langle S \rangle$, порождающая новый цикл целевых состояний.

Такой цикл предлагается считать *циклом целевых состояний ПТО*. Формально его можно представить выражением (2.14), а графически - на рисунке 2.8.

$$\Gamma_{C_V} : \langle S \rangle \wedge (S - M) \wedge \langle M \rangle \wedge \langle M - S \rangle \qquad (2.14)$$

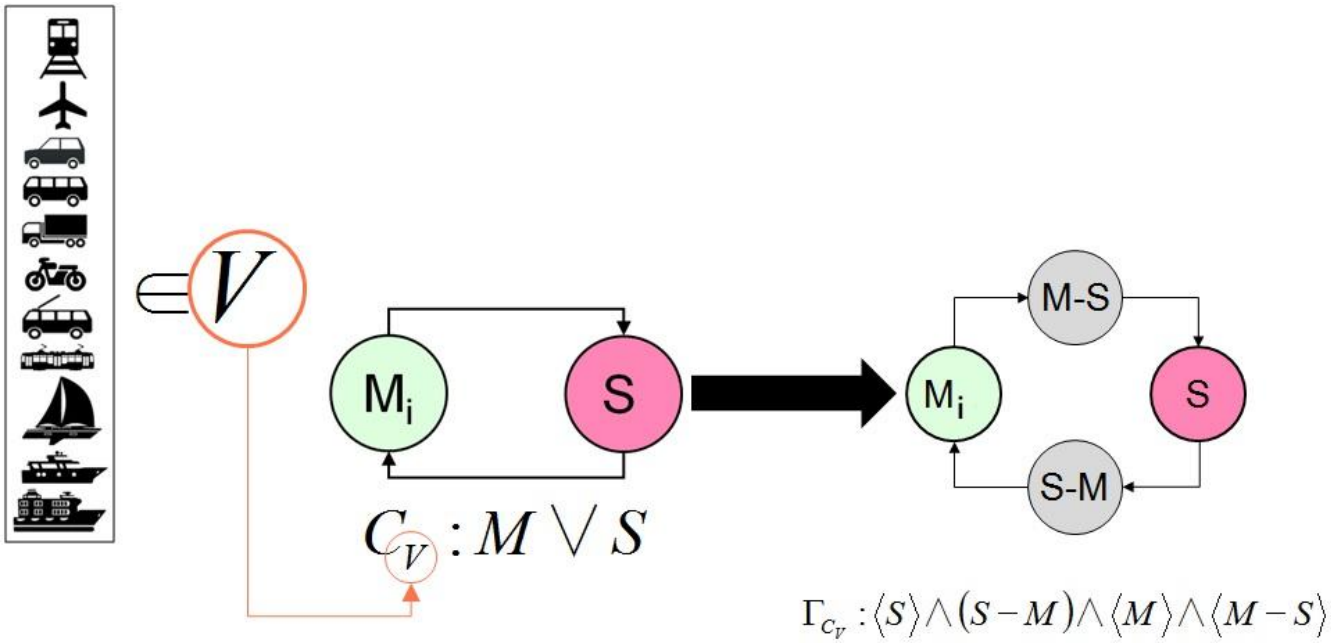


Рисунок 2.8 – Цикл целевых состояний подвижного транспортного объекта

На рисунке 2.8 символ *i* представляет собой множество состояний при реализации определенной целевой функции ПТО, например, M_i – движение с переменной скоростью.

Условие существования функционального соответствия.

Для каждого функционального состояния ПТО $\left(C_i^V \in C_V\right)$ должна существовать транспортная коммуникация $TCom_i^{C_i} \in TCS^{C_V}$, реализующая это функциональное состояние. Формально это представимо как выражение (2.15), а графически - на рисунке 2.9.

$$F^a : \forall C_i^V \in C_V \rightarrow \exists TCom_i^{C_i} \in TCS^{C_V}, \qquad (2.15)$$

где TCS^{C_V} – множество видов функциональных транспортных коммуникаций.

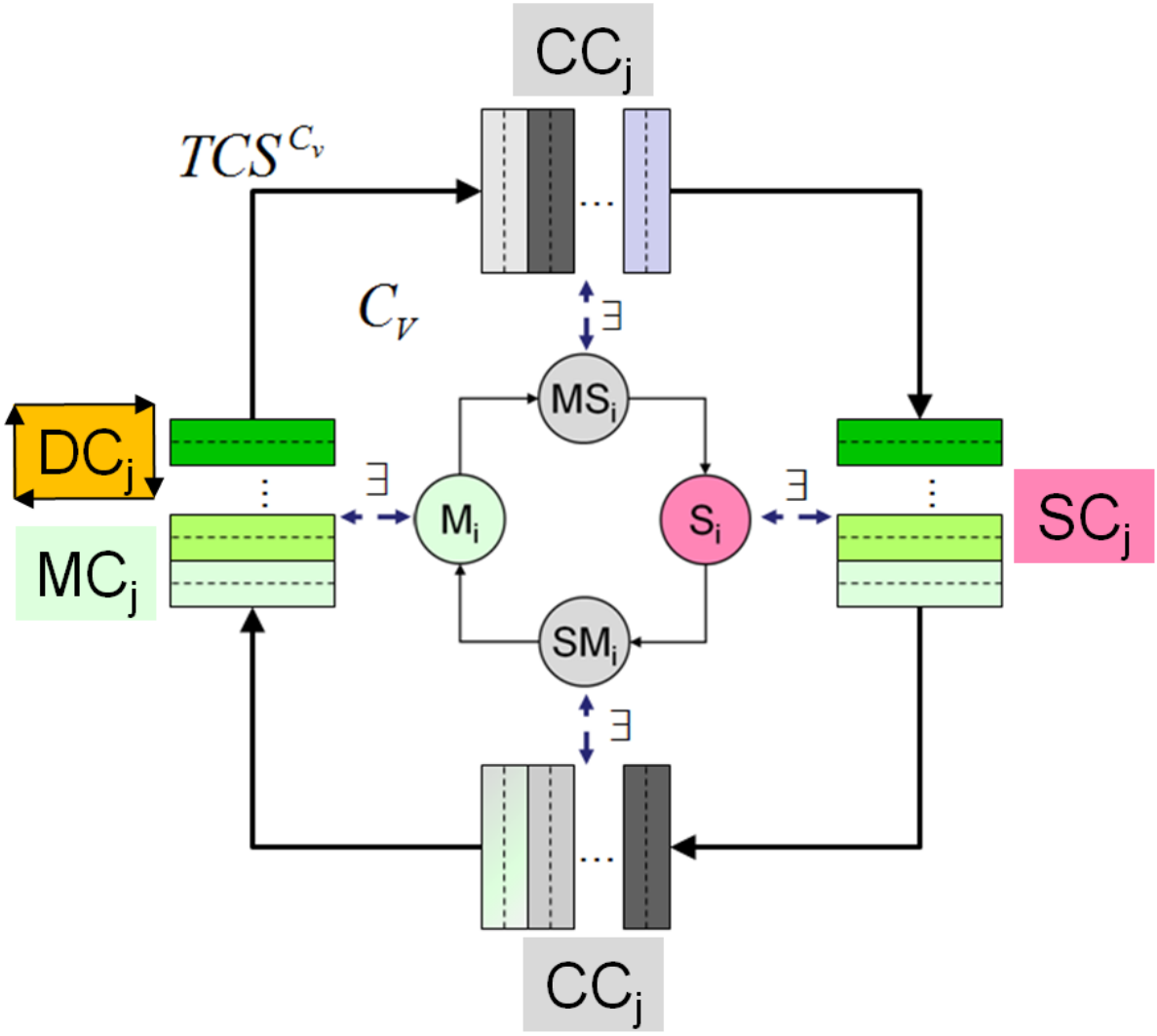


Рисунок 2.9 – Условие существования функционального соответствия между функциональными состояниями подвижного транспортного объекта и элементами транспортно-коммуникационной системы

Таким образом, цикл целевых состояний ПТО, представленный на рисунке 2.8, определяет условие структурно-функционального соответствия ТКС, представленной на рисунке 2.9, т.е. состояние движения (М) ПТО соответствует коммуникации движения (МС) и коммуникации смены направления движения (DC) (частный случай МС), состояние покоя ПТО соответствует коммуникации хранения (SC), состояние перехода ПТО $\langle M-S\rangle$ и $\langle S-M\rangle$ соответствует коннект коммуникации (СС), а символы «*i*» и «*j*» на рисунке 2.9 допускают структурное дифференцирование в границах функциональной области.

Тогда цикл целевых состояний ТКС можно представить как:

$$\Gamma_{\mathrm{TCS}^{C_\mathrm{v}}} : \langle \mathrm{SC} \rangle \wedge \langle \mathrm{CC} \rangle \wedge \langle \mathrm{MC} \wedge \mathrm{DC} \rangle \qquad (2.16а)$$

Условие непрерывности функционального перехода подвижного транспортного объекта.

В ТКС существует оператор управления функциональным переходом ПТО, который каждому ПТО ($v_i^{C_k} \in v$) в состоянии (k) ставит в соответствие элемент транспортно-коммуникационной системы ($TCom_i^k \in TCS^C$), реализующий это состояние ($v_i^{C_k}$).

Формализация непрерывности состояния процесса движения транспорта.

Пусть каждому подвижному транспортному объекту ($\mathrm{v}_i \in \mathrm{V}$) ставится в соответствие множество его состояний движения (C_V), то есть:

$$\forall \mathrm{v}_i \xrightarrow{\in} \exists C_V .$$

Пусть каждому функциональному состоянию движения подвижного транспортного объекта (C_V^i) ставиться в соответствие транспортная коммуникация ($TCom^{C_i} \in TCS$), позволяющая реализовать его данное состояние движения, то есть:

$$\forall C_V^i \xrightarrow{\in} \exists TCom_i^{C_i} .$$

Тогда непрерывность состояния процесса движения транспорта ($\mathrm{O}_{cont}^{\mathrm{T}}$) – это состояние транспортной системы, при котором функциональные состояния (С) каждого подвижного транспортного объекта (V) однозначно соответствуют (принадлежат) функционально-структурным элементам транспортно-коммуникационной системы.

$$\mathrm{O}_{cont}^{\mathrm{T}} : C_{TS} = \begin{cases} \forall \mathrm{v}_i \in TCS \\ \forall C_{\mathrm{v}_i}^i \xrightarrow{\in} \exists TCom_i^{C_i} \end{cases} \qquad (2.16б)$$

Условие классового разбиения транспортно-коммуникационной системы.

Для каждого вида ПТО (V^k) должна существовать транспортно-коммуникационная система этого вида TCS^k, то есть

$$F^m : \forall V^k, V^k \cap TCS = TCS^k, TCS^k \in TS, \qquad (2.17)$$

где *TCS* – транспортно-коммуникационная система, принадлежащая транспортной системе *TS*.

Пример классового разбиения ТКС представлен на рисунке 2.10.

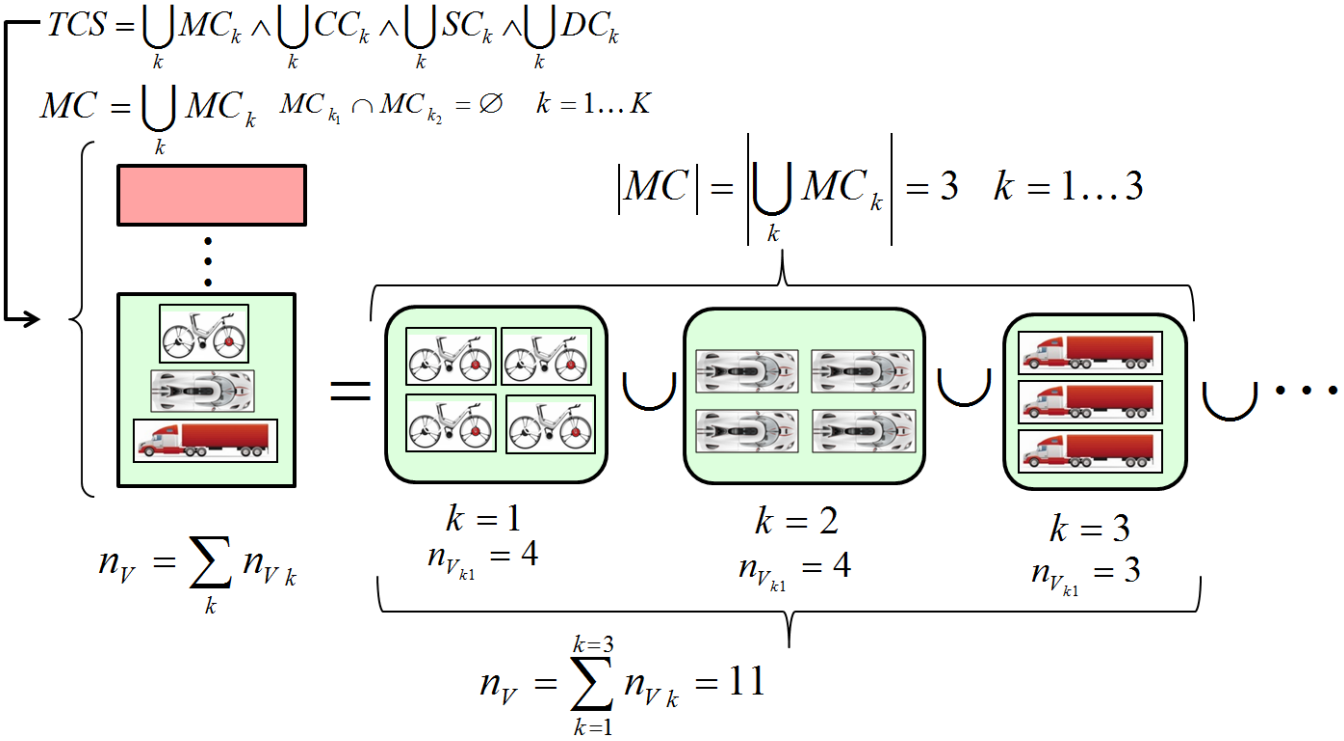


Рисунок 2.10 – Пример классового разбиения транспортно-коммуникационной системы

Аксиома транспортного взаимодействия.

Транспортное взаимодействие возможно при наличии ТКС и транспортного средства (2.18).

$$TI = V \bigcap TCS = \begin{cases} 1 \\ \phi \end{cases}. \qquad (2.18)$$

Аксиома транспортного движения.

Движение (*M*) транспортного средства (*V*) порождается транспортным средством и/или ТКС (2.19)

$$M = \begin{cases} M(TCS \vee V) \\ M(TCS \wedge V) \end{cases} \qquad (2.19)$$

2.3 Построение и организация транспортно-коммуникационной системы

2.3.1 Схема организации транспортно-коммуникационной системы

Сформируем транспортно-коммуникационную систему согласно принципам (2.14)-(2.17), разработанным в разделе 2.2 и представим схему ее организации на рисунке 2.11.

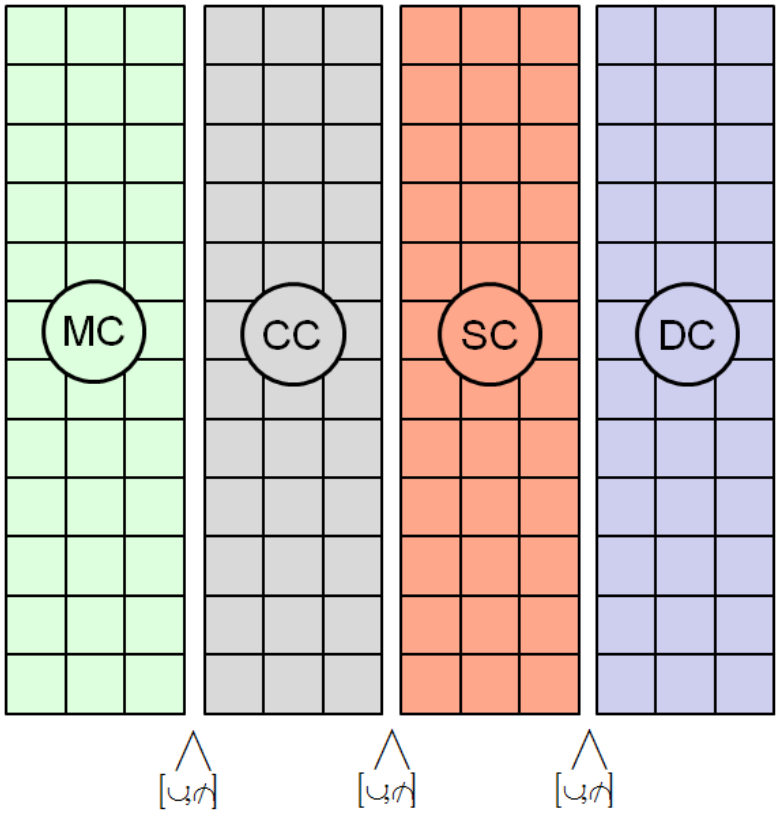


Рисунок 2.11 – Схема организации транспортно-коммуникационной системы

Транспортно-коммуникационная система, включает следующие составляющие элементы: коммуникацию движения (MC), коммуникацию смены направления движения (CD), коннект коммуникацию (CC) и коммуникацию хранения (SC).

Формально условие построения транспортно-коммуникационной системы представим в следующем виде:

$$F^{c}: TCS \in \left\langle MC \underset{[\cup,\cap]}{\wedge} CC \underset{[\cup,\cap]}{\wedge} SC \underset{[\cup,\cap]}{\wedge} DC \right\rangle \tag{2.21}$$

Под символом $\wedge$ в (2.21) понимается логическая конъюнкция, допускающая объединение и исключающая пересечение составляющих элементов ТКС.

Аксиома организации направления движения. Направление движения подвижного транспортного объекта ($direct(V)$) определяется только транспортной коммуникацией ($direct\ (TCom)$).

$$F^{direct} : direct\ (V) \in direct\ (TCom) \tag{2.22}$$

2.3.2 Принцип построения и организации коммуникации движения

Определение. Коммуникация движения (МС) – пространство, организованное для подвижных транспортных объектов, прибывающих в состоянии движения.

Формально утверждение представимо как выражение (2.23), а графически – представлено на рисунке 2.12.

$$MC\exists \leftrightarrow V \in \text{MC}, V \notin \text{CC}, \text{SC}, \text{CD} \leftrightarrow \langle V : v_V = v(t), v(t) \neq 0 \rangle \tag{2.23}$$

Аксиома функционирования коммуникации движения.

Подвижный транспортный объект (V^a) может находиться в коммуникации движения (МС) только в состоянии движения (2.24):

$$A^{MC} : V^a \in \text{MC}, V^a \notin \text{CC}, \text{SC}, \text{CD} \leftrightarrow \langle V : v_V = v(t), v(t) \neq 0 \rangle \tag{2.24}$$

Условие работоспособности коммуникации движения ($Con<W_{MC}>$).
Подвижный транспортный объект (V^a), находящийся в коммуникации движения – движется (2.25).

$$Con\langle W_{MC} \rangle = \forall V^a \in MC \left\langle V^a : \begin{cases} v_{v_i^a} = v(t), v(t) \neq 0 \\ v_{v_i^a} = v\left(v_i^a; MC\right) \\ direct\ (V^a) \in direct\ (MC) \end{cases} \right\rangle \tag{2.25}$$

где $v_{v_i^a} = v(t), v(t) \neq 0$ означает, что подвижный транспортный объект в МС должен двигаться, т.е. $v_{v_i^a} = v(t)$ и не должен останавливаться, т.е. $v(t) \neq 0$;

$v_{v_i^a} = v\left(v_i^a; MC\right)$ означает, что скорость подвижного транспортного объекта в МС определяется его скоростными характеристиками и МС; $direct\ (V^a) \in direct\ (MC)$ означает, что направление движения подвижного транспортного объекта определяется коммуникацией движения.

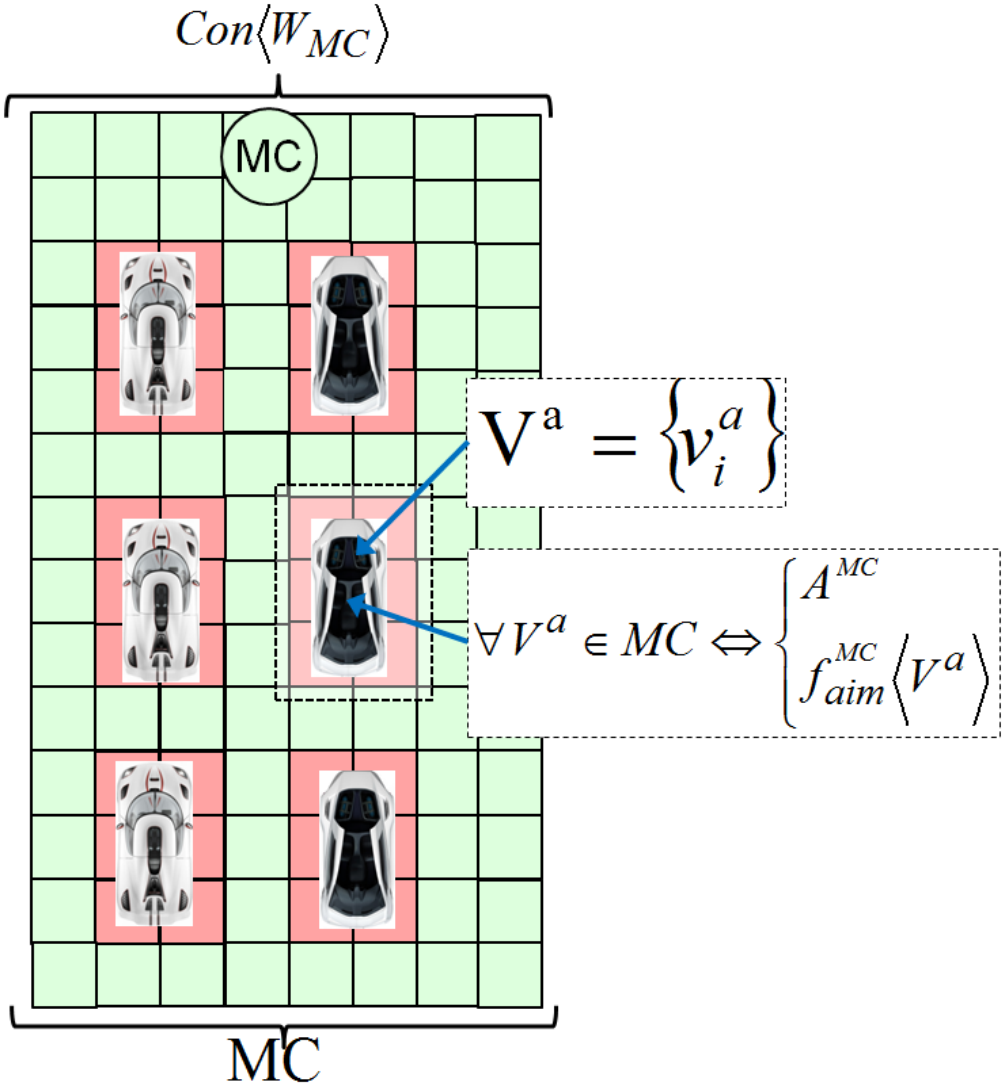


Рисунок 2.12 – Схематичное построение коммуникации движения

Целевая функция перехода подвижного транспортного объекта в коммуникацию движения ($f_{aim}^{MC}\left\langle V^a \right\rangle$).

Подвижный транспортный объект попадает в коммуникацию движения (МС) с целью его перехода в подвижное состояние (2.26).

$$f_{aim}^{MC}\left\langle V^a \right\rangle : V^a \in MC \to \forall \left\{ v_i^a \right\} \left| v_{v_i^a} = v(t), v(t) \neq 0, v_{v_i^a} = v\left(v_i^a; MC\right) \right. \qquad (2.26)$$

2.3.3 Принцип построения и организации коннект коммуникации

Определение. Коннект коммуникация (CC) – среда (пространство) движения подвижных транспортных объектов из коммуникации движения в коммуникацию хранения или наоборот.

Аксиома функционирования коннект коммуникации. Подвижный транспортный объект (V^a) находится в коннект коммуникации (CC) в состоянии движения, перемещаясь только из коммуникации движения (MC) в коммуникацию хранения (SC) или наоборот. Формально утверждение представимо как выражение (2.27), а графически – рисунком 2.13.

$$A^{CC}: CC \exists \leftrightarrow V^a \in \mathrm{CC}, V^a \notin \mathrm{MC}, \mathrm{SC}, \mathrm{CD} \leftrightarrow \left\langle V^a : v_{V^a} = v(t), v(t) \neq 0, v(t) \in \left]0, v(t)\right] \right\rangle \wedge$$

$$\wedge \left\langle V^a : v_{V^a} \rightarrow \in MC \vee SC \right\rangle \qquad (2.27)$$

Условие работоспособности коннект коммуникации. Подвижный транспортный объект (V^a), находящийся в коннект коммуникации, движется из MC в SC или наоборот (2.28).

$$Con\langle W_{CC} \rangle = \forall V^a \in CC \left\langle V^a : \begin{cases} v_{v_i^a} = v(t), v(t) \neq 0 \\ v_{v_i^a} = v\left(v_i^a; CC\right) \\ direct\ (V^a) \in direct\ (CC) \end{cases} \right\rangle \qquad (2.28)$$

где выражение $v_{v_i^a} = v(t), v(t) \neq 0$ означает, что подвижный транспортный объект в CC должен двигаться, т.е. $v_{v_i^a} = v(t)$ и не должен останавливаться, т.е. $v(t) \neq 0$; выражение $v_{v_i^a} = v\left(v_i^a; CC\right)$ означает, что скорость подвижного транспортного объекта в CC определяется его скоростными характеристиками и коннект коммуникацией; выражение $direct\ (V^a) \in direct\ (CC)$ означает, что направление движения подвижного транспортного объекта определяется коннект коммуникацией.

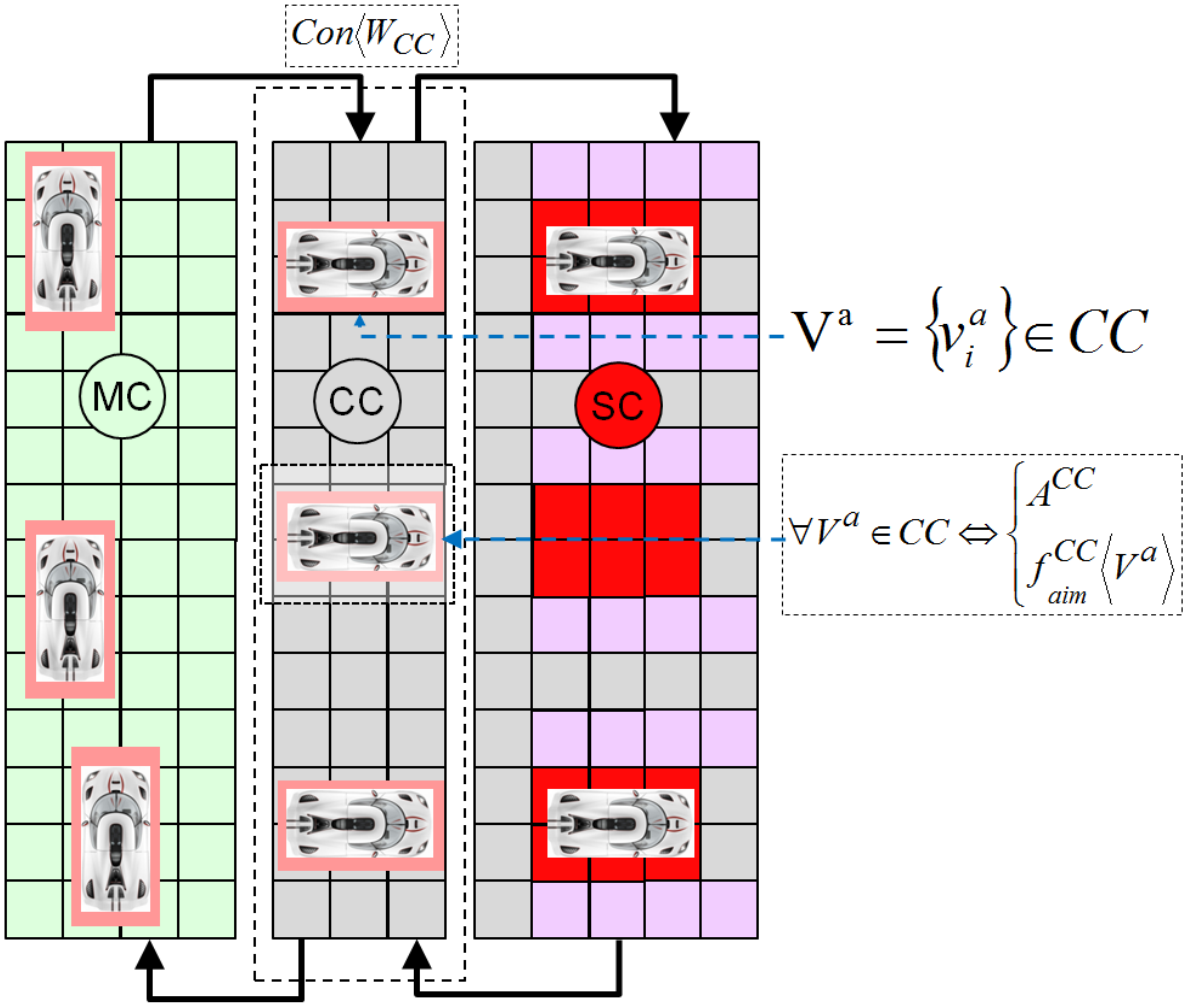


Рисунок 2.13 – Схематичное построение коннект коммуникации

Целевая функция перехода подвижного транспортного объекта в коннект коммуникацию. Подвижный транспортный объект (V^{a}) попадает в коннект коммуникацию (CC) с целью перехода из коммуникации движения (MC) в коммуникацию хранения (SC) или наоборот (2.29),

$$f_{aim}^{CC}\langle V^a \rangle : V^a \in CC \rightarrow \begin{cases} \forall \{v_i^a\} \left| v_{v_i^a} = v(t), v(t) \neq 0, v_{v_i^a} = v\left(v_i^a; MC\right) \right. \\ V^a \Rightarrow MC \vee SC \end{cases}, \qquad (2.29)$$

где выражение $V^a \Rightarrow MC \vee SC$ означает, что подвижный транспортный объект переходит либо в коммуникацию движения, либо в коммункацию хранения.

2.3.4 Принцип построения и организации коммуникации хранения

Определение. Коммуникация хранения (SC) – коммуникация, предназначенная для хранения подвижных транспортных объектов.

Аксиома функционирования коммуникации хранения. Подвижный транспортный объект (V^a) может находиться в коммуникации хранения только в неподвижном состоянии.

Формально утверждение представимо выражением (2.30), а графически – рисунком 2.14.

$$A^{SC}: SC\exists \leftrightarrow V^a \in SC, V^a \notin MC, CC, CD \leftrightarrow \langle V: \nu = \nu(t), \nu(t) = 0 \rangle \quad (2.30)$$

Условие работоспособности коммуникации хранения. Транспортное средство (V^a), находящееся в коммуникации хранения, неподвижно (2.31).

$$Con\langle W_{SC} \rangle = \forall V^a \in SC \left\langle V^a : \begin{cases} v_{v_i^a} = v(t), v(t) = 0 \\ v_{v_i^a} = v(SC) \\ direct\ (V^a) \in direct\ (SC) \end{cases} \right\rangle \quad (2.31)$$

где выражение $v_{v_i^a} = v(t), v(t) = 0$ означает, что подвижный транспортный объект в коммуникации хранения должен находиться в неподвижном состоянии, т.е. $v(t) = 0$; выражение $v_{v_i^a} = v\left(v_i^a; SC\right)$ означает, что скорость подвижного транспортного объекта в коммуникации хранения определяется его скоростными характеристиками и SC; выражение $direct\ (V^a) \in direct\ (SC)$ означает, что направление движения подвижного транспортного объекта определяется коммуникацией хранения.

Целевая функция перехода подвижного транспортного объекта в коммуникацию хранения. Подвижный транспортный объект попадает в коммуникацию хранения для перехода в неподвижное состояние (2.32).

$$f_{aim}^{SC}\langle V^a \rangle : V^a \in SC \to \forall \left\{ v_i^a \right\} \left| v_{v_i^a} = v(t), v(t) = 0, v_{v_i^a} = v(SC) \right. \quad (2.32)$$

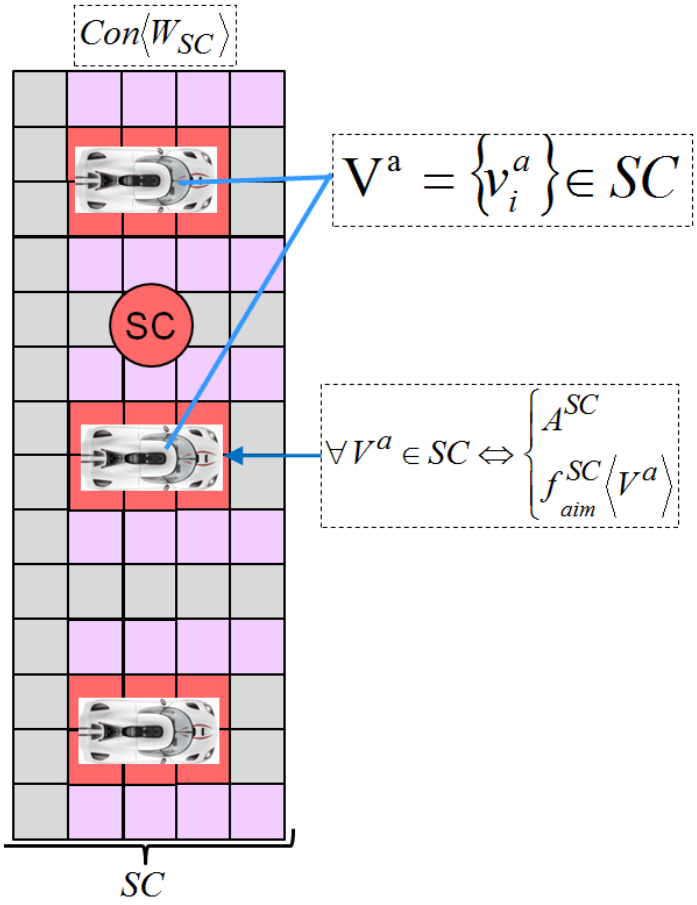


Рисунок 2.14 – Схематичное построение коммуникации хранения

2.3.5 Принцип построения и организации коммуникации смены направления движения

Определение. Коммуникация смены направления движения (DC) – коммуникация движения, перемещаясь по которой подвижный транспортный объект изменяет свое направление движения.

Аксиома функционирования коммуникации смены направления движения. Смена направления движения подвижного транспортного объекта осуществляется посредством коммуникации смены направления движения (DC). Формально утверждение представимо как выражение (2.33), а графически – рисунком 2.15.

$$A^{DC} : direct\ (MC) \bigcap direct\ (MC) = direct\ (DC) \qquad (2.33)$$

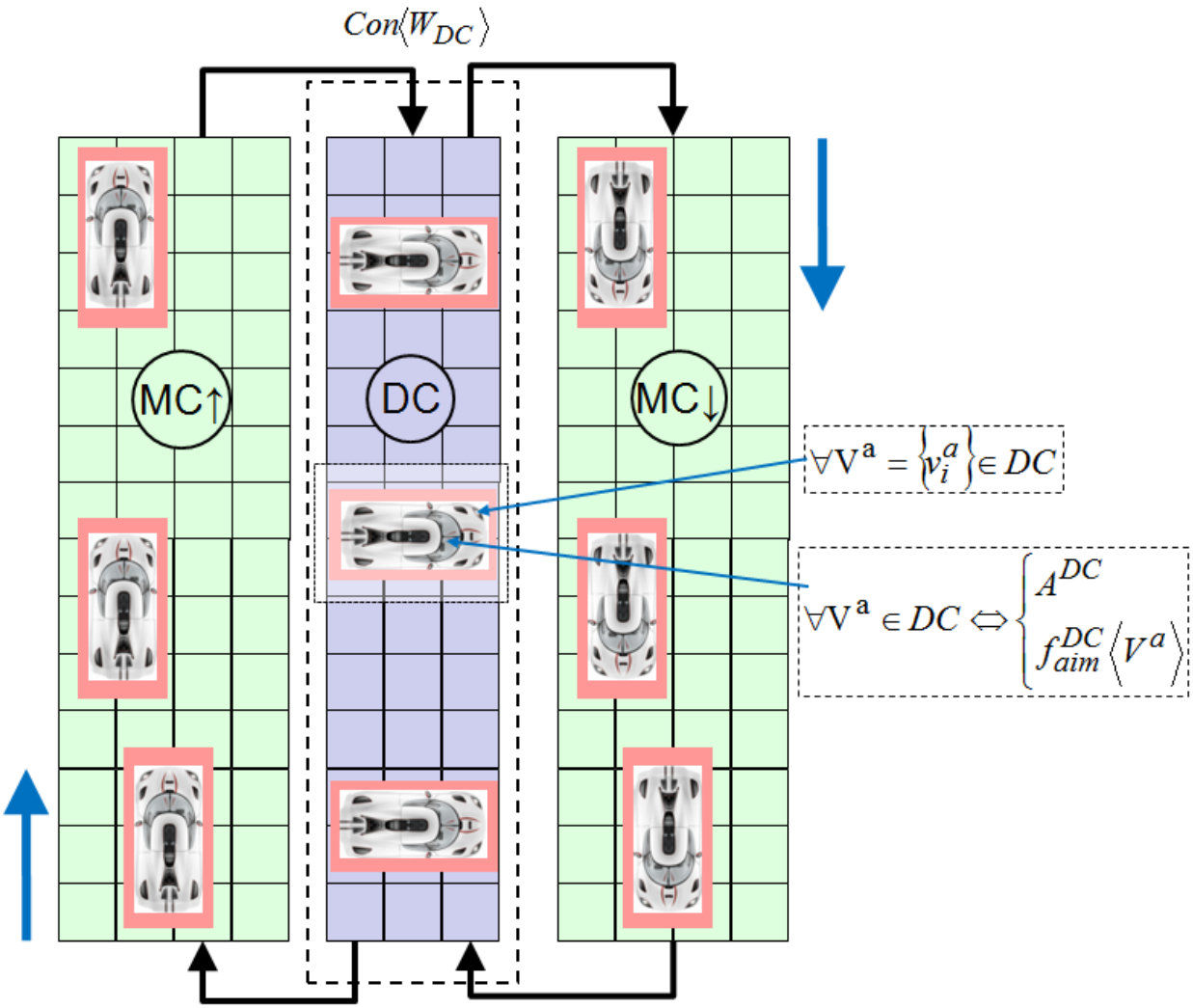


Рисунок 2.15 – Схематичное построение коммуникации смены направления движения

Условие работоспособности коммуникации смены направления движения. Подвижный транспортный объект, находящийся в DC движется с целью смены направления движения (2.34).

$$Con\langle W_{DC}\rangle = \forall V^a \in DC \left\langle V^a : \begin{cases} v_{v_i^a} = v(t), v(t) \neq 0 \\ v_{v_i^a} = v\left(v_i^a; DC\right) \\ direct\ (V^a) \in direct\ (DC) \end{cases} \right\rangle \quad (2.34)$$

где выражение $v_{v_i^a} = v(t), v(t) = 0$ означает, что подвижный транспортный объект в DC должен двигаться, т.е. $v_{v_i^a} = v(t)$ и не должен останавливаться, т.е. $v(t) \neq 0$;

выражение $v_{v_i^a} = v\left(v_i^a; DC\right)$ означает, что скорость подвижного транспортного объекта в DC определяется его скоростными характеристиками и DC; выражение $direct\ (V^a) \in direct\ (DC)$ означает, что направление движения подвижного транспортного объекта определяется DC.

Целевая функция перехода подвижного транспортного объекта в коммуникацию смены направления движения. Подвижный транспортный объект попадает в коммуникацию смены направления движения с целью смены направления движения (2.35)

$$f_{aim}^{DC}\left\langle V^a \right\rangle : V^a \in DC \to \begin{cases} \forall\left\{v_i^a\right\} \middle| v_{v_i^a} = v(t), v(t) \neq 0, v_{v_i^a} = v\left(v_i^a; DC\right) \\ V^a : MC\uparrow \Rightarrow MC\downarrow \end{cases}. \quad (2.35)$$

2.3.6 Принцип построения внутренней структуры транспортно-коммуникационного распределительного узла

Определение. Транспортно-коммуникационный распределительный узел (ТКРУ) представляет собой элемент транспортной системы, обеспечивающий взаимодействие разного вида транспортно-коммуникационных систем, при условии непрерывного (2.13) – (2.35) процесса движения транспорта.

Аксиома параллельного функционирования транспортно-коммуникационной системы. Транспортно-коммуникационные системы функционально распараллелены и сопрягаются в транспортно-коммуникационных распределительных узлах (*ND*). Формально данное утверждение представимо как (2.36), а графически - на рисунке 2.16.

$$a^{nd} = \begin{cases} TCS_i \cap TCS_j = ND \\ TCS_i \cap TCS_j = \varnothing \end{cases} \quad (2.36)$$

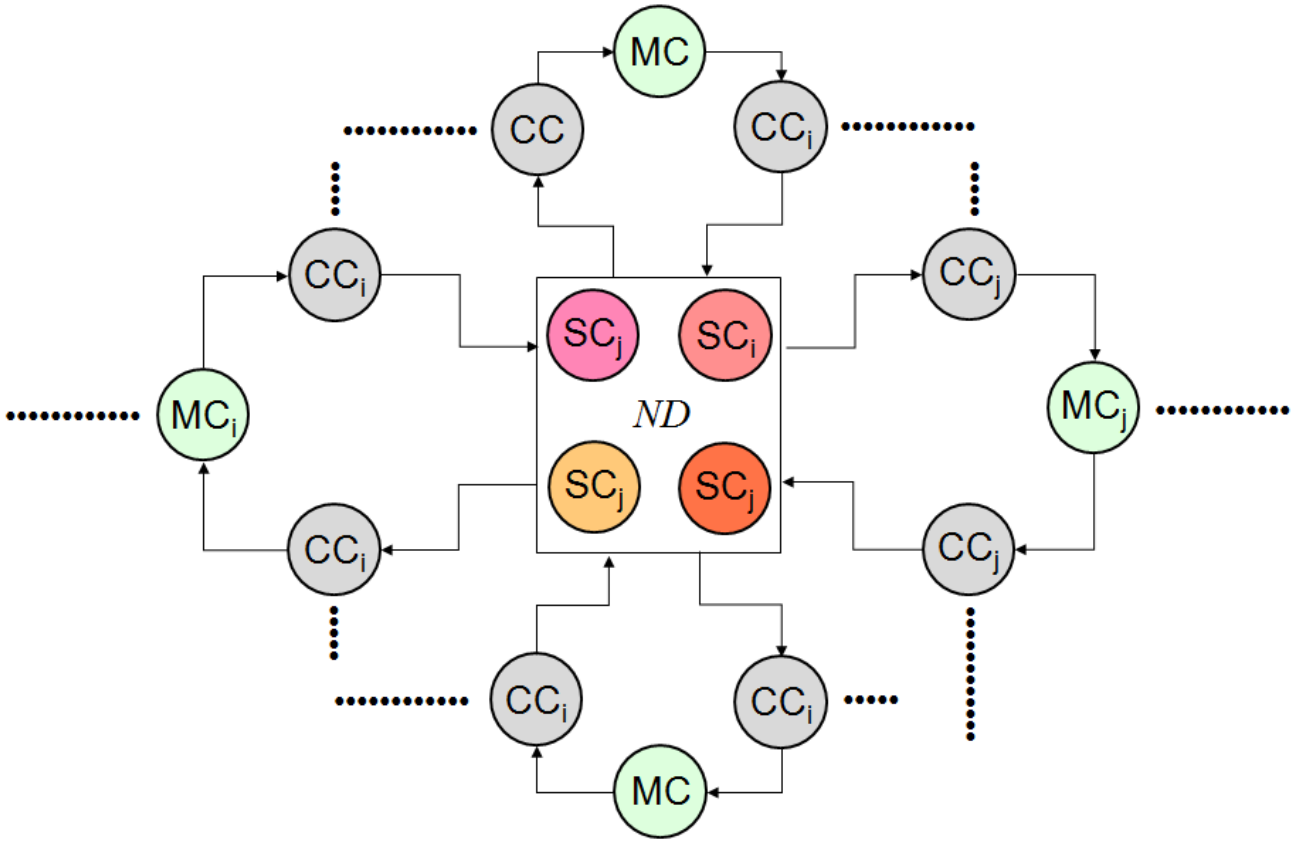


Рисунок 2.16 – Схематичный вид сопряжения транспортно-коммуникационных систем в транспортно-коммуникационных распределительных узлах

Условие работоспособности транспортно-коммуникационного распределительного узла.

Объем входящих подвижных транспортных объектов $V_i^a \in TCS_i^a$ в транспортно-коммуникационный распределительный узел равен объему выходящих подвижных транспортных объектов $V_i^a \in TCS_j^b$ при условии смены транспортной коммуникации и выполнении условий (2.12) – (2.36).

Условие работоспособности ТКРУ формально представимо (2.37). Графическая интерпретация работы ТКРУ изображена на рисунке 2.17

$$Con\langle W_{DC} \rangle = \begin{cases} V_{in}^{TCS_i^a} = V_{ex}^{TCS_j^b} \\ V_i^a \in TCS_j^b \quad V_i^a \in TCS_j^b \\ V_i^a \underset{ND}{\in} V_j^b \end{cases} \tag{2.37}$$

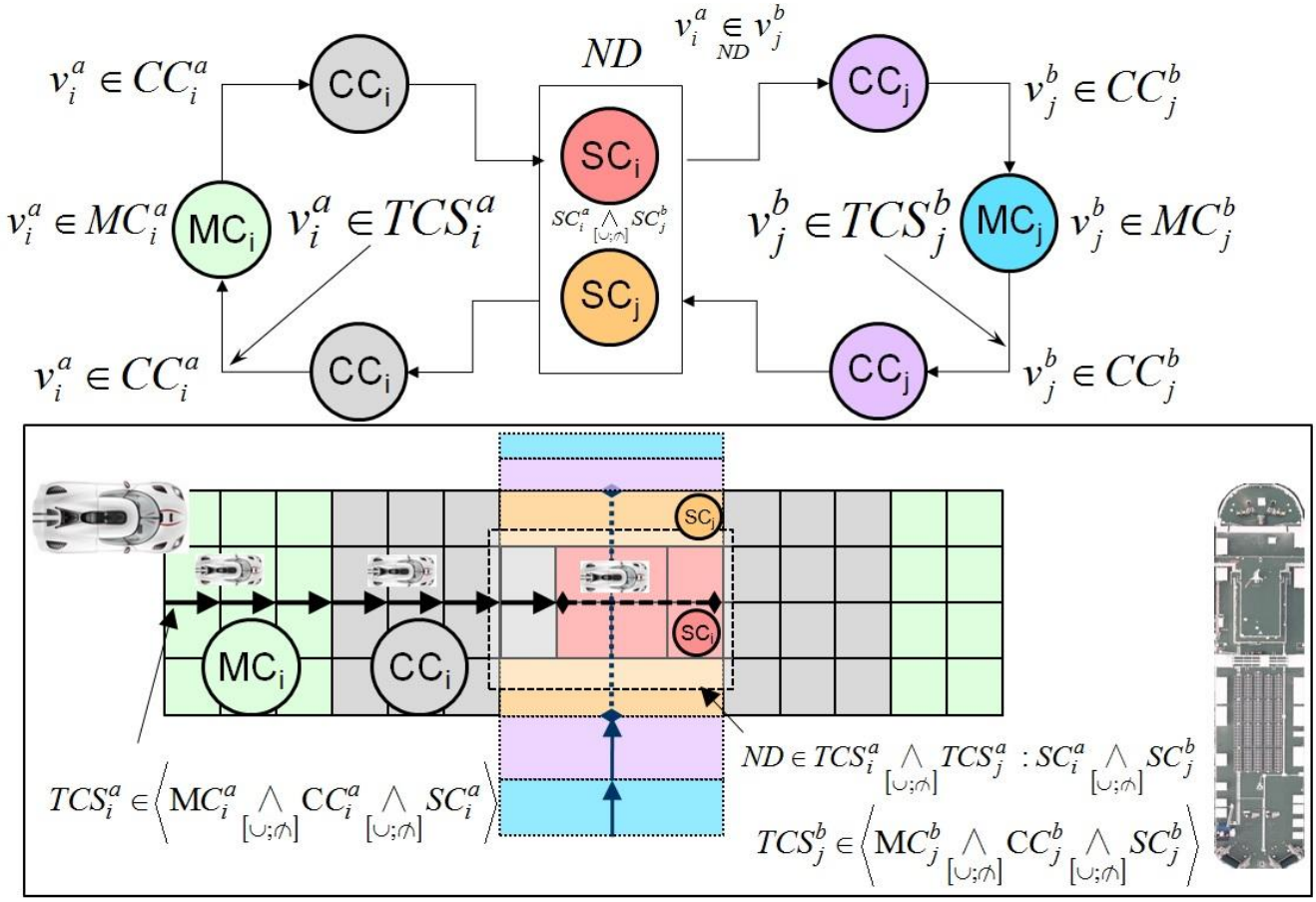


Рисунок 2.17 – Пример функционирования транспортно-коммуникационного распределительного узла в составе транспортной коммуникационной системе

2.4 Разработка метода организации бесконфликтного непрерывного процесса движения транспорта

Будем считать, что в транспортной системе (*TS*) организован бесконфликтный $\Lambda_{\mathrm{T}}^{\Psi}$ и непрерывный $\mathrm{O}_{\mathrm{T}}^{\mathrm{Con}}$ процесс движения транспорта ($\Pi_{\mathrm{T}}^{\Lambda-\mathrm{O}}$), если одновременно выполняется условия (2.12) и (2.16б), то есть:

$$\Pi_{\mathrm{T}}^{\Lambda-\mathrm{O}}=\begin{cases}\Lambda_{\mathrm{T}}^{\Psi}:TS\notin\left[\Psi^{\mathrm{I}},\Psi^{\mathrm{II}},\Psi^{\mathrm{III}}\right]\\ \mathrm{O}_{\mathrm{T}}^{\mathrm{Con}}:C_{TS}=\begin{cases}\forall v_i^{k_v}\in TCS\\ \forall C^{l}_{v_i^{k_v}}\xrightarrow{\in}\exists TCom_j^{C_\eta}\end{cases}_{k_t}\end{cases},\qquad(2.38)$$

при этом:

$$V = \left\{ V^{K_V} \right\} = \left\{ v_i^{k_v} \right\} \Big| \begin{matrix} k_v = 1 \ldots m \\ i = 1 \ldots N \end{matrix} ;$$

$$TCS = \left\{ TCS^{K_t} \right\} = \left\{ TCom_j^{C_\eta, k_t} \right\} \Big| \begin{matrix} k_t = 1 \ldots \mu \\ C_\eta = \langle MC \rangle, \langle CC \rangle, \langle SC \rangle, \langle DC \rangle \\ j = 1 \ldots N_j \end{matrix} ;$$

$$C_V = \left\{ C_{v_i^{k_v}}^{l} \right\} \Big| \begin{matrix} l = \langle S \rangle, \langle S - M \rangle, \langle M \rangle, \langle M - S \rangle \\ v_i^{k_v} \in V \end{matrix} ;$$

где $TS \notin \left[\Psi^{\mathrm{I}}, \Psi^{\mathrm{II}}, \Psi^{\mathrm{III}} \right]$ означает, что в транспортной системе отсутствуют конфликты первого (Ψ^{I}), второго (Ψ^{II}) и третьего (Ψ^{III}) рода; $v_i^{k_v}$ – подвижный транспортный объект (k_v - вид транспорта); TCS – множество транспортно-коммуникационных систем; $TCom_j^{C_\eta, k_t}$ – участок транспортной коммуникации определенного вида; $C_{v_i^{k_v}}^{l}$ – функциональное состояние ПТО определенного вида транспорта; C_{TS} – состояние транспортной системы, при котором функциональные состояния каждого подвижного транспортного объекта ($C_{v_i^{k_v}}^{l}$) однозначно соответствуют транспортным коммуникациям ($TCom_{C_\eta}^{k_t}$); l – одно из функциональных состояний движения ПТО; V – множество ПТО; $k_v=1 \ldots m$ – количество видов ПТО; $i=1 \ldots N$ – количество ПТО определенного вида транспорта; $k_t=1 \ldots \mu$ – количество видов ТКС; C_η – типы транспортных коммуникаций; $j=1 \ldots N_j$ – участок транспортной коммуникации; C_v – множество функциональных состояний ПТО; $\langle MC \rangle$ – коммуникация движения; $\langle CC \rangle$ – коннект коммуникация; $\langle SC \rangle$ – коммуникация хранения; $\langle DC \rangle$ – коммуникация смены направления движения; $\langle S \rangle$ – состояние покоя ПТО; $\langle S - M \rangle$ переход ПТО из состояния покоя в состояние движения; $\langle M \rangle$ – состояние движения ПТО; $\langle M - S \rangle$ переход ПТО из состояния движения в состояние покоя.

Пусть транспортная система мегаполиса *(TS)* включает множество подвижных транспортных объектов V^{K_v} и множество транспортных коммуникаций $TCom^{K_t}$ различного вида:

$$TS = \begin{cases} V^{K_v}, K_v \in \{k_m\},\ m = 1...n_\pi \\ TCom^{K_t}, K_t \in \{k_\mu\},\ \mu = 1...n_t \end{cases}, \tag{2.39}$$

где m – количество видов подвижных транспортных объектов, функционирующих в транспортной системе; μ – количество видов транспортных коммуникаций, функционирующих в транспортной системе.

Опираясь на принципы, разработанные в разделах 2.1-2.3.6, предлагается метод, реализующий выполнение условия (2.38), который состоит из следующих этапов.

I. Определение и группировка по видам транспорта, функционирующих в транспортной системе подвижных транспортных объектов, согласно условию:

$$\delta^m : V^{K_v} = \bigcup_{m=1}^{m} m \quad . \tag{2.40}$$

II. Определение и группировка по видам транспортных коммуникаций, входящих в транспортную систему мегаполиса, согласно условию:

$$\delta^\mu : TCom^{K_t} = \bigcup_{\mu=1}^{\mu} \mu \quad . \tag{2.41}$$

III. Определение функциональных состояний движения подвижных транспортных объектов по видам транспорта, согласно выражения (2.14), то есть:

$$\Gamma_{C_V} : \langle S \rangle \wedge (S - M) \wedge \langle M \rangle \wedge \langle M - S \rangle .$$

IV. Формирование транспортно-коммуникационных систем реализующих функциональные состояния подвижных транспортных объектов по видам транспорта, согласно выражению (2.14, 2.15, 2.17, 2.21, 2.42), то есть:

$$TCom^{k_t} \xrightarrow[F^m]{\begin{matrix}F^a\\F^c\end{matrix}\}} TCS^{k_t}$$

$$\textit{при условиях}\left|\begin{array}{l}\Gamma^m_{C_v} \xrightarrow{F^a} \Gamma^m_{TCS^{C_v}},\quad k_t = k_v = m,\\ F^a : \forall C^l_{v_i^{k_v}} \in C_V \rightarrow \exists TCom^{C_\eta}_j \in \mathrm{TCS}, C_V \in C_\eta,\\ F^m : \forall V^{k_v}, V^{k_v} \cap TCS = TCS^m, TCS^m \in TS,\\ F^c : TCS \in \left\langle MC \underset{[\cup;\cap]}{\wedge} CC \underset{[\cup;\cap]}{\wedge} SC \underset{[\cup;\cap]}{\wedge} DC \right\rangle,\end{array}\right. , \qquad (2.42)$$

где $TCom^{k_m}$ – множество транспортных коммуникаций, соответствующих существующим видам транспорта; TCS^{K_t} – множество транспортно-коммуникационных систем, соответствующих существующим видам транспорта; F_a – условие существования функционального соответствия; F_c – условие построения транспортно-коммуникационной системы; F_m – условие классового разбиения транспортно-коммуникационной системы; *MC* – коммуникация движения; *CC* – коннект коммуникация; *SC* – коммуникация хранения; *DC* – коммуникация смены направления движения.

Использование условия (2.17) позволяет устранить в транспортно-коммуникационной системе неоднородные конфликты первого и второго рода и конфликты третьего рода. Использование условия (2.21) позволяет устранить однородные конфликты первого рода.

V. Организация функционирования транспортных коммуникаций, входящих в сформированные транспортно-коммуникационные системы в соответствии с видами транспорта.

Функциональная организация выполняется согласно условиям (2.21 и 2.22), в том числе для коммуникации движения выполняется согласно принципам (2.23-2.26), коннект коммуникации – согласно принципам (2.27-2.29), коммуникации хранения - согласно принципам (2.30,-2.32), коммуникации смены направления движения - согласно принципам (2.33-2.35). Таким образом, обобщенное условие

организации транспортных коммуникаций в составе транспортно-коммуникационной системы примет вид:

$$
F^{\text{org}}:\text{TCS}^{\text{org}}\in\begin{cases}
\text{MC}\to\begin{cases}
A^{MC}:V^a\in\text{MC},V^a\notin\text{CC},\text{SC},\text{CD}\leftrightarrow\langle V:v_V=v(t),v(t)\neq 0\rangle\\
Con\langle W_{MC}\rangle=\forall V^a\in MC\left\langle V^a:\begin{cases}v_{v_i^a}=v(t),v(t)\neq 0\\ v_{v_i^a}=v\left(v_i^a;MC\right)\\ direct\ (V^a)\in direct\ (MC)\end{cases}\right\rangle\\
f_{aim}^{MC}\left\langle V^a\right\rangle:V^a\in MC\to\forall\left\{v_i^a\right\}\left|v_{v_i^a}=v(t),v(t)\neq 0,v_{v_i^a}=v\left(v_i^a;MC\right)\right.
\end{cases}\\
\text{CC}\to\begin{cases}
A^{CC}:\text{CC}\exists\leftrightarrow V^a\in\text{CC},V^a\notin\text{MC},\text{SC},\text{CD}\leftrightarrow\\
\leftrightarrow\left\langle V^a:v_{V^a}=v(t),v(t)\neq 0,v(t)\in\left]0,v(t)\right]\right\rangle\wedge\wedge\left\langle V^a:v_{V^a}\to\in MC\vee SC\right\rangle\\
Con\langle W_{CC}\rangle=\forall V^a\in CC\left\langle V^a:\begin{cases}v_{v_i^a}=v(t),v(t)\neq 0\\ v_{v_i^a}=v\left(v_i^a;CC\right)\\ direct\ (V^a)\in direct\ (CC)\end{cases}\right\rangle\\
f_{aim}^{CC}\left\langle V^a\right\rangle:V^a\in CC\to\begin{cases}\forall\left\{v_i^a\right\}\left|v_{v_i^a}=v(t),v(t)\neq 0,v_{v_i^a}=v\left(v_i^a;MC\right)\right.\\ V^a\to MC\vee SC\end{cases}
\end{cases}\\
\text{SC}\to\begin{cases}
A^{SC}:SC\exists\leftrightarrow V^a\in SC,V^a\notin MC,CC,CD\leftrightarrow\langle V:v=v(t),v(t)=0\rangle\\
Con\langle W_{SC}\rangle=\forall V^a\in SC\left\langle V^a:\begin{cases}v_{v_i^a}=v(t),v(t)=0\\ v_{v_i^a}=v(SC)\\ direct\ (V^a)\in direct\ (SC)\end{cases}\right\rangle\\
f_{aim}^{SC}\left\langle V^a\right\rangle:V^a\in SC\to\forall\left\{v_i^a\right\}\left|v_{v_i^a}=v(t),v(t)=0,v_{v_i^a}=v(SC)\right.
\end{cases}\\
\text{DC}\to\begin{cases}
A^{DC}:direct\ (MC)\bigcap direct\ (MC)=direct\ (DC)\\
Con\langle W_{DC}\rangle=\forall V^a\in DC\left\langle V^a:\begin{cases}v_{v_i^a}=v(t),v(t)\neq 0\\ v_{v_i^a}=v\left(v_i^a;DC\right)\\ direct\ (V^a)\in direct\ (DC)\end{cases}\right\rangle\\
f_{aim}^{DC}\left\langle V^a\right\rangle:V^a\in DC\to\begin{cases}\forall\left\{v_i^a\right\}\left|v_{v_i^a}=v(t),v(t)\neq 0,v_{v_i^a}=v\left(v_i^a;DC\right)\right.\\ V^a:MC\uparrow\Rightarrow MC\downarrow\end{cases}
\end{cases}\\
direct\ \left(V^a\right)\in direct\ (TCom)
\end{cases}
\tag{2.43}
$$

где A^{MC}, A^{CC}, A^{SC} A^{DC} – аксиоматические условия функционирования коммуникации движения, коннект коммуникации, коммуникации хранения и коммуникации смены направления движения соответственно; *Con* (W_{MC}), *Con* (W_{CC}), *Con* (W_{SC}), *Con* (W_{DC}) – условия работоспособности коммуникации движения, коннект

коммуникации, коммуникации хранения и коммуникации смены направления движения соответственно; $f_{aim}^{MC}\left\langle V^{a}\right\rangle$, $f_{aim}^{CC}\left\langle V^{a}\right\rangle$, $f_{aim}^{SC}\left\langle V^{a}\right\rangle$, $f_{aim}^{DC}\left\langle V^{a}\right\rangle$ – целевые функции перехода ПТО для коммуникации движения, коннект коммуникации, коммуникации хранения и коммуникации смены направления движения соответственно.

Применение аксиоматических принципов, разработанных в разделе 2.3 данного диссертационного исследования в составе обобщенного условия (2.43), позволяет реализовать непрерывность состояния движения между элементами транспортно-коммуникационной системы, так как исключает их пересечения.

VI. Организация взаимодействия транспортно-коммуникационных систем различных видов транспорта. Данная организация осуществляется посредством транспортно-коммуникационных распределительных узлов в соответствии с условием (2.36), то есть:

$$a^{nd}=\begin{cases}TCS_i\cap TCS_j=ND\\ TCS_i\cap TCS_j=\varnothing\end{cases}.$$

Использование условия (2.36) исключает пересечения транспортно-коммуникационных систем разного вида и тем самым устраняет однородные и неоднородные конфликты второго рода, а, следовательно, и конфликты третьего рода.

Таким образом, на этапе VI полностью выполняется условие (2.12), т.е.

$$\Lambda_{\mathrm{T}}^{\Psi}: TS\notin\left[\Psi^{\mathrm{I}},\Psi^{\mathrm{II}},\Psi^{\mathrm{III}}\right].$$

VII. Организация функционирования подвижных транспортных объектов в транспортно-коммуникационных системах соответствующего вида.

Процесс данной организации предлагается осуществить в соответствии с условиями (2.19) и (2.16б), то есть:

$$V^{k_V}\xrightarrow[\text{э}]{M\wedge \mathrm{O}_{cont}^{\mathrm{T}}}TCS^{k_V}.$$

Графически последовательность реализации метода бесконфликтного и непрерывного процесса движения транспорта представлена на рисунке 2.18.

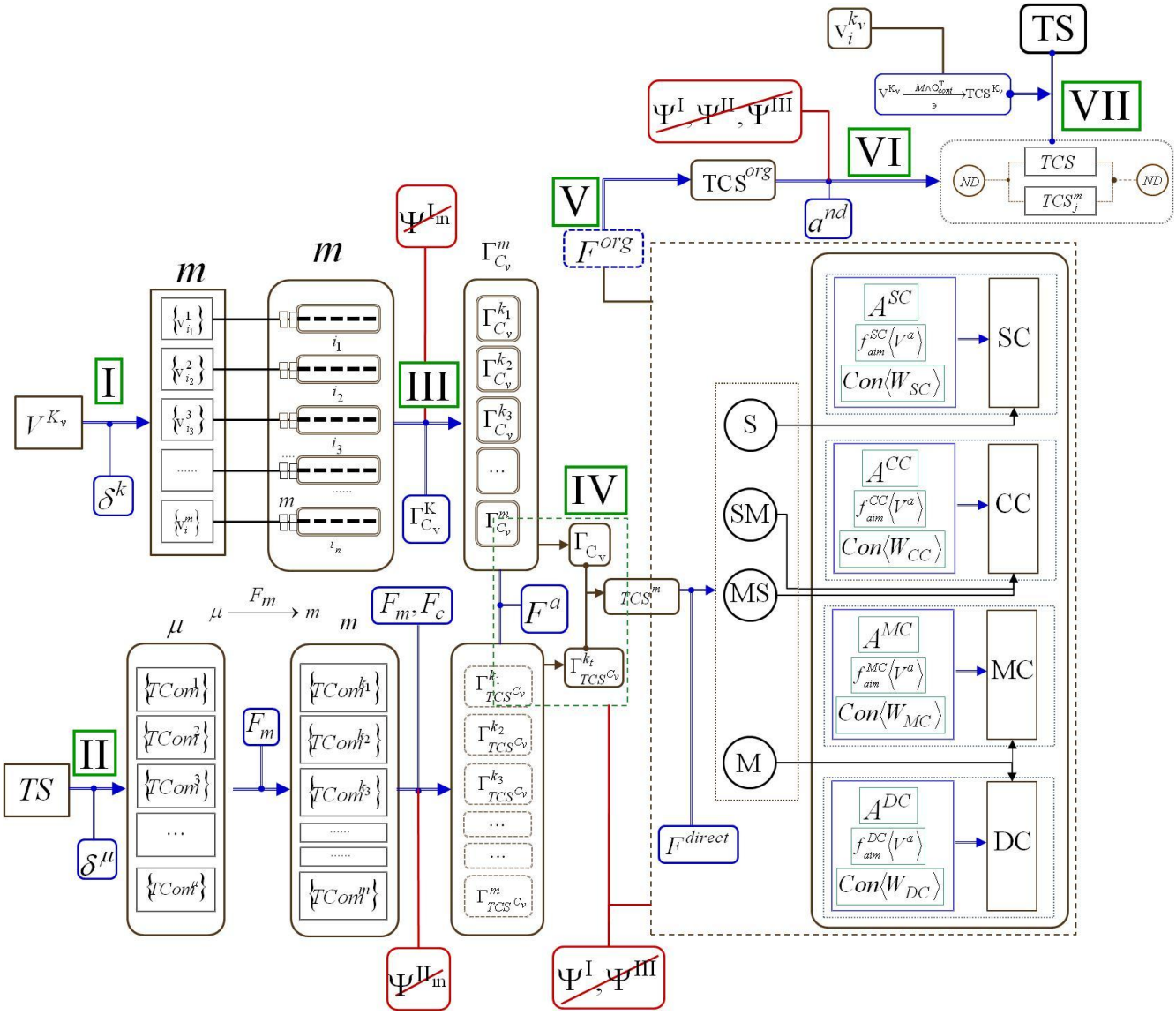


Рисунок 2.18 – Последовательность реализации метода бесконфликтного и непрерывного процесса движения транспорта

Вышеописанный метод позволяет осуществить бесконфликтный и непрерывный процесс движения транспорта согласно (2.38).

Практический пример анализа участка УДС вышеописанным методом представлен в приложении Б.

Вывод по главе 2

В ходе проведенных исследований в главе 2 были получены следующие научные результаты:

1. Введены понятия: «непрерывность состояния процесса движения транспорта», «транспортный ресурс движения», «транспортный конфликт», «бесконфликтность процесса движения транспорта» и представлена их математическая формализация.

2. Разработана система классификации транспортных конфликтов, позволяющая фиксировать транспортные конфликты по видам транспорта и видам транспортных коммуникаций.

3. Разработана аксиоматика непрерывного процесса движения транспорта, включающая следующие аксиомы: аксиома функционального состояния подвижного транспортного объекта, аксиома целевых состояний подвижного транспортного объекта, цикл целевых состояний подвижного транспортного объекта.

4. Разработаны принципы построения и организации транспортно-коммуникационной системы, осуществлена их математическая формализация и представлена их графическая интерпретация.

5. Осуществленна разработка метода организации транспортной сети, позволяющего реализовать подход распараллеливания транспортных потоков по видам подвижных транспортных объектов, их состояниям, условиям организации движения, а так же по видам транспортных коммуникаций и структуре их взаимодействия.

ГЛАВА 3
РАЗРАБОТКА СИСТЕМЫ ОРГАНИЗАЦИИ И РАЗВИТИЯ ТРАНСПОРТНОЙ СИСТЕМЫ МЕГАПОЛИСА

3.1 Архитектура системы организации и развития транспортной системы мегаполиса

Разработку системы организации и развития транспортной системы мегаполиса (СОРТСМ) уместно начать с формирования ее логико-алгебраической структуры (Θ), включающей подсистемы: пользователь – [U], мегаполис – [M], транспорт – [T], функционал управления – [Ф] и реляционный регулятор согласования – [Σ]. Формально СОРТСМ зададим выражением (3.1), а графически представим на рисунке 3.1,

$$\Theta \ni \begin{cases} \left\langle \begin{matrix} [\mathrm{U}] \\ [\mathrm{M}] \\ [\mathrm{T}] \end{matrix} \right\rangle : \left| [\mathrm{M}] \ni ([\mathrm{T}] \ni [\mathrm{U}]) \right. \\ [\Sigma]_{\cup [\Phi]} \left(\left\langle \overset{\mathrm{U}}{EV} \right\rangle \wedge \left\langle \overset{\mathrm{M}}{EV} \right\rangle \wedge \left\langle \overset{\mathrm{T}}{EV} \right\rangle \wedge \left\langle \overset{\Phi}{EV} \right\rangle \right) \\ \left\langle \overset{\mathrm{U}}{EV} \right\rangle \nabla \left(I_{[\mathrm{U}]} \right); \left\langle \overset{\mathrm{M}}{EV} \right\rangle \nabla \left(I_{[\mathrm{M}]} \right); \left\langle \overset{\mathrm{T}}{EV} \right\rangle \nabla \left(I_{[\mathrm{T}]} \right); \left\langle \overset{\Phi}{EV} \right\rangle \nabla \left(I_{[\Phi]} \right) \\ \left\langle \overset{\Phi}{EV} \right\rangle \nabla \left(\left\langle \overset{\mathrm{U}}{EV} \right\rangle \wedge \left\langle \overset{\mathrm{M}}{EV} \right\rangle \wedge \left\langle \overset{\mathrm{T}}{EV} \right\rangle \right) \end{cases} \tag{3.1}$$

где подсистема [Ф] = (f_μ, f_r, f_ρ, f_κ) включает операторы: измерения – f_μ, регулирования – f_r, планирования –f_ρ и контроля – f_κ; $I_{[\mathrm{U}]}$ – множество индикаторов развития подсистемы пользователь, $I_{[\mathrm{M}]}$ – множество индикаторов развития подсистемы мегаполис, $I_{[\mathrm{T}]}$ – множество индикаторов развития подсистемы транспорт; $I_{[\Phi]}$ – множество индикаторов развития подсистемы функционала управления; $\overset{\mathrm{U}}{EV}$ – полюс развития подсистемы пользователь; $\overset{\mathrm{M}}{EV}$ – полюс развития подсистемы мегаполис; $\overset{\mathrm{T}}{EV}$ – полюс развития подсистемы транспорт; $\overset{\Phi}{EV}$ – полюс развития подсистемы функционала управления.

Стрелки, исходящие из подсистемы реляционного регулятора согласования и пересекающие подсистемы СОРТСМ [U], [M], [T], [Ф] в направлении соответствующих полюсов – $\overset{U}{EV}$, $\overset{M}{EV}$, $\overset{T}{EV}$, $\overset{Ф}{EV}$, означают рациональный непрерывный процесс развития элементов системы.

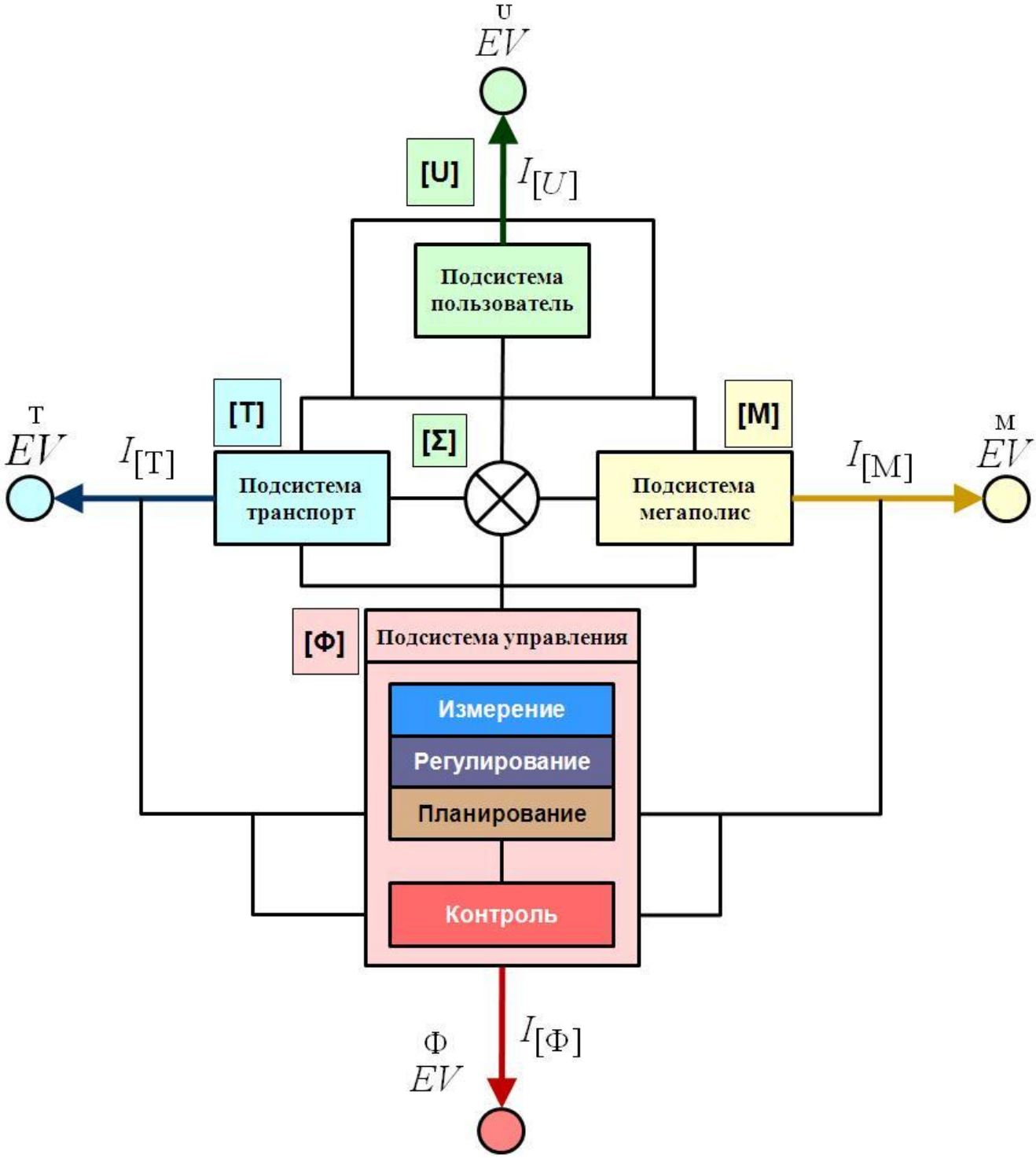


Рисунок 3.1 – Структурная схема системы организации и развития транспортной системы мегаполиса

Перспективу развития при этом определяют интегральные индикаторные множества $I_{[U]}$, $I_{[M]}$, $I_{[T]}$, $I_{[\Phi]}$ соответствующей пары «подсистема»→«полюс» Формально процесс развития СОРТСМ интерпретируется выражением (3.2)

$$\Theta \xrightarrow{[\Sigma],[\Phi]} EV \quad \begin{cases} \mathrm{U} \xrightarrow{I[\mathrm{U}]} {}^{\mathrm{U}}EV \\ \mathrm{M} \xrightarrow{I[\mathrm{M}]} {}^{\mathrm{M}}EV \\ \mathrm{T} \xrightarrow{I[\mathrm{T}]} {}^{\mathrm{T}}EV \\ \Phi \xrightarrow{I[\Phi]} {}^{\Phi}EV \end{cases} . \qquad (3.2)$$

3.2. Описание внешней структуры системы организации и развития транспортной системы мегаполиса

Внешняя структура СОРТСМ образованна подсистемами пользователь, мегаполис, транспорт, управление и реляционный регулятор согласования.

Подсистема пользователь (ПСП) является основной подсистемой в структуре СОРТСМ. Под пользователем будем понимать любое физическое лицо, зарегистрированное под одним из статусов городской принадлежности (житель города, гость и др.). Функция ПСП – формирование и совершенствование индикаторов, характеризующих пользователя (характеристики жизнедеятельности, социально-экономические показатели, показатели качества жизни, показатели здоровья, психологические показатели, показатели комфорта и эргономики и др.). Индикаторное множество ПСП через подсистему реляционного регулятора согласования оказывает влияние на процесс формирования и развития индикаторных характеристик подсистем транспорт, мегаполис и управление.

Подсистема транспорт (ПСТ) – рационально организованная совокупность множества индикаторов, характеризующих объекты и субъекты транспортной инфраструктуры и транспортных средств, функционирующих в пределах границ мегаполиса. Целью ПСТ является согласованное развитие СОРТСМ посредством

совершенствования характеристик ПСП и связанных с ними характеристик подсистем пользователь и мегаполис.

Функция ПСТ – устойчивое поддержание и развитие характеристик индикаторного множества ПСТ.

Индикаторное множество ПСТ через реляционный регулятор согласования оказывает влияние на процесс формирования и развития индикаторных характеристик подсистем - пользователь, мегаполис, управление.

Подсистема мегаполис (ПСМ) – рационально организованное индикаторное множество, характеризующее мегаполис в целом. Значением индикаторов ПСМ определяется уровень безопасности мегаполиса, эффективность функционирования его подсистем, степень развития и разнообразия его инфраструктуры. Функция ПСМ – устойчивое поддержание и развитие характеристик индикаторного множества ПСМ.

Индикаторное множество ПСМ через реляционный регулятор согласования оказывает влияние на процесс формирования и развития индикаторных характеристик подсистем – пользователь, транспорт, управление.

Подсистема управления (ПСУ) в общем виде представлена операторами измерения текущего состояния объекта управления, планирования, регулирования и контроля. Цель ПСУ – совершенствование управляющих методов и воздействий для устойчивого обеспечения процессов функционирования СОРТСМ и удовлетворения потребностей пользователя. Функция ПСУ – устойчивое развитие характеристик индикаторных множества СОРТСМ в соответствии с заданным законом управления.

Реляционный регулятор согласования (РРС) – подсистема, обеспечивающая рациональное развитие СОРТСМ. Цель РРС – рациональное совершенствование СОРТСМ. Функция РРС – поиск состояния устойчивого рационального максимума функционирования системы СОРТСМ, при котором достигается предельная скорость движения вдоль вектора развития «подсистема» – «полюс».

Таким образом, предлагаемая структурная схема СОРТСМ логически связывает процесс развития транспортной системы и мегаполиса и позволяет производить мульти анализ их компонент с учетом расширения структуры последних.

3.3 Описание внутренней структуры системы организации и развития транспортной системы мегаполиса

Построение и организация сложной технической системы предполагает соблюдение основных принципов ее функционирования и развития, сформулированных в рамках общей теории систем и кибернетики [72], а именно - оптимальности, агрегирования, управляемости, автоматизации, стандартизации, включения, системного единства, развития и надежности. Равным образом на стадии проектирования системы необходимо учесть дальнейший процесс ее работоспособности и жизнеспособности. Достижение данных критериев возможно, но только при должном выполнении следующих законов развития технических систем [72, 96]: идеальности, динамичности, согласования, проводимости и параметрического порога.

Таким образом, для реализации выше представленных требований в основу внутренней структуры подсистем СОРТСМ предлагается положить архитектуру, состоящую из следующих элементов: селекционный фильтр – Y, блок система – S, блок анализа – A, индикаторное множество показателей эффективности системы – I и комбинаторный расширитель индикаторных связей – ξ (КРИС). Данную конструкцию будем называть – реляционный фильтр селективного анализа индикаторного комбинаторного расширения связей (РЕФ).

РЕФ является структурной базовой единицей внутренней структуры подсистем СОРТСМ

Схематично структуру РЕФ и процесс ее функционирования можно представить рисунком 3.2.

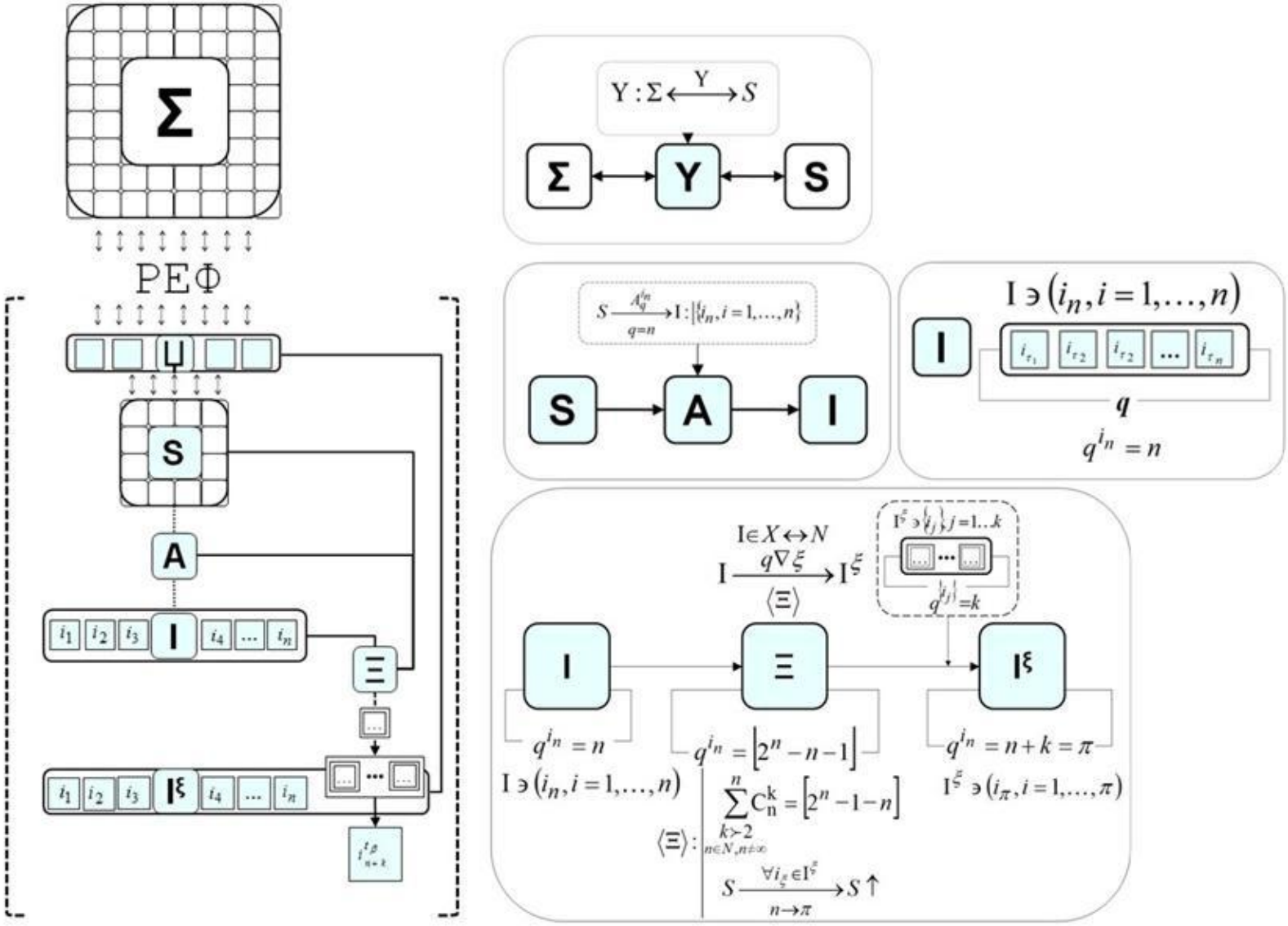


Рисунок 3.2 – Структурная схема РЕФ

Формально РЕФ можно интерпретировать выражением (3.3).

$$\text{Р э} \left\langle \text{Y,S,A,I,} \xi \right\rangle \qquad (3.3).$$

Архитектура РЕФ способна осуществлять следующие функции: а) параметризация элементов подсистем СОРТСМ; б) изменение параметров элементов подсистем СОРТСМ во времени; в) формирование системы индикаторов для исследования анализа процесса развития подсистем СОРТСМ; г) оценка индикаторов во времени; д) расширение количества индикаторов и совершенствование процесса анализа; е) отбор индикаторов для согласованного развития ТСМ; ж) осуществление процесса развития подсистем СОРТСМ и самой СОРТСМ.

Таким образом, организация внутренней структуры СОРТСМ (Θ) представляется совокупностью четырех блоков РЕФ, то есть: РЕФ пользователь $\text{Р}^{[\text{U}]}$, РЕФ мегаполис $\text{Р}^{[\text{M}]}$, РЕФ транспортные средства $\text{Р}^{[\text{V}]}$, РЕФ транспортные коммуникации $\text{Р}^{[\text{C}]}$. Центром СОРТСМ является РРС [Σ].

Формально внутреннюю структуру СОРТСМ зададим выражением (3.4):

$$\Theta_{in} \text{ э} \begin{cases} \text{Р}^{[\text{U}]} \text{ э} \left\langle \text{Y}_\text{U}, \text{S}_\text{U}, \text{A}_\text{U}, \text{I}_\text{U}, \xi_\text{U} \right\rangle \\ \text{Р}^{[\text{C}]} \text{ э} \left\langle \text{Y}_\text{C}, \text{S}_\text{C}, \text{A}_\text{C}, \text{I}_\text{C}, \xi_\text{C} \right\rangle \\ \text{Р}^{[\text{M}]} \text{ э} \left\langle \text{Y}_\text{M}, \text{S}_\text{M}, \text{A}_\text{M}, \text{I}_\text{M}, \xi_\text{M} \right\rangle \\ \text{Р}^{[\text{V}]} \text{ э} \left\langle \text{Y}_\text{V}, \text{S}_\text{V}, \text{A}_\text{V}, \text{I}_\text{V}, \xi_\text{V} \right\rangle \\ [\Sigma] \\ [\Phi] \end{cases} \qquad (3.4)$$

где Y_U, S_U, A_U, I_U, ξ_U – селекционный фильтр, блок система, блок анализа, индикаторное множество показателей эффективности блока системы и комбинаторный расширитель индикаторных связей подсистемы пользователь соответственно; Y_C, S_C, A_C, I_C, ξ_C – селекционный фильтр, блок система, блок анализа, индикаторное множество показателей эффективности блока системы и комбинаторный расширитель индикаторных связей подсистемы транспортные коммуникации соответственно; Y_M, S_M, A_M, I_M, ξ_M – селекционный фильтр, блок система, блок анализа, индикаторное множество показателей эффективности

блока системы и комбинаторный расширитель индикаторных связей подсистемы мегаполис соответственно; Y_C, S_C, A_C, I_C, ξ_C – селекционный фильтр, блок система, блок анализа, индикаторное множество показателей эффективности блока системы и комбинаторный расширитель индикаторных связей подсистемы транспортные средства соответственно.

Подсистема транспорт как внешний блок СОРТСМ, представленная на рисунке 3.1., разделяется на две составляющие – транспортные средства [V] и транспортные коммуникации [C], а подсистема управления [Ф] образует внешний контур (рисунок 3.3).

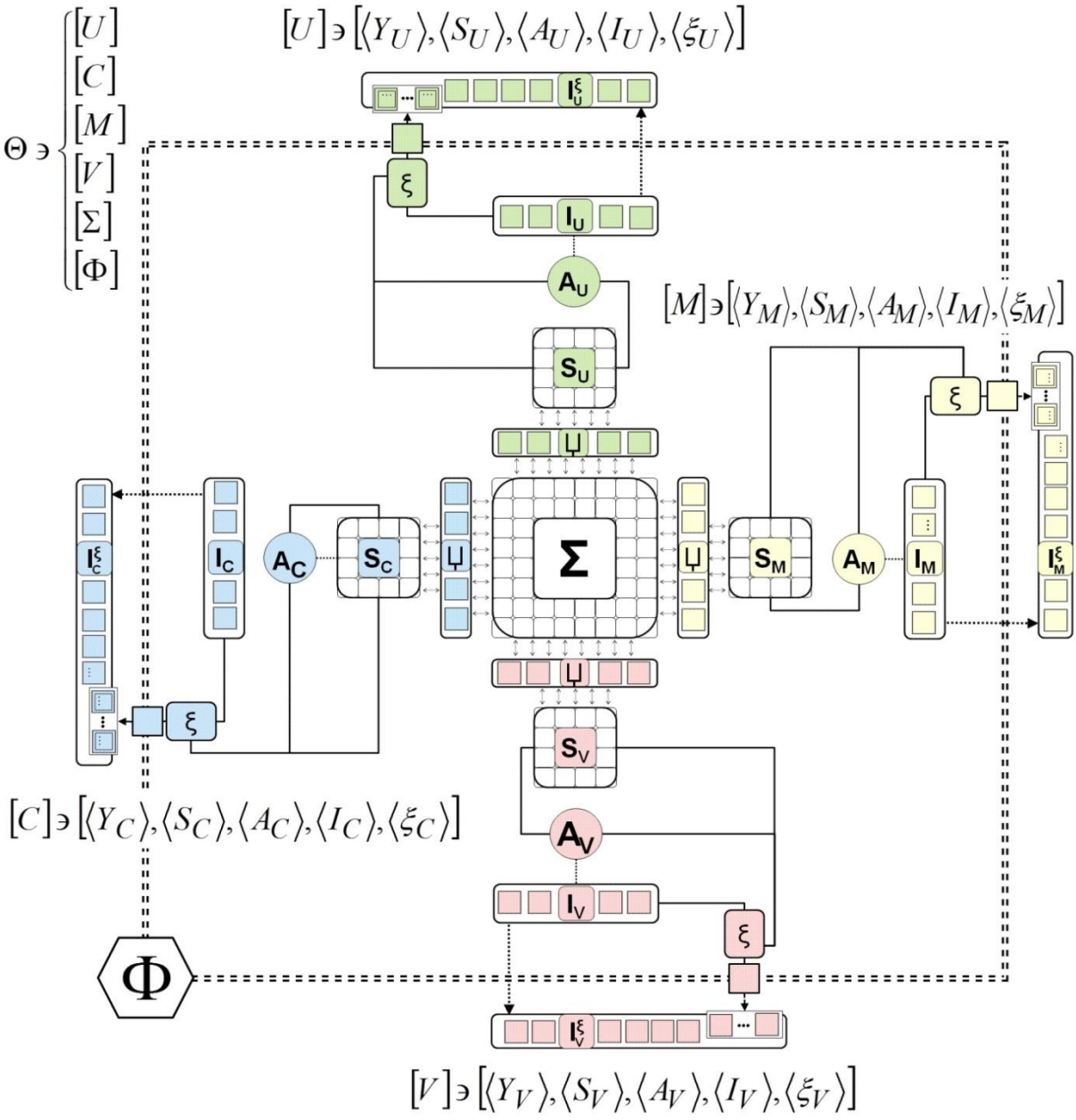


Рисунок 3.3 – Схема внутренней структуры СОРТСМ

Последовательно рассмотрим процесс организации и функционирования каждого элемента входящего в РЕФ.

Блок система (S). Блок система производит разукрупнение, и характеристическую параметризацию элементов подсистем СОРТСМ и отслеживает изменение свойств этих элементов во времени.

В общем виде блок *S* задается множеством взаимосвязанных, организованных элементов различных классов (3.5)

$$S : Э = \{э_i, i = 1,\ldots,n\}, \tag{3.5}$$

где $э_i$ - элемент системы *S*.

Классы на множестве элементов системы *S* формирует операция разбиения $f_{\mu}^{\ d}$ множества *S* на непересекающиеся совокупности подмножеств, согласно (3.6)

$$f_{\mu}^{d} : S = \bigcup_{\mu=1}^{\mu} S_{\mu} \quad \left|S_{\mu}\right| = d_{\mu} \ , \tag{3.6}$$

где $\mu=1,\ldots,\mu$ – классы разбиения; $d_{\mu}=1,\ldots,R$ – глубина классов разбиения;

Для регистрации, хранения и работы с данными элементами системы введем операцию идентификации f_{id} ее элементов согласно (3.7)

$$f_{id} : S \xrightarrow{\forall\{e_i\}\in S} I \, , \tag{3.7}$$

где $I=\{i_d\}$ – множество уникальных номеров. Другими словами, существует и определено отображение f_{id}, которое каждому объекту из *S* ставит в соответствие уникальный номер $i_d \in I$.

Каждый элемент системы $э_i$, имеющий уникальный номер i_d, должен обладать определенным набором свойств. Зададим для этого операцию f_{CH}, которая каждому уникальному номеру i_d ставит в соответствие набор характеристик, присущих данному объекту, согласно следующему выражению (3.8):

$$f_{CH} : S \xrightarrow[\{e_i\} э \{i_d\}]{\forall\{e_i\}\in S} CH \, , \tag{3.8}$$

где $CH = \left\{ ch_a^{\ni_i}, a = 1,\ldots,n_a, i = 1,\ldots,n \right\}$ – множество характеристик элементов системы *S*.

Атрибуты характеристик каждого элемента системы, задаются следующим картежем: $ch_a^{\ni_i} = \langle [i_d], [name\ character], [attribute\ values], \{set_{av}\} \rangle$, где $[i_d] \in I$ – уникальный номер элемента системы; [*name character*] – имя характеристики элемента системы; [*attribute value*] – атрибут характеристики элемента системы; [set_{av}] – численное значение определенного атрибута характеристики элемента системы. Графически процесс построения организации блок системы - S интерпретирован на рисунке 3.4.

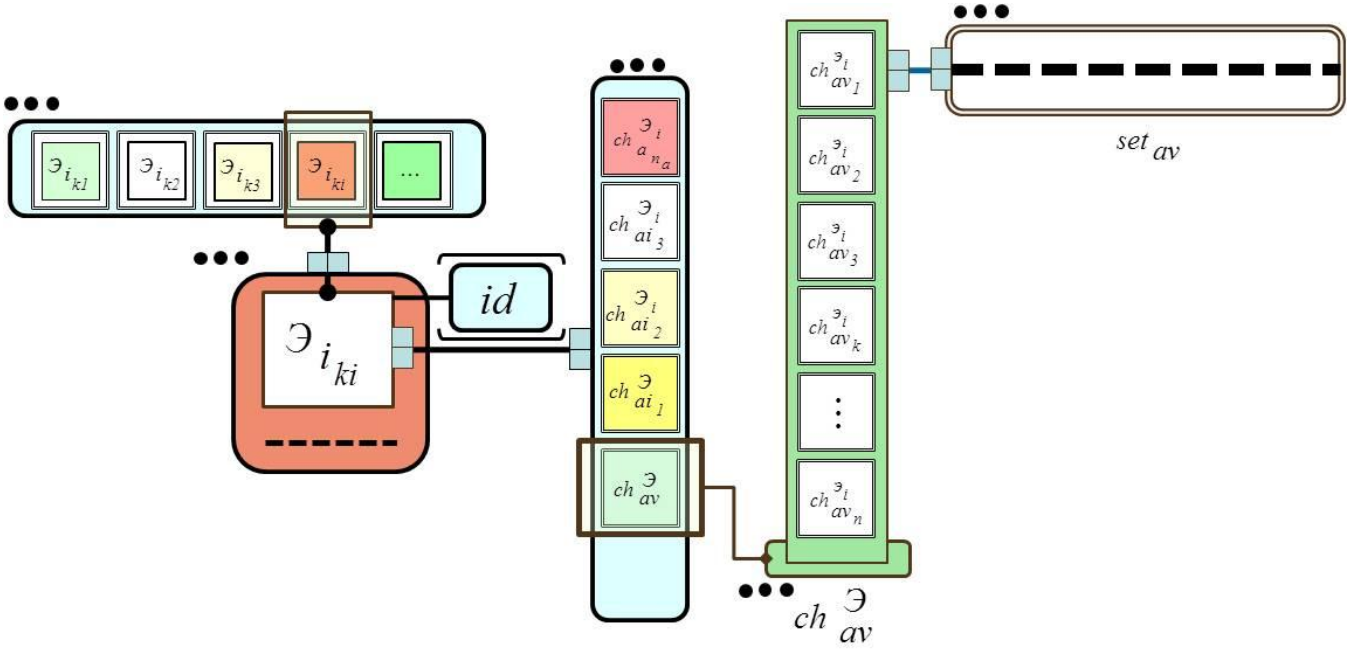


Рисунок 3.4 – Схема построения процесса организации блока системы-S

В случае если описание свойств каждого элемента системы предполагает динамический характер развития, может быть задана хронологическая операция f_t, следующего вида (3.9):

$$f_t : S \xrightarrow[\{e_i\} \ni \{i_d\}]{\forall \{e_i\} \in S} \left\langle \tau_T^{\det} \vee (\tau_T ; \tau_{T+i}) \right\rangle \quad , \tag{3.9}$$

где $\tau_T^{\det} \in T$ – определенный момент времени, T – множество моментов или интервалов времени.

Частично, пример организации подсистемы транспорт приведен в работах [117,119,120].

Блок анализа (А). Блок анализа производит оценку значений индикаторов внутри каждого РЕФ. Формально процесс оценки индикаторов внутри блока анализа задается выражением (3.11), а его графическое пояснение представлено на рисунке 3.5.

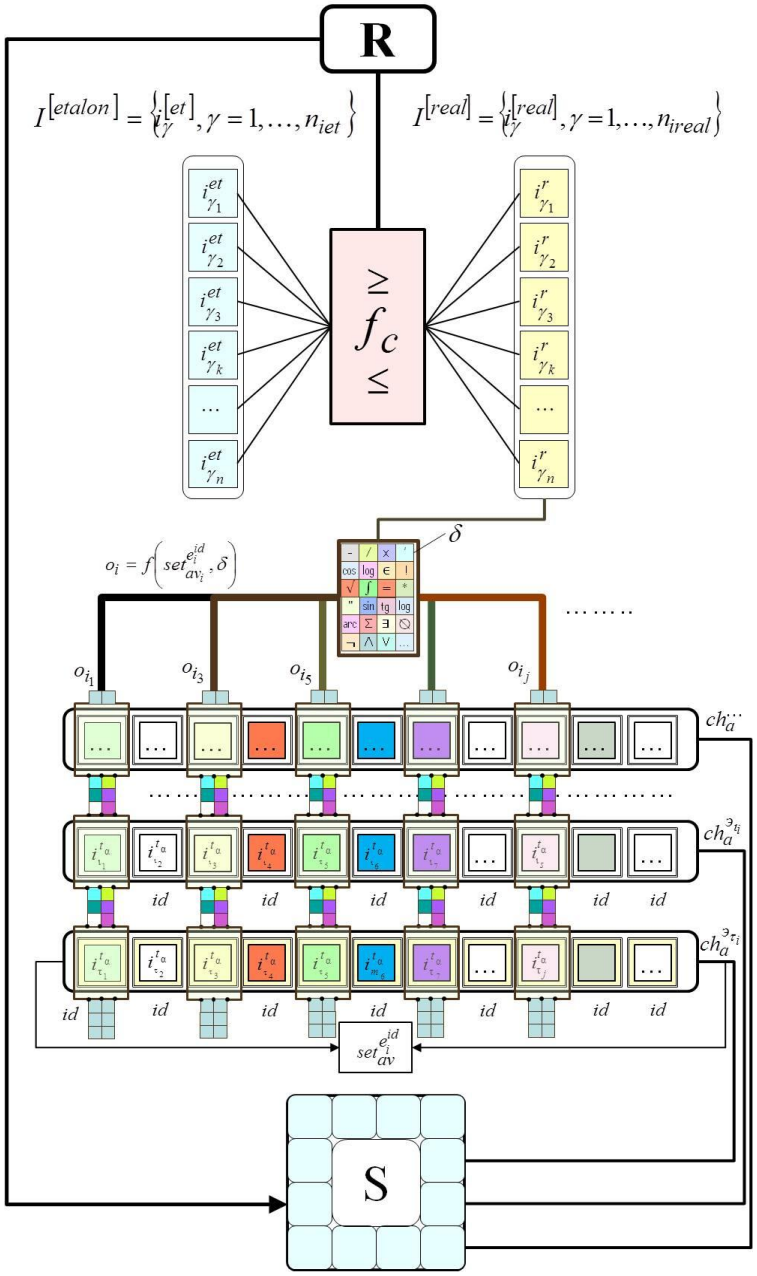


Рисунок 3.5 – Схема построения блока анализа

$$A: \left| I^{[etalon]} - I^{[real]} \right| \xrightarrow{f^{[compare]}, f^{[diagnos]}} R, \quad I^{[real]} \times R = I^{[etalon]}, \tag{3.11}$$

где $I^{[etalon]} = \{i_\gamma^{[et]}, \gamma = 1..n_{iet}\}$ – эталонное множество индикаторов; $i_\gamma^{[et]}$ – эталонное значение определенного индикатора; $I^{[real]} = \{i_\gamma^{[r]}, \gamma = 1,\ldots,n_{iet}\}$ – реальное множество показателей; $i_\gamma^{[r]} = i_{id}\left[o_{ch_{id}\times\delta}\right] f\left(set_{av_i}^{e_i^{id}}, \tau\right)$ -текущее значение индикатора за определенный период или момент времени τ; $ch_{av_i}^{э_i} = f\left(set_{av_i}^{e_i^{id}}, \tau\right)$– текущее значение определенной характеристики элемента $э_i$ входящего в вычисляемый индикатор $i_\gamma^{[r]}$; $\left[o_{ch_{id}\times\delta}\right]$– оператор маршрутизации связи текущего значения индикатора с определенным номером « id », характеристики ch_{id} и действия над ними δ ; $I^{[etalon]} = \{i_\gamma^{[et]}, \gamma = 1,\ldots,n_{iet}\}$– множество эталонных значений показателей; $i_\gamma^{[et]}$ – эталонное значение определенного индикатора эффективности; $f^{[compare]}$ – функция сравнения текущего значения $i_\gamma^{[r]}$ индикатора с эталонным $i_\gamma^{[et]}$; $f^{[diagnos]}$– функция диагностирования причинно-следственных отношений между индикаторами, выявляющая причину отклонения значений текущих индикаторов от эталонных; R – регулирующее воздействие, удерживающее значение индикаторов в рамках допустимых отклонений;

Блок интегральных индикаторов (I). Блок интегральных индикаторов содержит индикаторы эффективности блока системы S и условия, при которых последние достигают оптимального значения.

Интегральное индикаторное множество [*Integ*] зададим множеством индикаторов эффективности $I = \{i_n\}$ и множеством условий, $Y = \{y\}$ при которых они достигают оптимального значения:

$$[Integ] = \langle I \wedge Y \rangle. \tag{3.12}$$

Формирование множества индикаторов эффективности $I = \{i_n\}$, реализуется оператором f_i , посредством которого происходит перемещение результирующих индикаторов из блока *A* в блок I, согласно (3.13),

$$A \xrightarrow{f_i} I \tag{3.13}$$

При этом множества $I^{[real]}$ и I равномощны (3.14):

$$\left|I^{[real]}\right| = |I| \tag{3.14}$$

Формирование множества условий $Y = \{y\}$ реализуется оператором f_y, согласно (3.15):

$$A \xrightarrow{f_y} I. \tag{3.15}$$

Блок комбинаторного расширения индикаторных связей (КРИС). Блок КРИС реализует процесс расширения количества индикаторов индикаторного множества, совершенствование блока анализа и осуществляет процедуру поиска показателей эффективности системы S.

Процесс работы блока КРИС выглядит следующим образом:

Пусть система индикаторов имеет количество q индикаторов i равных n, тогда можно записать

$$q_i = n \tag{3.16}$$

Пусть оператор f_ψ отображает индикаторное множество [I, q_i=n], из блока интегральных индикаторов в блок комбинаторного расширения индикаторных связей, согласно (3.17):

$$f_\psi : I \xrightarrow[\{i\}]{f_\psi} \xi, \quad \text{где } I = \{i_n\} \tag{3.17}$$

Тогда операция расширения индикаторов ξ производится согласно (3.18), как

$$\xi : k_i = 2^n - n - 1 \tag{3.18}$$

Поясним принципы работы КРИС на практическом примере.

Пусть множество I состоит из 3(n=3) индикаторов: $I = \langle N_v, S_M, N_h \rangle$, где N_v – общее количество автомобилей в мегаполисе, S_M – площадь мегаполиса, N_h – общее количество жителей в мегаполисе. Тогда, согласно (3.18), операция КРИС имеет вид $\xi : k_i = 2^n - n - 1 = 2^3 - 3 - 1 = 2^3 - 3 - 1 = 4$, а схема расширения индикаторов для рассматриваемого примера имеет вид, представленный на рисунке 3.6.

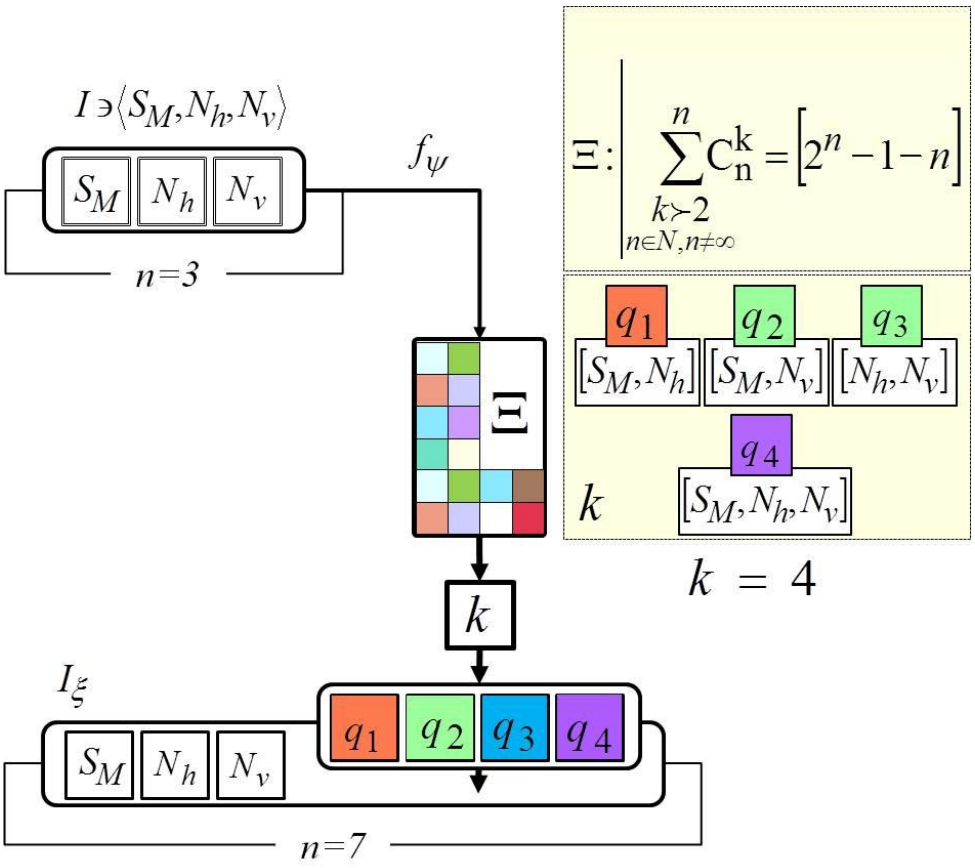


Рисунок 3.6 – Схема комбинаторного расширения индикаторов

Индикаторы q_1, q_2, q_3,q_4 представляют показательные связи, которые могут быть образованы между элементами I, а, следовательно, может быть задан закон организации последнего в следующем виде:

$$q_1 = S_M / N_v, q_2 = S_M / N_h, q_3 = N_v / N_h, q_4 = \frac{S_M}{\sqrt{N_v N_h}}$$

где q_1 - плотность транспортных средств в мегаполисе [км^2/ед.т.с.], q_2 - плотность жителей в мегаполисе [км^2/чел.], q_3 - процент жителей мегаполиса имеющих собственный автомобиль [%], q_4 - плотность жителей и транспортных средств на территории мегаполиса.

Таким образом, общее количество индикаторов потенциально может быть расширено с 3 до 7, т.е. $I \ni \langle N_v, S_M, N_h, q_1, q_2, q_3, q_4 \rangle$.

Селекционный фильтр (СФ). Блок СФ производит отбор индикаторов элемента рассматриваемой системы S для перемещения его в реляционный регулятор согласования.

В основу функционирования СФ положим общий метод «просеивания» Сильва – Сильвестра [109], а именно:

пусть элементы $A_i \subset A$ обладают свойством P_i, $i=1,2,\ldots,n$, тогда подмножество $A_{i_1} \bigcap A_{i_2} \bigcap \ldots \bigcap A_{i_k}$ - обладает свойством $P_{i_1} \wedge P_{i_2} \wedge \ldots \wedge P_{i_k}$.

Таким образом, если элементы A могут обладать n различными свойствами, то число элементов A, обладающих k указанными свойствами и не обладающих $(n-k)$ остальными задаются оператором f_{sift}, согласно (3.19):

$$\begin{aligned} f_{sift} : Card\left(A_1 \bigcap \ldots \bigcap A_k \bigcap \overline{A}_{k+1} \bigcap \overline{A}_{k+2} \bigcap \ldots \bigcap \overline{A}_n\right) = Card\left(A_1 \bigcap \ldots \bigcap A_k\right) - Card\left(A_1 \bigcap \ldots \bigcap A_k \bigcap A_{k+1}\right) - \\ \ldots - Card\left(A_1 \bigcap \ldots \bigcap A_k \bigcap A_n\right) + Caard\left(A_1 \bigcap \ldots \bigcap A_k \bigcap A_{k+1} \bigcap A_{k+2}\right) + \ldots \\ + Card\left(A_1 \bigcap \ldots \bigcap A_k \bigcap A_{n-1} \bigcap A_n\right) + (-1)^{n-k} Card\left(A_1 \bigcap \ldots \bigcap A_k \bigcap A_{k+1} \bigcap A_{k+2} \bigcap \ldots \bigcap A_n\right) \end{aligned} \quad (3.19)$$

где A – конечное множество; $A_1 \subset A$, $\overline{A_1}$ – дополнение A_1 по отношению к A; $CardA$ – число элементов во множестве A.

В случае невыделенных множеств, когда множества не выделяются, а фиксируется только число свойств, которыми обладают их элементы, оператор f_{sift} имеет вид (3.20):

$$f_{shift} : W(k) = w(k) - C_{k+1}^1 w(k+1) + C_{k+2}^2 w(k+2) - \ldots + (-1)^{n-k} C_n^{n-k} w(n) \quad (3.20)$$

где $W(k)$ - число элементов во множестве A, удовлетворяющих k свойствам.

Рассмотрим пример работы селекционного фильтра.

Дано множество V такое что: $V = \{v_1, v_2, v_3, v_4, v_5, v_6, v_7, v_8, v_9, v_{10}\}$, где $\{v\}$ – множество различных транспортных средств, обладающих свойствами, указанными в таблице 3.1.

Подсчитаем число элементов v, обладающих свойством: $P_1 \wedge \overline{P}2 \wedge \overline{P}3$.

Таблица 3.1 – Свойства транспортных средств

Объект $[V]$ / *Свойство* $[P]$		v_1	v_2	v_3	v_4	v_5	v_6	v_7	v_8	v_9	v_{10}
P_1	**Легковые авто**		●		●		●		●		●
P_2	**Электрические авто**							☼	☼	☼	☼
P_3	**Полноприводные авто**			○	○	○	○	○			

Обозначим подмножества, соответствующие свойствам P_1, P_2, P_3, через A_1, A_2, A_3. Тогда,

$$Card\left(A_1 \bigcap \overline{A_2} \bigcap \overline{A_3}\right) = Card\ (A_1) - Card\left(A_1 \bigcap A_2\right) - Card\left(A_1 \bigcap A_3\right) + Card\left(A_1 \bigcap A_2 \bigcap A_3\right)$$

Просеиваем V через P_1: $Card(A_1) = 5$

Просеиваем A_1 через P_2 и P_3: $Card\left(A_1 \bigcap A_2\right) = 2, Card\left(A_1 \bigcap A_3\right) = 2$

Просеиваем $A_1 \bigcap A_2$ через P_3: $Card\left(A_1 \bigcap A_2 \bigcap A_3\right) = 0$

В итоге:

$$Card\left(A_1 \bigcap \overline{A_2} \bigcap \overline{A_3}\right) = 5 - 2 - 2 + 0 = 1$$

Таким образом, через процедуру просеивания мы определили, что только транспортное средство $\boldsymbol{v_2}$ обладает свойством P_1 и не обладает свойствами P_2 и P_3, то есть является легковым не электрическим и не полноприводным автомобилем.

Реляционный регулятор согласования (РРС) осуществляет процесс реляционного согласования индикаторов подсистем пользователь, транспортные средства, транспортные коммуникации, мегаполис и реализует процедуру их реляционного расширения, тем самым обеспечивая согласованное развитие всей системы СОРТСМ.

РРС зададим набором операторов: оператор реляционного объединения элементов подсистем пользователь, мегаполис, транспортные средства, транспортные коммуникации – $f_{\bigcup S}$, оператор реляционного объединения свойств (индикаторов) элементов подсистем пользователь, мегаполис, транспортные средства, транспортные коммуникации – $f_{\bigcup S}{}^{P}$ и оператор реляционного согласования подсистем пользователь, мегаполис, транспортные средства, транспортные коммуникации – f_{Σ}.

Процесс реляционного согласования реализуется следующей последовательностью: на вход реляционного регулятора согласования поступают «просеянные» согласно (3.19) и (3.20), элементы систем, которые подвергаются процедуре (3.21) реляционного объединения $f_{\bigcup S}$:

$$f_{\bigcup S}:\Sigma_S \overset{Y}{=} \bigcup_{f_{sift}} S_U \bigcup_{f_{sift}} S_V \bigcup_{f_{sift}} S_M \bigcup_{f_{sift}} S_C , \tag{3.21}$$

Графически процесс построения $f_{\bigcup S}$ представлен на рисунке 3.7. Область Σ_S отражает набор «просеянных» элементов подсистем пользователь, мегаполис, транспортные средства, транспортные коммуникации.

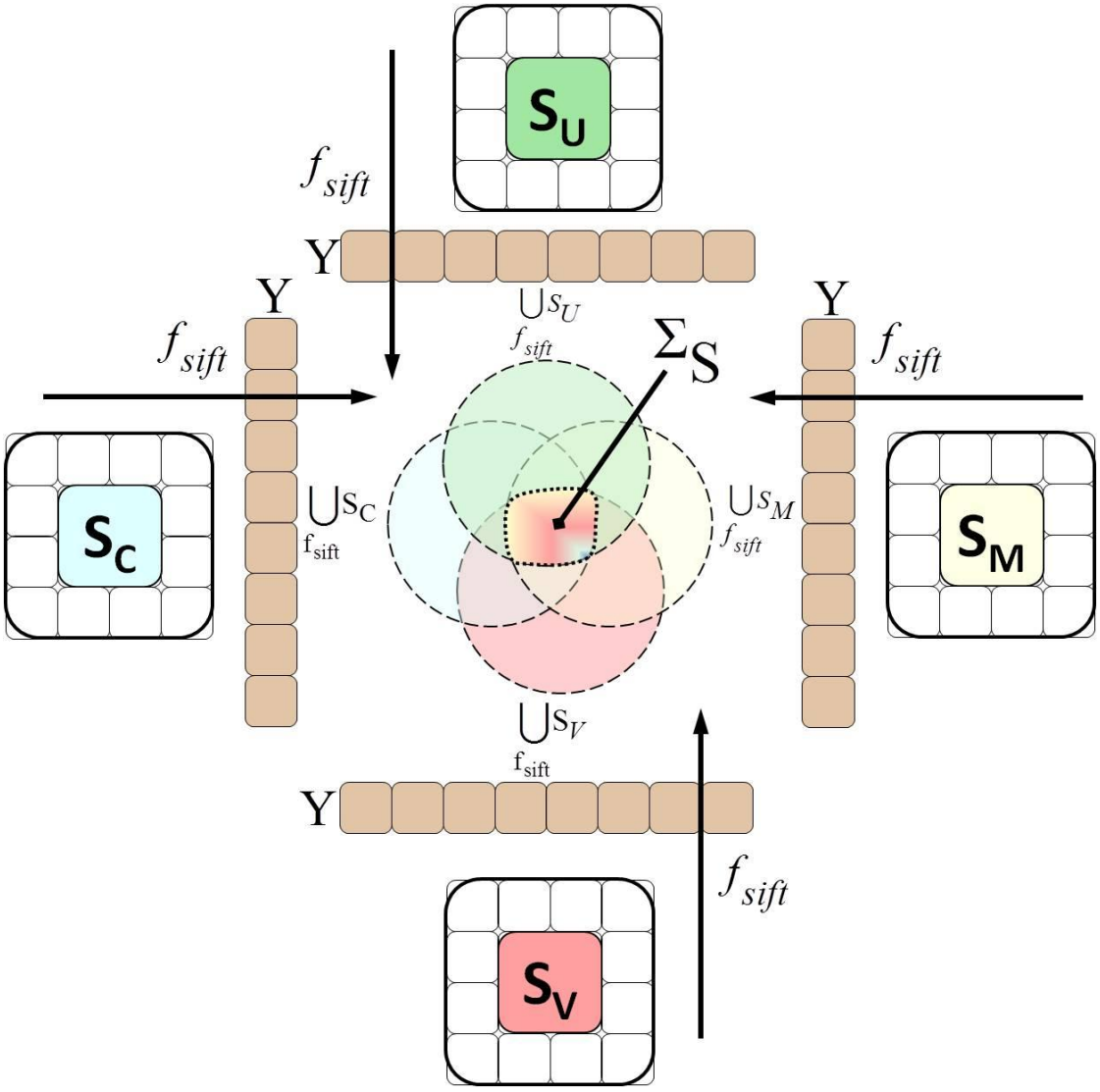


Рисунок 3.7 – Схема построения множества Σ_S

Параллельно с процессом $f_{\bigcup S}$ реализуется процедура – $f_{\bigcup S}{}^{P}$, согласно которой поступившие в РРС свойства соответствующих элементов подсистем после процедуры «просеивания» (f_{shift}^{P}) подвергаются процессу реляционного объединения свойств $f_{\bigcup S}{}^{P}$:

$$f_{\bigcup S^P}:\left\langle \begin{matrix} [S_U]_{sift}^{P_U} \\ [S_C]_{sift}^{P_C} \\ [S_M]_{sift}^{P_M} \\ [S_V]_{sift}^{P_V} \end{matrix} \right\rangle \in \Sigma_S^P \ , \qquad (3.22)$$

где $[S_U]_{sift}^{P_U}$, $[S_C]_{sift}^{P_C}$, $[S_M]_{sift}^{P_M}$, $[S_V]_{sift}^{P_V}$ – свойства элементов подсистем пользователь, мегаполис, транспортные средства, транспортные коммуникации после процедуры «просеивания», представленной на рисунке 3.8.

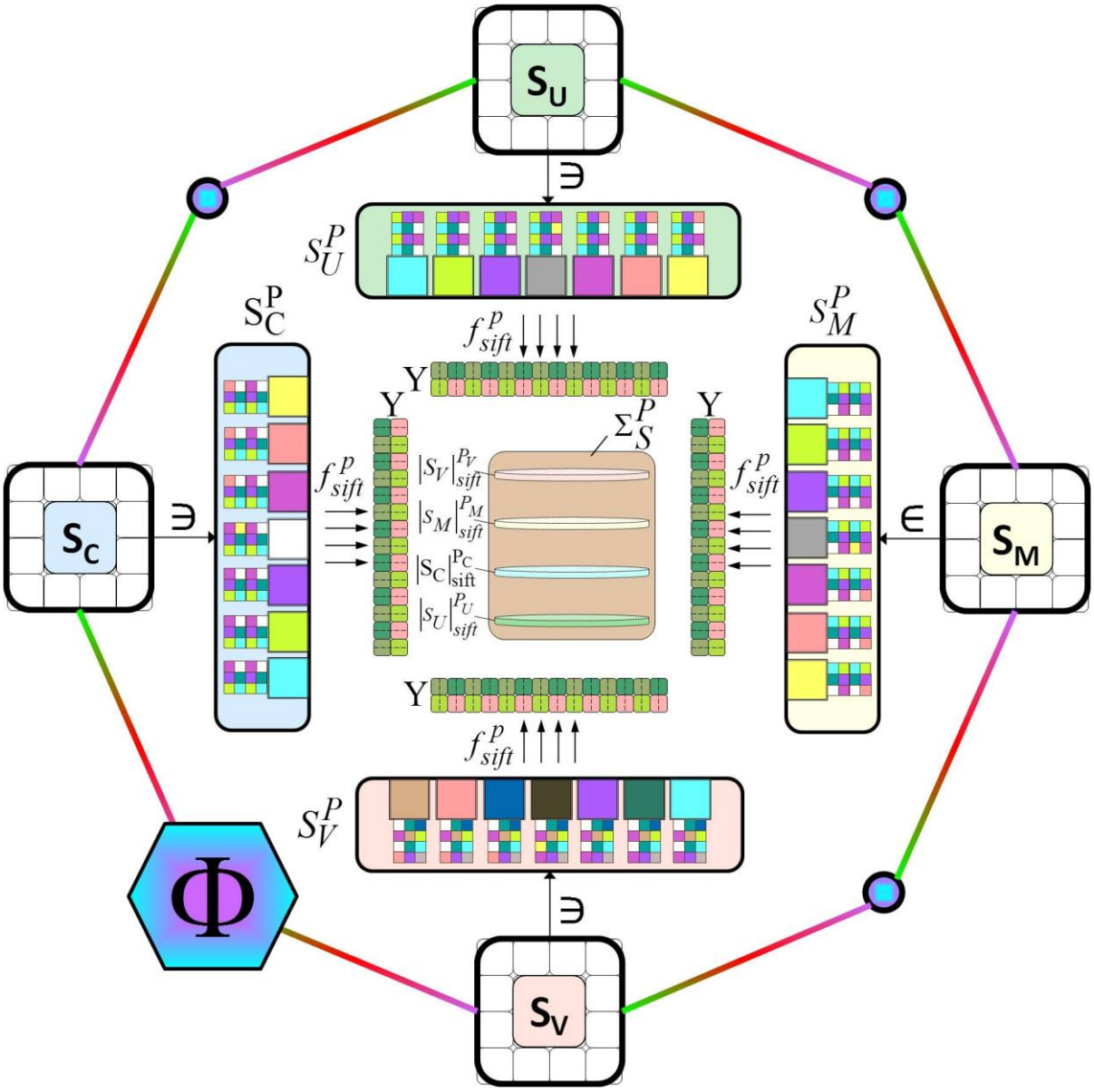


Рисунок 3.8 – Схема построения множества Σ_S^P

Упорядоченные наборы «просеянных» свойств подсистем подвергаются процедуре реляционного согласования f_{Σ} (3.23),

$$f_{\Sigma}: \left(\cap C^{k}_{[S_n]^{P_n}_{sift}} \right) \left\langle \begin{matrix} \overset{CPR}{\leq} \\ \geq \end{matrix} \right\rangle [S_{\Phi}]^{P_{\Phi}}_{perf} \longrightarrow \left(\cap C^{k}_{S_n} \right) = \begin{cases} \varnothing \longrightarrow \left(\cap C^{k}_{S_n} \right) \tilde{\otimes} R^{\Phi}_{S_{\wedge \vee n}} \\ \neq \varnothing \longrightarrow \left(\cap C^{k}_{S_n} \right) \end{cases}, \qquad (3.23)$$

где, $f_{\sum}$ – реляционный оператор согласования; $[S_n]^{P_n}_{sift}$ – упорядоченные множества после «просеивания», содержащие элементы с параметрическим указанием свойств; n – количество подсистем, $n=4$ (то есть подсистемы пользователь, мегаполис, транспортные средства, транспортные коммуникации); k – количество наборов подсистем подлежащих согласованию, где $k = 2^n - 1$; $[S_{\Phi}]^{P_{\Phi}}_{perf}$ – упорядоченные множества, содержащие элементы с эталонным параметрами свойств; Ф – функционал управления сравниваемых индикаторных множеств систем (свойств систем); *perf.* – индекс, указывающий на эталонные значения сравниваемых индикаторов; $\cap C^{k}_{[S_n]^{P_n}_{sift}}$ – сочетание упорядоченных свойств систем после «просеивания» с параметрическим указанием свойств;

$\left\langle \begin{matrix} \overset{CPR}{\leq} \\ \geq \end{matrix} \right\rangle$-оператор сравнения;

$\tilde{\otimes} = \left\langle \begin{matrix} \setminus \\ \cup \\ CONST \end{matrix} \right\rangle$ -оператор развития подсистемы пользователь, мегаполис, транспортные средства, транспортные коммуникации.

Раскроем первую часть процедуры реляционного согласования (3.23):

$$\left(\cap C^{k}_{[S_n]^{P_n}_{sift}}\right)\left\langle\begin{matrix}\leq\\ \geq\end{matrix}\right\rangle[S_\Phi]^{P_\Phi}_{perf}=\left[\begin{array}{c}
\left([S_U]^{P_U}_{sift}\bigcap[S_C]^{P_C}_{sift}\right)\left\langle\begin{matrix}\leq\\ \geq\end{matrix}\right\rangle[S_{\Phi=C,U}]^{P_{\Phi=C,U}}_{perf}\\
\left([S_U]^{P_U}_{sift}\bigcap[S_M]^{P_M}_{sift}\right)\left\langle\begin{matrix}\leq\\ \geq\end{matrix}\right\rangle[S_{\Phi=M,U}]^{P_{\Phi=M,U}}_{perf}\\
\left([S_U]^{P_U}_{sift}\bigcap[S_V]^{P_V}_{sift}\right)\left\langle\begin{matrix}\leq\\ \geq\end{matrix}\right\rangle[S_{\Phi=V,U}]^{P_{\Phi=V,U}}_{perf}\\
\left([S_C]^{P_C}_{sift}\bigcap[S_M]^{P_M}_{sift}\right)\left\langle\begin{matrix}\leq\\ \geq\end{matrix}\right\rangle|S_{\Phi=C,M}|^{P_{\Phi=C,M}}_{perf}\\
\left([S_C]^{P_C}_{sift}\bigcap[S_V]^{P_V}_{sift}\right)\left\langle\begin{matrix}\leq\\ \geq\end{matrix}\right\rangle[S_{\Phi=C,V}]^{P_{\Phi=C,V}}_{perf}\\
\left([S_V]^{P_V}_{sift}\bigcap[S_M]^{P_M}_{sift}\right)\left\langle\begin{matrix}\leq\\ \geq\end{matrix}\right\rangle[S_{\Phi=V,M}]^{P_{\Phi=V,M}}_{perf}\\
\left([S_U]^{P_U}_{sift}\bigcap[S_C]^{P_C}_{sift}\bigcap[S_V]^{P_V}_{sift}\right)\left\langle\begin{matrix}\leq\\ \geq\end{matrix}\right\rangle[S_{\Phi=U,C,V}]^{P_{\Phi=U,C,V}}_{perf}\\
\left([S_U]^{P_U}_{sift}\bigcap[S_C]^{P_C}_{sift}\bigcap[S_M]^{P_M}_{sift}\right)\left\langle\begin{matrix}\leq\\ \geq\end{matrix}\right\rangle[S_{\Phi=U,C,M}]^{P_{\Phi=U,C,M}}_{perf}\\
\left([S_C]^{P_C}_{sift}\bigcap[S_V]^{P_V}_{sift}\bigcap[S_M]^{P_M}_{sift}\right)\left\langle\begin{matrix}\leq\\ \geq\end{matrix}\right\rangle[S_{\Phi=C,V,M}]^{P_{\Phi=C,V,M}}_{perf}\\
\left([S_U]^{P_U}_{sift}\bigcap[S_V]^{P_V}_{sift}\bigcap[S_M]^{P_M}_{sift}\right)\left\langle\begin{matrix}\leq\\ \geq\end{matrix}\right\rangle[S_{\Phi=U,V,M}]^{P_{\Phi=U,V,M}}_{perf}\\
\left([S_U]^{P_U}_{sift}\bigcap[S_V]^{P_V}_{sift}\bigcap[S_M]^{P_M}_{sift}\bigcap[S_C]^{P_C}_{sift}\right)\left\langle\begin{matrix}\leq\\ \geq\end{matrix}\right\rangle[S_{\Phi=U,V,M,C}]^{P_{\Phi=U,V,M,C}}_{perf}\\
\left([S_U]^{P_U}_{sift}\right)\left\langle\begin{matrix}\leq\\ \geq\end{matrix}\right\rangle[S_{\Phi=U}]^{P_{\Phi=U}}_{perf}\\
[S_V]^{P_V}_{sift}\left\langle\begin{matrix}\leq\\ \geq\end{matrix}\right\rangle[S_{\Phi=V}]^{P_{\Phi=V}}_{perf}\\
[S_C]^{P_C}_{sift}\left\langle\begin{matrix}\leq\\ \geq\end{matrix}\right\rangle[S_{\Phi=C}]^{P_{\Phi=C}}_{perf}\\
[S_M]^{P_M}_{sift}\left\langle\begin{matrix}\leq\\ \geq\end{matrix}\right\rangle[S_{\Phi=M}]^{P_{\Phi=M}}_{perf}
\end{array}\right. \tag{3.24}$$

Раскроем вторую часть процедуры реляционного согласования (3.23), согласно (3.25).

$$\left[\left(\cap C_{S_n}^{k}\right)\underset{mim\Psi}{\tilde{\otimes}} R_{S_I}^{\Phi}\right]=\begin{cases}\left([S_U]_{sift}^{P_U}\bigcap[S_C]_{sift}^{P_C}\right)\tilde{\otimes} R_{s_{\wedge\vee\langle\tilde{U},\tilde{C}\rangle}}^{\Phi}\\ \left([S_U]_{sift}^{P_U}\bigcap[S_M]_{sift}^{P_M}\right)\tilde{\otimes} R_{s_{\wedge\vee\langle\tilde{U},\tilde{M}\rangle}}^{\Phi}\\ \left([S_U]_{sift}^{P_U}\bigcap[S_V]_{sift}^{P_V}\right)\tilde{\otimes} R_{s_{\wedge\vee\langle\tilde{U},\tilde{V}\rangle}}^{\Phi}\\ \left([S_C]_{sift}^{P_C}\bigcap[S_M]_{sift}^{P_M}\right)\tilde{\otimes} R_{s_{\wedge\vee\langle\tilde{C},\tilde{M}\rangle}}^{\Phi}\\ \left([S_C]_{sift}^{P_C}\bigcap[S_V]_{sift}^{P_V}\right)\tilde{\otimes} R_{s_{\wedge\vee\langle\tilde{C},\tilde{V}\rangle}}^{\Phi}\\ \left([S_V]_{sift}^{P_V}\bigcap[S_M]_{sift}^{P_M}\right)\tilde{\otimes} R_{s_{\wedge\vee\langle\tilde{V},\tilde{M}\rangle}}^{\Phi}\\ \left([S_U]_{sift}^{P_U}\bigcap[S_C]_{sift}^{P_C}\bigcap[S_V]_{sift}^{P_V}\right)\tilde{\otimes} R_{S_{\wedge\vee\langle\tilde{V},\tilde{C},\tilde{U}\rangle}}^{\Phi}\\ \left([S_U]_{sift}^{P_U}\bigcap[S_C]_{sift}^{P_C}\bigcap[S_M]_{sift}^{P_M}\right)\tilde{\otimes} R_{S_{\wedge\vee\langle\tilde{U},\tilde{M},\tilde{C}\rangle}}^{\Phi}\\ \left([S_C]_{sift}^{P_C}\bigcap[S_V]_{sift}^{P_V}\bigcap[S_M]_{sift}^{P_M}\right)\tilde{\otimes} R_{S_{\wedge\vee\langle\tilde{V},\tilde{M},\tilde{C}\rangle}}^{\Phi}\\ \left([S_U]_{sift}^{P_U}\bigcap[S_V]_{sift}^{P_V}\bigcap[S_M]_{sift}^{P_M}\right)\tilde{\otimes} R_{S_{\wedge\vee\langle\tilde{U},\tilde{V},\tilde{M}\rangle}}^{\Phi}\\ \left([S_U]_{sift}^{P_U}\bigcap[S_V]_{sift}^{P_V}\bigcap[S_M]_{sift}^{P_M}\bigcap[S_C]_{sift}^{P_C}\right)\tilde{\otimes} R_{S_{\wedge\vee\langle\tilde{U},\tilde{V},\tilde{M},\tilde{C}\rangle}}^{\Phi}\\ \left([S_U]_{sift}^{P_U}\right)\tilde{\otimes} R_{S_{\wedge\vee\tilde{U}}}^{\Phi}\\ \left([S_C]_{sift}^{P_C}\right)\tilde{\otimes} R_{S_{\wedge\vee\tilde{C}}}^{\Phi}\\ \left([S_V]_{sift}^{P_V}\right)\tilde{\otimes} R_{S_{\wedge\vee\tilde{V}}}^{\Phi}\\ \left([S_M]_{sift}^{P_M}\right)\tilde{\otimes} R_{S_{\wedge\vee\tilde{M}}}^{\Phi}\end{cases}\qquad(3.25)$$

где, $R^{\Phi}_{s_{\wedge\vee\tilde{U}}}$ – реляционное расширение элементов (РРЭ) системы пользователь с параметрическим указанием свойств (ПУС); $R^{\Phi}_{s_{\wedge\vee\tilde{C}}}$ – РРЭ коммуникационной системы с ПУС; $R^{\Phi}_{s_{\wedge\vee\tilde{M}}}$ – РРЭ системы мегаполис с ПУС; $R^{\Phi}_{s_{/\backslash\tilde{V}}}$ – РРЭ системы ТрСр с ПУС; $R^{\Phi}_{s_{\wedge\vee\langle\tilde{U},\tilde{C}\rangle}}$ – РРЭ системы пользователь и/или коммуникационной системы с ПУС; $R^{\Phi}_{s_{\wedge\vee\langle\tilde{C},\tilde{M}\rangle}}$ – РРЭ коммуникационной системы и/или системы мегаполис с ПУС; $R^{\Phi}_{s_{\wedge\vee\langle\tilde{U},\tilde{V}\rangle}}$ –РРЭ системы пользователь и/или системы ТрСр с ПУС; $R^{\Phi}_{s_{\wedge\vee\langle\tilde{C},\tilde{V}\rangle}}$ – РРЭ коммуникационной системы и/или системы ТрСр с ПУС; $R^{\Phi}_{s_{\wedge\vee\langle\tilde{V},\tilde{M}\rangle}}$ – РРЭ системы ТрСр и/или системы мегаполис с ПУС; $R^{\Phi}_{S_{\wedge\vee\langle\tilde{V},\tilde{C},\tilde{U}\rangle}}$ – РРЭ системы ТрСр и/или коммуникационной системы и/или системы пользователь с ПУС; $R^{\Phi}_{S_{\wedge\vee\langle\tilde{U},\tilde{M},\tilde{C}\rangle}}$ – РРЭ системы пользователь и/или системы мегаполис и/или коммуникационной системы с ПУС; $R^{\Phi}_{S_{\wedge\vee\langle\tilde{V},\tilde{M},\tilde{C}\rangle}}$ – РРЭ системы ТрСр и/или системы мегаполис и/или коммуникационной системы; $R^{\Phi}_{S_{\wedge\vee\langle\tilde{U},\tilde{V},\tilde{M}\rangle}}$ – РРЭ системы пользователь и/или системы ТрСр и/или системы мегаполис; $R^{\Phi}_{S_{\wedge\vee\langle\tilde{U},\tilde{V},\tilde{M},\tilde{C}\rangle}}$ – РРЭ системы пользователь и/или системы ТрСр и/или системы мегаполис и/или коммуникационной системы;

Общее количество согласований подсистем пользователь, мегаполис, транспортные средства, транспортные коммуникации в (3.24) и (3.25) определяется выражением (3.26):

$$\bigcap_{n=4} = \sum_{k=1}^{k=n} \bigcap_{k} = \sum_{k=1}^{k=n} (k-1) C_n^k \tag{3.26}$$

Тогда для (3.24) и (3.25) имеем:

$$\bigcap_{n=4} = \sum_{k=1}^{k=n=4} \bigcap_{k} = \sum_{k=1}^{k=4} (k-1) C_n^k = (0) C_4^1 + (1) C_4^2 + (2) C_4^3 + (3) C_4^4 = 0 \cdot 4 + 1 \cdot 6 + 2 \cdot 4 + 3 \cdot 1 = 17$$

Таким образом, общее количество согласований составит $\bigcap_{n=4} = 17$

Общее число согласуемых наборов $(S)_{n=4}$ подсистем *U,C,V,M* в (3.24) и (3.25), определяется выражением (3.27):

$$(S)_{n=4} = \sum_{k=1}^{k=n} C_n^k = 2^n - 1 \qquad (3.27)$$

Тогда для (3.24) и (3.25) имеем: $(S)_{n=4} = \sum_{k=1}^{k=n=4} C_n^k = 2^n - 1 = 2^4 - 1 = 15$

Таким образом, общее количество согласуемых наборов систем в РРС составит $(S)_{n=4}$ =15

Процесс работы реляционного регулятора согласования рассмотрен в Приложении В.

Вывод по главе 3

В ходе проведенных в главе 3 исследований были получены следующие научные результаты.

1. Разработана структурная схема системы организации и развития транспортной системы мегаполиса, состоящая из подсистем (пользователь, мегаполис, транспорт, функционал управления и реляционный регулятор согласования). Предложенная архитектура согласуется с интеллектуальными моделями систем управления городских транспортных систем [117, 119, 120, 223, 188, 220, 196] и транспортно-логистических систем [115, 116] и может быть интегрирована в обобщенную систему управления мегаполисом [109, 117, 119, 120, 162, 223]. Подобная интеграция позволит перейти к построению качественно новых и более эффективных систем интеллектуального управления [118-121], по сравнению с [1, 223, 188, 196, 22] и устранить неопределенности процесса организации и развития городской среды.

2. Представлено описание внешней структуры системы организации и развития транспортной системы мегаполиса, которая логически связывает процесс развития транспортной системы и мегаполиса, а так же позволяет

производить анализ их компонент с учетом расширения структуры последних. Раскрыты функции входящих в состав СОРТСМ подсистем.

3. Разработано логико-алгебраическое описание внутренней структуры СОРТСМ. Для обеспечения однородности структуры ее подсистем предложен реляционный фильтр селективного анализа индикаторного комбинаторного расширения связей. Представленная формализация системы позволяет осуществить процесс управления организацией и развитием систем транспорт, мегаполис и пользователь в отличие от существующих [105, 162, 196, 223], посредством встроенного регулятора реляционного согласования.

4. Разработан реляционный фильтр селективного анализа индикаторного комбинаторного расширения связей, позволяющий реализовывать разукрупнение и параметризацию элементов подсистем СОРТСМ; производить отслеживание изменений параметров элементов подсистем СОРТСМ во времени; осуществлять формирование системы индикаторов и их расширения для исследования анализа процесса развития подсистем СОРТСМ; производить отбор индикаторов для реляционного согласованного развития СОРТСМ.

5. На практических примерах продемонстрированы возможности блока комбинаторного расширителя индикаторных связей и блока селекционный фильтр. Показаны пути увеличения эффективности системы РЕФ, основанные на оптимизации его индикаторов. Применение комбинаторного расширителя индикаторных связей позволяет осуществлять процедуру управляемого поиска новых связей внутри заданного индикаторного множества, при этом последнее может быть сформировано с использованием [194, 208, 105, 59, 217, 160, 204, 224].

ГЛАВА 4
МЕТОД АНАЛИЗА ТРАНСПОРТНОЙ ОБЕСПЕЧЕННОСТИ МЕГАПОЛИСА

4.1 Формирование перечня показателей транспортной обеспеченности мегаполиса

На основе анализа, проведенного в главе 2, сформируем таблицу 4.1 показателей оценки эффективности транспортной обеспеченности, а так же показателей, которые предлагается разработать. В первый столбец будем заносить имя анализируемого показателя. Во второй – единицу измерения показателя. В третий – символ-обозначение рассматриваемого показателя и его формулу, в случае необходимости. В четвертый – существующий масштаб использования. В пятый – источник, в котором содержится информация о рассматриваемом показателе.

Таблица 4.1 – Показатели транспортной обеспеченности

N	**1**	**2**	**3**	**4**	**5**
	Показатель	**ед. изм.**	**Обозначение, формула.**	**масштаб применения**	**Источник**
1	Численность населения	*чел.*	H	городской район, город, регион, страна	[112, 114]
2	Площадь территории	*км*^{2}.	S	-	[112, 114]
3	Наличие подвижного состава, функционирующего в городе (по видам транспорта)	*ед.*	N_{v_i}	город, регион, страна	[112, 114]
4	Эксплуатационная длина путей сообщения в городе (по видам транспорта)	*км*^{2}.	L	-	[112, 114]
5	Густота сети (I-я группа)	*км./жит.*	d_{LH}, $d_{LH} = \frac{L_i}{H}$	-	[112, 114]
6	Коэффициент Энгеля (II-я группа)	$\frac{\text{км}}{\sqrt[2]{\text{км}^2 \times (\text{жит})}}$	d_{LSH}, $d_{LSH} = \frac{L_i}{\sqrt[2]{SH}}$	-	[112, 114]

Таблица 4.1 – Показатели транспортной обеспеченности (продолжение)

N	1	2	3	4	5
	Показатель	**ед. изм.**	**Обозначение, формула.**	**масштаб применения**	**Источник**
7	Густота сети с учетом количества транспортных средств (I-я группа)	*км./ед.т.с.*	$d_{L_v N_v}$, $d_{L_v N_v} = \frac{L_v}{N_v}$	городской квартал, городской район, мегаполис	Предложен впервые
8	Густота сети с учетом площади и количество транспортных средств (II-я группа)	$\frac{км}{\sqrt[2]{км^2 \times (ед.тр.с}}$	$d_{L_v SN_v}$, $d_{L_v SN_v} = \frac{L_v}{\sqrt[2]{SN_v}}$	-	предложен впервые

Как видно из таблицы предложенные показатели №7 и №8 обладают формальной общностью с существующими показателями №5 и №6, соответственно, однако, функционально они различны, так как учитывают не количество жителей на исследуемой территории (№5 и №6), а количество транспортных средств и соответствующих им коммуникаций (№7 и №8). Таким образом, автомобильным дорогам будут соответствовать автомобильные транспортные средства, пешеходным дорогам – пешеходы.

Объединим в I-группу показатель густоты сети с учетом количества жителей и показатель густоты сети с учетом количества транспортных средств, а в II-группу коэффициент Энгеля и показатель густоты сети с учетом площади территории и численности автомобильных транспортных средств. Рассмотрим данные государственной статистики [140], описывающие изменения эффективности транспорта в России с 2000 по 2013 годы. Данные транспортной статистики говорят о том, что в период с 2000 по 2010 годы численность населения России устойчиво снижалась (таблица 4.2), при незначительном увеличении протяженности автомобильных дорог. С другой стороны, при устойчивом снижении численности населения в этот же период наблюдается устойчивый высокий рост численности автомобильных транспортных средств, который свидетельствует об ухудшении транспортной обеспеченности. Теперь рассмотрим, как данный процесс оценивают показатели I и II-й группы.

Таблица 4.2 – Статистика транспортной отрасли России с 2000-2013гг.

Год	Численность населения млн. чел. (H)	Протяженность автомобильных дорог общего пользования, 1000 км, (L)	Территория, 1000 км^2, (S)	Количество легковых автомобилей, млн. шт (N_v)	Коэффициент густоты сети (d_{LH})	Коэффициент густоты сети с учетом количества транспортных средств (автомобилей) (d_{LNa})	Коэффициент Энгеля (d_{LSH})	Коэффициент густоты сети с учетом количества транспортных средств и площади территории (d_{LSNa})
					I-группа		**II-группа**	
2000	145,2	532,4	17098,2	20,353	3,66	26,16	1,91	0,90
2001	146,3	537	17098,2	21,232	3,67	25,296	1,92	0,89
2002	145,2	541,1	17098,2	22,468	3,72	24,086	1,93	0,87
2003	145	544,2	17098,2	23,383	3,75	23,276	1,94	0,86
2004	144,3	546,4	17098,2	24,208	3,78	22,576	1,95	0,85
2005	143,8	530,5	17098,2	25,57	3,69	20,746	1,92	0,80
2006	143,2	597,3	17098,2	26,794	4,17	22,29	2,04	0,88
2007	142,8	624,2	17098,2	29,405	4,37	21,22	2,09	0,88
2008	142,8	629,1	17098,2	32,021	4,40	19,64	2,10	0,85
2009	142,7	646,9	17098,2	33,084	4,53	19,55	2,13	0,86
2010	142,8	664,6	17098,2	34,354	4,65	19,34	2,16	0,87
2011	142,9	727,7	17098,2	36,415	5,10	19,98	2,25	0,92
2012	143	925,2	17098,2	38,792	6,47	23,85	2,54	1,14
2013	143,3	984,6	17098,2	41,428	6,87	23,76	2,62	1,17

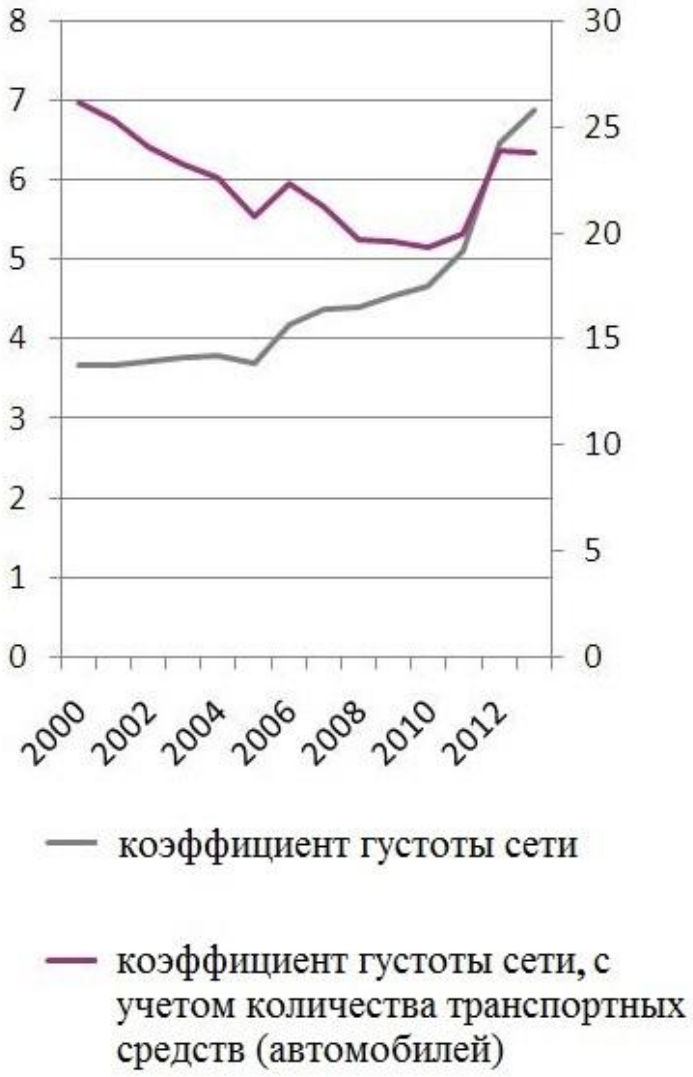


Рисунок.4.1 – Сравнение коэффициентов I-группы

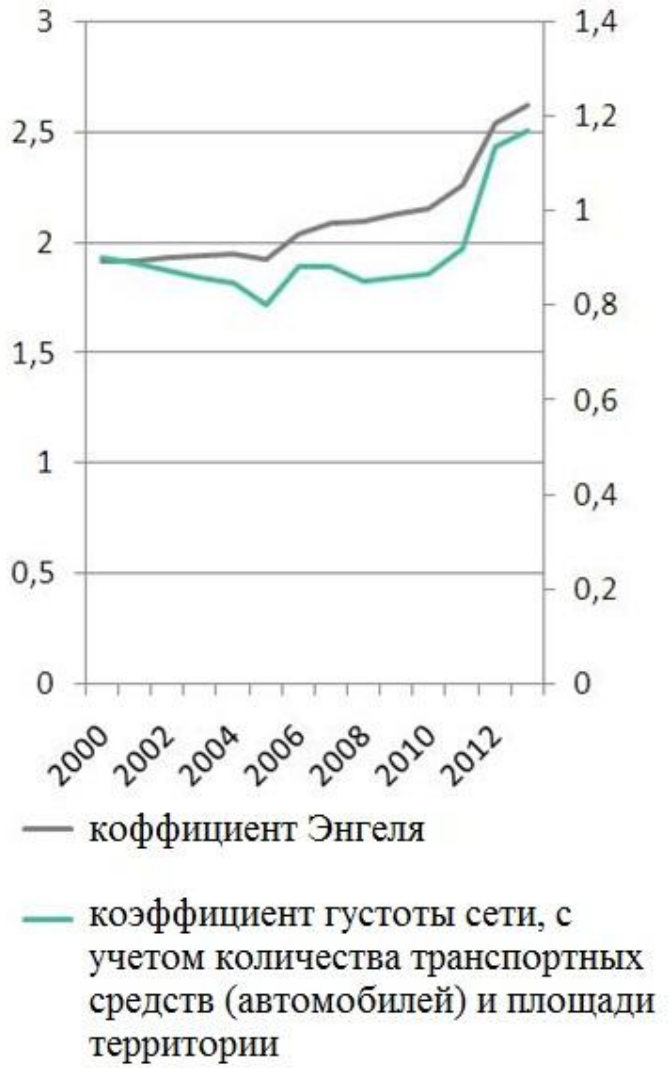


Рисунок 4.2 – Сравнение коэффициентов II-группы

Динамика кривых, представленных на рисунке 4.1, позволяет наблюдать следующий процесс. На интервале с 2000 по 2005 годы и с 2006 по 2010 годы тренд кривой коэффициента густоты сети автомобильных дорог с учетом числа жителей находится в фазе роста, что, казалось бы, говорит об общем положительном тренде развития транспортной обеспеченности. Однако, в действительности имел место обратный процесс. Тренд предложенного коэффициента густоты сети с учетом численности автомобильных транспортных средств, напротив, на этом же интервале снижается, что говорит об ухудшении транспортной обеспеченности и подтверждается реальной ситуацией в транспортном комплексе России.

Таким образом, в условиях снижения численности населения и роста автотранспортных средств оценку транспортной обеспеченности необходимо производить, используя не только коэффициент густоты сети с учетом численности населения, но и показатель густоты сети с учетом численности автомобильных транспортных средств.

Динамика кривых показателей II-группы (рис. 4.2) имеет схожее с первым случаем поведение. На интервале с 2001 по 2003 годы и с 2005 по 2007 годы тренд коэффициента Энгеля растет, напротив, на этом же интервале тренд коэффициента густоты сети с учетом количества автомобильных транспортных средств и площади территории – снижается (таблица 4.3).

Таблица 4.3 – Направление трендов показателей I и II группы

	2000-2013												
	00-01	01-02	02-03	03-04	04-05	05-06	06-07	07-08	08-09	09-10	10-11	11-12	12-13
d_{LH}	↑	↑	↑	↑	↓	↑	↑	↑	↑	↑	↑	↑	↑
d_{LNa}	↓	↓	↓	↓	↓	↑	↓	↓	↓	↓	↑	↑	↓
d_{LSH}	↓	↑	↑	↑	↓	↑	↑	↑	↑	↑	↑	↑	↑
d_{LSNa}	↓	↓	↓	↓	↓	↑	↓	↓	↑	↑	↑	↑	↑

Таким образом, в условиях, когда площадь оцениваемой территории постоянна при изменении протяженности сети, численности населения и автотранспортных средств, оценку транспортной обеспеченности

необходимо производить, используя не только коэффициент Энгеля, но и показатель густоты сети с учетом количества автомобильных транспортных средств и площади территории.

Для более достоверного анализа развития транспортной обеспеченности региона предлагается проводить оценку с использованием показателей как I так и II группы.

Согласно [41, 110, 112, 113, 114, 104, 150] транспортная доступность является одним из наиболее важных критериев характеризующих качество городской среды и уровень транспортного обслуживания и мобильности городского населения. Анализ, проведенный в [5, 15, 17, 41], среди итоговых факторов, влияющих на транспортную доступность, называет наличие транспортных коммуникаций, а критерием оценки при этом, выступают только протяженность и плотность автомобильных дорог в масштабах города. В свою очередь, базовым инфраструктурным элементом организации планировочной структуры города является городской квартал (ГК), определяемый как планировочная единица застройки ограниченная магистральными или жилыми улицами. Упорядоченная в территориальных границах города сеть ГК формирует каркас города и определяет конфигурацию уличной дорожной сети, а так же ее структурные и функциональные особенности, включая наличие автомобильных дорог, велосипедных и пешеходных дорожек, и их геометрические характеристики (например – протяженность), метрические (например – пропускная способность) и физические (например - скорость транспортных средств).

Выделение велосипедного транспорта, как самостоятельного, с предоставлением ему обособленной транспортной велосипедной коммуникации обусловлено данными статистики [54], которая представлена на рисунке 4.3.

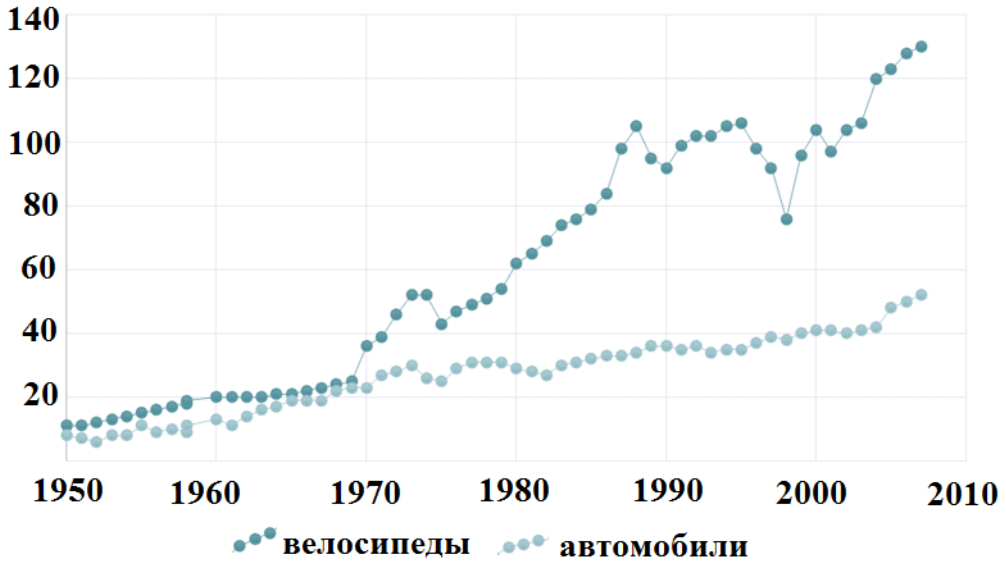


Рисунок 4.3 – Мировое производство велосипедов и автомобилей, млн.шт.

Из рисунка 4.3 видно, что темпы производства велосипедов на конец 2010 года превышают темпы производства автомобилей в 3 раза.

Из рисунка 4.4 видно, что 1) доля поездок на велосипеде во всех перемещениях на 100 жителей в развитых странах лежит в интервале от 40 до 90 поездок на 100 жителей; 2) в среднем каждый житель стран Европы и каждый 10 житель США на конец 2010 года имел велосипед.

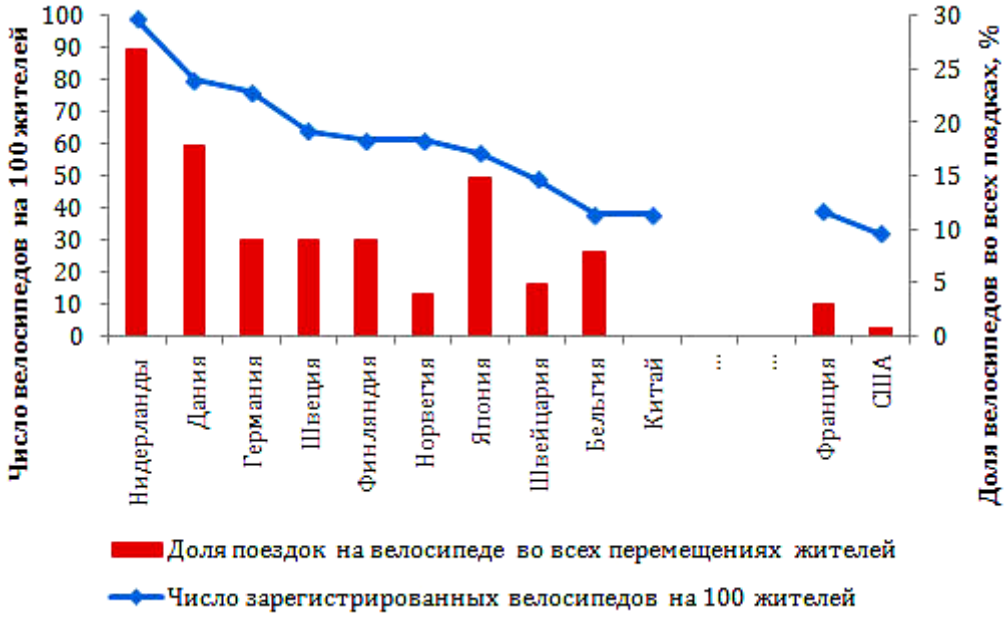


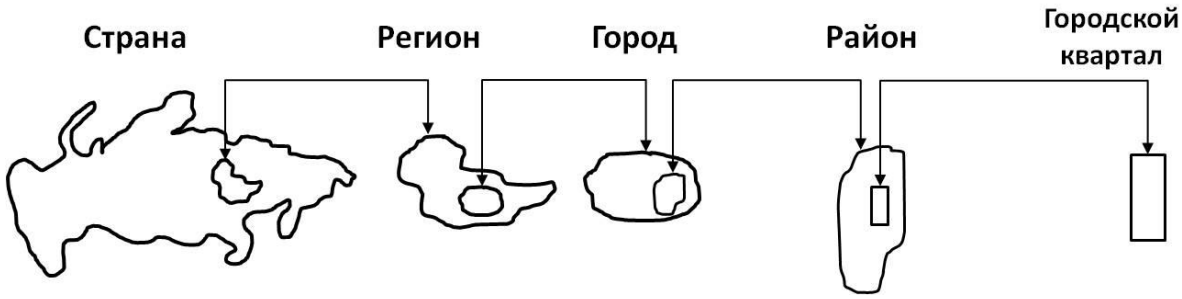
Рисунок 4.4 – Доля велосипедного транспорта в городских перемещениях

Последнее обуславливает включение в структуру городского квартала велосипедной транспортной составляющей, наряду с пешеходной и автомобильной.

Таким образом, уровень обеспеченности ГК надлежащими транспортными коммуникациями определяет в дальнейшем уровень транспортной доступности и города в целом.

В настоящий момент отсутствуют интегральные показатели транспортной обеспеченности, позволяющие связать геометрические характеристики ГК, количество жителей, виды и количество транспортных средств и соответствующие транспортные коммуникации, а так же осуществлять ее оценку.

Для решения этой задачи предлагается использовать показатель густоты сети с учетом количества транспортных средств и показатель густоты сети учетом площади и количества транспортных средств с учетом снижения размерности масштаба, представленные на рисунке 4.5.



Страна	Регион	Город	Городской район	ГК
$d^{C}_{L_v N_v} = \frac{L_v}{N_v}$	$d^{P}_{L_v N_v} = \frac{L_v}{N_v}$	$d^{\Gamma}_{L_v N_v} = \frac{L_v}{N_v}$	$d^{p}_{L_v N_v} = \frac{L_v}{N_v}$	$d^{гк}_{L_v N_v} = \frac{L_v}{N_v}$
$d^{C}_{L_v SN_v} = \frac{L_v}{\sqrt[2]{SN_v}}$	$d_{L_v SN_v} = \frac{L_v}{\sqrt[2]{SN_v}}$	$d_{L_v SN_v} = \frac{L_v}{\sqrt[2]{SN_v}}$	$d_{L_v SN_v} = \frac{L_v}{\sqrt[2]{SN_v}}$	$d_{L_v SN_v} = \frac{L_v}{\sqrt[2]{SN_v}}$

Рисунок 4.5 – Применение показателей транспортной обеспеченности

В виду того, что до сих пор не проработана научная база, регламентирующая с различных сторон (социально-психологических,

экологических, транспортных, и др.) размеры транспортной составляющей (пешеходные, велосипедные, автомобильные дороги и парковочное пространство) в границах ГК, – не возможно качественно определить эталонные значения предлагаемых показателей для сравнительной оценки.

Поэтому, предлагается рассмотреть пример расчета экспериментальных сравнительных значений для предлагаемых показателей транспортной обеспеченности и на этом основании пояснить работу предлагаемых показателей.

Рассмотрим пример формирования сравнительных характеристик для прямоугольного ГК. Предлагается заложить следующие исходные данные. Минимальный и максимальный размер периметра ГК примем исходя из общемировой практики градостроительства, от 316 м., в таких городах как Портленд, Хьюстон, и Сакраменто, и до 2000 м в разрабатываемом линейном городе [76]. Количество жителей предлагается ограничить величиной 6000 человек (максимальная величина жителей в ГК США [27]). Пешеходные и велосипедные дорожки и автомобильные дороги, исходя из подходов транспортной доступности, должны располагаться по периметру ГК. Ширину пешеходной и велосипедной полосы примем согласно [127, 128, 169]. Ширину и количество автомобильных полос (проезжей части) примем согласно [127, 128, 169]. Представим расчетные характеристики прямоугольного ГК, а так же условные обозначения и расчетные формулы для определения экспериментально-сравнительных значений предлагаемых показателей транспортной обеспеченности в таблица 4.4.

Таблица 4.4 – Расчет сравнительных значений показателей транспортной обеспеченности

Расчетная характеристика	**Условное обозначение**	**Расчет сравнительного значения**
Периметр городского квартала (без учета транспортных коммуникаций), м.	*П*	300 -2000м
Количество жителей, чел.	*Н*	до 6000

Таблица 4.4 – Расчет сравнительных значений показателей транспортной обеспеченности (продолжение)

Расчетная характеристика	**Условное обозначение**	**Расчет сравнительного значения**
Ширина пешеходной полосы, м.	W_h	3
Ширина велосипедной полосы, м.	W_b	2,2
Ширина проезжей части, м.	W_a	3,5
Количество автомобильных полос, шт.	-	3
Протяженность пешеходной полосы, м.	L_h	$П + 24$
Протяженность велосипедной полосы, м.	L_b	$П + 42$
Протяженность проезжей части, м.	L_a	$3П + 196$
Показатель густоты сети с учетом количества пешеходов	$d^{Э}_{L_p N_p}$	$d^{Э}_{L_p N_p} = \frac{П + 24}{H}$
Показатель густоты сети с учетом числа велосипедистов	$d^{Э}_{L_b N_b}$	$d^{Э}_{L_b N_b} = \frac{П + 42}{0{,}3H}$
Показатель густоты сети с учетом количества автомобильных транспортных средств	$d^{Э}_{L_a N_a}$	$d^{Э}_{L_a N_a} = \frac{3П + 196}{H}$
Показатель густоты сети с учетом площади городского квартала и количества пешеходов	$d^{Э}_{L_p SN_p}$	$d^{Э}_{L_p SN_p} = \frac{П + 24}{\sqrt[2]{SH}}$
Показатель густоты сети с учетом площади городского квартала и количества велосипедистов	$d^{Э}_{L_b SN_b}$	$d^{Э}_{L_b SN_b} = \frac{П + 42}{\sqrt[2]{S \cdot 0{,}3H}}$
Показатель густоты сети с учетом площади городского квартала и количества автомобильных транспортных средств	$d^{Э}_{L_a SN_a}$	$d^{Э}_{L_a SN_a} = \frac{3П + 196}{\sqrt[2]{S \cdot H}}$

Таким образом, если расчетное значение показателей транспортной обеспеченности выше или равно сравнительному значению, то уровень

транспортной доступности в рамках предлагаемых показателей соответствует норме. Если меньше сравнительного – требуются улучшения.

Поясним на практическом примере процедуру оценки транспортной обеспеченности ГК с использованием предложенных показателей.

Пример расчета.

Рассмотрим стандартный ГК планировочной структуры Нью-Йорка в районе Бруклина на пересечении улиц: 5 -я стрит, 4-я стрит, 8-я авеню, Проспект Парк Вест, представленный на рисунке 4.6.

Рассматриваемый квартал имеет прямоугольную планировочную форму. Транспортная составляющая включает наличие пешеходных, велосипедных и автомобильных дорог. При этом пешеходные и автомобильные дороги располагаются по периметру ГК.

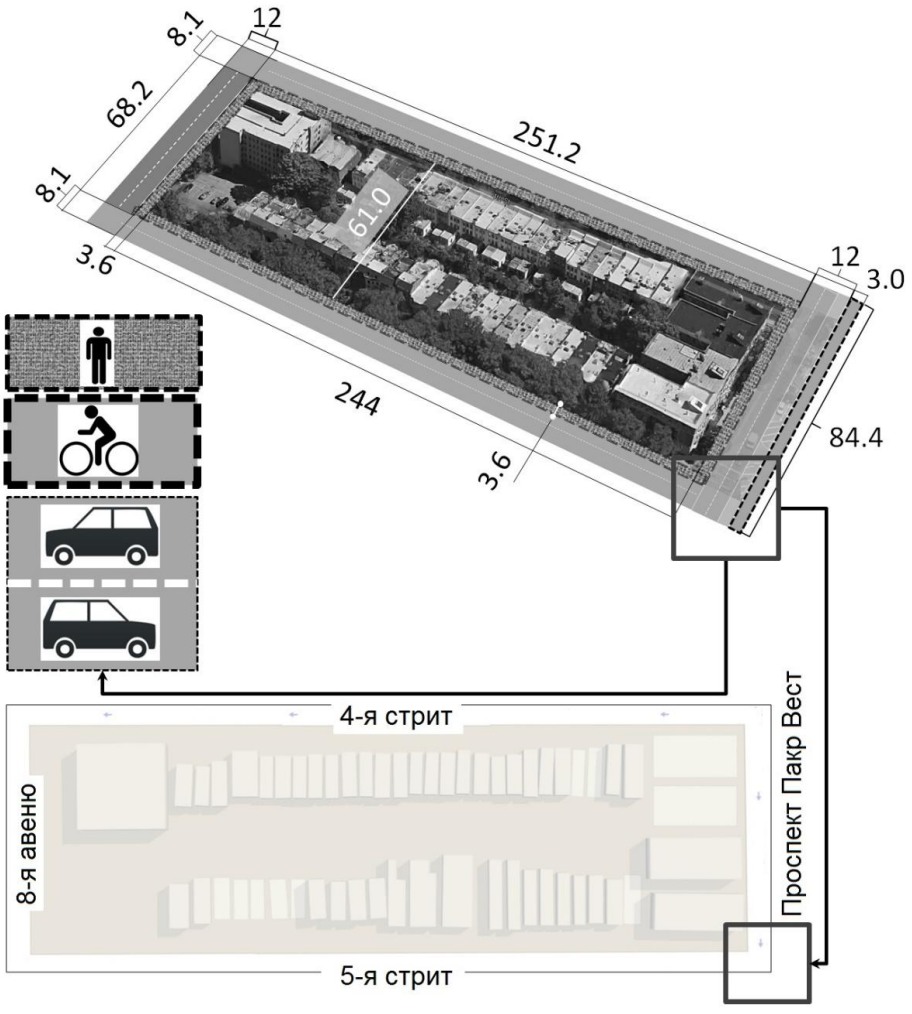


Рисунок 4.6 – Стандартный городской квартал, Бруклин, Нью-Йорк

Планировочную структуру ГК зададим согласно [114, 169], численность жителей, количество автомобилей и количество велосипедистов – согласно [114]. Характеристика ГК представим в таблице 4.5.

Таблица 4.5 – Характеристика городского квартала

Характеристика городского квартала	
Общая площадь, S_0, м^2.	23480,1
Периметр без учета транспортных коммуникаций $П$, м.	610
Численность жителей H_p, чел.	5400
Численность автомобилей H_a, ед.	3078
Численность велосипедов H_b, ед.	1738
Эксплуатационная длина автомобильных дорог L_a, м.	2013,6
Эксплуатационная длина велосипедных дорог L_b, м.	168,8
Эксплуатационная длина пешеходных дорог L_p, м.	624,4

Произведем расчет сравнительных показателей густоты сети с учетом количества транспортных средств и протяженности соответствующих коммуникаций.

$$d^{Э}_{L_pN_p} = \frac{П+24}{H} = \frac{610+24}{5400} = 0{,}117\left[\frac{м}{ед}\right]$$

$$d^{Э}_{L_bN_b} = \frac{П+42}{0{,}3H} = \frac{610+42}{0{,}3\cdot 5400} = 0{,}4\left[\frac{м}{ед}\right]$$

$$d^{Э}_{L_aN_a} = \frac{3П+168}{H} = \frac{1830+168}{5400} = 0{,}375\left[\frac{м}{ед}\right]$$

Произведем расчет сравнительных показателей густоты сети с учетом площади ГК, количества транспортных средств и протяженности соответствующих коммуникаций.

$$d^{Э}_{L_pSN_p} = \frac{П+24}{\sqrt[2]{SH}} = \frac{610+24}{\sqrt[2]{23480{,}1\cdot 5400}} = 0{,}056$$

$$d^{Э}_{L_bSN_b} = \frac{П+42}{\sqrt[2]{S\cdot 0{,}3H}} = \frac{610+42}{\sqrt[2]{23480{,}1\cdot 0{,}3\cdot 5400}} = 0{,}1$$

$$d^{Э}_{L_aSN_a} = \frac{3П + 196}{\sqrt[2]{S \cdot H}} = \frac{1830 + 196}{\sqrt[2]{23480{,}1 \cdot 5400}} = 0{,}17$$

Рассчитаем реальные показатели густоты сети с учетом количества транспортных средств и протяженности соответствующих коммуникаций.

$$d_{L_pH_p} = \frac{L_p}{H_p} = \frac{624{,}4}{5400} = 0{,}12\left[\frac{м}{ед}\right]$$

$$d_{L_bH_b} = \frac{L_b}{H_b} = \frac{168{,}8}{1738} = 0{,}1\left[\frac{м}{ед}\right]$$

$$d_{L_aH_a} = \frac{L_a}{H_a} = \frac{2013{,}6}{3078} = 0{,}654\left[\frac{м}{ед}\right]$$

Рассчитаем реальные показатели густоты сети с учетом площади ГК, количества транспортных средств и протяженности, соответствующих коммуникаций.

$$d_{L_pSH_p} = \frac{L_p}{\sqrt[2]{SH_p}} = \frac{624{,}4}{\sqrt{23408{,}1 \cdot 5400}} = 0{,}05$$

$$d_{L_bSH_b} = \frac{L_b}{\sqrt[2]{SH_b}} = \frac{168{,}8}{\sqrt{23408{,}1 \cdot 1738}} = 0{,}026$$

$$d_{L_aSH_a} = \frac{L_a}{\sqrt[2]{SH_a}} = \frac{2013{,}6}{\sqrt{23480{,}1 \cdot 3078}} = 0{,}24$$

Данные сравнения экспериментальных и реальных значений показателей представим в таблице 4.6.

Таблица 4.6 – Сравнение экспериментальных и реальных показателей

Показатель	**Сравнительное значение**	**Реальное значение**	**Вывод**
Показатель густоты сети с учетом количества пешеходов	0,117	0,12	Соответствуют допустимому
Показатель густоты сети с учетом числа велосипедистов	0,4	0,1	Требуется улучшение
Показатель густоты сети с учетом количества автомобильных	0,375	0,654	Соответствуют допустимому

Таблица 4.6 – Сравнение экспериментальных и реальных показателей

Показатель	**Сравнительное значение**	**Реальное значение**	**Вывод**
транспортных средств			
Показатель густоты сети с учетом площади городского квартала и количества пешеходов	0,056	0,05	Соответствуют допустимому
Показатель густоты сети с учетом площади городского квартала и количества велосипедистов	0,1	0,026	Требуется улучшение
Показатель густоты сети с учетом площади городского квартала и количества автомобильных транспортных средств	0,17	0,24	Соответствуют допустимому

Таким образом, показано, что транспортная обеспеченность ГК по предложенным показателям имеет наибольшее значение для автомобильного транспорта, а наименьшее – для велосипедного. Соответствует допустимым значениям только для пешеходного и автомобильного транспорта.

Предложенные показатели аналогично могут быть использованы для оценки транспортной обеспеченности в масштабах страны, регионального и городского развития при изменении площади территории, протяженности транспортной сети, численности населения и количества транспортных средств по видам транспорта, а в масштабах городского квартала – для осуществления процесса оценки интегральной транспортной доступности. Достоинство данной группы показателей заключается в том, что, в отличие от существующих, они позволяют производить оценку обеспеченности территории транспортными коммуникациями с учетом вида транспортных средств, тем самым открывая возможность проведения сравнительного анализа в границах транспортной обеспеченности.

Однако, отсутствие сравнительных значений предлагаемых показателей в масштабах района и городского квартала, а так же принципов

их определения, не позволяет в настоящее время использовать данные показатели при оценке их транспортной доступности.

4.2 Формализация базового городского квартала как сборочной единицы городской среды

Используя математическое описание формализуем структуру традиционного [110] ГК согласно (4.1). Таким образом, городской квартал K включает: объекты жилого назначения (жилые дома, общежития, гостиницы) – B^I ; объекты коммунального назначения – C^I_{ser} ; объекты социального назначения (дошкольные образовательные учреждения, учреждения дополнительного образования детей, общеобразовательные учреждения, спортивные сооружения, амбулаторно-поликлинические и больничные учреждения, библиотеки и учреждения клубного типа) – S^I ; объекты благоустройства (спортивные площадки, детские площадки, площадки для отдыха) – L^I_{imp}; объекты торговли – Θ^I; объекты, связанные с обслуживанием и эксплуатацией инфраструктуры ГК (жилой, социальной и.д.р.), а именно проезды, подъезды и подходы к объектам ГК– $TCom_{in}$; объекты хранения транспортных средств – TI_V

$$K = \left\{ D \ni \left\langle B^I \wedge C^I_{ser} \wedge S^I \wedge L^I_{imp} \wedge \Theta^I \wedge TI_V \wedge TCom_{in} \right\rangle \Big|_{D \not\ni TCom_{ex}}^{\exists D}. \right. \quad (4.1)$$

Выражение $\exists D$ означает, что существует определенная территория, вмещающая ГК; $D \not\ni TCom_{ex}$ – внешние транспортные коммуникации, такие как магистральные дороги и улицы; улицы и дороги местного значения не входят в структуру территории, вмещающей ГК, то есть $K \not\ni TCom_{ex}$.

Структуру ГК с учетом подвижных транспортных объектов и жителей зададим выражением(4.2):

$$K=\begin{cases} \exists D \\ D \ni \left\langle B^I \wedge C_{ser}^I \wedge S^I \wedge L_{imp}^I \wedge \Theta^I \wedge TI_V \wedge TCom_{in} \right\rangle \\ D \ni \left\langle H \wedge V \right\rangle \Leftrightarrow \left\langle H \begin{matrix} \wedge \\ \vee \end{matrix} V \right\rangle \in \begin{bmatrix} \wedge \\ \vee \end{bmatrix} \left(B^I; C_{ser}^I; S^I; L_{imp}^I; \Theta^I; TI_V; TCom_{in} \right) \\ D \not\ni TCom_{ex} \end{cases} \quad (4.2)$$

где H - множество жителей ГК; V – множество подвижных транспортных объектов, функционирующих в границах городского квартала; условие $D \ni \left\langle H \wedge V \right\rangle \Leftrightarrow \left\langle H \begin{matrix} \wedge \\ \vee \end{matrix} V \right\rangle \in \begin{bmatrix} \wedge \\ \vee \end{bmatrix} \left(B^I; C_{ser}^I; S^I; L_{imp}^I; \Theta^I; TI_V; TCom_{in} \right)$ означает, что жители ГК и ПТО принадлежат городскому кварталу только тогда, когда они принадлежат одному из объектов инфраструктуры, входящей в этот городской квартал.

Для осуществления процедуры морфологического анализа ГК, с выделением транспортной составляющей, зададим последовательность (4.3):

$$\mathrm{SEQ}^{MA}\langle \mathrm{K} \rangle \Big|_T = D \wedge \begin{cases} TI_V \wedge TCom_{in} \\ V \end{cases} \quad (4.3)$$

где S*EQ* – последовательность; индекс *MA* – морфологический анализ; *K* – исследуемый ГК; вертикальная линия с индексом «Т» указывает на выделение транспортной составляющей в структуре ГК.

Из выражения (4.3) видно, что объектами структурного анализа транспортной составляющей выступают объекты хранения транспортных средств (парковки, стоянки), внутренние транспортные коммуникации (проезды, подъезды и подходы) и количество транспортных средств по видам, функционально принадлежащих ГК.

Однако, в рамки традиционного определения и формализации ГК не входят внешние транспортные коммуникации, а, следовательно, такой ГК не может являться базовой сборочной единицей городской среды. Равносильно, существующая методология городского транспортного планирования [152, 169] не в состоянии надлежащим образом учесть развитие транспортных нагрузок [123] на участки улично-дорожной сети города, так как отсутствует

связь с реальной динамикой застройки ГК и ростом численности населения в них, а, следовательно, и с увеличением численности индивидуальных транспортных средств.

Формально решение данной задачи можно представить выражением (4.4):

$$Г = \sum_{m=1}^{n} K_m^B \Leftrightarrow \sum_{m=1}^{n} K_m^B = Г \qquad (4.4)$$

В (4.4) город (Г) есть сумма базовых городских кварталов K_m^B. Таким образом, решение транспортных задач в структуре базового ГК будет обладать трансляционной структурной однородностью и будет способно обеспечить решение схожих городских транспортных задач при условии, что данный город будет представлять собой совокупность базовых ГК.

Опираясь на вышесказанное, введем определение базового ГК.

Базовый ГК – это планировочная единица городской среды, включающая пространство для городской инфраструктуры и транспортных коммуникаций в границах линий края транспортных коммуникаций. Следовательно, при объединении таких кварталов граница каждого из них будет проходить по средней линии внешних транспортных коммуникаций (рисунок 4.7)

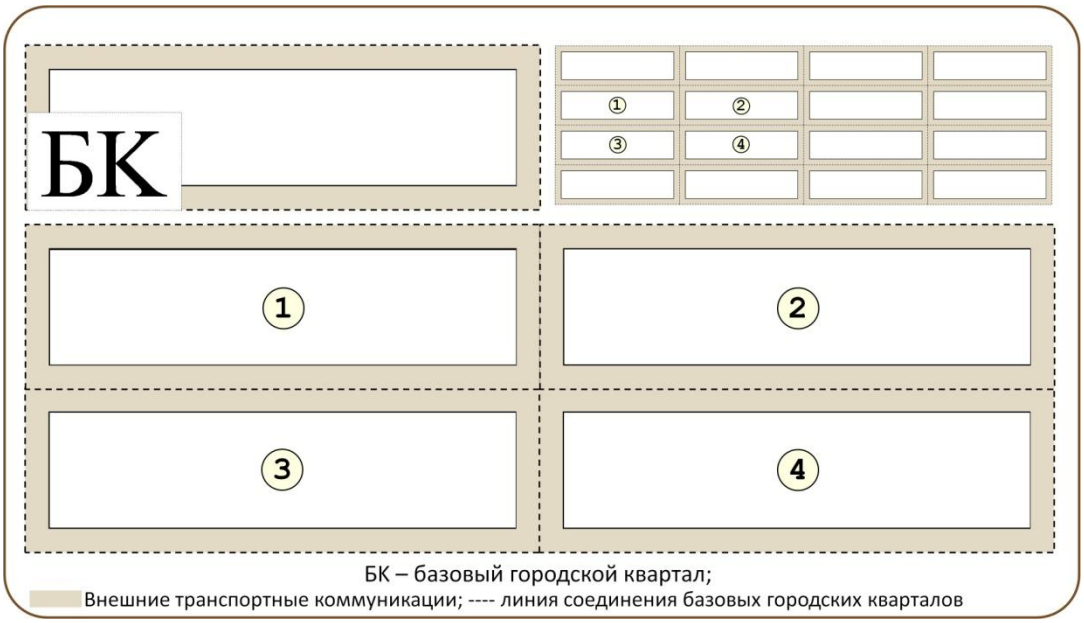


Рисунок 4.7 – Базовый городской квартал. Структура организации

Формализация структуры базового ГК представим, (4.5)

$$K = \begin{cases} \exists D \\ D \ э \left\langle B^I \wedge C^I_{ser} \wedge S^I \wedge L^I_{imp} \wedge \Theta^I \wedge TI_V \wedge TCom_{in} \right\rangle \\ D \ э \left\langle H \wedge V \right\rangle \Leftrightarrow \left\langle H \begin{matrix} \wedge \\ \vee \end{matrix} V \right\rangle \in \begin{bmatrix} \wedge \\ \vee \end{bmatrix} \left(B^I; C^I_{ser}; S^I; L^I_{imp}; \Theta^I; TI_V; TCom_{in} \right) \\ D \ э \ TCom_{ex} \end{cases} \quad (4.5)$$

В отличие от (4.2) такая формализация обеспечит структурную непрерывность городской среды и связанность транспортно-коммуникационных систем с объектами городской инфраструктуры и их пользователями.

Морфологическое выделение транспортной составляющей из структуры базового ГК (4.5) примет вид (4.6),

$$\mathrm{SEQ}^{MA}\langle \mathrm{K} \rangle \Big|_T = D \wedge \begin{cases} TI_V \wedge TCom_{in} \wedge TCom_{\mathrm{ex}} \\ V \end{cases} \quad (4.6)$$

Элементы $\langle D, V, TI_V, TCom_{in}, TCom_{ex} \rangle$ предлагается положить в основу разработки метода анализа транспортной составляющей, как организации городских кварталов, так и города в целом.

4.3 Разработка метода анализа транспортной обеспеченности мегаполиса

Согласно (4.4, 4.5) город Г можно представить совокупностью базовых городских кварталов K^B

$$\Gamma = \sum_{m=1}^{n} K^B_m$$

Тогда показатели эффективности городской транспортной системы будут зависеть от показателей эффективности транспортной обеспеченности каждого городского квартала.

Таким образом, структурная сборка города из однородных надлежаще организованных базовых городских кварталов способна обеспечить надлежащее функционирование всей городской транспортной системы.

Опираясь на принципы формализации городского квартала, предлагается следующий метод сравнительного анализа его организации.

В процессе данного метода будем использовать следующие обозначения:

– городской квартал – K;

– жители городского квартала – H;

– транспортные средства – V, функционирующие в границах квартала:

- автомобильные – v_a;
- велосипедные – v_δ;

– пешеходы, передвигающиеся в границах квартала – v_p;

– объекты хранения транспортных средств – TI_V^P:

- автомобильные парковки – p^a;
- велосипедные парковки – p^δ;
- зоны отдыха для пешеходов – a^r;

– внутренние транспортные коммуникации – $TCom_{in}^{V}$:

- автомобильные внутренние транспортные коммуникации – $tcom_{in}^{a}$;
- велосипедные внутренние транспортные коммуникации – $tcom_{in}^{\delta}$;
- пешеходные внутренние транспортные коммуникации – $tcom_{in}^{p}$;

– внешние транспортные коммуникации – $TCom_{ex}^{V}$:

- автомобильные внешние транспортные коммуникации – $tcom_{ex}^{a}$;
- велосипедные внешние транспортные коммуникации – $tcom_{ex}^{\delta}$;
- пешеходные внешние транспортные коммуникации – $tcom_{ex}^{p}$.

Данные используемые в процессе метода включают следующие:

– S^K – общая площадь городского квартала;

– S_V^P – площадь хранения транспортных средств (по видам транспорта):

  - S_a^P – площадь хранения автомобильных транспортных средств;
  - S_δ^P – площадь хранения велосипедных транспортных средств;
  - S_p^P – площадь зон отдых пешеходов;

– $S_V^{TCom_{in}}$ – площадь внутренних транспортных коммуникаций по видам транспорта:

  - $S_a^{tcom_{in}^a}$ – площадь автомобильных внутренних транспортных коммуникаций;
  - $S_p^{tcom_{in}^p}$ – площадь пешеходных внутренних транспортных коммуникаций;
  - $S_\delta^{tcom_{in}^\delta}$ – площадь велосипедных внутренних транспортных коммуникаций;

– $S_V^{TCom_{ex}}$ – площадь внешних транспортных коммуникаций по видам транспорта:

  - $S_a^{tcom_{ex}^a}$ – площадь автомобильных внешних транспортных коммуникаций;
  - $S_p^{tcom_{ex}^p}$ – площадь пешеходных внешних транспортных коммуникаций;
  - $S_\delta^{tcom_{ex}^\delta}$ – площадь велосипедных внешних транспортных коммуникаций;

– N_V^K – количество транспортных средств (по видам транспорта), функционирующих в границах ГК:

  - N_a^K – количество автомобильных транспортных средств, функционирующих в границах ГК;
  - N_p^K – количество пешеходов функционирующих в границах ГК;

- N_{δ}^{K} – количество велосипедных транспортных средств, функционирующих в границах ГК;

Транспортная обеспеченность городского квартала (ТСГК) включает наличие основных видов транспортных средств функционирующих в его границах, внутренние транспортные коммуникации (по видам транспортных средств), внешние транспортные коммуникации (по видам транспортных средств) и объекты инфраструктуры хранения транспортных средств (по видам).

В качестве сравнительной величины в данном методе рассматривается площадь транспортной составляющей в структуре ГК, в зависимости от ее (площади) функционального назначения.

Метод состоит из следующих этапов.

I этап. Определение характеристик городского квартала.

Определение количества подвижных транспортных объектов принадлежащих анализируемому городскому кварталу:

- определение площади городского квартала – S^{K};
- определение количества жителей в городском квартале – H^{K};
- определение количества автомобилей в городском квартале – N_{V}^{K};
- определение количества велосипедистов в городском квартале - N_{δ}^{K};
- определение количества пешеходов в городском квартале - N_{P}^{K};

Определение общей площади транспортной составляющей в рассматриваемом городском квартале – S^{TI}.

Определение площади транспортных коммуникаций по видам транспорта:

- определение площади внутренних транспортных коммуникаций по видам транспорта – $S_{V}^{TCom_{in}}$:
- определение площади автомобильных внутренних транспортных коммуникаций – $S_{a}^{tcom_{in}^{a}}$;

- определение площади пешеходных внутренних транспортных коммуникаций – $S_p^{tcom_{in}^p}$;
- определение площади велосипедных внутренних транспортных коммуникаций – $S_\delta^{tcom_{in}^\delta}$;

– определение площади внешних транспортных коммуникаций по видам транспорта – $S_V^{TCom_{ex}}$:

- определение площади автомобильных внешних транспортных коммуникаций – $S_a^{tcom_{ex}^a}$;
- определение площади пешеходных внешних транспортных коммуникаций – $S_p^{tcom_{ex}^p}$;
- определение площади велосипедных внешних транспортных коммуникаций – $S_\delta^{tcom_{ex}^\delta}$;

– определение общей площади транспортных коммуникаций – S_V^{TCOM}

Определение площади предназначенной для хранения подвижных транспортных объектов

– определение площади хранения транспортных средств (по видам транспорта) – S_V^P:

- определение площади для хранения автомобильных транспортных средств – S_a^P;
- определение площади хранения для велосипедных транспортных средств – S_δ^P;
- определение площади зон отдых пешеходов – S_p^P;

II этап. Расчет показателей плотности транспортной составляющей городского квартала.

Осуществление расчета, производится в соответствии с системой показателей представленной в таблицей 4.7.

Таблица 4.7– Система показателей плотности ТСГК(продолжение)

Наименование показателя	Формула вычисления	Изм.
Исходные данные		
Площадь городского квартала	S^K	
Количество жителей в ГК	H^K	*чел*
Количество автомобилей в ГК	N_V^K	*шт*
Количество велосипедистов в ГК	N_δ^K	*чел*
Количество пешеходов в ГК	N_P^K	*чел*
Площадь автомобильных внутренних транспортных коммуникаций	$S_a^{tcom_{in}^a}$	$м^2$
Площадь велосипедных внутренних транспортных коммуникаций	$S_\delta^{tcom_{in}^\delta}$	$м^2$
Площадь пешеходных внутренних транспортных коммуникаций	$S_p^{tcom_{in}^p}$	$м^2$
Площадь автомобильных внешних транспортных коммуникаций	$S_a^{tcom_{ex}^a}$	$м^2$
Площадь велосипедных внешних транспортных коммуникаций	$S_\delta^{tcom_{ex}^\delta}$	$м^2$
Площадь пешеходных внешних транспортных коммуникаций	$S_p^{tcom_{ex}^p}$	$м^2$
Площадь для хранения автомобилей	S_V^P	$м^2$
Площадь для хранения велосипедов	S_δ^P	$м^2$
Площадь зон отдых пешеходов	S_p^P	$м^2$
Общая площадь ТСГК	$S^{TI} = S_V^P + S_V^{TCom}$	$м^2$
Общая площадь транспортных коммуникаций в ТСГК	$S_V^{TCom} = S_V^{TCom_{in}} + S_V^{TCom_{ex}}$	$м^2$
Общая площадь хранения транспортных средств	$S_V^P = S_a^P + S_\delta^P + S_p^P$	$м^2$
Общая площадь внутренних транспортных коммуникаций	$S_V^{TCom_{in}} = S_a^{tcom_{in}^a} + S_p^{tcom_{in}^p} + S_\delta^{tcom_{in}^\delta}$	$м^2$
Общая площадь внешних транспортных коммуникаций	$S_V^{TCom_{ex}} = S_a^{tcom_{ex}^a} + S_p^{tcom_{ex}^p} + S_\delta^{tcom_{ex}^\delta}$	$м^2$
Общая площадь автомобильных транспортных коммуникаций	$S_a^{TCom} = S_a^{tcom_{ex}^a} + S_a^{tcom_{in}^a}$	$м^2$
Общая площадь велосипедных транспортных коммуникаций	$S_\delta^{TCom} = S_\delta^{tcom_{ex}^\delta} + S_\delta^{tcom_{in}^\delta}$	$м^2$
Общая площадь пешеходных транспортных коммуникаций	$S_p^{TCom} = S_p^{tcom_{ex}^p} + S_p^{tcom_{in}^p}$	$м^2$
Расчетные показатели		
Показатели плотности транспортной составляющей городского квартала:		
Общие показатели плотности		
Плотность инфраструктурной ТСГК	$d_{S^{TI}}^K = \frac{S^{TI}}{S^K}$	-

Таблица 4.7– Система показателей плотности ТСГК

Наименование показателя	Формула вычисления	Изм.
Показатели плотности объектов хранения		
Плотность объектов хранения транспортных средств	$d_{S^k}^{K^{S_V^P}} = \frac{S_V^P}{S^k}$	-
Плотность объектов хранения автомобильных транспортных средств	$d_{S^k}^{K^{S_a^P}} = \frac{S_a^P}{S^k}$	-
Плотность зон отдыха пешеходов в ГК	$d_{S^k}^{K^{S_p^P}} = \frac{S_p^P}{S^k}$	-
Плотность объектов хранения велосипедных транспортных средств	$d_{S^k}^{K^{S_\delta^P}} = \frac{S_\delta^P}{S^k}$	-
Общие показатели плотности транспортных коммуникаций		
Плотность общей составляющей транспортных коммуникаций в ГК	$d_{S_V^{TCom}}^K = \frac{S_V^{TCom}}{S^K}$	-
Плотность внутренних транспортных коммуникаций в ГК	$d_{S_V^{TCom_{in}}}^K = \frac{S_V^{TCom_{in}}}{S^K}$	-
Плотность внешних транспортных коммуникаций в ГК	$d_{S_V^{TCom_{ex}}}^K = \frac{S_V^{TCom_{ex}}}{S^K}$	-
Показатели плотности транспортных коммуникаций (по видам транспортных средств)		
Плотность автомобильных транспортных коммуникаций	$d_{S_a^{TCom}}^K = \frac{S_a^{TCom}}{S^K}$	-
Плотность пешеходных транспортных коммуникаций	$d_{S_p^{TCom}}^K = \frac{S_p^{TCom}}{S^K}$	-
Плотность велосипедных транспортных коммуникаций	$d_{S_\delta^{TCom}}^K = \frac{S_\delta^{TCom}}{S^K}$	-
Показатели плотности внутренних транспортных коммуникаций (по видам транспортных средств)		
Плотность автомобильных внутренних транспортных коммуникаций	$d_{S_a^{TCom_{in}}}^K = \frac{S_a^{TCom_{in}}}{S^K}$	-
Плотность пешеходных внутренних транспортных коммуникаций	$d_{S_p^{TCom_{in}}}^K = \frac{S_p^{TCom_{in}}}{S^K}$	-
Плотность велосипедных внутренних транспортных коммуникаций	$d_{S_\delta^{TCom_{in}}}^K = \frac{S_\delta^{TCom_{in}}}{S^K}$	-
Показатели плотности внешних транспортных коммуникаций (по видам транспортных средств)		
Плотность автомобильных внешних транспортных коммуникаций	$d_{S_a^{TCom_{ex}}}^K = \frac{S_a^{TCom_{ex}}}{S^K}$	-

Таблица 4.7– Система показателей плотности ТСГК (продолжение)

Наименование показателя	Формула вычисления	Изм.
Плотность пешеходных внешних транспортных коммуникаций	$d^{K}_{S_p^{TCom_{ex}}} = \frac{S_p^{TCom_{ex}}}{S^K}$	-
Плотность велосипедных внешних транспортных коммуникаций	$d^{K}_{S_\delta^{TCom_{ex}}} = \frac{S_\delta^{TCom_{ex}}}{S^K}$	-
Показатели плотности ТСГК с учетом числа жителей		
Общие показатели плотности ТСГК с учетом числа жителей		
Плотность инфраструктурной ТСГК с учетом числа жителей	$d_H^{K_{S^{TI}}} = \frac{S^{TI}}{H}$	-
Плотность объектов хранения транспортных средств с учетом числа жителей	$d_H^{K^{S_V^P}} = \frac{S_V^P}{H}$	-
Плотность объектов хранения автомобильных транспортных средств с учетом числа жителей	$d_H^{K^{S_a^P}} = \frac{S_a^P}{H}$	-
Плотность пешеходных зон отдыха в ГК с учетом числа жителей	$d_H^{K^{S_p^P}} = \frac{S_p^P}{H}$	-
Плотность объектов хранения велосипедных транспортных средств с учетом числа жителей	$d_H^{K^{S_\delta^P}} = \frac{S_\delta^P}{H}$	-
Плотность коммуникационной ТСГК с учетом числа жителей	$d_H^{K^{S_V^{TCom}}} = \frac{S_V^{TCom}}{H}$	-
Плотность автомобильной коммуникационной ТСГК с учетом числа жителей	$d_H^{K^{S_a^{TCom}}} = \frac{S_a^{TCom}}{H} = \frac{S_a^{TCom_{in}}}{H} + \frac{S_a^{TCom_{ex}}}{H}$	-
Плотность пешеходной коммуникационной ТСГК с учетом числа жителей	$d_H^{K^{S_p^{TCom}}} = \frac{S_p^{TCom}}{H} = \frac{S_p^{TCom_{in}}}{H} + \frac{S_p^{TCom_{ex}}}{H}$	-
Плотность велосипедной коммуникационной ТСГК с учетом числа жителей	$d_H^{K^{S_\delta^{TCom}}} = \frac{S_\delta^{TCom}}{H} = \frac{S_\delta^{TCom_{in}}}{H} + \frac{S_\delta^{TCom_{ex}}}{H}$	-
Плотность внутренней коммуникационной составляющей в ГК с учетом числа жителей	$d_H^{K^{S_V^{TCom_{in}}}} = \frac{S_V^{TCom_{in}}}{H}$	-
Плотность внутренней автомобильной коммуникационной составляющей в ГК с учетом числа жителей	$d_H^{K^{S_a^{TCom_{in}}}} = \frac{S_a^{TCom_{in}}}{H}$	-
Плотность внутренней пешеходной коммуникационной составляющей в ГК с учетом числа жителей	$d_H^{K^{S_p^{TCom_{in}}}} = \frac{S_p^{TCom_{in}}}{H}$	-

Таблица 4.7– Система показателей плотности ТСГК (продолжение)

Наименование показателя	Формула вычисления	Изм.
Плотность внутренней велосипедной коммуникационной составляющей в ГК с учетом числа жителей	$d_H^{K\,S_\delta^{TCom_{in}}} = \frac{S_\delta^{TCom_{in}}}{H}$	-
Плотность внешней коммуникационной составляющей в ГК с учетом числа жителей	$d_H^{K\,S_V^{TCom_{ex}}} = \frac{S_V^{TCom_{ex}}}{H}$	-
Плотность внешней автомобильной коммуникационной составляющей в ГК с учетом числа жителей	$d_H^{K\,S_a^{TCom_{ex}}} = \frac{S_a^{TCom_{ex}}}{H}$	-
Плотность внешней пешеходной коммуникационной составляющей в ГК с учетом числа жителей	$d_H^{K\,S_p^{TCom_{ex}}} = \frac{S_p^{TCom_{ex}}}{H}$	-
Плотность внешней велосипедной коммуникационной составляющей в ГК с учетом числа жителей	$d_H^{K\,S_\delta^{TCom_{ex}}} = \frac{S_\delta^{TCom_{ex}}}{H}$	-
Показатели плотности ТСГК с учетом числа транспортных средств		
Общие показатели плотности ТСГК с учетом числа транспортных средств		
Плотность инфраструктурной ТСГК с учетом транспортных средств	$d_{N_V^K}^{K\,S_V^{TI}} = \frac{S_V^{TI}}{N_V^K}$	-
Плотность объектов хранения транспортных средств с учетом числа пешеходов	$d_{v_p}^{K\,S_V^P} = \frac{S_V^P}{N_p^K}$	-
Плотность объектов хранения автомобильных транспортных средств с учетом числа автомобилей	$d_{v_a}^{K\,S_a^P} = \frac{S_a^P}{N_a^K}$	-
Плотность пешеходных зон отдыха в ГК с учетом числа пешеходов	$d_{v_p}^{K\,S_p^P} = \frac{S_p^P}{N_p^K}$	-
Плотность объектов хранения велосипедных транспортных средств с учетом числа велосипедистов	$d_{v_\delta}^{K\,S_\delta^P} = \frac{S_\delta^P}{N_\delta^K}$	-
Плотность коммуникационной ТС в ГК с учетом числа транспортных средств (по видам)	$d_{H_V}^{K\,S_V^{TCom}} = \frac{S_V^{TCom}}{H_V}$	-
Плотность автомобильной коммуникационной ТСГК с учетом числа автомобилей	$d_{v_a}^{K\,S_a^{TCom}} = \frac{S_a^{TCom}}{N_a^K} = \frac{S_a^{TCom_{in}}}{N_a^K} + \frac{S_a^{TCom_{ex}}}{N_a^K}$	-

Таблица 4.7– Система показателей плотности ТСГК (продолжение)

Наименование показателя	Формула вычисления	Изм.
Плотность пешеходной коммуникационной ТСГК с учетом числа пешеходов	$d_{v_p}^{K\,S_p^{TCom}} = \frac{S_p^{TCom}}{N_p^K} = \frac{S_p^{TCom_{in}}}{N_p^K} + \frac{S_p^{TCom_{ex}}}{N_p^K}$	-
Плотность велосипедной коммуникационной ТСГК с учетом числа велосипедистов	$d_{v_\delta}^{K\,S_\delta^{TCom}} = \frac{S_\delta^{TCom}}{N_\delta^V} = \frac{S_\delta^{TCom_{in}}}{N_\delta^V} + \frac{S_\delta^{TCom_{ex}}}{N_\delta^V}$	-
Плотность внутренней автомобильной коммуникационной составляющей в ГК с учетом числа автомобилей	$d_{v_a}^{K\,S_a^{TCom_{in}}} = \frac{S_a^{TCom_{in}}}{N_a^K}$	-
Плотность внутренней пешеходной коммуникационной составляющей в ГК с учетом числа пешеходов	$d_{v_p}^{K\,S_p^{TCom_{in}}} = \frac{S_p^{TCom_{in}}}{N_p^K}$	-
Плотность внутренней велосипедной коммуникационной составляющей в ГК с учетом числа велосипедистов	$d_{v_\delta}^{K\,S_\delta^{TCom_{in}}} = \frac{S_\delta^{TCom_{in}}}{N_\delta^K}$	-
Плотность внешней автомобильной коммуникационной составляющей в ГК с учетом числа автомобилей	$d_{v_a}^{K\,S_a^{TCom_{ex}}} = \frac{S_a^{TCom_{ex}}}{N_a^K}$	-
Плотность внешней пешеходной коммуникационной составляющей в ГК с учетом числа пешеходов	$d_{v_p}^{K\,S_p^{TCom_{ex}}} = \frac{S_p^{TCom_{ex}}}{N_p^K}$	-
Плотность внешней велосипедной коммуникационной составляющей в ГК с учетом числа велосипедистов	$d_{v_\delta}^{K\,S_\delta^{TCom_{ex}}} = \frac{S_\delta^{TCom_{ex}}}{N_\delta^K}$	-

III этап. Сравнение кварталов по показателям плотности между собой.

IV этап. Определение квартала, обладающего более высокой транспортной обеспеченностью.

Практический пример работы данного метода представлен в приложении Г.

Выводы по главе 4

В ходе проведенных исследований в главе 4 были получены следующие научные результаты.

1. Разработаны показатели оценки транспортной обеспеченности мегаполиса: показатель оценки густоты сети с учетом количества транспортных средств и протяженности соответствующих транспортных коммуникаций и показатель оценки густоты сети с учетом площади территории, количества транспортных средств и протяженности соответствующих транспортных коммуникаций. Разработанные показатели позволяют проводить оценку транспортной обеспеченности в масштабах страны, регионального и городского развития при изменении площади территории, протяженности транспортной сети, численности населения и количества транспортных средств по видам транспорта.

2. Сформулировано понятие базового городского квартала и осуществлена логико-алгебраическая формализация его структуры как сборочной единицы городской среды. Предложена расширенная форма организации городского квартала.

3. Разработан метод анализа организации транспортной обеспеченности городского квартала. В основу метода положена система показателей на основе плотности внешних и внутренних транспортных коммуникаций. Предложенный метод позволяет выявлять сложные структурно-функциональные особенности взаимодействия и организации городской среды и транспорта. Разработанная система показателей требует расширения данных городской статистики в привязке к районам и городским кварталам, задает вектор развития принципиально новых подходов анализа и организации транспортной составляющей в городском пространстве.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В ходе диссертационного исследования были получены следующие результаты.

Теоретические.

1. Проведен анализ отечественного и зарубежного опыта развития методов анализа транспортных конфликтов в городских транспортных сетях, в том числе установлены критерии определения транспортного конфликта и существующие системы классификации транспортных конфликтов по степени тяжести, а также проведена сравнительная оценка мер определения транспортных конфликтов.

2. Проведен анализ основных методов оценки участков УДС позволяющих оценить возможность появления в них потенциальных транспортных конфликтов и степень их опасности, как на стадии функционирования участков УДС, так и на стадии разработки новых проектов УДС.

3. Проведен анализ отечественного и зарубежного опыта создания интеллектуальных транспортных систем. Раскрыты функциональные свойства основных архитектур интеллектуальных транспортных систем и представлен процесс их развития.

4. Проведен анализ отечественного и зарубежного опыта в области формирования показателей транспортной обеспеченности городских транспортных систем. Раскрыты аспекты развития показателей анализа транспортной обеспеченности городов. Представлена система существующих показателей, позволяющая производить интегральную оценку транспортной обеспеченности.

5. Введены понятия, «непрерывность состояния процесса движения транспорта», «транспортный ресурс движения», «транспортный конфликт», «бесконфликтность процесса движения транспорта» и представлена их математическая формализация.

6. Разработана система классификации транспортных конфликтов, позволяющая фиксировать транспортные конфликты по видам транспорта и видам транспортных коммуникаций.

7. Разработана аксиоматика непрерывного процесса движения транспорта, включающая следующие аксиомы: аксиома функционального состояния подвижного транспортного объекта, аксиома целевых состояний подвижного транспортного объекта, цикл целевых состояний подвижного транспортного объекта.

8. Разработаны принципы построения и организации транспортно-коммуникационной системы, осуществлена их математическая формализация и представлена их графическая интерпретация.

9. Осуществленна разработка метода организации бесконфликтного непрерывного процесса движения транспорта, позволяющего, реализовать подход распараллеливания транспортных потоков по видам подвижных транспортных объектов, их состояниям, условиям организации движения, а так же по видам транспортных коммуникаций и структуре их взаимодействия.

10. Разработана структурная схема системы организации и развития транспортной системы мегаполиса, состоящая из подсистем пользователь, мегаполис, транспорт, функционал управления и реляционный регулятор согласования. Предложенная архитектура согласуется с интеллектуальными моделями систем управления городских транспортных систем и и транспортно-логистических систем и может быть интегрирована в обобщенную систему управления мегаполисом. Подобная интеграция позволит перейти к построению качественно новых и более эффективных систем интеллектуального управления и устранить неопределенности процесса организации и развития городской среды.

11. Представлено описание внешней структуры системы организации и развития транспортной системы мегаполиса, которая логически связывает процесс развития транспортной системы и мегаполиса, а

так же позволяет производить анализ их компонент с учетом расширения структуры последних. Раскрыты функции входящих в состав СОРТСМ подсистем.

12. Разработано логико-алгебраическое описание внутренней структуры СОРТСМ. Для обеспечения однородности структуры ее подсистем предложен реляционный фильтр селективного анализа индикаторного комбинаторного расширения связей. Представленная формализация системы позволяет осуществить процесс управления организацией и развитием систем транспорт, мегаполис и пользователь в отличие от существующих, посредством встроенного регулятора реляционного согласования.

13. Разработан реляционный фильтр селективного анализа индикаторного комбинаторного расширения связей, позволяющий реализовывать разукрупнение и параметризацию элементов подсистем СОРТСМ; производить отслеживание изменений параметров элементов подсистем СОРТСМ во времени; осуществлять формирование системы индикаторов и их расширения для исследования анализа процесса развития подсистем СОРТСМ; производить отбор индикаторов для реляционного согласованного развития СОРТСМ.

14. Разработаны показатели оценки транспортной обеспеченности мегаполиса: показатель оценки густоты сети с учетом количества транспортных средств и протяженности соответствующих транспортных коммуникаций и показатель оценки густоты сети с учетом площади территории, количества транспортных средств и протяженности соответствующих транспортных коммуникаций. Разработанные показатели позволяют проводить оценку транспортной обеспеченности в масштабах страны, регионального и городского развития при изменении площади территории, протяженности транспортной сети, численности населения и количества транспортных средств по видам транспорта.

15. Разработаны показатели транспортной обеспеченности: показатель оценки густоты сети с учетом количества транспортных средств и протяженности соответствующих транспортных коммуникаций, показатель оценки густоты сети с учетом площади территории, количества транспортных средств и протяженности соответствующих транспортных коммуникаций.

16. Сформулировано понятие базового городского квартала и осуществлена логико-алгебраическая формализация его структуры как сборочной единицы городской среды. Предложена расширенная форма организации городского квартала.

17. Разработан метод анализа организации транспортной обеспеченности городского квартала. В основу метода положена система показателей на основе плотности внешних и внутренних транспортных коммуникаций. Предложенный метод позволяет выявлять сложные структурно-функциональные особенности взаимодействия и организации городской среды и транспорта. Разработанная система показателей требует расширения данных городской статистики в привязке к районам и городским кварталам, задает вектор развития принципиально новых подходов анализа и организации транспортной составляющей в городском пространстве.

Практические

1. Проанализирована реальная транспортная ситуация вблизи станции метро Василеостровская с использованием разработанной системы классификации транспортных конфликтов и аксиоматики непрерывного транспортного процесса движения. Предложены рекомендации по улучшению качества функционирования данного участка УДС.

Представлено в приложении Б.

2. На практических примерах продемонстрированы возможности блока комбинаторного расширителя индикаторных связей и блока селекционный фильтр. Показаны пути увеличения эффективности системы РЕФ, основанные на оптимизации его индикаторов. Применение

комбинаторного расширителя индикаторных связей позволяет осуществлять процедуру управляемого поиска новых связей внутри заданного индикаторного множества.

3. На практическом примере продемонстрирована работа реляционного регулятора согласования в процессе развития транспортной сети, прилегающей к городскому кварталу Василеостровского района.

4. Проведен анализ процесса развития транспортной обеспеченности России в период с 2000-2013 гг. с использованием существующих показателей - коэффициент густоты сети и коэффициент Энгеля и разработанных показателей - коэффициента густоты сети с учетом численности транспортных средств (автомобилей), и коэффициента густоты сети с учетом численности транспортных средств (автомобилей) и площади территории. Обоснованна необходимость применения разработанных показателей.

5. Проведен анализ транспортной обеспеченности городского квартала с использованием предложенных показателей (показатель оценки густоты сети с учетом количества транспортных средств и протяженности соответствующих транспортных коммуникаций и показатель оценки густоты сети с учетом площади территории, количества транспортных средств и протяженности соответствующих транспортных коммуникаций)

6. С использованием разработанного метода анализа организации транспортной составляющей городского квартала осуществлена сравнительная оценка эффективности организации на примере стандартного квартала городской планировочной структуры района Манхэттена (Нью-Йорк) и Василеостровского района (Санкт-Петербург). Представлено в приложении Г.

СПИСОК СОКРАЩЕНИЙ И УСЛОВНЫХ ОБОЗНАЧЕНИЙ

АСУДД – автоматизированная система управления дорожным движением

ВДА – время до аварии

ВДС – время до столкновения»

ВПН – время после нарушения

ВППЗ – время приближения к полосе зебра

ГК – городской квартал

ГКВР – городской квартал Василеостровского района

ГПТ – городской пассажирский транспорт

ГТС – городская транспортная система

ДВВС – длительность воздействия времени до столкновения

ДТП – дорожно-транспортное происшествие

ИВС – интегрированное время до столкновения

ИТС – интеллектуальная транспортная система

КРИС – комбинаторный расширитель индикаторных связей

ТКРУ –транспортный коммуникационный распределительный узел

МБ – манхэттенский блок

ПДТ – процесс движения транспорта

ПСМ – подсистема мегаполис

ПСП – подсистема пользователь

ПСТ – подсистема транспорт

ПСУ – подсистема управления

ПТО – подвижный транспортный объект

ПУС – параметрическое указание свойств

РЕФ – реляционный фильтр селективного анализа индикаторного комбинаторного расширения связей

РРС – реляционный регулятор согласования

РРЭ – реляционное расширение элементов

СОРТСМ – система организации и развития транспортной системы мегаполиса

СФ – селекционный фильтр

ТК – транспортный конфликт

ТКС – транспортная коммуникационная система

ТРД – транспортный ресурс движения

ТрСр – транспортные средства

ТП – транспортный поток

ТС – транспортная система

ТСГК – транспортная составляющая городского квартала

ТСМ – транспортная система мегаполиса

УДС – уличная дорожная сеть

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Абрамова, Л.С. Анализ методов определения показателей безопасности дорожного движения / Л.С. Абрамова, В.В. Ширин, Г.Г. Птица // Вестник ХНАДУ, вып. 69. – 2015. – С. 118-123

2. Аксенов, И. Я. Транспорт и охрана окружающей среды /И.Я. Аксенов, В.И. Аксенов. – М.: Транспорт, 1986. –176 с.

3. Аксенов, И.Я. Единая транспортная система / И.Я. Аксенов. – М.: Транспорт, 1980. – 382 с.

4. Амбарцумян, В.В. Безопасность дорожного движения / В.В. Амбарцумян, В.Н. Бабанин, О.П. Гуджоян, А.В. Петридис. – М.: Машиностроение, 1997, 1998, 2000.

5. Афанасьев, Л.Л. Единая транспортная система и автомобильные перевозки : учеб. / Л.Л. Афанасьев, Н.Б. Островский, С.М. Цукерберг . – 2-е изд., перераб. и доп . – М. : Транспорт, 1984 . – 333 с.

6. Афанасьев, Л.Л. Организация автомобильных перевозок: Учеб. для техникумов. — М.: Машгиз, 1953. — 339 с

7. Бабков, В.Ф. Дорожные условия и безопасность движения: учебник для вузов / В.Ф. Бабков. – М.: Транспорт, 1993. – 272 с.

8. Бабков, В.Ф. Дорожные условия и безопасность движения. Изд. 3-е. / Бабков В.Ф. М. Транспорт", 1970. 256 с.

9. Бабков, В.Ф. Изыскание и проектирование автомобильных дорог / В.Ф. Бабков, О.В. Андреев М.С. Замахаев. – М.: Транспорт, 1970. – Ч. I. 400 с., – Ч. II. 316 с.

10. Бабков, В.Ф. Проектирование автомобильных дорог (Часть 1) /В.Ф. Бабков, О.В. Андреев.– Москва: Транспорт, 1987. 368 с.

11. Бабков, В.Ф. Проектирование автомобильных дорог (Часть 2) /В.Ф. Бабков, О.В. Андреев.– Москва: Транспорт, 1987. 415 с

12. Баринова, Л.Д. Комплексный подход к решению проблемы городского транспорта /Л.Д. Баринова, Л.Э. Забалканская // Новая экономика России

сборник докладов участников секции Санкт-Петербургского научного форума "Наука и общество. Новые технологии для новой экономики России". VIII встреча лауреатов Нобелевской премии. – 2013. – С. 202-213.

13. Баринова, Л.Д. Комплексный подход к управлению экологически устойчивым развитием городской транспортной системы /Л.Д. Баринова, Л.Э. Забалканская // Транспорт: наука, техника, управление. – 2013. – № 10. – С. 24-27.

14. Баринова, Л.Д., Показатели устойчивого развития транспортной системы мегаполиса /Л.Д. Баринова, Л.Э. Забалканская // Транспорт: наука, техника, управление. – 2012. – № 8. – С. 33-37.

15. Белый, О.В. Архитектура и методология транспортных систем / О.В. Белый, О.Г. Кокаев, С.А. Попов. – С-Пб: «Элмор», 2002. – 246 с.

16. Белый, О.В. Проблемы и принципы обеспечения безопасности автомобильного транспорта на дорогах / О.В. Белый // Транспорт: наука, техника, управление. – 2010. – № 9. – С. 12-15

17. Белый, О.В. Проблемы построения и развития транспортных систем / О.В. Белый. – Санкт-Петербург: «Элмор», 2012. – 192 с.

18. Белый, О.В. Проблемы развития транспорта (Научный подход) / О.В. Белый // Бюллетень транспортной информации. – 1998. – № 8-9. – С. 2

19. Белый, О.В. Проблемы формирования и организации транспортных потоков / О.В. Белый.– Спб.: «Элмор», 2010.-120с.

20. Белый, О.В. Фундаментальные проблемы развития транспортного комплекса / О.В. Белый // Экономика качества. – 2013. – № 3. – С. 23-28.

21. Белый, О.В. Экномика транспорта: управление в рыночных условиях /В.Л. Белозеров, О.В. Белый, А.Н. Ефанов, А.А. Зайцев, Т.А. Пантина. – Санкт-Петербург: Академический научно-издательский, производственно-полиграфический и книгораспространительский центр Российской академии наук "Издательство "Наука". 2014. – 204 с.

22. Бобрик, П.П. О преимуществе треугольной топологии сети над квадратной / П.П. Бобрик // Транспорт: наука, техника, управление. – 2005. – № 3. – С. 32.

23. Буслаев, А.П. К вопросу об интеллектуальных системах в дорожном движении / А.П. Буслаев, Д.М. Кузьмин // Наука и техника в дорожной отрасли. - № 2. - 2006. - С. 33-40.

24. Бусленко, Н.П. Моделирование сложных систем / Н.П. Бусленко.— М.: Наука, 1978. — 399 с.

25. Ваксман, С.А. Некоторые закономерности изменения интенсивности движения в транспортных узлах крупных городов / С.А. Ваксман // Социально-экономические проблемы развития транспортных систем городов Материалы третьей международной (шестой екатеринбургской) научно-практической конференции. – Екатеринбург, 1996. – С. 43-47.

26. Васильев, В.И. Интеллектуальные системы управления. Теория и практика: учебное пособие /В.И. Васильев, Б.Г. Ильясов.- М.: Радиотехника, 2009. - 392 с.

27. Вельдер, С.Э. Верификация автоматных программ / С.Э. Вельдер, М.А. Лукин, А.А. Шалыто, Б.Р. Яминов. –СПб.: СПбГУ ИТМО, –2011. 242 с.

28. Витвицкий, Е.Е. Теория транспортных процессов и систем (Грузовые автомобильные перевозки): учеб. Пособие / Е.Е. Витвицкий. – Омск: СибАДИ, 2010. – 207 с.

29. Владимиров, В.В. Районная планировка / В.В. Владимиров, Н.И. Наймарк, Г.В. Субботин и др. –М.: Стройиздат, 1986. –325 с.

30. Воскресенская, Т.П. Методика и алгоритмизация принятия решений по формированию терминальной сети в регионе / Т.П. Воскресенская, О.Д. Покровская // Вестник Уральского государственного университета путей сообщения. – 2010. – № 3. – С. 74-84.

31. Воскресенская, Т.П. Принципы синергетики в построении логистико-ориентированного транспортно экспедиционного обеспечения развивающихся экономических районов / И.В. Воскресенский,

Т.П. Воскресенская // Современные проблемы транспортного комплекса России. – 2011. – № 1. – С. 28-36

32. Врубель, Ю.А. Характеристики дорожного движения: учебно-методическое пособие для студентов специальности 1-44 01 02 «Организация дорожного движения» / Ю.А. Врубель. - Минск.: БНТУ, 2007. - 268 с.

33. Галабурда, В.Г. Единая транспортная система /В.Г. Галабурда, В.А. Персианов, А.А. Тимошин и др. – М.: Транспорт, 1999. – 302с.

34. Галабурда, В.Г. Единая транспортная система. Уч. для вузов / В.Г. Галабурда, В.А. Персианов, А.А. Тимошин и др.; Под ред. В.Г. Галабурды. - М.: Транспорт, 1996. - 295 с.

35. Галабурда, В.Г. Критерии оценки эффективности и качества работы различных видов транспорта / В.Г. Галабурда, Д.С. Проскурин // Экономика железных дорог. – 2013.– №5. – С.86-95

36. Гасников, А.В. Введение в математическое моделирование транспортных потоков: учебное пособие для студентов вузов по направлению "Прикладные математика и физика" / [А.В. Гасников и др.]; под ред. А.В. Гасникова; М-во образования и науки Российской федерации, Московский физико-технический ин-т (гос. ун-т). Москва, 2010.

37. Гольц, Г.А. Транспорт и расселение / Г.А. Гольц.– М.: Транспорт и расселение. –М.: Наука, 1981. –248 с.

38. Горев, А.Э. Информационные технологии в управлении логистическими системами (монография) / А.Э.Горев. – СПб.: СПбГАСУ, 2004. – 180 с.

39. Горев, А.Э. Организация автомобильных перевозок и безопасность движения. Учеб. пособие для студентов вузов, обучающихся по специальности "Автомобили и автомобильное хоз-во" направления подгот. "Эксплуатация наземного трансп. и трансп. оборудования" / А. Э. Горев, Е.М. Олещенко. – Москва: Академия, 2006. – 256 с.

40. Горев, А.Э. Основы теории транспортных систем: Учеб. пособие / А.Э.Горев.– СПб.: СПбГАСУ, 2011. – 173 с.

41. Горев, А.Э. Повышение транспортной доступности территории Санкт-Петербурга / А.Э.Горев // Вестник гражданских инженеров. – 2006. – № 3.– С. 89-93

42. Горев, А.Э. Транспортная инфраструктура. Учебник и практикум. 1-е изд. - Сер. 58 Бакалавр. Академический курс / А.И. Солодкий, А.Э.Горев, Э.Д. Бондарева.– М.:Издательство Юрайт, 2015.– 355 с.

43. Графкина, М.В. Разработка мероприятий по сокращению выбросов парниковых газов от автотранспорта / М.В. Графкина, Г.Ю. Ванченкова // Фундаментальные и прикладные исследования: проблемы и результаты. – 2015. – № 18. – С. 110-113

44. Графкина, М.В. Концепция повышения экологической безопасности / М.В. Графкина // Стратегия гражданской защиты: проблемы и исследования. – 2013. – Т. 3. № 2. – С. 462-467.

45. Губенков, О.Е. Организация дорожного движения: учебное пособие / О.Е. Губенков, О.В. Зиборов, Ф.Н. Зейналов; М-во внутренних дел Российской Федерации, ФГОУ ВПО "Орловский юридический ин-т М-ва внутренних дел Российской Федерации". - Орел : ОрЮИ МВД России, 2011. - 156 с.

46. Дивочкин, О.А. Оценка безопасности на автомобильных дорогах / О.А. Дивочкин, А.Р. Цыганов, В.В. Чванов // Обзорная информация ЦБНТИ. – 1988. – Вып. 5. –С. 60.

47. Забалканская, Л.Э. Анализ экологических авспектов функционирования транспортной системы мегаполисов / Л.Д. Баринова, Л.Э. Забалканска // Дни науки. – 2012 Dil 71. Ekologie. – 2012. С. 3-5

48. Забалканская, Л.Э. Пути снижения негативного воздействия транспортного комплекса на городскую среду / Л.Д. Баринова, Л.Э. Забалканская // Транспорт: наука, техника, управление. – 2012. – № 2. – С. 14-18.

49. Забышный, А.С. Теоретические основы метода коэффициентов аварийности / А.С. Забышный // Автомобильные дороги: науч.-тех. журнал. – 1990. – № 9. – С. 14–15.

50. Захаров, В.В. Методы и модели прикладной математической логистики / В.В. Захаров // Процессы управления и устойчивость. – 2015. – Т. 2. № 1. – С. 742-776

51. Захаров, В.В. Моделирование и планирование транспортных процессов / В.В. Захаров, А.Ю. Крылатов, А.П. Раевская // Транспорт России: проблемы и перспективы - 2015 Материалы Юбилейной Международной научно-практической конференции. – 2015. – С. 120-124

52. Захаров, В.В. Системное равновесие транспортных потоков в мегаполисе и стратегии навигаторов: теоретико-игровой подход / В.В. Захаров, А.Ю. Крылатов // Математическая теория игр и ее приложения. – 2012. – Т. 4. № 4. – С. 023-044.

53. Зырянов, В.В. Современные подходы к разработке комплексных схем организации дорожного движения /В.В. Зырянов, В.Г. Кочерга, М.Н. Поздняков //Транспорт Российской Федерации. 2011. №1(32). С. 54–59.

54. Исследование рынка велосипедов в России [электронный ресурс]. Режим доступа: (http://www.velomania.ru/2013/11/01/print:page,1,issledovanie_rynka_velosipedov_v_rossii_ch1.html)

55. Кабашкин, И.В. Интеллектуальные транспортные системы: интеграция глобальных технологий будущего / И.В. Кабашкин // Транспорт Российской федерации. – No 2 (27) 2010.– С. 34-38

56. Капитанов, В.Т. Некоторые аспекты вероятностно-статистического моделирования аварийности в регионах Австрии, Германии, России / В.Т. Капитанов, О.Ю. Монина, В.В. Сильянов, А.В. Чубуков // Вестник Московского автомобильно-дорожного государственного технического университета (МАДИ). – 2014. – № 4 (39). – С. 97-102.

57. Капитанов, В.Т. Управление транспортными потоками в городах / В.Т. Капитанов, Е. Б. Хилажев. - М. : Транспорт, 1985. - 94 с

58. Карпов, Ю.Г. Сложность алгоритмов и программ /Ю.Г. Карпов, П.В. Трифонов // Компьютерные инструменты в образовании. – 2007. – № 6. – С. 3-10.

59. Кашкина, Л.В. Основы градостроительства: Учеб. пособие. / Л.В. Кашкина. – М.: Гуманитар. изд. Центр ВЛАДОС, 2005. – 247 с.

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

61. Ковалева, Е.Н. Методика определения показателей транспортного обеспечения локальных экономических систем / Е.Н. Ковалева // Вестник государственного университета морского и речного флота им. адмирала С.О. Макарова. – 2010. – №4. – С. 109-116.

62. Козинцев, В.И. Оптико-электронные системы экологического мониторинга природной среды: Уч.пособие для вузов / В.И. Козинцев, В.М. Орлов. – М.Издательство МГТУ им. Бумана, 2002. -528с.

63. Кокаев, О.Г. Самоорганизация транспортных процессов: модели и приложения / О.Г. Кокаев, О.Ю. Лукомская // Мир транспорта. – 2009. – Т. 7. № 3 (27). – С. 4-13.

64. Комаров, В.В. Архитектура и стандартизация телематических и интеллектуальных транспортных систем. Зарубежный опыт и отечественная практика / В.В.Комаров, С.А. Гараган. – М. : НТБ «ЭНЕРГИЯ», 2012. – 352 с. : таб. : ил

65. Коротаев, Л.Н. Организация дорожного движения: Учебное пособие. Часть 1,2 / Л.Н. Коротаев, О.Е. Губенков. - Орел: ОрЮИ МВД России, 1997.

66. Кочерга, В.Г. Интеллектуальные транспортные системы в дорожном движений: учеб. пособие / В.Г. Кочерга, В.В. Зырянов, В.И. Коноплянко. – Ростов-на-Дону: Изд-во РГСУ, 2001. – 108 с.

67. Кочетов, И.В. Общесистемная постановка некоторых методических проблем построения ЕТС / И.В. Кочетов // Тр. ЦНТИИЭВТ. – 1977. – Вып. 138. – С. 6–34.

68. Кравченко, П.А. Инновационные элементы в региональных программах обеспечения безопасности дорожного движения /Е.М. Олещенко, П.А. Кравченко // Транспорт Российской Федерации. – 2012. – № 3-4 (40-41). – С. 45-51.

69. Кравченко, П.А. О мерах по совершенствованию региональной системы ОБДД / П.А. Кравченко // Наука и техника в дорожной отрасли. – 2008. – № 4. – С. 6

70. Кравченко, П.А. Организация и безопасность дорожного движения в больших городах / П.А. Кравченко // Наука и техника в дорожной отрасли. – 2013. – № 1 (64). – С. 1-2.

71. Кременец, Ю.А. Технические средства организации дорожного движения: учебник для вузов / Ю.А. Кременец, М.П. Печерский, М.Б. Афанасьев. – М.: Академкнига, 2005.

72. Кузин, Л.Т. Математические основы кибернетики: учеб. пособие для вузов /Л.Т. Кузин // Основы кибернетики. В 2 т. Т. 1. 2-е изд., перераб. И доп. М.: Энергоатомиздат, – 1994. – 576 с.

73. Ларин, О.Н. Оптимизация маршрутных сетей городов с учетом ограничений пропускной способности остановочных пунктов / О.Н. Ларин, А.А. Кажаев // Вестник Оренбургского государственного университета. – 2011. – № 10 (129). – С. 26-31.

74. Ларин, О.Н. Организация пассажирских перевозок учеб. пособие / О.Н. Ларин ; М-во образования и науки Рос. Федерации, Федер. агентство по образованию, Южно-Урал. гос. ун-т, Каф. "Экономика и упр. На транспорте". Челябинск, 2005.

75. Ларин, О.Н. Типология маршрутных схем городского пассажирского транспорта / А.А. Кажаев, О.Н. Ларин // Модернизация и научные исследования в транспортном комплексе. – 2012. – Т. 2. – С. 186-192.

76. Линейный город SkyWay в Абу-Даби [электронный ресурс]. Режим доступа: (http://rsw-systems.com/assets/files/lineinii_gorog_v_abu_dabi.pdf)

77. Лобанов, Е.М. Транспортная планировка городов: Учебник для студентов вузов/ Е.М. Лобанов.– М.: Транспорт, 1990.—240 с.

78. Лобанов, Е.М. Проектирование дорог и организация движения с учетом психофизиологии водителя / Е.М. Лобанов. – М.: Транспорт, 1980. – 310 с.

79. Лукинский, В.С. Логистика автомобильного транспорта / В.С. Лукинский, В.И. Бережной, Е.В. Бережная и др. – М.: Финансы и статистика, 2004. – 368 с.

80. Лукинский, В.С. Модели и методы теории логистики. 2-е издание / В.С. Лукинский. – СПб.: СПбГИЭУ, 2012. – 404 с.

81. Малыгин, И.Г. Интеллектуальные системы в городском транспортном комплексе / И.Г. Малыгин // Экономика качества. 2013. № 3. С. 81-91.

82. Малыгин, И.Г. Интеллектуальные системы транспортной безопасности /И.Г. Малыгин, М.В. Сильников // Проблемы управления рисками в техносфере. – 2014. – № 1 (29). – С. 1-13.

83. Маринов, М.Л. Оптимизация безопасности транспортной деятельности с учетом влияния человеческого фактора: особенности решения проблемы /М.Л. Маринов // Транспорт Российской Федерации. – 2009. – Т. 21. – № 2. – С. 56-59.

84. Миротин, Л.Б. Глобальные задачи развития и интеграции транспортных систем / О.Н. Ларин, Л.Б. Миротин // Транспорт: наука, техника, управление. – 2007. – № 5 – С. 20–21.

85. Нурминский, Е.А. Прогнозирование моделирования трафика Владивостока /Е.А. Нурминский, Н.Б. Шамрай// Труды МФТИ. – 2010. – Т. 2. №4. – С. 119–129.

86. Овечников, Е.В. Городской транспорт: учебник для вузов / Е.В. Овечников, М.С. Фишельсон. – М.: Высшая школа ,2006.-325с.

87. Павлова, Е.И. Экология транспорта. Учебник для вузов / Е.И. Павлова. –М.: Транспорт, 2000. - 248 с.

88. Паршиков, В.А. Применение быстродействующих вычислительных машин на транспорте /В.А. Паршиков, В.А. Розе. – М., Издательство экономической литературы, 1961. – 95 с.

89. Пеньшин, Н.В. Организация и безопасность движения: учебное пособие / Н.В. Пеньшин, В.В. Пудовкин, А.Н. Колдашов, А.В. Ященко. – Тамбов: Изд-воТамб. гос. техн. ун-та, 2006. – 96 с. – 150 экз. – ISBN 5-8265-0522-2.

90. Персианов, В.А. Сущность системного подхода и его применение на транспорте / В.А. Персианов, Т.Н. Сакульева // Вестник Университета (Государственный университет управления). – 2014. – № 12. С. 64-66.

91. Персианов, В.А. Транспорт, социальная инфраструктура и энергия живого дела / В.А. Персианов, С.С. Гончаренко // Вестник транспорта. – 2013. – № 4. – С. 2-10

92. Печерский, М. П. Автоматизированные системы управления дорожным движения в городах [Текст] / М. П. Печерский, Б. Г. Хорович. - М. : Транспорт, 1979. - 176 с

93. Плотников, А.М. Алгоритмы и технические средства повышения безопасности движения на регулируемых перекрестках / А.М. Плотников // Транспорт Российской федерации. – №5 (36) 2011. – С. 28-30

94. Полякова, Г.А. Оптимальное размещение проектируемой сети дорог / Г.А. Полякова // Автомобильные дороги, – 1964, – № 12, – с.5-7

95. Полякова, Г.А. Основные принципы планирования развития сети автомооильных дорог / Г.А. Полякова // Экономика и организация автомобильного транспорта. Тр.МАДИ. – 1974, вып.85, – С. 115-122.

96. Попов, С.А. Проблематика сложных систем (концептуальные основы модельных представлений) / Дубов В.М., Капустянская Т.И., Попов С.А., Шаров А.А – Спб.: «Элмор», 2006. – 184с.

97. Поспелов, Д.А. Ситуационное управление: Теория и практика./ Д.А. Поспелов. – М.: Наука. – Гл. ред. физ.-мат. Лит., 1986.-288 с.

98. Пугачёв, И.Н. Интеллектуальное управление транспортными системами городов /И.Н. Пугачёв, Г.Я. Маркелов // Транспорт и сервис. – 2014. – № 2. – С. 58-66.

99. Пугачев, И.Н. Концептуальные подходы развития городского транспорта на современном этапе / И.Н. Пугачев, Ю.И. Куликов// Транспорт Российской Федерации. – 2013. – № 4. – С. 8.

100. Пугачев, И.Н. Проблемы в организации дорожного движения / И.Н. Пугачев // Дальний Восток: проблемы развития архитектурно-строительного комплекса. – 2014. – № 1. – С. 281-285.

101. Резер, С.М. Модели управления структурированными объектами транспорта региона/ С.М. Резер, Б.И. Алибеков // Транспорт: наука, техника, управление. – 2010. – № 10. – С. 3-9.

102. Резер, С.М. Развитие транспортно-логистического пространства России / С.М. Резер // Транспорт: наука, техника, управление. – 2013. – № 11. – С. 3-5.

103. Рябчинский, А.И. Организация перевозочных услуг и безопасность транспортного процесса /А.И. Рябчинский, В.А. Гудков, Е.А. Кравченко. – Издательство: Академия, – 2014, 256с.

104. Сафронов, Э.А. Совершенствование методов управления развитием транспортных систем крупных городов / Э.А. Сафронов, К.Э. Сафронов // Вестник Сибирской государственной автомобильно-дорожной академии. – 2009. – № 13. – С. 24-29.

105. Сафронов, Э.А. Транспортные системы городов и регионов: Учебное пособие / Э.А. Сафронов. – Издательство АСВ, – М., 2005. – с. 272с илл.

106. Селиверстов, С.А. Основы теории бесконфликтного непрерывного транспортного процесса движения / С.А Селиверстов, Я.А. Селиверстов // Науковедение. – 2014. – №3(22). – С. 1–33. [электронный ресурс]/ URL: http://naukovedenie.ru/PDF/74TVN314.pdf

107. Селиверстов, С.А. Методы и алгоритмы интеллектуального анализа процесса организации транспортной системы / С.А. Селиверстов // Вестник

государственного университета морского и речного флота им. адмирала С.О. Макарова. – 2014. – № 2 (24). – С. 92-100.

108. Селиверстов, С.А. О методе оценки эффективности организации процесса дорожного движения мегаполиса /С.А. Селиверстов, Я.А. Селиверстов // Вестник транспорта Поволжья. – 2015. – № 2 (50). – С. 91-96.

109. Селиверстов, С.А. О построении интеллектуальной системы организации и развития транспортной системы мегаполиса / С.А. Селиверстов, Я.А. Селиверстов // Научно-технические ведомости Санкт-Петербургского государственного политехнического университета. Информатика. Телекоммуникации. Управление. 2015. № 2-3 (217-223). С. 139-161.

110. Селиверстов, С.А. О разработке показателей анализа оценки транспортной составляющей в структуре городского квартала / С.А. Селиверстов, Я.А Селиверстов // Вестник транспорта Поволжья. – 2015. – № 4 (52). – С. 55-69.

111. Селиверстов, С.А. О технологии анализа транспортных процессов в современных условиях хозяйствования /О.Г. Кокаев, О.Ю. Лукомская, С.А. Селиверстов //Транспорт Российской Федерации. – 2012. – №2(39). – С 32-36.

112. Селиверстов, С.А. Обзор показателей транспортной обеспеченности мегаполиса / С.А. Селиверстов, Я.А. Селиверстов // Вестник гражданских инженеров. – 2015. – № 5 (52). – С. 237-247.

113. Селиверстов, С.А. Разработка показателей интегрального развития транспортной системы мегаполиса /С.А. Селиверстов, Я.А. Селиверстов // Интернет-журнал Науковедение. – 2015. – Т. 7. – № 5. С. 156

114. Селиверстов, С.А. Разработка показателей транспортной обеспеченности / С.А. Селиверстов // Известия Петербургского университета путей сообщения. – 2015. – № 4 (45). – С. 48-63.

115. Селиверстов, Я.А. Использование правила резолюций в вопросно-ответной процедуре транспортного планировщика / Я.А Селиверстов // Вестник государственного университета морского и речного флота им. адмирала С.О. Макарова. – 2013. – № 1 (20). – С. 145-152. 8.

116. Селиверстов, Я.А. О логико-алгебраическом представлении транспортно-логистического процесса / Я.А. Селиверстов, С.А. Селиверстов// Научно-технические ведомости Санкт-Петербургского государственного политехнического университета. Информатика. Телекоммуникации. Управление. – 2014. – № 4 (200). – С. 57-68.

117. Селиверстов, Я.А. О построении модели классификации межагентных отношений социально-экономического поведения городского населения в системах управления транспортными потоками мегаполиса. // Интернет-журнал Науковедение. – 2014. – №5 (24). – С. 1-39. [Электронный ресурс]-М.: Науковедение, 2014 -.- Режим доступа: http://naukovedenie.ru/PDF/159TVN514.pdf, свободный. – Загл. с экрана. - Яз. рус., англ.

118. Селиверстов, Я.А. Основы теории субъективных функциональных возможностей рационального выбора /Я.А. Селиверстов // Интернет-журнал Науковедение. – 2014. – №4 (23). – С. 1-39. [Электронный ресурс]-М.: Науковедение, 2014 -.- Режим доступа: http://naukovedenie.ru/PDF/90EVN414.pdf, свободный. – Загл. с экрана. - Яз. рус. англ. С. 1-39.

119. Селиверстов, Я.А. Особенности построения системы городского транспортно-логистического мониторинга / Я.А. Селиверстов, С.А. Селиверстов, А.Л. Стариченков // Известия СПбГЭТУ «ЛЭТИ» № 1/2015. – С.29-36.

120. Селиверстов, Я.А. Построение моделей управления городскими транспортными потоками в условиях неопределенности внешней информационной среды / Я.А. Селиверстов, А.Л. Стариченков // Научно-технические ведомости Санкт-Петербургского государственного

политехнического университета. Информатика. Телекоммуникации. Управление. – 2014. – №6 (210). – С. 81-94.

121. Селиверстов, Я.А. Формальная аксиоматика теории функционального субъективного потребительского поведения / Я.А. Селиверстов, С.А. Селиверстов// Научно-технические ведомости Санкт-Петербургского государственного политехнического университета. Экономические науки. – 2014. – № 4. – С. 34-48.

122. Сиденко, В.М. Комплексный метод оценки безопасности дорожного движения / В.М. Сиденко, А.А. Рыбальченко // Автодорожник Украины: науч.-тех. сборник. - 1978. – No3. – С. 42–43.

123. Сильянов, В.В. Транспортно-эксплуатационные качества автомобильных дорог и городских улиц : учебник для студ. высш. учеб. заведений / В.В. Сильянов, Э.Р. Домке. – 2-е изд., стер. – М. : Издательский центр «Академия», 2008. — 352 с.

124. Скороходов Д.А. Проблемы безопасности транспорта /Д.А. Скороходов, А.Л. Стариченков // Транспортная безопасность и технологии. – 2005. – № 2. – С. 24.

125. Скороходов, Д.А. Методика оценки надежности объекта транспортной системы при произвольных законах распределения /М.А. Александров, Д.А. Скороходов, А.Л. Стариченков // ТРАНСПОРТ РОССИИ: ПРОБЛЕМЫ И ПЕРСПЕКТИВЫ 2013 Материалы международной научно-практической конференции. – 2013. – С. 28-33.

126. Смирнов, С.И. Методы оценки качества организации дорожного движения [Текст] : учебное пособие / Г.И. Клинковштейн, В.Н. Сытник, С.И. Смирнов и др. МАДИ. - М. : МАДИ, 1987. - 78 с.

127. СНиП 2.05.02-85* «Автомобильные дороги».

128. СНиП 2.07.01-89* «Градостроительство. Планировка и застройка городских и сельских поселений»

129. Стариченков, А.Л. Концепция комплексной безопасности дорожного движения транспорта / О.В. Белый, Д.А. Скороходов, А.Л. Стариченков

//Транспорт России: проблемы и перспективы - 2009 Посвящается 200-летию образования Управления водными и сухопутными сообщениями и учреждения Института корпуса инженеров путей сообщения. Отделение энергетики, машиностроения, механики и процессов управления РАН. – Москва: РАН, 2009.– С. 3-7

130. Стариченков, А.Л. Методика оценки безопасности транспортых комплексов / А.Л. Стариченков, И.В. Степанов // Транспорт Российской Федерации. – 2007. № 9 (2). С. 28-29.

131. Стариченков, А.Л. Методология обеспечения безопасности транспортных средств: диссертация на соискание ученой степени доктора технических наук /А.Л. Стариченков. – СПб.: 2011. – 473 с.

132. Столяров, В.В. Экономический эффект развития сети автомобильных дорог / Д.М. Немчинов, В.В. Столяров, А.В. Кочетков//Грузовик. – 2015. – № 3. – С. 29-33.

133. Тархов, С.А. Закономерности саморазвития конфигурации транспортных сетей / С.А. Тархов // Факторы и механизмы устойчивости геосистем. – М., 1989, с.31-45

134. Тархов, С.А. Закономерности формирования пространственной структуры транспортных сетей /С.А. Тархов // Известия АН СССР, серия географическая. – 1983, №3, с.63-74

135. Тархов, С.А. Классификация пространственных структур крупных городов /С.А. Тархов // Проблемы градостроительного проектирования и моделирования развития городов. Тезисы докладов семинара. Ташкент, 1980, часть 1, с.107-109

136. Тархов, С.А. Эволюционная морфология транспортных сетей / С.А. Тархов. Смоленск: Универсум, 2005. - 386с.

137. Троицкая, Н.А. Единая транспортная система / Н.А. Троицкая. – М.: «Академия», 2008. – 240 с.

138. Указания по обеспечению безопасности движения на автомобильных дорогах. Всн 25-86. Минавтодор РСФСР. Москва "Транспорт" 1988.

139. Ушаков, С.С. Транспортная система мира / С.С. Ушаков, Л.И. Василевский. – М.: Транспорт, 1971. – 216с.

140. Федеральная служба государственной статистики [электронный ресурс]. Режим доступа: (http://wwwgks.ru/wps/wcm/connect/rosstat_main/rosstat/ru/statistics/enterprise/transport)

141. Фишельсон, М.С. Городские пути сообщения: Учеб. пособие для вузов. — 2‑е изд., перераб. и доп. / М.С. Фишельсон.— М.: Высш. школа. 1980. — 296 с.

142. Холодов, Я.А. Моделирование транспортных потоков - актуальные проблемы и перспективы их решения / А. Холодов, А.С. Холодов, А.В. Гасников, И.И. Морозов, В.Н. Тарасов // Труды Московского физико-технического института. – 2010. Т. 2. – № 4 (8). – С. 152-162.

143. Хомяк, Я. В. Организация дорожного движения [Текст] : учебник для вузов / Я.В. Хомяк. – Киев : Высшая школа, 1986. – 271 с

144. Черепанов, В.А. Транспорт в планировке городов / В.А. Черепанов. – М.: Издательство литературы по строительству, 1970. – 304 с.

145. Шаталова, Н.В. Пути совершенствования перевозок и повышение безопасности автомобильного транспорта / В.И. Куватов, Н.В. Шаталова, В.А. Онов // Проблемы управления рисками в техносфере. – 2013. – № 2. – С. 96

146. Шаталова, Н.В. Пути ускорения перевозок и повышение безопасности автомобильного транспорта / В.И. Куватов, Н.В. Шаталова, В.А. Онов // Проблемы управления рисками в техносфере. – 2013. – № 2 (26). – С. 26-33.

147. Швецов, В. И. Математическое моделирование транспортных потоков // Автомат. и телемех. – 2003. – № 11. – С. 3–46.

148. Щербаков, В.В. Логистика и управление цепями поставок: учебник для академического бакалавриата /под ред. В.В. Щербакова. — М. Издательство Юрайт, 2015. — 582 с. — Серия : Бакалавр. Академический курс.

149. Юдин, В.Д. Городской транспорт: учебник для ВУЗов / В.Д. Юдин, Д.С. Самойлов. –М.: Стройиздат, 1975. –287 с.

150. Якимов, М.Р. Транспортное планирование: формирование эффективных транспортных систем крупных городов: монография / Ю.В. Трофименко, М.Р. Якимов. – М.: Логос, 2013. – 464 с.

151. Якимов, М.Р, Модель формирования эффективной транспортной системы крупного города / Ю.В. Трофименко, М.Р. Якимов // Вестник ПГТУ. Урбанистика – 2011. -№ 4. – С.4-12.”

152. Якимов, М.Р. Методика оценки эффективности реализации транспортного спроса на урбанизированной территории /Ю.В. Трофименко, М.Р. Якимов // Транспорт Урала. – Екатеринбург. – 2010. – № 3. –С. 34-38.

153. Якимов, М.Р. Методы формализации пространственного распределения структурных элементов городской среды при моделировании транспортного спроса/ М.Р. Якимов // Транспорт Урала. – 2011. – №2 (29). – С. 20-24.

154. Якимов, М.Р. Оптимальные модели формирования и развития транспортной системы города / Н.М. Левда, М.Р. Якимов // Вестник ИНЖЕКОНА. Серия: Экономика. – Санкт-Петребург. – 2010. -Выпуск 3(38). –С. 231-237

155. Якимов, М.Р. Технологии прогнозирования функционирования транспортной системы региона в пространстве и времени / М.Р. Якимов // Материалы ежегодной международной конференции, посвященной современным технологиям стратегического и оперативного транспортного планирования. – Санкт-Петербург. – 2009 . –С.56-58.

156. Allen, B.L. Analysis of traffic conflicts and collisions /B.L. Allen, B.T. Shin, P.J. Cooper. Dept. of Civil Engineering, McMaster University, Hamilton.

157. Amundsen, F.H.E (ed.) International Calibration Study of Traffic Conflicts Techniques. NATO ASI Series F: Computer and System Sciences, Vol. 5, Springer-Verlag, Berlin. 1984.

158. Amundsen, F.H.E. Proceeding of First Workshop on Traffic Conflicts /F.H.E Amundsen, C. Hyden. Institution of Transport Economics. Oslo/Lund Institute of Technology. Oslo. 1977.

159. Archer, J. Indicators for traffic safety assessment and prediction and their application in micro-simulation modelling: A study of urban and suburban intersections /J. Archer, J. Doctoral Dissertation Royal Institute of Technology Stockholm, Sweden 2005. 273 p.

160. De Pina Filho. Methods and Techniques in Urban Engineering / A.C. de Pina Filho, A. C. de Pina. InTech, 2010. 270 p.

161. Baker, W.T. An evaluation of the traffic conflicts technique / W.T. Baker. HRB Rec 384, Highway Res. Bd., 1-8, 1972.

162. Batty, M. Smart cities of the future /M Batty, K.W. Axhausen, F. Giannotti, A. Pozdnoukhov eds. // The European Physical Journal Special Topics. 2012. Vol. 214. Iss. 1. Pp. 481–518.

163. Campbell, R.E. and King, L.E. The traffic conflicts technique applied to rural intersections / R.E. Campbell, L.E. King // Accid. Anal. & Pre v. 2(3). 1970.209-221.

164. Chin, H.C. Measurement of traffic conflicts / H.C. Chin, S.T. Quek. Safety Science 26 (3). – 1963.pp. 169-185.

165. Cunto, F.J.C. Assessing Safety Performance of Transportation Systems using Microscopic Simulation / F.J.C. Cunto. Waterloo, Ontario, Canada, 2008. 190 p.

166. Denne, T. Blueprint for a best practice measurement indicator set and benchmarking / T. Denne, R. Irvine, A. Schiff, C. Sweetman. NZ Transport Agency research report 522. 147pp.

167. Erke, H. Verkehrskonflikte im Innerortsbereich / H. Erke, B. Zimolong. Köln: Bundesanstalt für Straßenwesen 1978, Unfall und Sicherheitsforschung Straßenverkehr, Heft 15, 177 Seiten. Bundesanstalt für Straßenwesen, BASt, Köln, 1978.

168. FHWA. (2003) Surrogate Safety Measures from Traffic Simulation Models, Final Report, Publication No FHWA-RD-03-050, Federal Highway Administration, USA.

169. Firley, E. The Urban Housing Handbook / E. Firley, S. Caroline. Hoboken, NJ: Wiley 2009, 328 pp, ISBN: 978-1-119-98998-1

170. Forbes, T.W. Analysis of near-accident reports. HRB Bull. 152 /T.W. Forbes // Transportation Res. Bd. –1957. 23-35pp.

171. Grayson, G.B. The Malmo Study: A calibration of Traffic Conflict Techniques / G.B. Grayson. Report R-84-12. Institute for Road Safety Reaserch SWOV, Leidschendam. 1984.

172. Guttinger, V.A. From accidents to conflicts: alternative safety measurement / V.A.Guttinger // Proceedings of the third international workshop on traffic conflicts techniques, organised by the international committee on traffic conflicts techniques ICTCT, Leidschendam, The Netherlandes, April 1982. Institute for Road Safety Research SWOV. The Netherlands. Leidschendam, 1982. 14-25 pp.

173. Hayward, J. Ch. Near misses as a measure of safety at urban intersections / J.Ch. Hayward // Unpublished Ph.D. thesis, Dept. of Civil Engineering, The Pennsylvania State Univ., University Park, PA. 1971.

174. Hayward, J.Ch. Near miss determination through use of a scale of danger / J.Ch. Hayward. Report no. TTSC 7115. The Pennsylvania State University, Pennsylvania. 1972.

175. Horst, A.R.A. van der. The analysis of traffic behaviour by video / A.R.A. van der. Horst //Proceedings of the third international workshop on traffic conflicts techniques, organised by the international committee on traffic conflicts techniques ICTCT, Leidschendam, The Netherlandes, April 1982. Institute for Road Safety Research SWOV, The Netherlands. Leidschendam, 1982. 26-39 pp.

176. Horst, A.R.A. van der. The ICTCT Calibration Study at Malmo: a quantitative analisis of video-recoding / A.R.A. van der Horst. Report IZF 1984-37, TNO Institute for Perception, Soesterberg. 1984.

177. Horst, A.R.A. van der. A Time-based analisis of road user behaviour in normal and critical encounters / A.R.A. van der Horst. Delft University of Technology. 1990. 183 p.

178. Horst, A.R.A. van der. The Dutch conflict technique – DOCTOR. ICTCT Workshop / A.R.A. van der Horst, J.H. Kraay. – 1986. 9 p.

179. Hyden, Ch. A traffic conflicts technique for determining risk / Ch. Hyden. Lund Institute of Technology, Lund, Sweden. 1977

180. Hyden, Ch. Relations between conflicts and traffic accidents / Ch. Hyden. Lund Institute of Technology, Lund, Sweden. 1975

181. Hyden, Ch. The development of a method for traffic safety evaluation: The Swedish Traffic Conflicts Technique / Ch. Hyden // Bulletin 70, University of Lund, Lund Institute of Technology, Dept. of Traffic Planning and Engineering, Lund. 1987

182. International Road Traffic and Accident Database (IRTAD) [электронный ресурс]. Режим доступа: http://www.internationaltransportforum.org/Irtadpublic/index.html)

183. Kaye, R.W. The Mathematics of Logic / R.W. Kaye. – Cambridge University Press, – 2007. – 204 p.

184. Keen, K. DRIVE 92. Research and technology development in advanced road transport telemetrics (Rep. № DR1203) / K. Keen, E. Murphy, (Eds.). – Brussels: Commission of the European Commu-nities. 1992.

185. Kraay, J.H. Manual conflict observation technique DOCTOR (Dutch Objective Conflict Technique for Operation and Research) / J.H. Kraay, A.R.A. van der Horst, S. Oppe. Foundation Road safety for all The Netherlands. 2013. 86 p.

186. Kraay, J.H. Proceedings of the third international workshop on traffic conflicts techniques, organised by the international committee on traffic conflicts techniques ICTCT , Leidschendsm, The Netherlandes /J.H. Kraay. Institute for Road Safety Research SWOV, The Netherlands. April 1982, 98 p.

187. Laureshyn, A. Evaluation of traffic safety, based on micro-level behavioural data: theoretical framework and first implementation / A. Laureshyn, Å. Svensson. Accident Analysis & Prevention 42. – 2010. pp. 1637-1646.

188. Lieskovsky A. Proceedings in Intelligent Transportation Systems 2013 / A. Lieskovsky, Š. Baďura, M. Mokryš // Virtual Conf. EDIS – Publishing Institution of the University of Zilina. 2013. 173 p.

189. Malaterre, G. Les conflits de trafic; Une technique au service des etudes de securite / G. Malaterre, Muhlrad, N. ONSER, Arcueil, 1976.

190. McFarland, R.A. Human Factors in Highway Transport Safety. / R. McFarland, A.L. Moseley. Harvard School of Public Health. Boston. Mass., 1954.

191. McKay, G.M. A Report on the Accident Research Project. Report No. 4. Dept / G.M. McKay // Transport & Env. Plan. Univ. of Birmingham, Dec., 1966.

192. McQueen, B. The development of IVHS in Europe / McQueen, Catling // In SAE Technical Paper Series (SAE № 911675. pp. 31-42) Warrendale, PA: Society of Automotive Engineers. 1991.

193. Minderhoud, M. M. Extended Time-to-Collision Measures for Road Traffic Safety Assessment / MM. Minderhoud, P.H.L. Bovy // Accident Analysis and Prevention, Vol 33, pp.89-97.

194. Morichi, S. Transport Development in Asian Megacities / S. Morichi S, S.R. Acharya, (eds.) // Transportation Research, Economics and Policy. Springer – Verlag Berlin Heidelberg, 2013. 276 p

195. Muhlrad, N. Traffic conflict techniques and other forms of behavioural analysis: application to safety diagnoses / N. Muhlrad // 6th ICTCT workshop, Salzburg. Pietrzyk, M. C. Development of Expected Value Conflict Tables for Florida-based Traffic Crashes. 1996. 17 p.

196. Nowacki G. Development and Standardization of Intelligent Transport Systems /G.Nowacki G // TransNav, the Internat. J. on Marine Navigation and Safety of Sea Transportation. 2012. Vol. 6. No. 3. Pp. 403-411.

197. Older, S.J. Proceedings of the Second International Traffic Conflicts Technique Workhop / S.J Older, Shippey. – Paris, 1979. TRRL Supplementary

Report 557, Transport and Road Safety Research Laboratory, Crowthorne, Berckshire. 1980

198. Oppe, S. Joint international study for the calibration of traffic conflict techniques (background paper) / S. Oppe// Background paper ICTCT-Meeting Copenhagen, 25-27 May 1983. R-83-50. Institute for Road Safety Research SWOV. The Netherlands. Leidschendam, 1983. 13 p.

199. Oppe, S. The International Calibration of Conflicts: A Summary of the results / S. Oppe // In Proceeding of Workshop on Traffic Conflicts and Other Intermediate Measures in Safety Evaluation. September 8-10. Institute for Transport Sciences. – Budapest. 1986.

200. Paddock, R.D. The traffic conflicts technique: An accident prediction method. Second edition / R.D. Paddock. Ohio Departament of Transportation, Columbus. 1974.

201. Perkins, S.R. Traffic Conflict Characteristics – Accident 7. Potential at Intersections /S.R. Perkins, J. Harris. HRB Rec. 225. – Highway Res. Bd. – 1968. 35-44pp.

202. Perkins, S.R. GMR Traffic Conflicts Procedures Manual / S.R. Perkins. GMR-895/ General Motors Research Publication, Aug., 1969.

203. Perkins, S.R. Criteria for traffic conflict characteristics signalized intersection / S.R. Perkins, J.L. Harris. Rep№ GMR - 632. General Motors Corporation, Warren, Michigan. 1967. 22p.

204. Zito, P. Toward an urban transport sustainability index: an European comparison / P. Zito, G. Salvo. Eur. Transp. Res. Rev. (2011) 3:179–195 DOI 10.1007/s12544-011-0059-0

205. PLANFOR Work Group for Traffic and Town Planning Research. Information Pamphlet No.57. Helsingborg, 1972.

206. Proceedings, first workshop on traffic conflicts. Institute of Transport Economics, Oslo, 1977. 76 p.

207. Rappoport, H.A. Die Ausbildung plangeicher Knotenpunkte im Landstrassennetz / H.A. Rappoport // Strassen und Tiefbau. – 1955. – No 8. – P. 499–510.

208. Rodrigue, J.P. The Geography of Transport Systems. 3rd Ed. New York / J.P. Rodrigue, C. Comtois, B. Slack. Routledge, 2013. 416 p.

209. Rosen, D.A. An electronic route-guidance system for highway vehicles / D.A. Rosen, F.J. Mammano, R. Favout // IEEE Transactions on Vehicular Technology. Vol. 19, Is. 1. IEEE. 1970. P. 143 – 152.

210. Sayed, T.A. A Simulation Model of Road User Behaviour and Traffic Conflicts at Unsignalized Intersections, in Department of Civil Engineering / T.A. Sayed. University of British Columbia: Vancouver, Canada, 1992. 103 p.

211. Spicer, B. R. A Pilot Study of Traffic Conflicts at a Rural Dual Carriageway Intersection / B.R. Spicer // RRL Rep. LR 410, Rd. Res. Lab. – Crowthorne, 1971.

212. Spicer, B. R. A Study of Traffic Conflicts at Six Intersections / B.R. Spicer // TRRL Rep. LR 551, Transp. and Rd. Res. Lab. – Crowthorne, 1973.

213. Spicer, B.R. A Traffic Conflict Study at an Intersection on the Andoversford By-Pass / B.R. Spicer // TRRL Rep. LR 520, Transp. and Rd. Res. Lab. – Crowthorne, 1972.

214. Svensson, Å. A method for analysing the traffic process in a safety perspective. Doctoral thesis / Svensson, Å. –University of Lund, Lund Institute of Technology, Department of Traffic Planning and Engineering. 1998.177 p.

215. Transport and Road Research Laboratory classifications. TRRL Leaflet LF 914. Revision of traffic conflict severity May 1980.

216. Várhelyi, A. Dynamic Speed Adaptation Based on Information Technology – A Theoretical Background /A. Várhelyi // Bulletin 142, Dept. of Traffic Planning and Engineering. – Lund University, Lund, Sweden. 1996.

217. Waddell, P. UrbanSim: Modeling Urban Development for Land Use, Transportation and Environmental Planning / P. Waddell // J. of the American Planning Association. 2002. Vol. 68. No. 3. Pp. 297–314.

218. Schnabel, W. Grundlagen der Strassenverkehrstechnik und der Verkehrsplanung. 3-Volstaendig ueberarbeitete Auflage / W. Schnabel, Dieter Lohse. DIN, Kirscbaum, Beuth. Berlin, Wien, Zuerich, 2011. Band 1. – 619 p., Band 2. – 632 p.

219. Williams, M.J. Validity of the traffic conflicts technique /M. J. Williams. Accid. Anal. & Prec. Vol. 13, pp. 133-145. 1981.

220. Yokota, T. ITS Technical Note For Developing Countries / T. Yokota, R.J. Weiland. World Bank. 2014. 16 p.

221. Zegeer, C.V. Traffic Conflict Techniques for Safety and Operations. Observers Manual. Rep.№FHWA-IP-88-027. / M.R. Parker ,C.V. Zegeer. U.S. – Department of Transportation Federal Highway Administration. – 1989. 42p. [электронный ресурс]. Режим доступа: (https://www.fhwa.dot.gov/publications/research/safety/88027/88027.pdf)

222. Zegeer, C.V. «Traffic Conflicts, Erratic Maneuvers, and Near-Miss Accidents: State-of-the-Art»; KYP-76-81; HPR-PL-1(13); Part III B. /C.V. Zegeer. –Kentucky Transportation Center Research Report. Paper 1071. 1977. 38 p.

223. Xiong, Z. Cooper Intelligent transportation systems for smart cities: a progress review / Z. Xiong, H. Sheng, W. Rong, E. Dave// Science China Information Sciences. 2012. Vol. 55. Iss. 12. Pp. 2908–2914.

224. Zito, P. Toward an urban transport sustainability index: an European comparison / P Zito, G. Salvo G// EurTransp. Res. Rev. 2011. Vol. 3. Pp. 179–195.

ПРИЛОЖЕНИЕ А Методы анализа конфликтов дорожного движения

А.1 Метод дженерал моторс

Конфликты при повороте налево. Критерии конфликта. Перкинс (Perkins) и Харрис (Harris) выделяют [203] две дорожно-транспортных ситуации, которые определяют левоповоротные конфликты движения.

I – *ситуация.* Траектория движения транспортного средства 1, выполняющего левый поворот, пересекает траекторию движения транспортного средства 2, движущегося в прямом направлении, в результате чего транспортное средство 2 вынужденно выполнить маневр торможения. Критерий конфликта определяется *индикатором тормозного сигнала* транспортного средства 2, движущегося в прямом направлении (рисунок А.1).

II – *ситуация.* Транспортное средство 1, выполняющее маневр левого поворота, останавливается до завершения маневра, блокируя полосу движения транспортному средству 2, движущемуся в прямом направлении, и вынуждает его выполнить маневр уклонения со сменой полосы движения. *Критерий конфликта* определяется *индикатором смены полосы движения* транспортного средства 2, движущегося в прямом направлении (рисунок А.2).

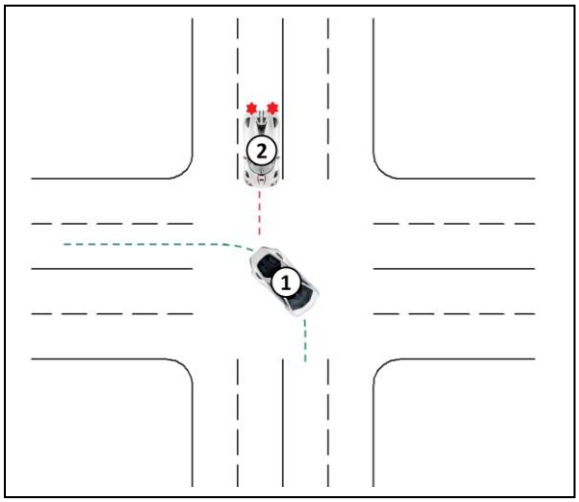


Рисунок А.1 – Конфликт при левом повороте –I

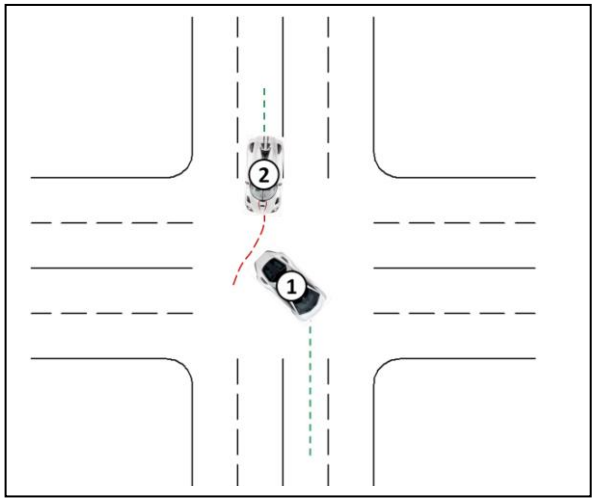


Рисунок А.2 – Конфликт левом повороте –II

Конфликт при переплетении траекторий движения транспортных средств. Критерии конфликта. Конфликт при переплетении траекторий движения (рисунок А.3) определяется как транспортная ситуация, в которой транспортное средство 1 выполняет маневр смены полосы движения в пределах 60 метров (200 футов) до перекрестка и вынуждает транспортное средство 2, движущееся по прямолинейной траектории выполнить маневр торможения.

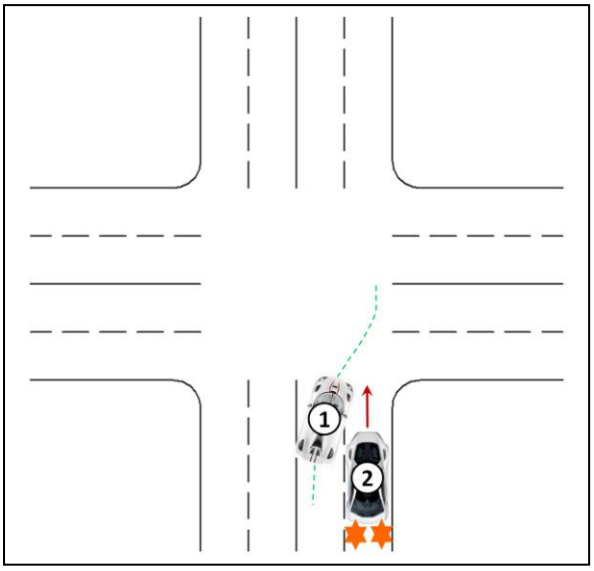


Рисунок А.3 – Конфликт при переплетении траекторий движения

Критерий конфликта определяется *индикатором тормозного сигнала* транспортного средства 2 движущегося в прямом направлении (рисунок А.1).

Конфликт при пересечении перекрестка на красный свет. Критерии конфликта. Конфликт, при пересечении перекрестка транспортным средством на красный сигнал светофора, определяется как ситуация (рисунок А.4), в которой транспортное средство въезжает на перекресток на красный сигнал светофора, либо на желтый сигнал светофора (или «мигающий» желтый сигнал) или до того как сигнал светофора перешел в красную фазу.

Критерий конфликта определяется *фактом въезда транспортного средства на перекресток на красный сигнал светофора*. Факт нарушения при пересечении перекрестка на красный свет определяется как конфликт.

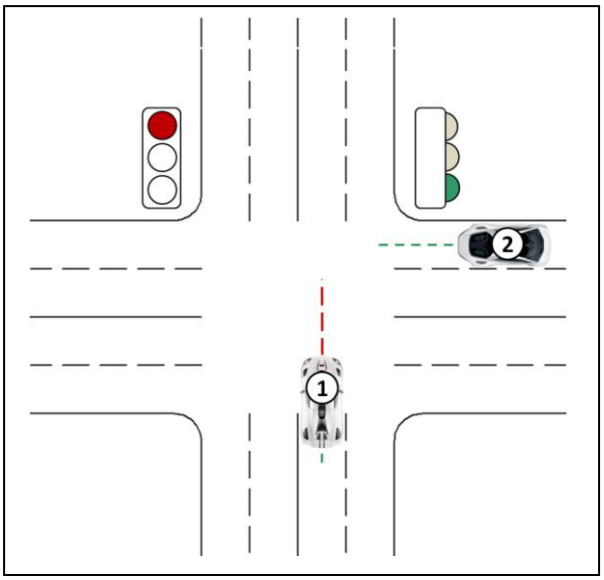


Рисунок А.4 – Конфликт при пересечении перекрестка на красный свет

Конфликт при повороте налево на красный сигнал светофора. Критерии конфликта. Конфликт при повороте налево на красный сигнал светофора, определяется как ситуация (рисунок А.5) в которой транспортное средство 1 выполняет левый поворот через перекресток на красный сигнал светофора, либо на желтый сигнал светофора (или «мигающий» желтый сигнал) или до того как сигнал светофора перешел в красную фазу.

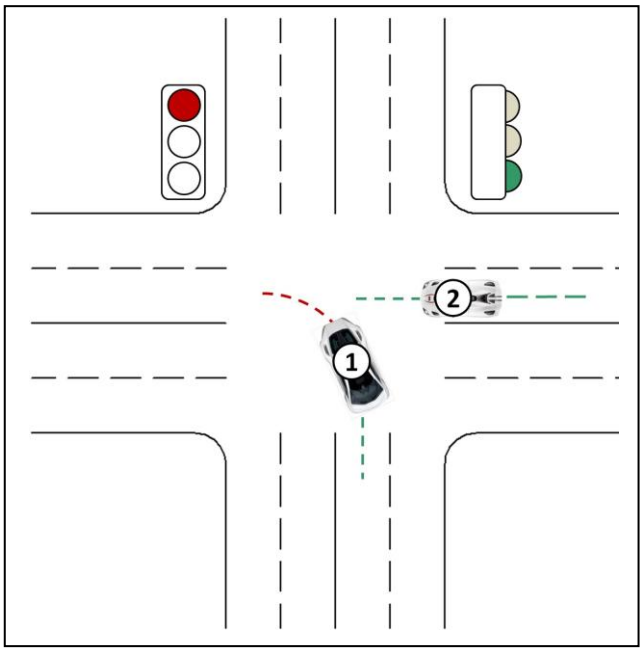


Рисунок А.5 – Конфликт при повороте налево на красный сигнал светофора

Критерий конфликта определяется фактом *въезда транспортного средства на перекресток на красный сигнал светофора*. Факт нарушения при повороте налево на красный сигнал светофора определяется как транспортный конфликт, при этом ни одно друге транспортное средство не должно находиться в непосредственной близости.

Конфликты при опасности заднего столкновения. Критерии конфликта. Конфликт при опасности заднего столкновения определяется как ситуация в которой транспортное средство неожиданно останавливается, в результате чего транспортное средство, следующее за ним, совершает маневр уклонения или торможения.

Согласно [203] выделяют три вида конфликта при опасности заднего столкновения.

1. Преждевременное торможение – ситуация, в которой транспортное средство преждевременно останавливается на светофоре, при этом, за ним следует еще одно транспортное средство.

2. Конфликт торможения – ситуация, в которой транспортное средство замедляет движение или выполняет маневр торможения, вследствие конфликтной ситуации, в то время как другое транспортное средство следует за ним.

3. Неуверенное (сомнительное) торможение – ситуация, в которой транспортное средство замедляет движение или выполняет маневр торможения в отсутствии другого конфликта, при этом существует транспортное средство, следующее за ним.

Критерий конфликта. Для каждого из вышеперечисленных трех видов конфликта критерием конфликта будет являться *маневр уклонения (переплетение траекторий) или торможения.*

Последовательно рассмотрим три вида конфликтов при опасности заднего столкновения.

Конфликт при опасности заднего столкновения. Преждевременное торможение. Конфликт при опасности заднего столкновения (рисунок А.6),

по причине преждевременного торможения, определяется как ситуация, в которой транспортное средство 1 преждевременно прекращает движение (выполняет маневр торможения) по светофорному сигналу, вынуждая следующее за ним транспортной средство 2 выполнить маневр торможения или уклонения (переплетение траекторий), при этом, транспортное средство 2 могло бы войти в зону перекрестка без нарушения.

Если, например, транспортное средство (2) приближается к перекрестку со скоростью 50 км/ч (13,8м/с) и до смены сигнала светофора с зеленого на желтый остается 4 секунды, и если расстояние до перекрестка составляет меньше 50 метров, то транспортное средство 2 может въехать на перекресток без нарушений.

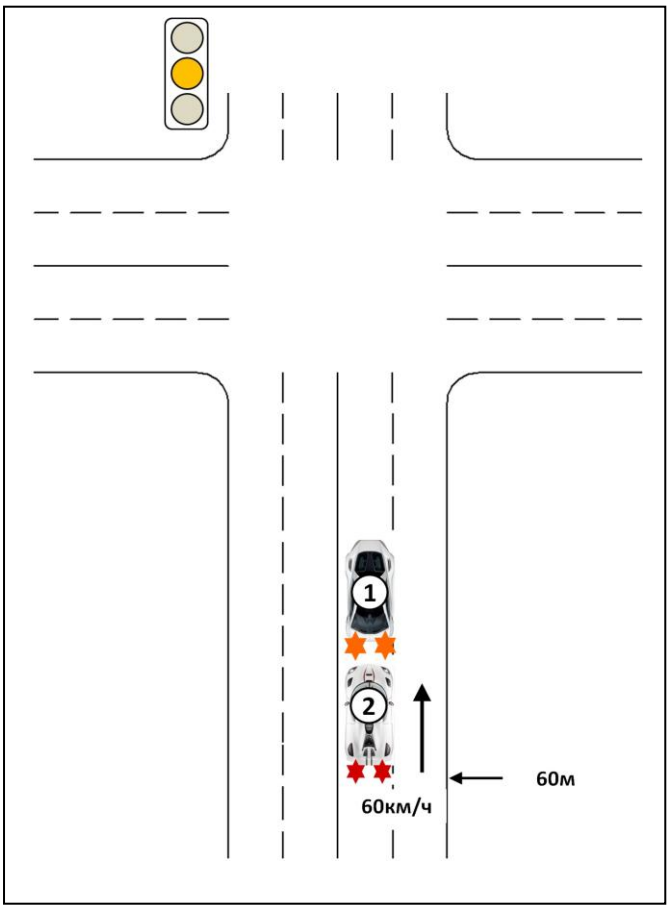


Рисунок А.6 – Конфликт при опасности заднего столкновения по причине преждевременного торможения

II. Конфликт при опасности заднего столкновения. Конфликт торможения. Конфликт при опасности заднего столкновения по причине конфликта торможения определяется как ситуация, в которой транспортное средство замедляет движение или выполняет маневр торможения, так как вовлечено в конфликт, что вынуждает транспортное средство, следующее за ним выполнить маневр уклонения. Рассмотрим пример на рисунке А.7.

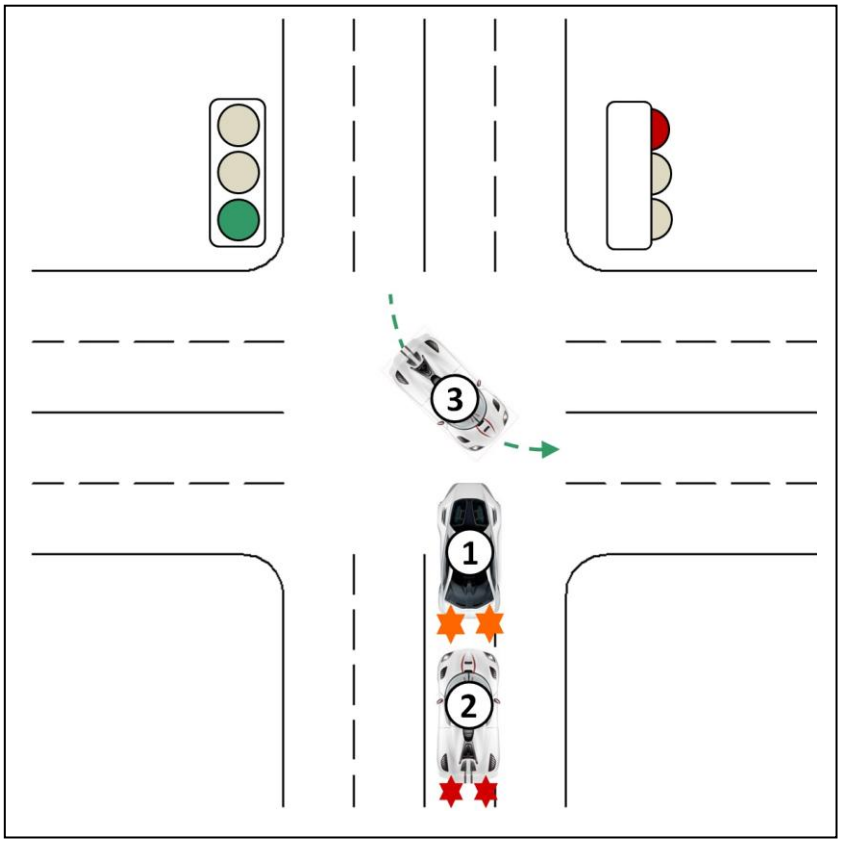


Рисунок А.7 – Конфликт при опасности заднего столкновения по причине конфликта торможения

Если транспортное средство 1 замедляет движение или выполняет маневр торможения, вследствие конфликта при повороте налево транспортного средства 3, данная ситуация будет называться конфликтом при опасности заднего столкновения по причине конфликта торможения, если транспортное средство 2 выполняет маневр вынужденного торможения, или уклонения (переплетения траекторий), чтобы избежать столкновения с транспортным средством 1.

III. Конфликт при опасности заднего столкновения. Неуверенное (сомнительное) торможение. Конфликт при опасности заднего столкновения при неуверенном (сомнительном) торможении – определяется как ситуация в которой транспортное средство останавливается на перекрестке при отсутствии какого-либо конфликта, в результате следующее за ним транспортное средство вынуждено совершить маневр торможения или уклонения. Рассмотрим пример на рисунке А.8.

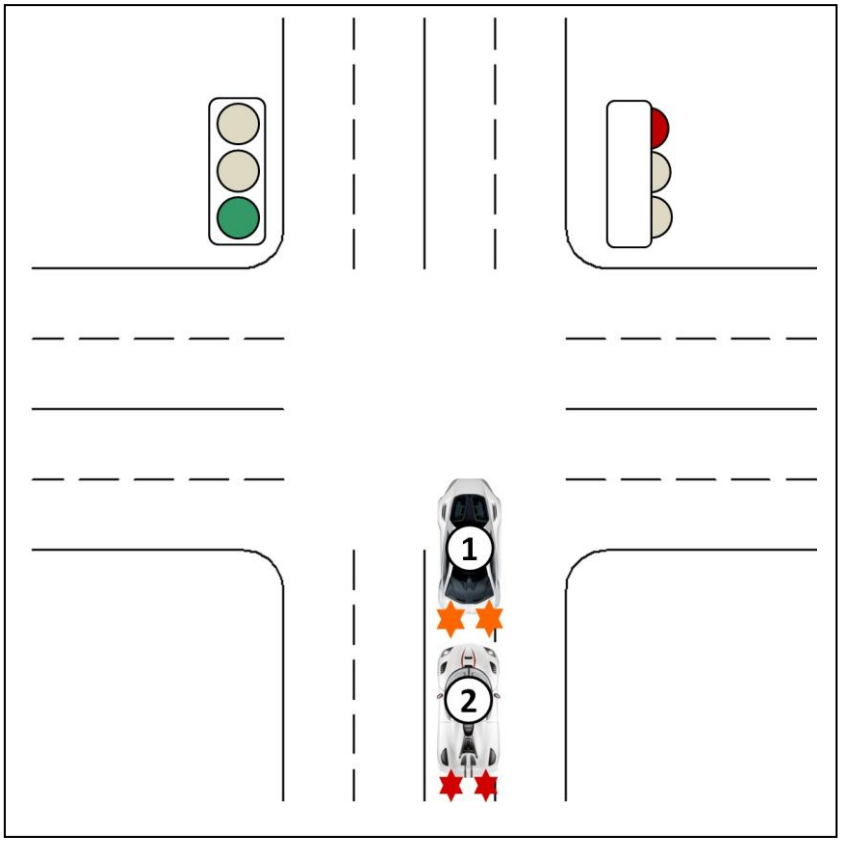


Рисунок А.8 – Конфликт при опасности заднего столкновения при неуверенном (сомнительном) торможении

Транспортное средство 1 приближается к чистому (свободному от транспортных средств) перекрестку на зеленый сигнал светофора и выполняет маневр торможения, прежде чем пересечь перекресток. Если за транспортным средством 1 следует еще одно транспортное средство 2, которое в случае остановки транспортного средства 1 вынуждено выполнить

маневр уклонения, то такая ситуация носит название конфликт при опасности заднего столкновения.

Конфликт, обусловленный красной сигнальной стрелкой правого поворота. Критерии конфликта. Конфликт, обусловленный красной сигнальной стрелкой правого поворота определяется как ситуация (рисунок А.9) в которой транспортное средство 1 выполняет правый поворот перед включением запрещающего сигнала правого поворота - «красная стрелка» и непосредственно перед транспортным средством 2 движущемся через перекресток в прямом направлении на зеленый сигнал светофора.

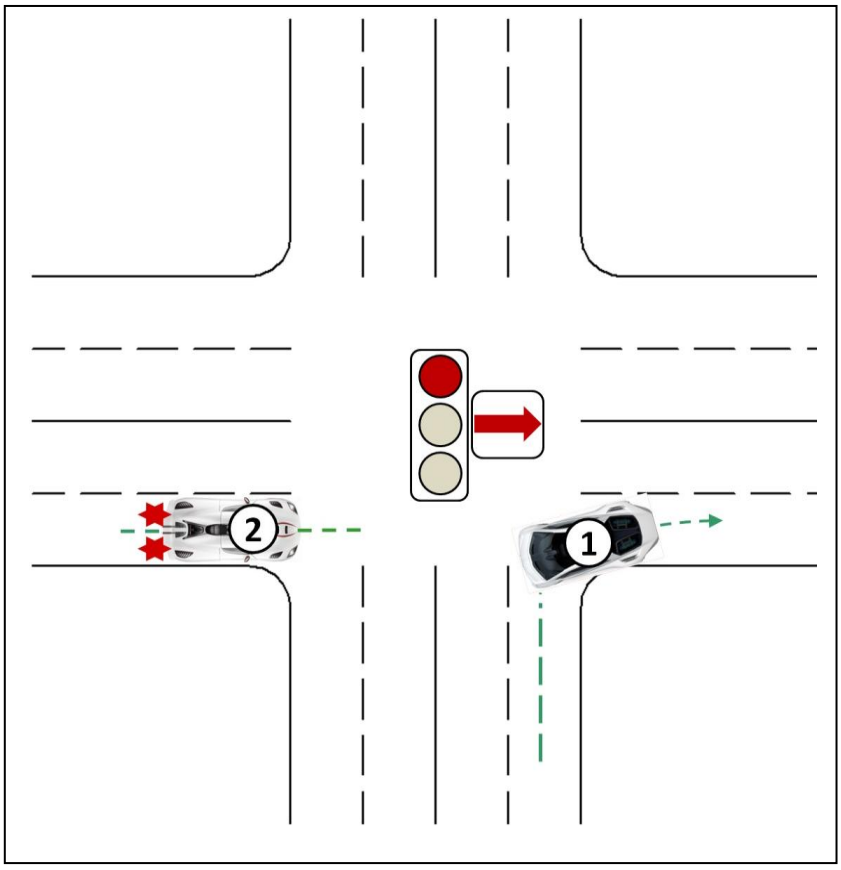


Рисунок А.9 – Конфликт, обусловленный красной сигнальной стрелкой запрещающей маневр правого поворота

Критерий конфликта определяется *индикатором тормозного сигнала* транспортного средства 2 движущегося в прямом направлении через перекресток.

Порядок проведения измерений на перекрестках. Согласно [203] сбор данных для измерения и определения транспортных конфликтов на перекрестках должен осуществляться методом прямого наблюдения в течение трех периодов по 12 часов на каждом из исследуемых перекрестков. В течение первых двух периодов наблюдений – по одному периоду на каждое пересечение дорог. Точка наблюдения должна располагаться позади перекрестка, таким образом, что бы наблюдатель мог рассмотреть конфликты определяемые критерием стоп-сигнала транспортного средства.

Наблюдение критерия тормозного стоп сигнала. Транспортные конфликты, которые определяются по критериям сигнала тормозного света транспортного средства (рисунок А.10), должны наблюдаться с позиции расположенной примерно в 100м позади перекрестка.

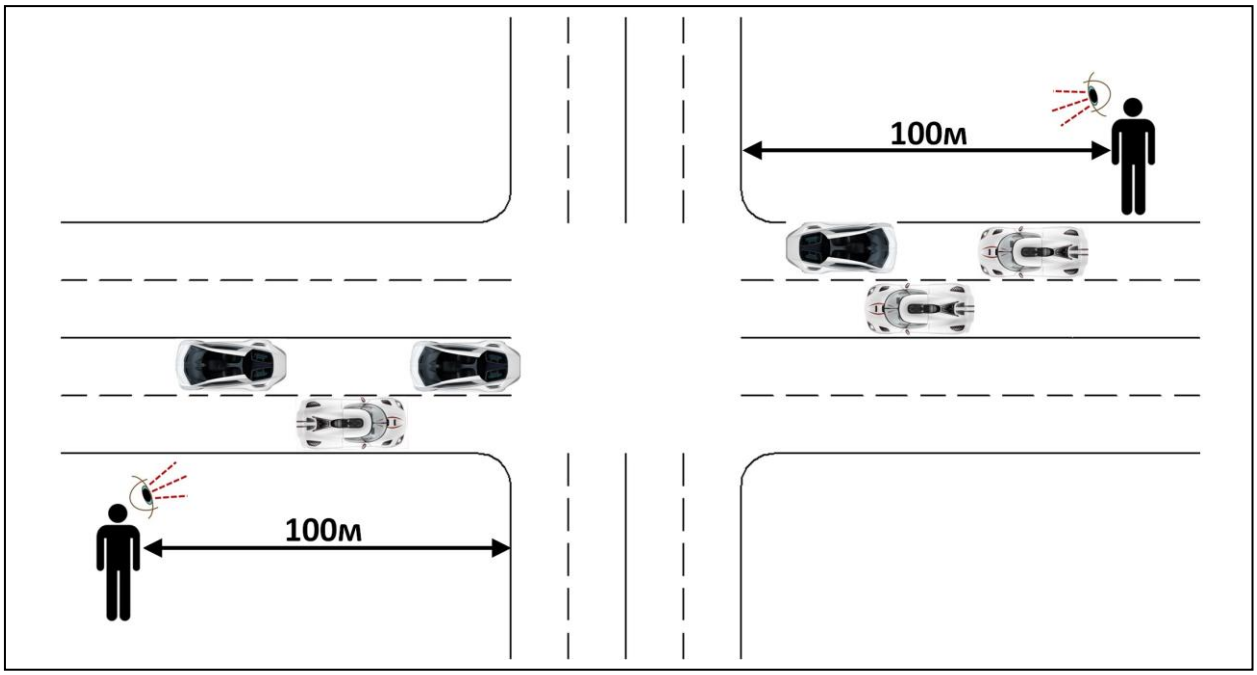


Рисунок А.10 – Наблюдение критерия стоп сигнала

С расстояния 100м. можно, как правило, наблюдать все транспортные средства, которые останавливаются на светофоре, и могут проехать через перекресток в течение зеленого светофорного такта. Кроме того фиксируются и подсчитываются все транспортные средства, которые выполняют маневр торможения, замедления или спокойного движения.

Поскольку тормозные огни играют важную роль в этом методе исследования, особо внимательно фиксируется процесс торможения (остановки) транспортного средства, для того чтобы обнаружить и зафиксировать те транспортные средства, которые имели стоп-сигналы и те, которые таковых не имели. Типовая форма a1 для сбора о данных критериев стоп-сигнала приведена на рисунке А.12

Наблюдение критериев движения трафика. В течение одного двенадцати часового периода на каждом перекрестке необходимо провести наблюдения различных критериев движения трафика таких как: нарушение при движении на красный свет, нарушения при поворотах, нарушения при смене полосы движения. Позиция наблюдения располагается согласно рисунку А11.

Типовая форма b1 для записи о данных критериев конфликта при движения трафика методом Дженерал моторс [203] для наблюдателя приведена на рисунке А.13.

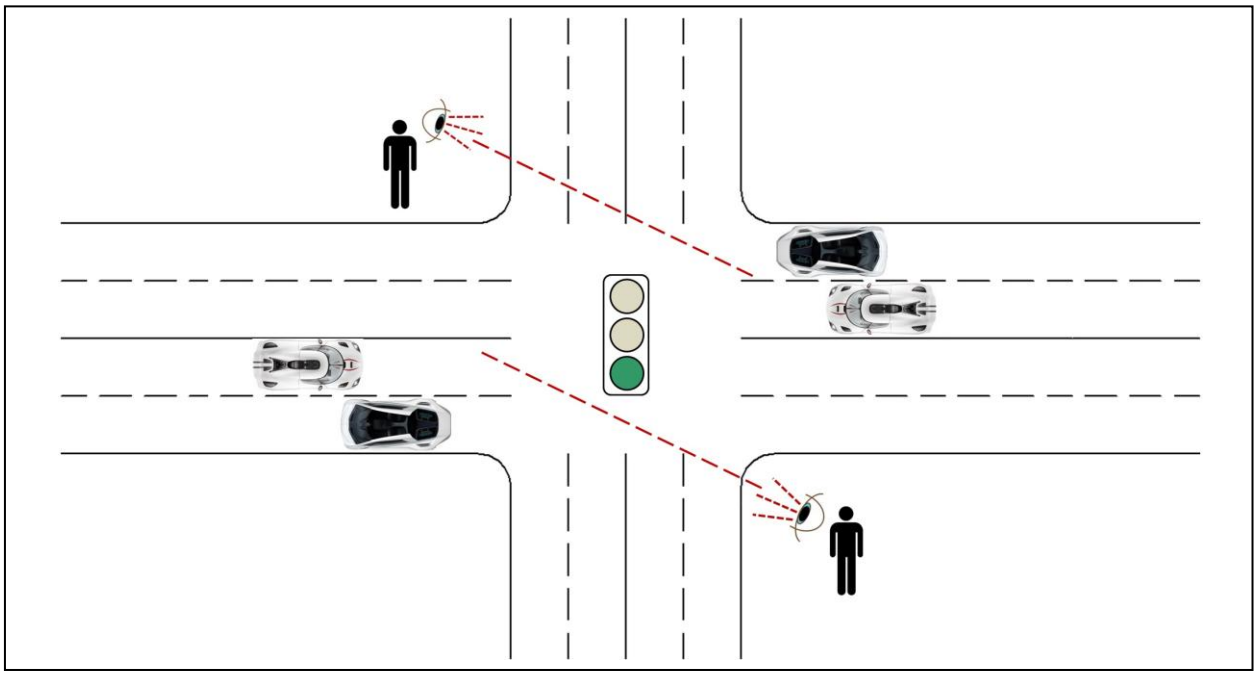


Рисунок А.11 – Наблюдение критериев движения трафика

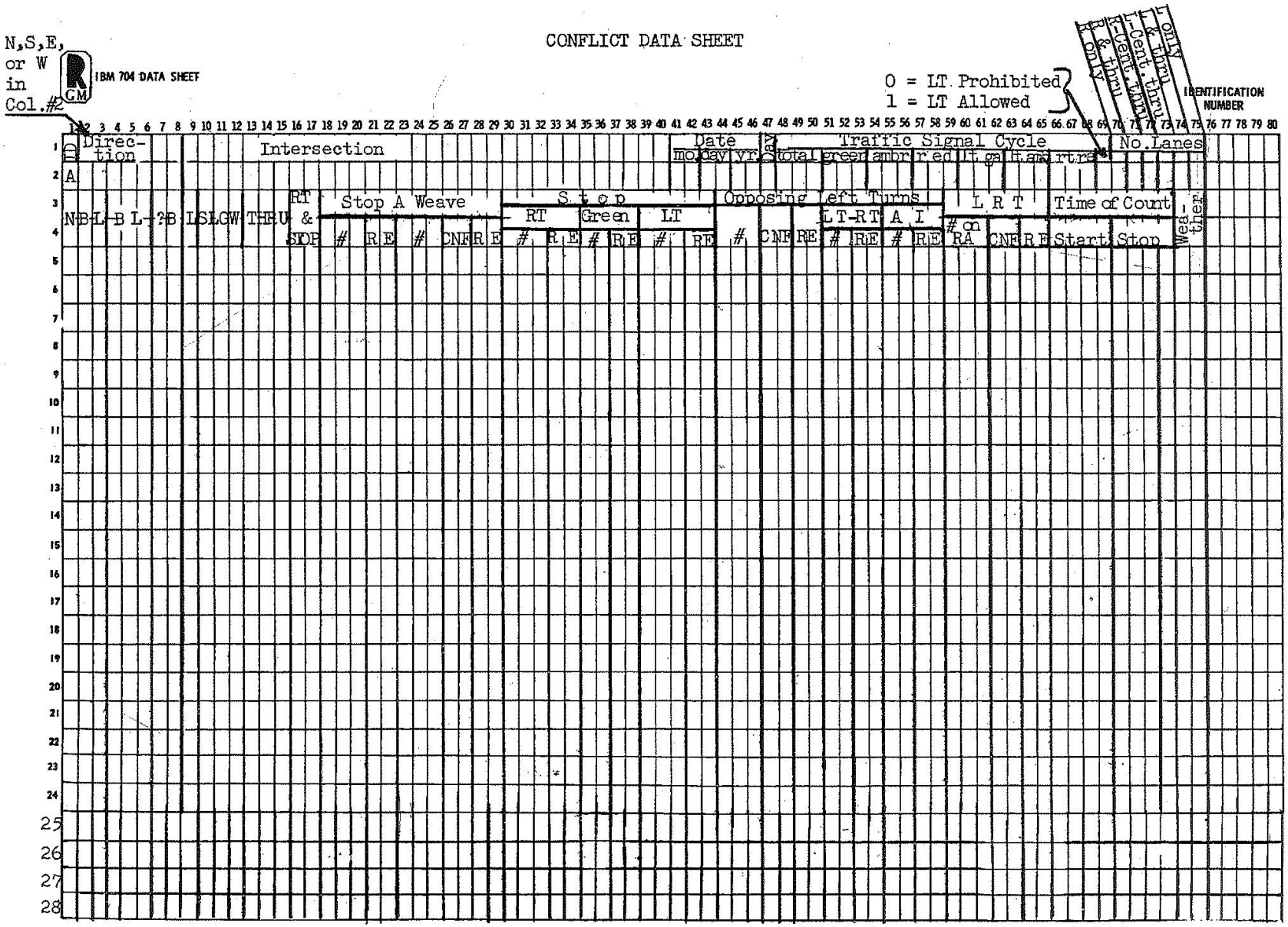


Рисунок А.12 – Оригинальная форма а1 для записи критериев конфликта согласно методу Дженерал моторс [203]

Расшифровка формы а1 (рисунок А.12)

Один наблюдательный лист используется для каждого направления движения.

Строка 2 формы А используется для идентификации перекрестка и конструкционных особенностей наблюдаемого участка дороги.

Столбец 1.

ID – идентификационный номер

A – номер конфликта

B – номер трафика

Столбец 2.

Direction of road – направление дороги

N – север, S – юг, E – восток, W – запад

Столбец 9-40.

Name of intersection – название перекрестка

Столбец 41-46

Date – дата

Столбец 47

Day of week – день недели

Столбец 48-50

Traffic signal cycle – цикл светофорного регулирования

total time – общее время (сек)

Столбец 51-53

Green signal time – время работы зеленой фазы светофора

Столбец 54-56

Amber signal time – время работы желтой фазы светофора

Столбец 57-59

Red signal time – время работы красной фазы светофора

Столбец 60-62

Left-turn green arrow time – время работы фазы зеленой стрелки разрешающей поворот налево

Столбец 63-65

Left-turn amber time – время работы желтой фазы при повороте налево

Столбец 66-68

Right-turn red arrow time – время работы фазы красной стрелки запрещающей поворот направо

Столбец 69

LT – Left-turn – поворот налево

0 = LT. Prohibited – поворот налево запрещен

1 = LT. Allowed – поворот налево разрешен

Столбец 70

Right-turn only – только поворот направо

Number of lanes – количество полос движения

Столбец 71

R& thru – Right-turn and-thru lanes – количество полос при повороте направо и в прямом направлении

Столбец 72

Right center lanes, thru only – правые центральные полосы (исключен поворот направо), проезд только в прямом направлении

Столбец 73

Left center lanes, thru only – левые центральные полосы (исключен поворот на лево), проезд только в прямом направлении

Столбец 74

Left-turn and thru lanes – полосы левого поворота и в прямом направлении

Столбец 75

Left-turn, only lanes – полосы только левого поворота

Линия 5-28 используется для записи данных наблюдения в течение каждого 15 минутного периода

Столбец 1-3

Stopped vehicles – количество временно остановившихся транспортных средств

No brake lights – количество транспортных средств без работающих тормозных огней

Number of vehicles – количество транспортных средств

Столбец 4-6

Stopped vehicles, brake lights operating – количество остановившихся транспортных средств, с работающими тормозными огнями

Столбец 7-9

Stopped vehicles, brake lights not observed – количество остановившихся транспортных средств, тормозные огни которых были недоступны для наблюдения с позиции наблюдателя

Столбец 10-12

Slowed vehicles, brake-light indication – количество транспортных средств у которых при замедлении наблюдались тормозные огни

Столбец 13-15

Thru vehicles, no brake-light indication – транспортные средства, проезжающие в прямом направлении без включения тормозных огней

Столбец 16-17

Stopped vehicles, that turned right – количество транспортных средств остановившихся при повороте направо

Столбец 18-20

Vehicles stopping on, amber signal – количество остановившихся транспортных средств на желтый сигнал светофора

Столбец 21-22

Rear-end conflicts, premature stopping – фиксирование конфликтов при опасности заднего столкновения по причине преждевременного торможения

Столбец 23-25

Weave vehicles – фиксирование транспортных средств, с переплетением траектории движения

Столбец 26-27

Weave conflicts – фиксирование конфликтов переплетения

Столбец 28-29

Rear-end conflict following weave conflict – фиксирование конфликта опасности заднего столкновения, следующего после конфликта переплетения.

Столбец 30-32

Right-turn vehicles stopping or slowing in thru lane, green signal – машины, совершающие поворот направо, которые останавливаются или замедляются в полосах где разрешено движение только в прямом направлении на зеленый сигнал.

Столбец 33-34

Rear-end conflict, stopping right-turn vehicle followed by thru vehicle – конфликт опасности заднего столкновения, останавливающегося транспортного средства, которое совершает правый поворот и за которым следуют транспортные средства, движущиеся в прямом направлении.

Столбец 35-36

Thru vehicles stopping on green signal – транспортные средства, останавливающиеся на зеленый сигнал, которые следуют в прямом направлении.

Столбец 37-38

Rear-end conflict following thru vehicle stopping on green signal – конфликт заднего столкновения транспортных средств, которые проезжают в прямом направлении и останавливаются на зеленый сигнал.

Столбец 39-41

Left-turn lane premature stopping, number of vehicles – число транспортных средств, которые останавливаются при повороте налево.

Столбец 42-43

Rear-end conflicts following left-turn premature stop – конфликт заднего столкновения транспортных средств, которые останавливаются при повороте налево

Столбец 44-46

Number of opposing left-turn vehicles – количество транспортных средств, движущихся навстречу левоповоротного движения с других полос

Столбец 47-48

Left-turn conflicts – фиксирование конфликтов при повороте налево

Столбец 49-50

Rear-end conflict following left-turn conflict – конфликт заднего столкновения следующий за конфликтом левого поворота

Столбец 51-52

Left-turn vehicles crossing directly in front of signaling right-turn vehicle – транспортные средства, совершающие левый поворот и пересекающие непосредственно траектории движения транспортных средств, сигнализирующих выполнение маневра правого поворота

Столбец 53-54

Rear-end conflicts following left-turn right-turn incident – конфликт заднего столкновения следующий после аварии левого или правого поворота

Столбец 55-56

Vehicles slowing in center of intersection – транспортные средства, которые останавливаются посередине перекрестка

Столбец 57-58

Rear-end conflict following vehicle slowing in center of intersection – конфликт заднего столкновения, следующий после замедления транспортного средства посередине перекрестка

Столбец 59-61

Perpendicular right-turn vehicles on red arrow – транспортные средства, движущиеся перпендикулярно правоповоротному движению при включенной красной стрелки

Столбец 62-63

Right turn on red arrow conflicts – конфликт при совершении правого поворота когда включена красная стрелка (запрещающая поворот)

Столбец 64-65

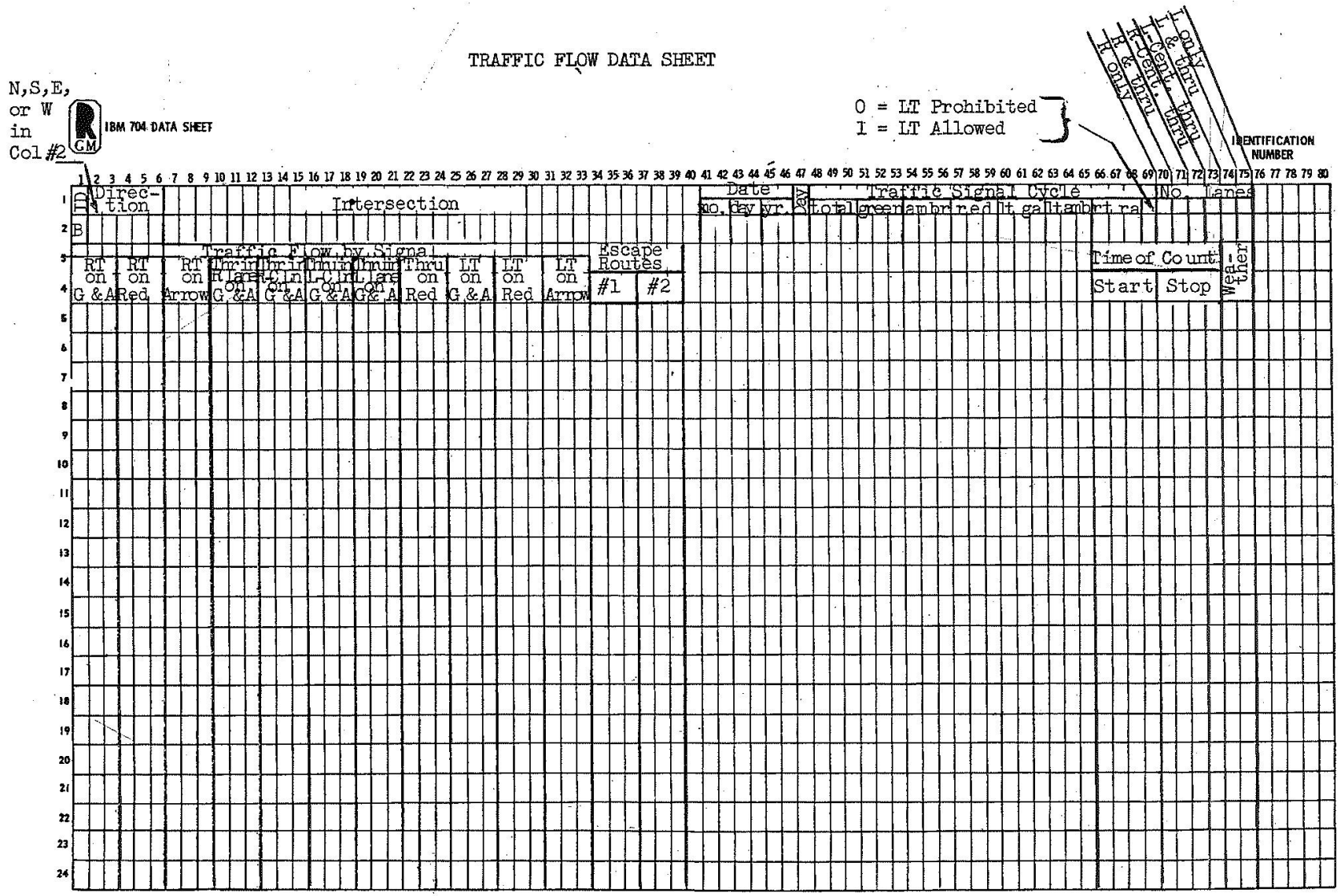
Rear-end conflict following right turn on red arrow conflict – конфликт заднего столкновения следующий после конфликта правого поворота при включенном сигнале красной стрелки (запрещающей поворот направо)

Столбец 66-73

Time of count – время отсчета

Столбец 74-75

Weather condition – погодные условия в момент наблюдения



РисунокА.13 – Оригинальная форма для записи движения трафика согласно методу Дженерал моторс [203]

Расшифровка формы b1 критерии движения трафика (Рисунок А.13)

Один наблюдательный лист (форма b1) используется для каждого направления движения.

Строка 2

Используется для идентификации перекрестка и конструкционных особенностей наблюдаемого участка дороги.

Строка 5-24

Используются для записи данных, наблюдаемых в течение каждого 15-ти минутного периода.

Столбец 1-3

Right turn on green and amber – фиксирование правого поворота на зеленый сигнал светофора

Столбец 4-6

Right turn on red signal – фиксирование правого поворота на красный сигнал светофора

Столбец 7-9

Right turn on arrow – стрелка сигнализирующая поворот направо

Столбец 10-12

Thru vehicles, right lane, on green and amber – фиксирование транспортных средств, движущихся в прямом направлении и по правой полосе на зеленый и желтый сигнал светофора

Столбец 13-15

Thru vehicles, right-center lane, on green and amber – фиксирование транспортных средств, движущихся в прямом направлении и по право-центральной полосе на зеленый и желтый сигнал светофора

Столбец 16-18

Thru vehicles, left-center lane, on green and amber – фиксирование транспортных средств, движущихся в прямом направлении, лево-центральная полоса на зеленый и желтый сигнал светофора

Столбец 19-21

Thru vehicles, left lane, on green and amber – фиксирование транспортных средств, движущихся в прямом направлении и левой полосе на зеленый и желтый сигнал светофора

Столбец 22-24

Thru on red signal – фиксирование движения в прямом направлении на красный сигнал светофора

Столбец 25-27

Left turn on green and amber – фиксирование левого поворота на зеленый и желтый сигнал светофора

Столбец 28-30

Left turn on red signal – фиксирование левого поворота на красный сигнал светофора

Столбец 31-33

Left turn on arrow – стрелка левого поворота

Столбец 34-36

Escape Route 1 – избежание маршрута 1

Столбец 35-37

Escape Route 2 – избежание маршрута 2

Столбец 66-73

Time of count – время отсчета

Столбец 66-73

Weather condition – погодные условия в момент наблюдения

А.2 Голландский объективный метод анализа конфликтов дорожного движения

Голландский метод наблюдения конфликтов (technique DOCTOR) представляет собой стандартизированный метод наблюдения с объективной и хорошо проработанной программой подготовки квалифицированных наблюдателей.

Поведение участников транспортного движения, вовлеченных во взаимный конфликт согласно [185], можно разделить на две стадии.

Первая стадия относится к возникновению конфликтной ситуации, от начала совпадения встречных траекторий движения транспортных средств до инициирования и осуществления маневра уклонения во избежание столкновения.

Вторая стадия содержит аспекты решения транспортных конфликтов дорожного движения для совершенствования безопасности дорожного движения.

Стадия возникновения конфликта дорожного движения. Характеристики, влияющие на возникновение транспортного конфликта согласно [185] включают: способы участия участников дорожного движения, скоростную технику вождения, курсы столкновения и тип маневрирования.

Способы участия участников дорожного движения. Участники дорожного движения могут вызывать конфликты посредством различного транспортного поведения, такого как вождение, с относительно высокой скоростью; изменение траектории движения; нарушения правил дорожного движения; и опасное вождение. Подобное поведение одного из участников дорожного движения, при отсутствии информированности другого, является частым признаком порождения транспортного конфликта.

Примером подобной конфликтной ситуации может быть внезапный выход из транспортного средства участника дорожного движения в момент аварийной остановки и угроза возникновения потенциального ДТП (рисунок А.14)

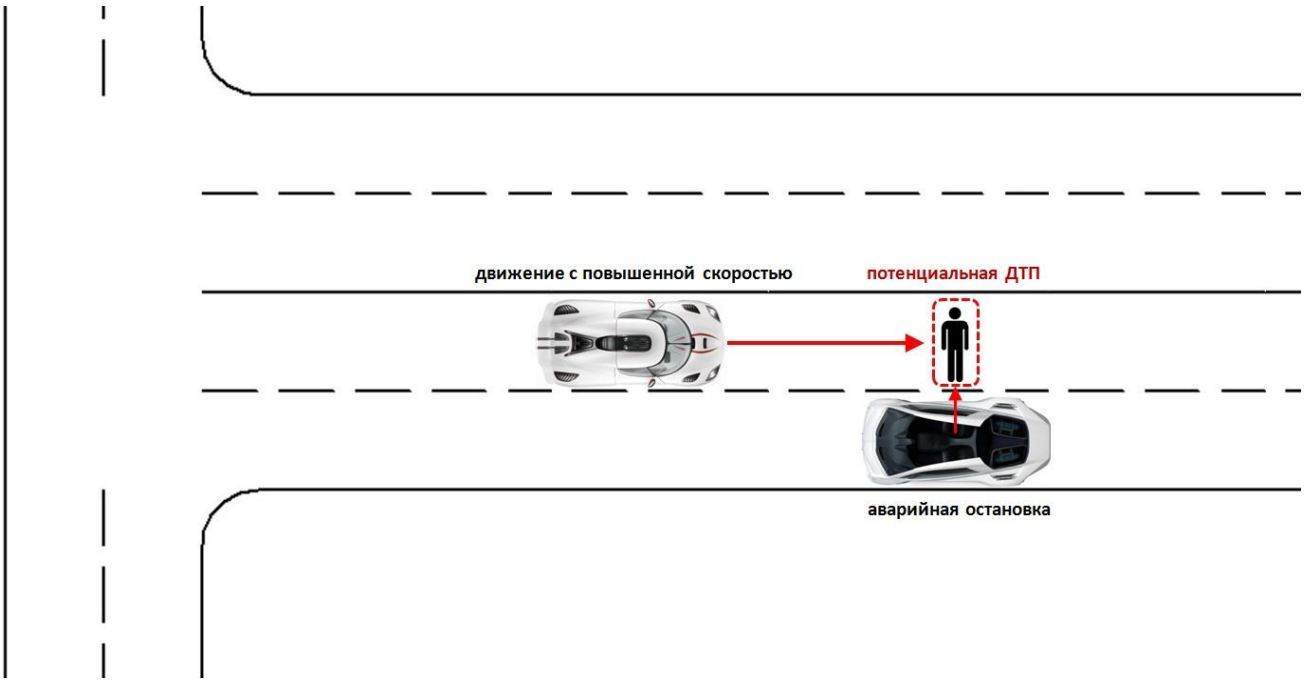


Рисунок А.14 – Пример транспортной конфликтной ситуации

Предварительное предупреждение конфликтной ситуации одним из участников дорожного движения снижает вероятность появление ДТП.

Скоростная техника вождения. Участник транспортного движения может, создавать определенные дорожно-транспортные ситуации в процессе поездки, изменяя скорость движения от медленной до крайне высокой. Последнее обусловлено техническими характеристиками транспортного средства, психофизическим состоянием водителя, состоянием дорожной инфраструктуры и погодных условий.

Траектория движения. Участник транспортного движения может осуществлять выбор, как маршрута, так и траектории движения. Транспортная ситуация и техника вождения конкретного лица управляющего транспортным средством определяет такие характеристики процесса вождения как боковые интервалы, смена полосы движения, расположение транспортного средства на полосе движения, выполнение маневров поворота, разворота, обгона или вынужденных маневров уклонения, экстренное торможение или ускорения.

Аспекты решения транспортных конфликтов дорожного движения. Процесс формирования решения транспортных конфликтов дорожного движения, согласно технике DOCTOR [185], включает элементы, участвующие на стадиях его возникновения, а именно: способы участия участников дорожного движения; скорость движения; траектория движения.

Способы участия участников дорожного движения. Один из участников дорожного движения (или все участники) совершает(ют) действие(я), позволяющее перейти к контролю за процессом выхода из состояния транспортного конфликта. Скорость реакции маневра уклонения определяет период выхода участников транспортного движения из состояния транспортного конфликта.

Скорость движения транспортного средства. Скорость движения транспортного средства определяет потенциальное дорожное пространство необходимое для маневра уклонения. Таким образом, транспортная конфликтная ситуация может быть разрешена снижением скорости движения его участников.

Траектория движения. Изменение траектории движения происходит посредством маневра уклонения. Маневр уклонения согласно данного метода [185] представляет собой коррекцию курса при изменении скорости движения (или без изменения). Однако не исключен тот факт, что смена траектории движения может послужить причиной нового транспортного конфликта.

Методические инструкции. Методические инструкции состоят из трех частей: I – общей части; II – части, которая описывает тяжесть конфликта в зависимости от участноков ДТП и III – части включающей специальные случаи. Таблица А.1 иллюстрирует организацию и схематический план методической инструкции в соответствии с [185].

Таблица А.1 – Организация и схематический план методической инструкции анализа

I – Общая часть
Столкновения
Критические ситуации
Обнаружение
Траектория столкновения
II Учет тяжести конфликтов
автомобиль-автомобиль
автомобиль – велосипедист
автомобиль – пешеход
велосипедист – велосипедист
велосипедист – пешеход
III Специальные ситуации
Слияние / сворачивание как действие уклонения
Последствия повреждений
Неожиданные ситуации

Транспортный конфликт согласно [185] представляет собой критическую ситуацию трафика, в котором два (или более) участников дорожного движения приближаются друг к другу таким образом, что столкновение неизбежно, при этом существует угроза повреждения или материального ущерба, если их курс и скорость остаются неизменными.

Тяжесть конфликта определяется как вероятность столкновения и степени последствий, в том случае если бы произошло столкновение.

Эти последствия могут включать как травмы, так и материальный ущерб. После обнаружения конфликтной ситуации, в первую очередь,

наблюдатель должен произвести полное суждение о характере ее серьезности по шкале от 1 до 5 (от легкого до очень тяжелого).

После этой оценки вычисляется вероятность столкновения и степень последствий конфликтной ситуации.

Вероятность столкновения определяется с учетом времени до столкновения (ttc) и / или времени после нарушения (pet).

Последовательность регистрации конфликта. Оригинальная форма для регистрации транспортного конфликта. Метод DOCTOR включает следующие последовательности регистрации конфликта:

1. *Наблюдение.* Для каждой конфликтной ситуации заполняется форма DOCTOR (Рисунок А.15 и Рисунок А.16), которая включает информацию об объекте наблюдения, о состоянии окружающей среды (погодные условия), о состоянии дорожного покрытия. Эти данные заполняются в течение периода наблюдения и могут быть изменены в течение периода наблюдения.

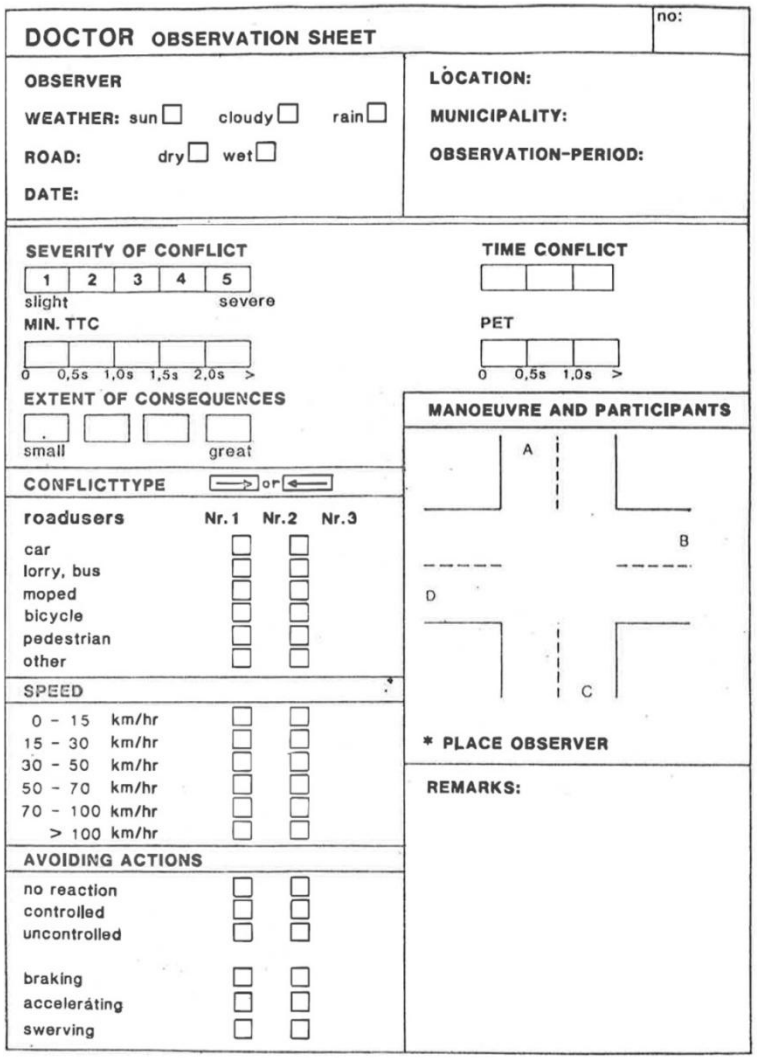


Рисунок А.15 – Оригинальная форма DOCTOR

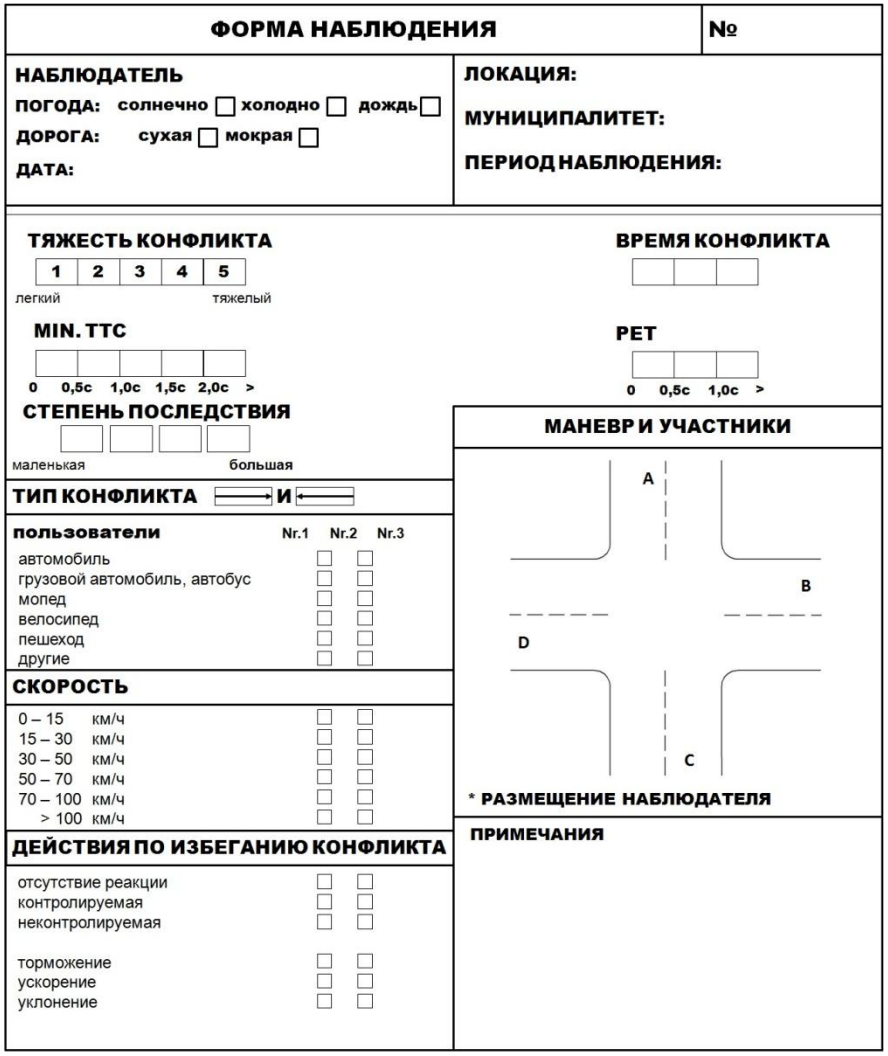


Рисунок А.16 – Форма DOCTOR (на русском языке)

2. *Определение степени тяжести конфликта.* После обнаружения конфликтной ситуации, наблюдатель должен определить степень тяжести конфликта в соответствии со шкалой от 1до 5 (от легкого до тяжелого). Так же определяется вероятность столкновения, и степень тяжести последствий, если бы столкновение произошло. Последние зависят от сочетания таких характеристик как различие в скорости движения, пространства маневрирования, углов траектории движения, видов участников дорожного движения, и.т.д. Кроме того параметр времени должен быть так же зарегистрирован с максимальной точностью.

3. *Определение минимального значения TTC и/или PET.* Вероятность столкновения определяется оценкой минимального значения TTC. Однако помимо ситуаций с TTC так же могут происходить ситуации с PET, или ситуации с минимальным значением TTC и минимальным значением PET. В тех случаях когда ситуация с PET так же имеет место, расчетное время PET фиксируется в форме.

4. *Степень последствий (тяжесть травмы/повреждений)*. Если бы возможное столкновение произошло, то оценка должна была быть сделана из того, насколько серьезный возможный результат столкновения мог бы быть.

Безусловно, столкновение между велосипедистом и грузовиком может иметь иной исход, чем заднее столкновение двух легковых автомобилей. Кроме того, скорости участников дорожного движения, характер маневра определяют степень тяжести возможного ДТП. В форме должна быть отражена степень тяжести таких последствий (от крайне незначительных до тяжелых).

5. *Определение типа конфликта (тип конфликта)*. В этом разделе заполняется информация об участниках дорожного движения. С помощью стрелок указывается информация о том, какой участник дорожного движения к кому приближается.

6. *Определение скорости движения (скорость)*. Определяются скорости движущихся участников дорожного движения, вовлеченных в конфликтную ситуацию, только в начальный момент маневра уклонения. В том случае, если бы авария не произошла, величины этих скоростей определили бы степень тяжести последствий от столкновения.

7. *Определение маневра уклонения (действия во избежание конфликта)*. Регистрируется ряд аспектов выполняемого маневра уклонения: отсутствие реакции, контролируемая или неконтролируемая реакция, и тип действия (торможение, ускорение, уклонение).

8. *Схематичный рисунок маневра (маневр и участники)*. На карте местоположения исследуемого участка транспортной сети (дороги) регистрируются участники дорожного движения и их характеристики движения с указанием того, какое транспортное средство имеет номер 1, а какое 2, а так же позиция наблюдателя.

9. *Примечания.* Наблюдатель фиксирует свое собственное мнение о наблюдаемой ситуации. Раскрываются вопросы причины конфликта, возможные варианты во избежание столкновения. Так же указываются возможные причины оказывающие влияние на наблюдаемую ситуацию.

В конце координатор исследовательской группы проверяет правильность и полноту формы наблюдения.

ПРИЛОЖЕНИЕ Б

Пример анализа участка улично-дорожной сети методом аксиоматической организации

Рассмотрим реальную транспортную ситуацию на участке УДС г. Санкт-Петербурга представленную на рисунке Б.1 и проведем ее анализ согласно разработанным аксиоматическим принципам.

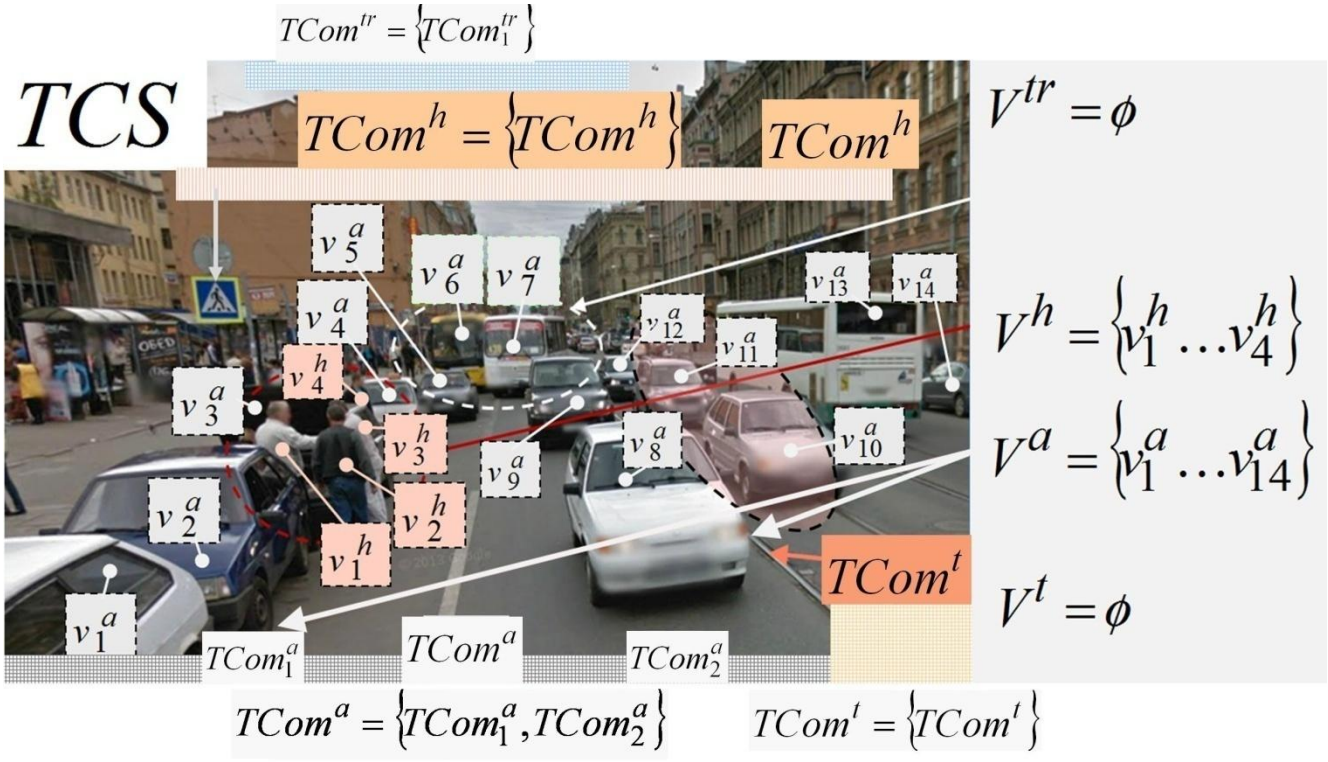


Рисунок Б.1 – Анализ участка уличной дорожной сети

Анализ исходных данных

В анализируемом участке УДС структура коммуникаций не соответствует (2.19), поэтому символ «*TCom»* носит обобщенный функциональный смысл.

TCS э $\langle TCom^a, TCom^t, TCom^h, TCom^{tr} \rangle$ – элементы ТКС.

$TCom^a = \{TCom_1^a, TCom_2^a\}$ – автомобильная коммуникация;

$TCom^h = \{TCom_1^h\}$ – пешеходная коммуникация;

$TCom^t = \{TCom\ _1^t\}$ – трамвайная коммуникация;

$TCom^{tr} = \{TCom_1^{tr}\}$ – троллейбусная коммуникация;

$V \ni \langle V^a, V^t, V^h, V^{tr} \rangle$ – ПТО.

$V^a = \{v_1^a \ldots v_{14}^a\}$ – множество автомобильных транспортных средств;

$V^h = \{v_1^h \ldots v_4^h\}$ – множество пешеходов;

$V^{tr} = \phi$ – множество троллейбусных транспортных средств;

$V^t = \phi$ – множество трамвайных транспортных средств;

$k(v_1^a - v_5^a, v_8^a - v_{12}^a, v_{14}^a) =$ I - индивидуальные транспортные средства;

$k(v_6^a, v_7^a, v_{13}^a) =$ II – пассажирские транспортные средства.

Аксиоматический анализ

$TCom_1^a$: нарушены – аксиома, целевая функция и условие работоспособности коммуникации движения:

$$\lfloor v_1^a \ldots v_6^a \rfloor \in TCom_1^a : \underset{\lfloor v_1^a \ldots v_6^a \rfloor}{|v(t)} = 0$$

$TCom_2^a$: нарушены – аксиома, целевая функция и условие работоспособности коммуникации движения:

$$\lfloor v_7^a \rfloor \in TCom_2^a : \underset{\lfloor v_7^a \rfloor}{|v(t)} = 0$$

Конфликтный анализ

Конфликты первого рода.

Однородный конфликт первого рода

$$\Psi^{I_h} = \lfloor v_1^a, v_2^a, v_3^a, v_4^a, v_5^a \rfloor_{t=t_k} \bigcap v_6^a \Big|_t$$

$$\Psi^{I_h} = v_7^a \Big|_t \bigcap v_6^a \Big|_t$$

Неоднородный конфликт первого рода

$$\Psi^{I_{in}} = \lfloor v_1^h, v_2^h, v_3^h, v_4^h \rfloor_t \bigcap \lfloor v_4^a, v_5^a \rfloor_{t_k}$$

Конфликты второго рода.

Неоднородный конфликт второго рода

$$\Psi^{II_h} = TCom^h \bigcap \left[TCom\ {}^a_1, TCom\ {}^a_1, TCom\ {}^t, TCom\ {}^{tr} \right]$$

$$\Psi^{II_h} = TCom^t \bigcap TCom^a_2$$

$$\Psi^{II_h} = TCom^{tr} \bigcap \left[TCom\ {}^a_1, TCom\ {}^a_2 \right]$$

Конфликты третьего рода.

$$\Psi^{III_h} = \Psi^{I_h} \wedge \Psi^{II_h}$$

$$\Psi^{III_{qh}} = \Psi^{I_h} \wedge \Psi^{II_{in}}$$

Выводы по конфликтному и аксиоматическому анализу.

Анализ транспортной ситуации на УДС выявил нарушение аксиоматических принципов построения имманентной структуры ТКС и наличие конфликтов *I*, *II* и *III* рода.

Аксиоматическое разрешение конфликтов в рамках метода

Разрешение выявленных конфликтов в рамках разработанных принципов, руководствуясь (2.22) – (2.37) представляет собой функциональное и структурное распараллеливание ТП, путем дополнения недостающих элементов ТКС.

$$TCS^a = \mathrm{M}C^a \underset{[\cup;\cap]}{\wedge} \left[\mathrm{C}C^a \underset{[\cup;\cap]}{\wedge} SC^a \underset{[\cup;\cap]}{\wedge} DC^a \right];\ TCS^h = \mathrm{M}C^h \underset{[\cup;\cap]}{\wedge} \left[\mathrm{C}C^h \underset{[\cup;\cap]}{\wedge} SC^h \underset{[\cup;\cap]}{\wedge} DC^h \right]$$

$$TCS^t = \mathrm{M}C^t \underset{[\cup;\cap]}{\wedge} \left[\mathrm{C}C^t \underset{[\cup;\cap]}{\wedge} SC^t \underset{[\cup;\cap]}{\wedge} DC^t \right];$$

$$TCS^{tr} = \mathrm{M}C^{tr} \underset{[\cup;\cap]}{\wedge} \left[\mathrm{C}C^{tr} \underset{[\cup;\cap]}{\wedge} SC^{tr} \underset{[\cup;\cap]}{\wedge} DC^{tr} \right]$$

и перераспределение на данном участке маршрутов движения городского пассажирского транспорта (например «j»)

$$TS = \{TS_i\} \wedge \overline{TS_j} = \left[\{V_i\} \underset{defA_i}{\wedge} \{TCS_i\} \underset{defA_i}{\wedge} \{NDS_i\} \right] \wedge \overline{\left[\{V_j\} \underset{defA_j}{\wedge} \{TCS_j\} \underset{defA_j}{\wedge} \{NDS_j\} \right]},\ \begin{matrix} i = 1,2,3 \\ j = 1 \end{matrix}$$

В качестве «*j*» могут выступать маршруты трамвайного или троллейбусного пассажирского транспорта.

ПРИЛОЖЕНИЕ В

Пример работы реляционного регулятора согласования

Рассмотрим прямоугольный квартал Василеостровского района (г. Санкт-Петербург), ограниченный Малым проспектом Васильевского острова, Средним проспектом Васильевского острова, 10 и 9 линиями Васильевского острова, представленный на рисунке В.1, границы которого проходят по разделительной полосе транспортных коммуникаций, прилегающих к рассматриваемому кварталу.

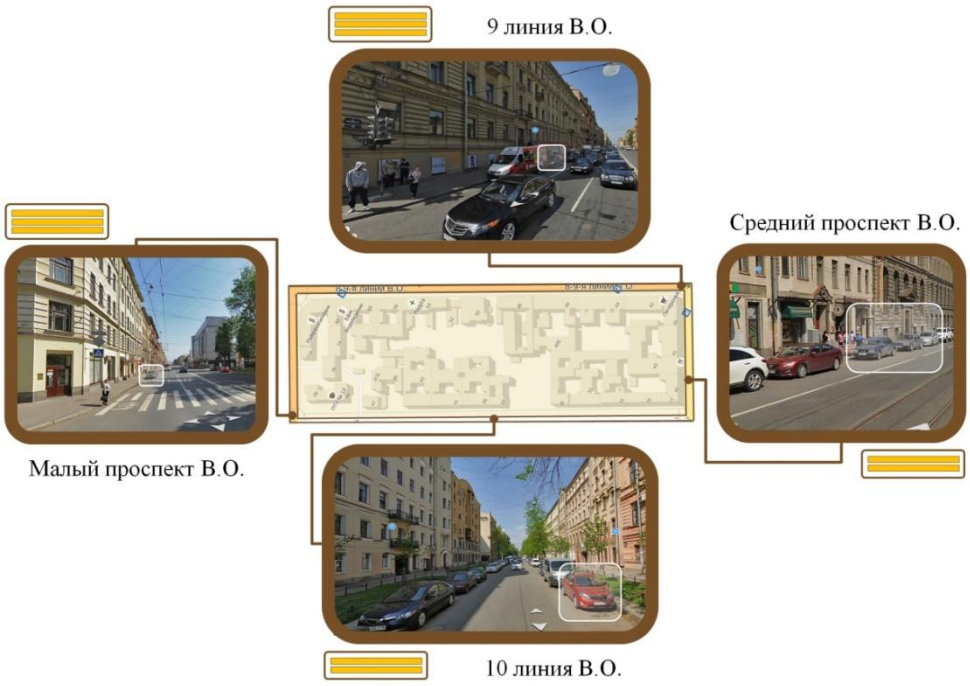


Рисунок В.1 – Исследуемый квартал Василеостровского района, г. Санкт-Петербург, Россия

Системы пользователь *U*, транспортные средства *V*, транспортные коммуникации *C*, мегаполис *M* заданы следующим набором показателей.

Система пользователь S_U задана показателями:

– $h_U^{ГК} = 4200[чел]$ – количество жителей в рассматриваемом городском квартале;

– $З_u^{\max} = 100\left[\frac{руб}{час}\right]$ – максимальная стоимость парковки в районе;

– $З_u^{pref} = 0\left[\frac{руб}{час}\right]$ – предпочтительная стоимость парковки в районе.

Система транспортные средства S_V задана средним показателем технической скорости транспортных средств $v_V^{me.cp} = [0, 200]\left[\frac{км}{ч}\right]$.

Система транспортные коммуникации задана показателем средней скорости транспортных средств по полосам на рассматриваемом участке УДС, согласно таблице В.1, таблице В.2, таблице В.3 и таблице В.4.

Таблица В.1 – Средняя скорость транспортных средств по полосам в течение суток на участке Среднего проспекта В.О.

t,ч	24ч-3ч	3ч-7ч	7ч-8ч	8ч-11ч	11ч-14	14ч-19ч	19ч-23ч	23ч-24ч	Vср
	Средняя скорость по полосам в течение суток в км/ч								
П1	0	0	0	0	0	0	0	0	0
П2	35	30	25	20	15	7	15	20	19.58

Таблица В.2 – Средняя скорость транспортных средств по полосам в течение суток на участке Малого проспекта В.О.

t,ч	24ч-3ч	3ч-7ч	7ч-8ч	8ч-11ч	11ч-15	15ч-19ч	19ч-23ч	23ч-24ч	Vср
	Средняя скорость по полосам в течение суток в км/ч								
П1	0	0	0	0	0	0	0	0	0
П2	40	30	25	20	20	7	25	35	23.67
П3									

Таблица В.3 – Средняя скорость транспортных средств по полосам в течение суток на участке 9 линии В.О.

t,ч	24ч-3ч	3ч-7ч	7ч-8ч	8ч-19ч	19ч-23ч	23ч-24ч	Vср
	Средняя скорость по полосам в течение суток в км/ч						
П1	0	0	0	0	0	0	0
П2	40	30	25	20	25	35	25.83
П3							

Таблица В.4 – Средняя скорость транспортных средств по полосам в течение суток на участке 10 линии В.О.

t,ч	24ч-3ч	3ч-7ч	7ч-8ч	8ч-19ч	19ч-23ч	23ч-24ч	Vср
	Средняя скорость по полосам в течение суток в км/ч						
П1	0	0	0	0	0	0	0
	35	30	25	20	25	35	25.20

Максимально разрешенная скорость движения при этом составляет $v_C^{pref} = 60\left[\frac{км}{ч}\right]$.

Подсистема мегаполис S_M представлена показателем доступности специализированного парковочного пространства до рассматриваемого участка УДС: $l_p = 620[м]$, согласно рисунку В.2.

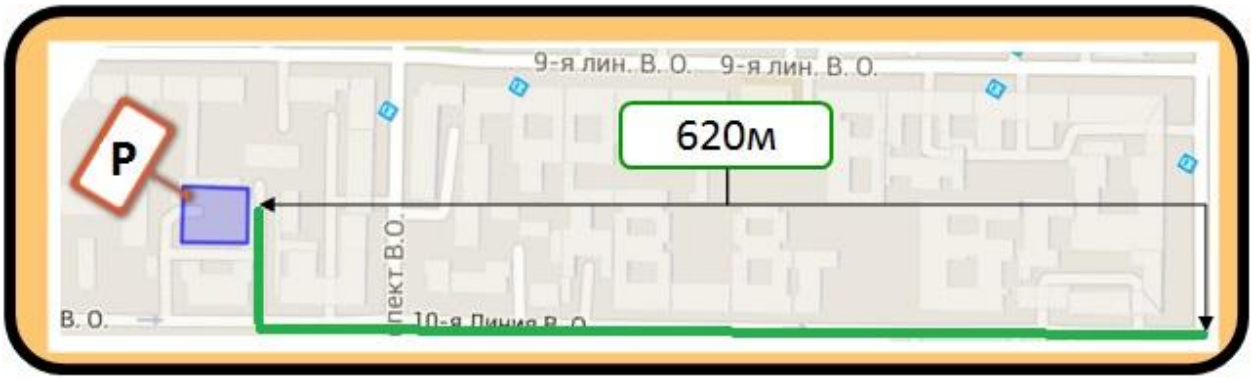


Рисунок В.2 – Доступность специализированного парковочного пространства

Рассматривается задача повышения пропускной способности от фактической до плановой (таблица В.5) участков УДС прилегающей к данному кварталу.

Таблица В.5 – Пропускная способность участков улично-дорожной сети

Участок УДС / *Пропускная способность* $\left[\frac{авт}{ч}\right]$	Плановая	Фактическая
Средний проспект (2 полосы движения)	1600	686
Малый проспект (3 полосы движения)	2400	1270
10 линия (2 полосы движения)	1600	854
9-линия (3 полосы движения)	2400	1447

Плановая пропускная способность принималась согласно СНиП II-60-75. Фактическая пропускная способность измерялась прямым наблюдением в течение суток.

Требуется формально описать работу регулятора согласования в процессе развития ГТС на примере решения данной задачи.

Решение. Пусть на вход в регулятор согласования поступают просеянные согласно (3.19) показатели систем *U,C,M,V*.

Процесс согласования по скорости движения представим выражением (В.1),

$$f_{\Sigma}:\left(\cap C^{k}_{[S_n]^{P_n}_{sift}}\right)\left\langle\begin{matrix}\leq\\ \geq\end{matrix}\right\rangle^{CPR}[S_{\Phi}]^{P_{\Phi}}_{perf}=\left([S_V]^{P_V}_{sift}\bigcap[S_C]^{P_C}_{sift}\bigcap[S_M]^{P_M}_{sift}\right)\left\langle\begin{matrix}\leq\\ \geq\end{matrix}\right\rangle[S_{\Phi=V,C}]^{P_{\Phi=V,C,M}}_{v^{pref}_{C}}=$$

$$=\begin{cases}v_{V,C,M}=0\\ \varnothing\end{cases}, \quad (В.1)$$

а графически – рисунком В.3.

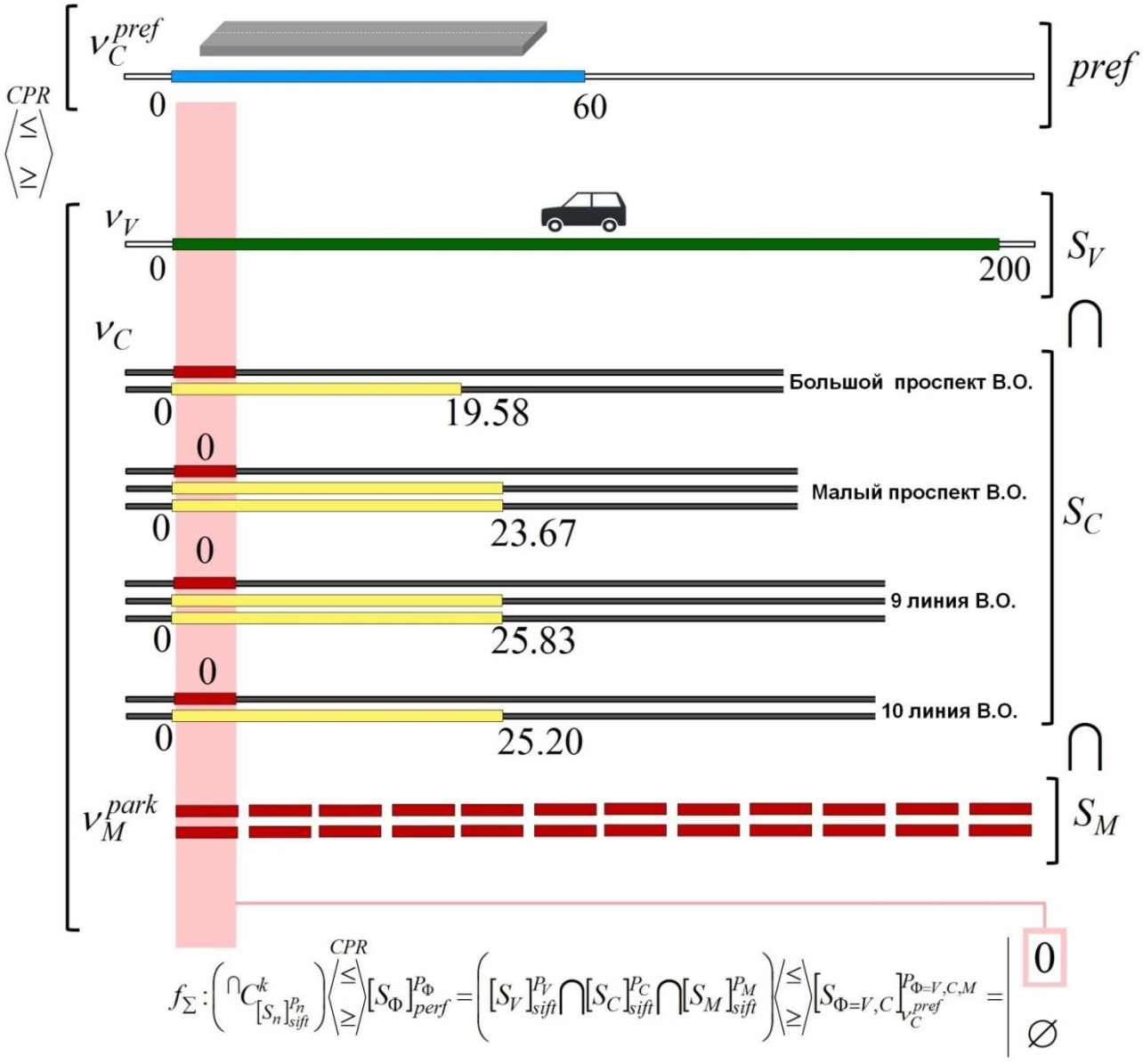


Рисунок В.3 – Согласования по скорости движения

Процесс согласования по стоимости представим выражением (В.2)

$$f_{\Sigma}:\left(\cap C^{k}_{[S_n]^{P_n}_{sift}}\right)\left\langle\begin{matrix}\leq\\ \geq\end{matrix}\right\rangle^{CPR}[S_{\Phi}]^{P_{\Phi}}_{perf}=\left([З_U]^{P_U}_{sift}\bigcap[З^M_U]^{P_M}_{sift}\bigcap[З^C_U]^{P_C}_{sift}\right)\left\langle\begin{matrix}\leq\\ \geq\end{matrix}\right\rangle[S_{\Phi=U,M,C}]^{P_{\Phi=U,M,C}}_{З_{U\ pref}}=$$

$$=\left|З^C_U=0\right.$$

(В.2)

а графически – рисунком В.4.

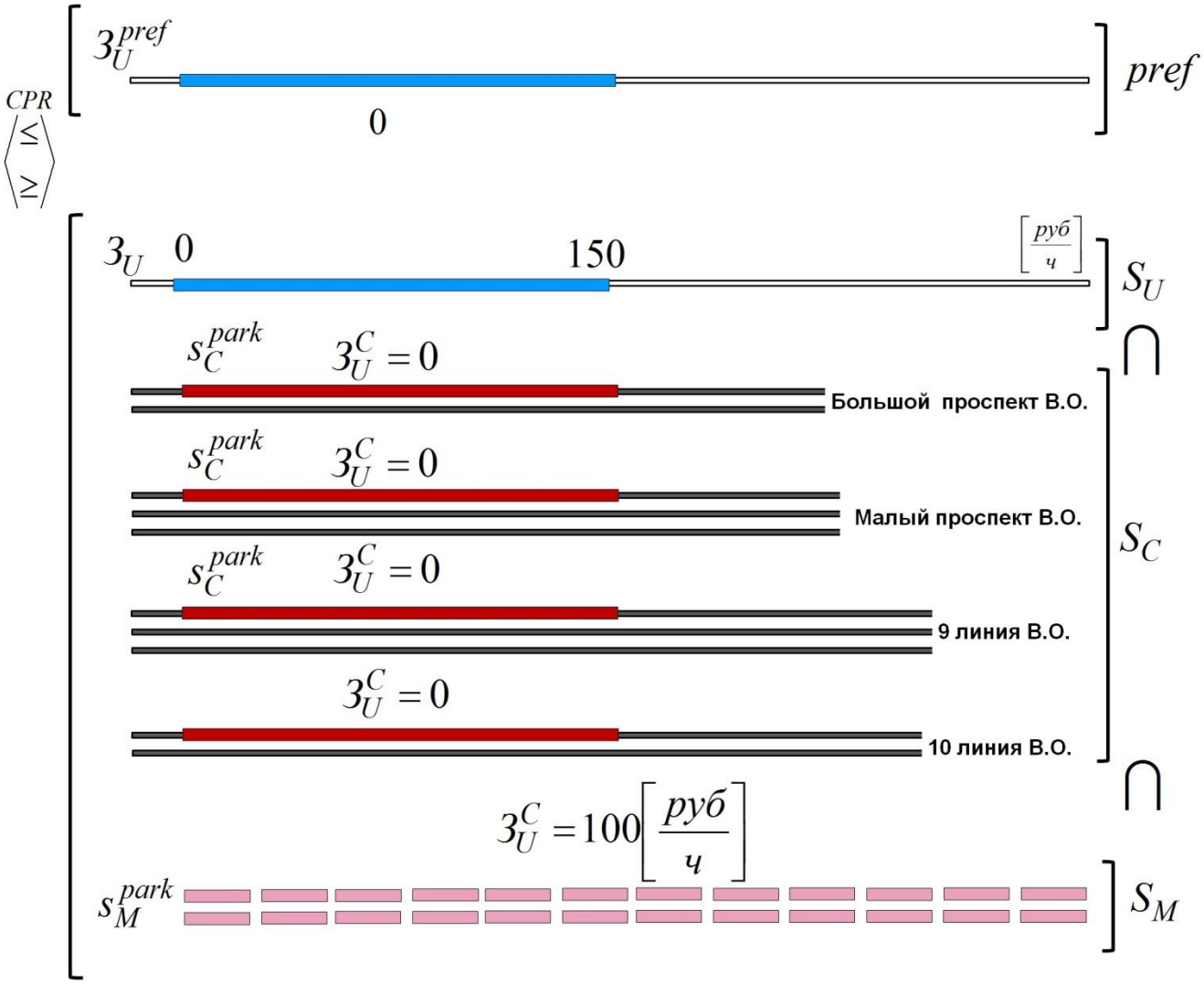


Рисунок В.4 – Реляционное согласование по стоимости парковки

Процесс реляционного согласования по доступности парковки представим выражением (В.3)

$$f_{\Sigma}:\left(\cap C^{k}_{[S_n]^{P_n}_{sift}}\right)\left\langle\begin{matrix}\leq\\ \geq\end{matrix}\right\rangle^{CPR}[S_{\Phi}]^{P_{\Phi}}_{perf}=\left([l^{p}_{M}]^{P_M}_{sift}\bigcap[l^{p}_{C}]^{P_C}_{sift}\right)\left\langle\begin{matrix}\leq\\ \geq\end{matrix}\right\rangle[S_{\Phi=U,M,C}]^{P_{\Phi=U,M,C}}_{l_{U\ pref}}=l^{p}_{C}=0 \qquad (B.3)$$

Схематическую интерпретацию структурно-функционального согласования представим рисунком В.5

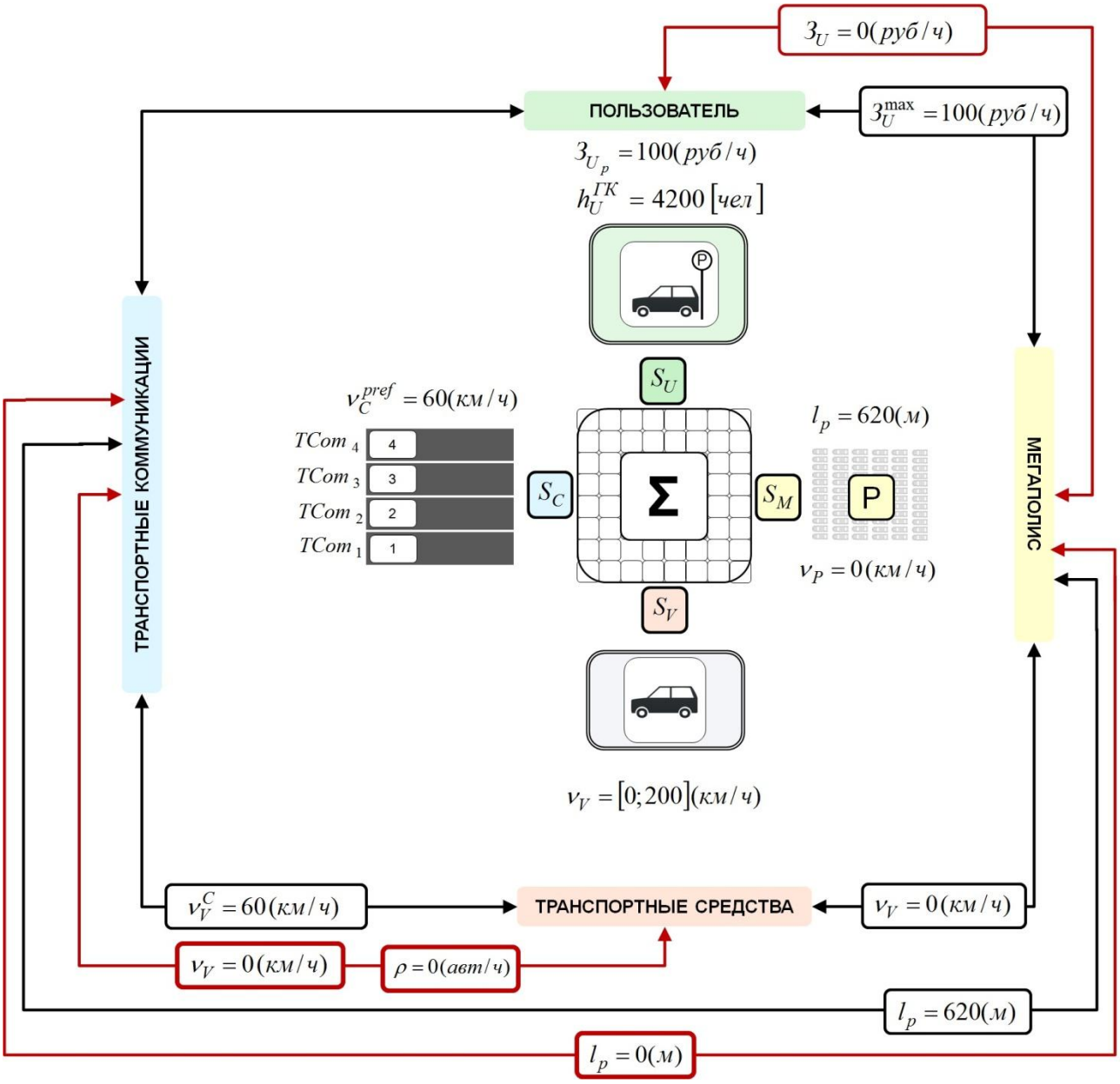


Рисунок В.5 – Схематическая интерпретация согласования.

Анализ сравнения показателей систем $S_U, S_V S_M, S_C$ выявил, что правая полоса движения, как структурный элемент транспортной коммуникации, предназначенная для движения, обладает свойством парковки с нулевой

стоимостью и максимальной доступностью. Данное рассогласование присуще всем участкам УДС, прилегающим к рассматриваемому кварталу.

Для устранения выявленного рассогласования РРС, в соответствии с (3.23), осуществляет развитие элементов системы *U,C,M,V*, то есть:

$$\left([S_U]^{P_U} \bigcap [S_V]^{P_V} \bigcap [S_M]^{P_M} \bigcap [S_C]^{P_C} \right) \tilde{\otimes} R^{\Phi} =$$

$$= \left([3_U]^{P_U} \cup \left[3_U^{pref}\right] \bigcap [v_V]^{P_V} \cup \left[v_V^{pref}\right] \bigcap \left[l_M^{P}\right]^{P_M} \cup \left[l_p^{pref}\right] \bigcap [v_C]^{P_C} \cup \left[v_C^{pref}\right] \right) = ,$$

$$= S_p : \left| 3_U^{pref} \wedge l_p^{pref} \wedge h_U^{ГК} \right.$$

Таким образом, решение представляет собой возведение специализированного парковочного пространства вместимостью 4200 парковочных мест, вблизи рассматриваемого участка УДС, при условии нулевой стоимости парковки и введения запрета на парковку (остановку) транспортных средств на полосах движения. Последнее можно представить рисунком В.6.

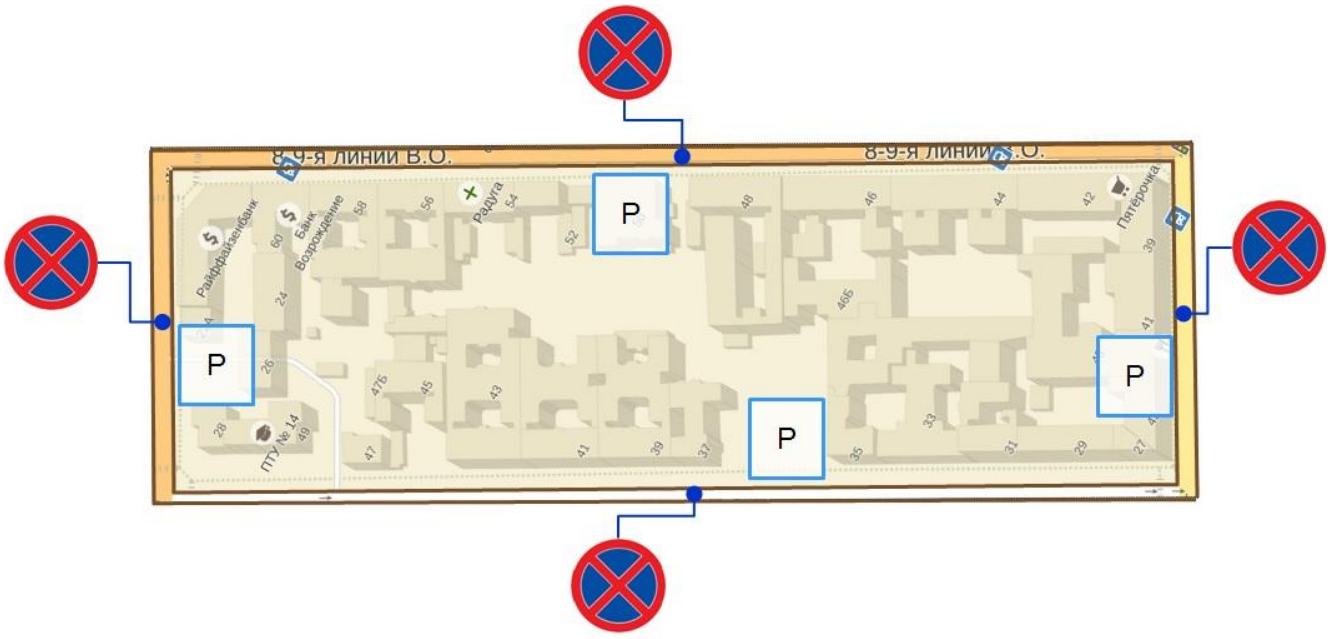


Рисунок В.6 – Развитие участка УДС в границах квартала

В соответствии с рассматриваемым примером процесс развития ГТС осуществляется посредством встраивания новых элементов транспортной системы, обладающих свойствами согласования систем *U,C,M,V*. Таким образом,

развитие городской среды можно проиллюстрировать переходом от структуры квартала на рисунке В.1 к структуре квартала на рисунке В.6, согласно которому на каждом прилегающем участке УДС восстанавливается работа правой полосы движения, и тем самым увеличивается пропускная способность каждой полосы движения.

ПРИЛОЖЕНИЕ Г

Пример работы метода анализа транспортной обеспеченности мегаполиса

Продемонстрируем работу метода анализа транспортной обеспеченности мегаполиса на следующем практическом примере.

Реальными объектами для сравнения будут выступать городская планировочная структура района Манхэттена (Нью-Йорк) и Василеостровского района (Санкт-Петербург), представленные на рисунке Г.1.

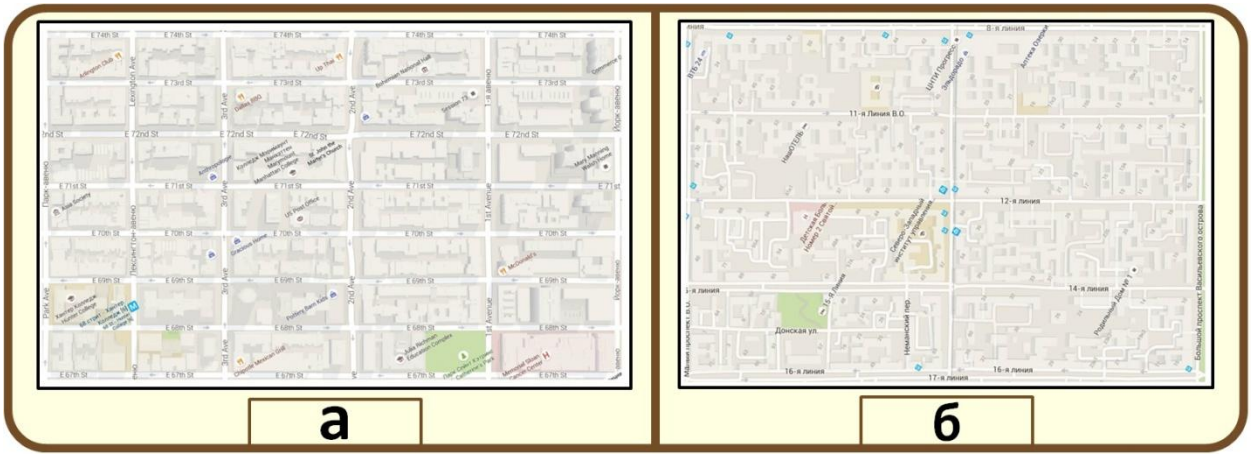


Рисунок Г.1 – Городская планировочная структура а) район Манхэттен, Нью-Йорк, США; б) Василеостровский район, Санкт-Петербург, Россия

Выделим из каждой районной планировочной структуры городской квартал и его характеристики. Представим общий вид городского квартала Манхэттена (Манхэттенский блок) на рисунке Г.2, а его характеристику на рисунке Г.3.

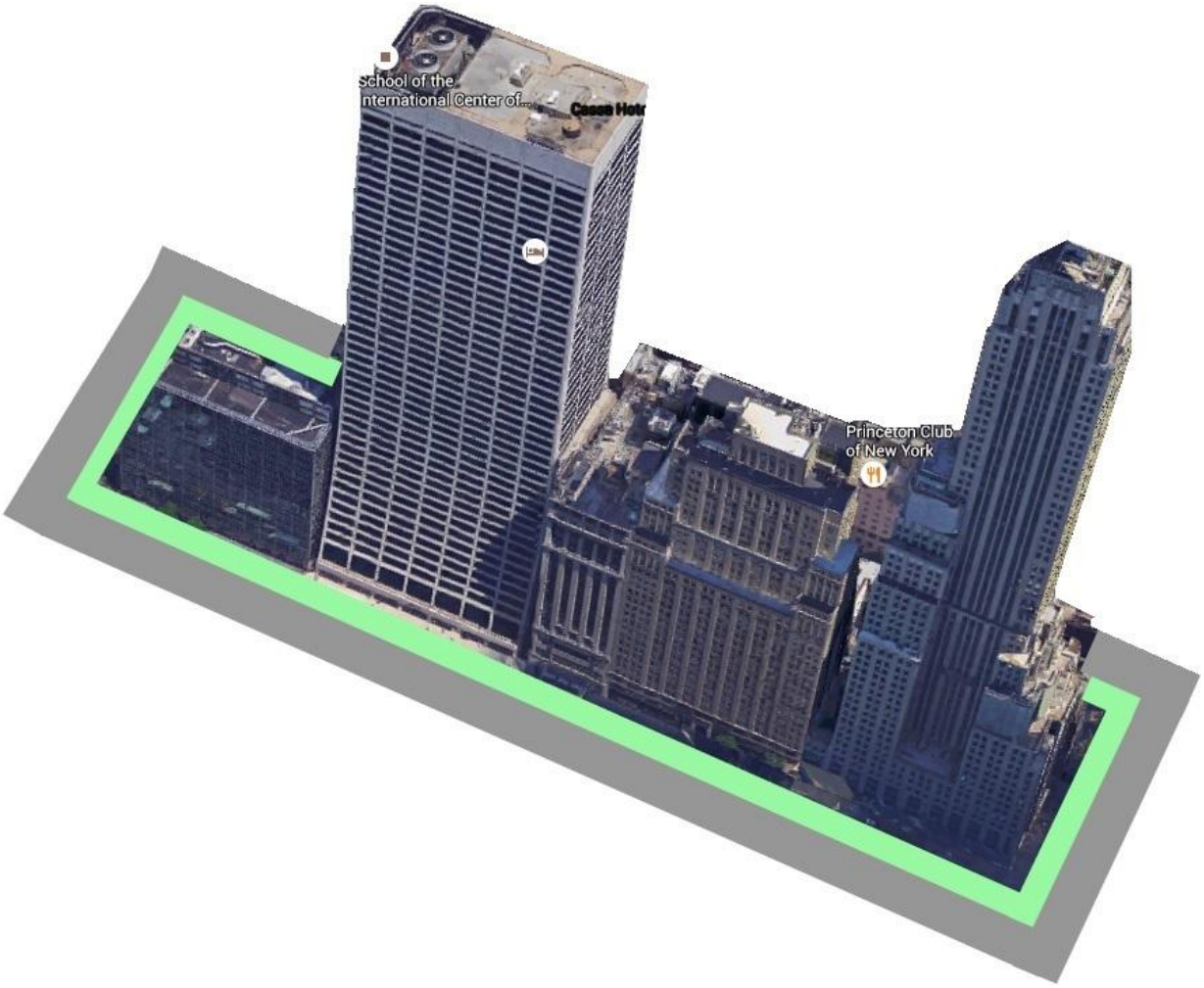


Рисунок Г.2 – Манхэттенский блок

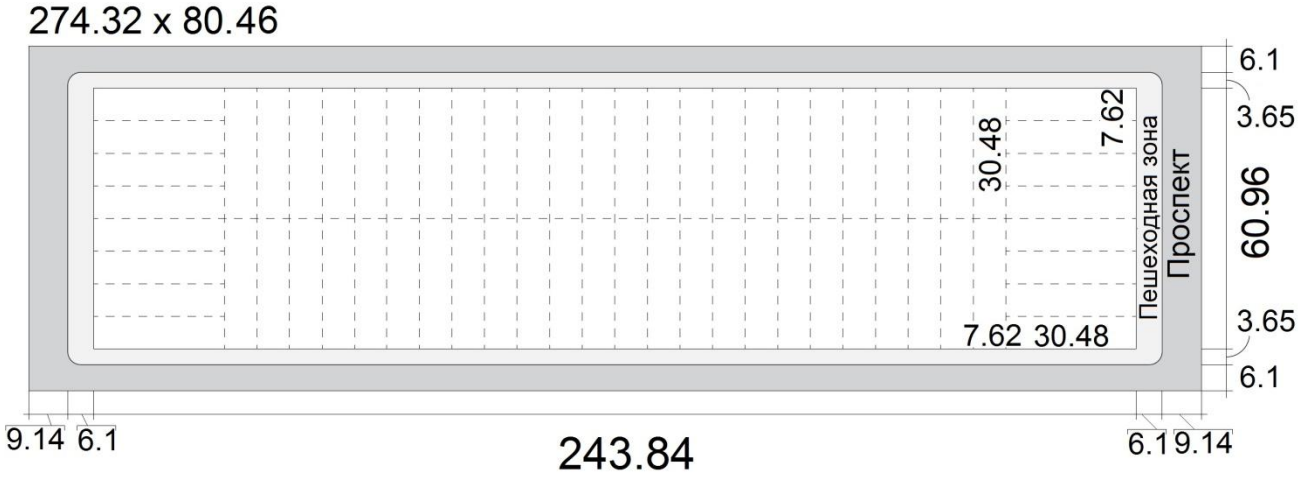


Рисунок Г.3 – Характеристика Манхэттенского блока

Представим общий вид городского квартала Василеостровского района (ГКВР) рисунке Г.4, а его характеристику рисунке Г.5.

Рисунок Г.4 – Городской квартал Василеостровского района

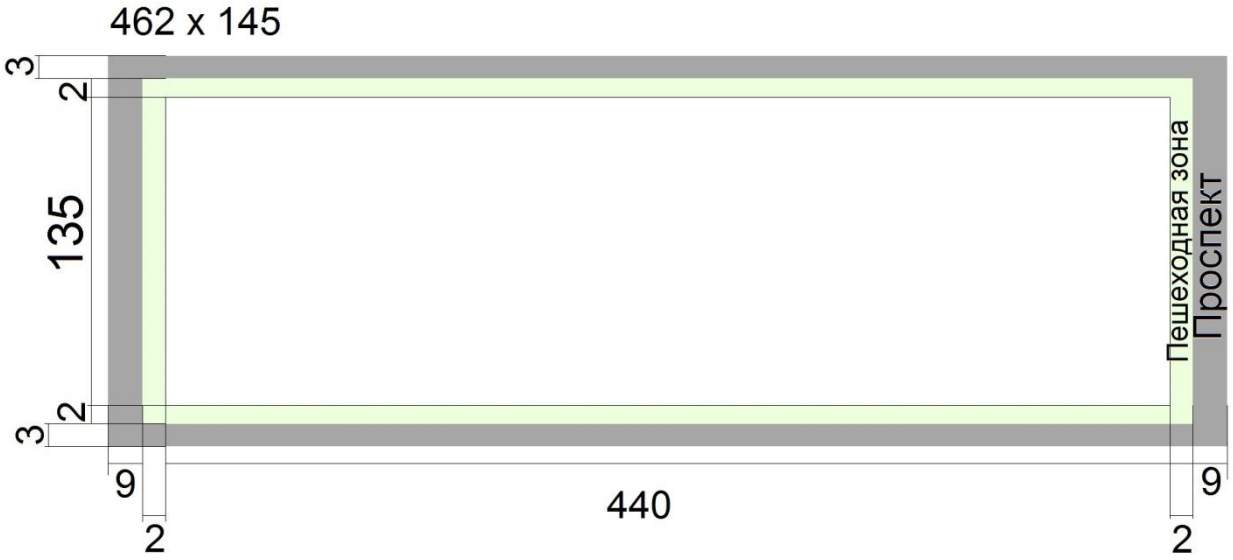


Рисунок Г.5 – Городской квартал Василеостровского района

Сравнительная оценка городских кварталов по предложенному методу представлена в таблице Г.1. В виду отсутствия статистической информации некоторые критерии, такие как плотность внешней и внутренней автомобильной

коммуникационной составляющей в городских кварталах с учетом числа автомобилей, остались, не раскрыты.

Таблица Г.1 – Сравнительная оценка городских кварталов

Анализ показателей городских кварталов	МБ	ГКВР
Общая площадь городского квартала, S^k, м^2	22071.79	66990
Общая площадь внешней транспортной коммуникационной составляющей, $S_V^{TCom_{ex}}$, м^2	7207.3	7590
Площадь пешеходных внешних транспортных коммуникаций, $S_p^{tcom_{ex}^p}$, м^2	2612.8	2316
Площадь автомобильных внешних транспортных коммуникаций, $S_a^{tcom_{ex}^a}$, м^2	4594.5	5274
Численность жителей в городском квартале, H^K, чел.	8283.4	4283.4
Плотность внешних транспортных коммуникаций в городском квартале, $d_{S_V^{TCom_{ex}}}^K$	0,32	0,11
Плотность автомобильных внешних ТК, $d_{S_a^{TCom_{ex}}}^K$	0,21	0,08
Плотность пешеходных внешних ТК, $d_{S_p^{TCom_{ex}}}^K$.	0,11	0,03
Плотность внешней коммуникационной составляющей в ГК с учетом числа жителей, $d_H^{K\,S_V^{TCom_{ex}}}$.	0,87	1,77
Плотность внешней автомобильной коммуникационной составляющей в городском квартале с учетом числа жителей, $d_H^{K\,S_a^{TCom_{ex}}}$.	0,55	1,23
Плотность внешней пешеходной коммуникационной составляющей в городском квартале с учетом числа жителей, $d_H^{K\,S_p^{TCom_{ex}}}$.	0,31	0,54
Плотность внешней пешеходной коммуникационной составляющей в ГК с учетом числа пешеходов, $d_{v_p}^{K\,S_p^{TCom_{ex}}}$.	0,31	0,54

В виду отсутствия точного значения, величины количества пешеходов в городских кварталах, такая величина была приравнена к общему числу жителей проживающих в них.

Выводы по практическому примеру. Анализ сравнения квартала МБ и ГКВР по предложенным показателям выявил, что МБ обладает более высокой степенью

организации транспортной составляющей. Так как плотность внешних ТК МБ в три раза выше $d_{S_V^{TC_{ex}}}^{МБ} = 0{,}32$, чем в ГКВР $d_{S_V^{TC_{ex}}}^{ГКВР} = 0{,}11$, при том, что площадь МБ $S^{МБ} = 22071.79 м^2$ в три раза меньше, чем ГКВР $S^{ГКВР} = 66990 м^2$.

Плотность внешней коммуникационной составляющей, пешеходной и автомобильной с учетом числа жителей выше в ГКВР, чем в МБ. Это объясняется тем, что численность населения в ГКВР почти в 2 раза меньше чем численность населения в МБ.

Рассмотренный пример показывает, что предложенная система показателей позволяет выявлять сложные структурно-функциональные особенности взаимодействия и организации городской среды и транспорта. Поднимает вопрос о расширении системы городской статистики в привязке к районам и городским кварталам.