

Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение  
высшего образования  
МОСКОВСКИЙ АВТОМОБИЛЬНО-ДОРОЖНЫЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ  
ТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ (МАДИ)

На правах рукописи



МОРОЗОВ Дмитрий Юрьевич

**Разработка методики построения качественных матриц корреспонденций  
для решения задач управления транспортными потоками**

Специальность 05.22.08 «Управление процессами перевозок»

**ДИССЕРТАЦИЯ**

на соискание ученой степени кандидата технических наук

Научный руководитель

д-р техн. наук, профессор Жанказиев С.В.

Москва 2020

## ОГЛАВЛЕНИЕ

<b>ВВЕДЕНИЕ.....</b>	<b>4</b>
<b>1 ГЛАВА. АНАЛИЗ ПРЕДМЕТНОЙ ОБЛАСТИ ЗАДАЧ ПОСТРОЕНИЕ КАЧЕСТВЕННЫХ МАТРИЦ КОРРЕСПОНДЕНЦИИ В РАМКАХ ФУНКЦИОНИРОВАНИЯ СИСТЕМ КОСВЕННОГО УПРАВЛЕНИЯ ТРАНСПОРТНЫМИ ПОТОКАМИ.....</b>	<b>13</b>
1.1 Понятие косвенного управления транспортными потоками.....	13
1.2 Анализ отечественного и зарубежного опыта в области косвенного управления транспортными потоками.....	14
1.3 Современное представление о системах косвенного управления транспортными потоками.....	20
1.4 Понятие качественной матрицы корреспонденции.....	24
1.5 Способы построения качественных матриц корреспонденции .....	28
1.6 Выводы по главе 1.....	42
<b>2 ГЛАВА. РАЗРАБОТКА МАТЕМАТИЧЕСКОЙ МОДЕЛИ РАСЧЕТА ТОЧНОСТИ МАРШРУТОВ ДВИЖЕНИЯ ТРАНСПОРТНЫХ СРЕДСТВ. РАЗРАБОТКА МЕТОДИК ПРОВЕДЕНИЯ ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ.....</b>	<b>43</b>
2.1 Определение целевой функции исследования .....	43
2.2 Исследование зависимости эффективности УТП от точности КМК .....	44
2.3 Процесс построения качественных матриц корреспонденции с помощью дорожной инфраструктуры .....	60
2.4 Исследование зависимости точности КМК от точности оборудования и вариантов его расстановки на улично-дорожной сети.....	63
2.5 Выводы по главе 2.....	73
<b>3 ГЛАВА. ПРОВЕДЕНИЕ ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ</b>	<b>74</b>
3.1 Проведение эксперимента в идеальной модели .....	75

3.2	Модель, приближенная к реальным условиям №1 .....	85
3.3	Модель, приближенная к реальным условиям №2 .....	93
3.4	Эксперимент, направленный на исследование зависимости точности КМК от точности оборудования и вариантов его расстановки на УДС .....	102
3.5	Проведение эксперимента, направленного на изучение возможностей современных средств графической идентификации ГРЗ.....	110
3.6	Выводы по главе 3.....	115
<b>4</b>	<b>ГЛАВА. ОБРАБОТКА РЕЗУЛЬТАТОВ ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ.....</b>	<b>116</b>
4.1	Обработка результатов экспериментов, проведенных в идеальной модели	116
4.2	Результаты модели, приближенной к реальности I.....	124
4.3	Результаты модели, приближенной к реальности II .....	127
4.4	Сравнение результатов экспериментов различных имитационных моделей	131
4.5	Результаты моделирования расстановки оборудования .....	140
4.6	Результаты полигонных испытаний.....	147
4.7	Разработка методики построения качественных матриц корреспонденции	149
4.8	Выводы по главе 4.....	154
	<b>ЗАКЛЮЧЕНИЕ .....</b>	<b>155</b>
	<b>СПИСОК СОКРАЩЕНИЙ И УСЛОВНЫХ ОБОЗНАЧЕНИЙ .....</b>	<b>158</b>
	<b>СЛОВАРЬ ТЕРМИНОВ.....</b>	<b>159</b>
	<b>СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ .....</b>	<b>163</b>
	<b>ПРИЛОЖЕНИЕ А.....</b>	<b>176</b>
	<b>ПРИЛОЖЕНИЕ Б .....</b>	<b>183</b>
	<b>ПРИЛОЖЕНИЕ В .....</b>	<b>188</b>
	<b>ПРИЛОЖЕНИЕ Г .....</b>	<b>192</b>

## ВВЕДЕНИЕ

**Актуальность исследований.** Анализ мировой практики в области систем управления транспортными потоками позволяет сделать вывод, что применение интеллектуальных транспортных систем в качестве инструмента, способного обеспечить организацию дорожного движения в режиме адаптации к сложившейся дорожной обстановке, так и в режиме прогнозирования. Область контроля, охватываемая данным системами может распространяться как на отдельный участок улично-дорожной сети (micro-режим управления), так и на дорожную сеть регионов (macro-режим). Применение интеллектуальных систем управления транспортными потоками, как правило, приводит к росту качества предоставляемых транспортных услуг (грузо- и пассажироперевозки). Поскольку рассматриваемый вид услуг неразрывно связан с социальным институтом и экономическим сектором, то можно с полной уверенностью сказать, что темпы и качество развития бизнес-сектора (производство и оказание услуг) и социум-сектора напрямую зависят от качества развития технологий на транспорте.

В настоящее время интеллектуальные транспортные системы управления транспортными потоками воспринимаются в основном как средство оптимизации директивных методов управления транспортными потоками. Однако, не так давно было предложено развивать дополнительные возможности, а именно управление транспортными потоками посредством подсистемы информирования участников дорожного движения. Такие подсистемы называли косвенными (недирективными) системами управления транспортными потоками, задача которых состоит в предоставлении актуальной информации о возможных альтернативных вариантах (маршрутах) проезда по улично-дорожной сети, основываясь на данных о текущей и прогнозной дорожной обстановке. При этом, в системы косвенного управления транспортными потоками заложена функция проведения самоанализа, т.е. проведение оценки последствий своего функционирования, что позволяет проводить более гибкое и эффективное управления транспортными потоками. Такой функционал позволяет оптимизировать динамическую пропускную

способность улично-дорожной сети (сети дорог) и гармонизировать транспортные потоки в целом.

Для эффективного функционирования систем косвенного управления транспортными потоками необходимо располагать информацией об актуальных истоках транспортного потока и их доминантных объектах притяжения, и основных маршрутах движения транспортных потоков, что позволит наиболее рационально формировать сообщения участникам дорожного движения. От точности перечисленных исходных данных напрямую зависит эффективность функционирования систем косвенного управления транспортными потоками, кроме того, некорректное информирование может не только оказаться малоэффективным, но и оказывать существенное негативное воздействие на пропускную способность улично-дорожной сети (сети дорог), создавая или усугубляя транспортные заторы.

Также стоит отметить, что в настоящее время в Российской Федерации разработаны и вступили в действие несколько стандартов, в которых перечисляются различные виды необходимых исходных данных для интеллектуальных транспортных систем. Однако, они не предъявляют никаких требований к их минимальной точности и не предложены методики сбора рассматриваемых исходных данных, что может спровоцировать создание и внедрение неэффективных систем косвенного управления транспортными потоками, что будет являться нерациональным использованием материальных ресурсов.

Стоит также отметить, что, в рамках современной тенденции развития интеллектуальных транспортных систем и автономного движения в частности, качественные матрицы корреспонденции также играют немаловажную роль. Данные матрицы являются неотъемлемой технологической частью цифровой модели дороги и являются источником всех необходимых данных для расчета наиболее оптимальных маршрутов движения транспортных средств. Стоит отметить, что расчет маршрутов может исходить как из принципа соблюдения интересов владельцев транспортных средств (минимизация временных затрат и

перепробега), так и из принципа соблюдения интересов структур, отвечающих за организацию дорожного движения, иными словами, оптимизируя загрузку дорожной сети без учета личных интересов участников дорожного движения.

При определенных условиях с помощью качественных матриц корреспонденции возможна и качественная реорганизация принципов управления транспортными потоками, при которых станет возможным не только процесс реагирования на спрос на передвижения транспортных средств, но и само создание транспортных потоков под наиболее оптимальный сценарий управления.

Отсутствие научной и практической проработки вопроса, связанного с качественными матрицами корреспонденций также актуализирует тематику диссертационного исследования. Таким образом, исследование, посвященное разработке методики построения качественных матриц корреспонденции как источника исходных данных для решения задач управления транспортными потоками является актуальной задачей.

**Степень проработанности темы исследования.** Вопрос оптимизации загрузки улично-дорожной сети был и остается актуальным для большинства стран мира, поскольку рост уровня автомобилизации населения провоцирует необходимость удовлетворения постоянно растущего спроса на передвижение. Одним из решений данного вопроса является совершенствование систем управления транспортными потоками. Данному решению еще с середины прошлого столетия. Научной проработке в данной области было посвящено немало работ целого ряда советских ученых, таких как: Афанасьев М.Б., Бабков В.Ф., Васильев А.П., Лобанов Е.М., Сильянов В.В., Ситников Ю.М., Калужский Я.А., Рыжков И.П., Зырянов В.В. Среди зарубежных трудов, посвященных имитационному моделированию, особо выделяются труды Джиппса П. и Дрю Д., Хейт Ф. которые легли в основу многих программных продуктов имитационного моделирования. Также существует множество современных научных трудов, посвященных данному аспекту, однако, развитие систем управления транспортными потоками становится все более зависимым от текущих параметров транспортного потока. При современном уровне развития улично-дорожных сетей

и высокого уровня мобильности населения сбора информации о классических параметрах транспортных потоков становится недостаточно для формирования эффективного управления транспортными потоками, т.к. для построения достоверных имитационных моделей и организации косвенного управления транспортными потоками требуется дополнительная информация об объектах притяжения и о маршрутах движения транспортных потоков. Кроме того, стремительное развитие технологий автономного движения подводит к необходимости и, своего рода, неизбежности разработки и внедрения технологии цифровой модели дороги, для которой информация об объектах притяжения, их актуального «времени жизни», объем транспортных потоков и маршрутах движения является основополагающей информацией. Таким образом возникает необходимость в решении достаточно непростой задачи – разработке инструмента, позволяющего получать информацию о маршрутах движения транспортных средств и инструмента обработки данной информации, с целью определения остальных необходимых данных (приоритетные объекты притяжения, истоки транспортных средств, их «актуальное время функционирования» и т.д.).

**Цель исследования:** разработка методики построения качественных матриц корреспонденций для решения задач управления транспортными потоками.

Для достижения цели исследования были **поставлены следующие основные задачи:**

1) проведение исследования зависимости эффективности систем косвенного управления транспортными потоками от точности качественных матриц корреспонденции;

2) определение минимально допустимой точности качественных матриц корреспонденции для эффективного функционирования систем косвенного управления транспортными потоками;

3) разработка метода снижения требований к минимальной точности качественных матриц корреспонденций;

4) проведение исследования зависимости точности качественных матриц корреспонденции от точности используемого оборудования и его расположения на сети дорог.

**Объект исследования** – транспортные сети городов и автомагистралей, системы косвенного управления транспортными потоками, дорожная инфраструктура, связанная с элементами косвенного управления транспортными потоками.

**Предмет исследования** – параметры транспортных потоков и улично-дорожной сети, а именно: интенсивность, скорость и плотность транспортных потоков, топология улично-дорожной сети, методы получения исходных данных для систем управления транспортными потоками.

**Научная новизна** заключается в следующих положениях:

– разработана математическая модель расчета точности качественных матриц корреспонденции в зависимости от точности используемого оборудования и его расстановки на улично-дорожной сети;

– определена зависимость эффективности систем косвенного управления транспортными потоками от точности качественных матриц корреспонденций при ошибках I и II рода;

– определена минимальная необходимая точность качественных матриц корреспонденций для эффективного функционирования систем косвенного управления транспортными потоками, равная 90%;

– разработан принцип перерасчета качественных матриц корреспонденций, позволяющий снизить требования к точности качественных матриц корреспонденций на 30%;

– определена область допустимых значений средней фактической точности определения маршрутов движения транспортных средств, при которой реализуется эффективное функционирование систем косвенного управления транспортными потоками.



**Теоретическая и практическая значимость** заключается:

– в практических рекомендациях по применению разработанной математической модели расчета точности качественных матриц корреспонденции в зависимости от точности используемого оборудования и его расстановки на улично-дорожной сети, в качестве инструмента достижения наибольшей оптимизации затрат как на стадиях разработки и внедрения, так и на стадии аудита уже функционирующих интеллектуальных транспортных систем, связанных с управлением транспортными потоками;

– в разработанной методике построения качественных матриц корреспонденций, применение которой позволит создавать достоверные имитационные модели и разрабатывать эффективные решения в области управления транспортными потоками. Кроме того, наличие достоверных имитационных моделей будет полезным для решения задач транспортного планирования;

– в практической рекомендации по применению идентификационного оборудования и по его расстановке на улично-дорожной сети;

– в практических рекомендациях по внесению изменений в ГОСТ Р 56351 «Интеллектуальные транспортные системы. Косвенное управление транспортными потоками. Требования к технологии информирования участников дорожного движения посредством динамических информационных табло» и ОДМ 218.9.011 «Рекомендации по выполнению обоснования интеллектуальных транспортных систем», а именно внесение требований к минимальной допустимой точности качественных матриц корреспонденций и внедрение методики построения рассматриваемых матриц в качестве приложения, которое носит рекомендуемый характер.

**Методология и методы исследования.** В работе использованы методы системного анализа, теории вероятностей и математической статистики, метод имитационного моделирования, метод сравнения.

**Положения, выносимые на защиту:**

- 1) математическая модель расчета точности качественных матриц корреспонденции в зависимости от точности используемого оборудования и его расстановки на улично-дорожной сети;
- 2) зависимость эффективности систем косвенного управления транспортными потоками от точности качественных матриц корреспонденций;
- 3) минимальная необходимая точность качественных матриц корреспонденций для эффективного функционирования систем косвенного управления транспортными потоками;
- 4) принцип перерасчета качественных матриц корреспонденций;
- 5) область допустимых значений средней фактической точности определения маршрутов движения транспортных средств для эффективного функционирования систем косвенного управления транспортными потоками.

**Степень достоверности.** Степень достоверности результатов исследования подтверждается теоретическими и экспериментальными исследованиями, а именно: использование метода системного анализа, метода сравнения, применение классической теории вероятностей и математической статистики, использование современных программных продуктов имитационного моделирования транспортных потоков, метод сравнения.

**Личный вклад автора.** Все новые идеи и полученные результаты при разработке математической модели расчета точности качественных матриц корреспонденции с помощью дорожной инфраструктуры и методики построения качественных матриц корреспонденции для решения задач управления транспортными потоками средств принадлежат автору.

**Внедрение и реализация результатов работы**

Полученные теоретические результаты приняты к использованию в учебном процессе МАДИ кафедрой «Организация и безопасность движения» по дисциплине «Интеллектуальные транспортные системы».

Результаты диссертационного исследования использованы при выполнении НИР в рамках следующих контрактов:

1) Государственный контракт № П1272 от 27 августа 2009 г. «Создание интеллектуальной системы косвенного управления транспортными потоками и обеспечения безопасности на автомобильных дорогах» в рамках ФЦП «Научные и научно-педагогические кадры инновационной России» на 2009-2013 гг.;

2) Государственному контракту № 02.740.11.0671 от 29 марта 2010 г. «Разработка принципов проектирования интеллектуальных транспортных систем, как систем технологического и информационного взаимодействия транспортных средств, инфраструктуры управления и технических комплексов на дороге с целью достижения максимальных показателей эффективности функционирования дорожно-транспортного комплекса регионов (городов)» в рамках ФЦП «Научные и научно-педагогические кадры инновационной России» на 2009-2013 гг.;

3) Государственный контракт № УД 47/186 от 14.10.2011 г. «Разработка проекта национального стандарта ГОСТ Р «Интеллектуальные транспортные системы. Системы организации дорожного движения. Косвенное управление транспортными потоками. Требования к техническим элементам информирования участников дорожного движения» (ГОСТ Р 56350);

4) Государственный контракт № УД 47/187 от 14.10.2011 г. «Разработка проекта национального стандарта ГОСТ Р «Интеллектуальные транспортные системы. Системы организации дорожного движения. Косвенное управление транспортными потоками. Требования к технологии информирования участников дорожного движения» (ГОСТ Р 56351);

5) Соглашение № 14.В37.21.0120 между Министерством образования и науки Российской Федерации и ФГБОУ ВПО «Московский автомобильно-дорожный государственный технический университет (МАДИ)» «Формирование концепции жизненного цикла локальных проектов Интеллектуальных транспортных систем»;

6) Государственный контракт № УД 47/30 от 19 февраля 2013 г. «Разработка ОДМ «Рекомендации по выполнению системного анализа в рамках обоснования проектов Интеллектуальных транспортных систем на федеральных автомобильных дорогах» (ОДМ 218.9.011).

**Область исследования** соответствует требованиям паспорта научной специальности ВАК: 05.22.08 – «Управление процессами перевозок», пункт 1 – «Планирование, организация и управление транспортными потоками».

**Апробация результатов.** Результаты исследований доложены, обсуждены и одобрены на 72, 73, 74 и 75 научно-методических и научно-исследовательских конференциях Московского автомобильно-дорожного государственного технического университета (МАДИ), г. Москва в 2014, 2015, 2016 и 2017 гг. соответственно, на заседаниях кафедры «Организация и безопасность движения» ФГБОУ ВО «Московский автомобильно-дорожный государственный технический университет (МАДИ)» в 2016 и 2019 гг. (протоколы заседания кафедры №5 от 29.01.2016 г. и № 1 от 11.09.2019 г.), на международной научно-практической конференции Транспорт России: проблемы и перспективы, г. Санкт-Петербург, 2016 г., на 13-ой международной конференции «Организация и управление безопасностью движения в больших городах», ОБДД-2018, 28-30 сентября 2018г., Санкт-Петербург, Россия.

**Публикации.** По теме диссертации опубликовано 11 печатных работы, общим объемом 7,5 п.л., в том числе 4 из них опубликованы в изданиях, рекомендованных ВАК Министерства образования и науки РФ и 3 статьи опубликованы в изданиях включенных в перечень научных изданий SCOPUS.

**Структура и объем диссертации.** Диссертация состоит из введения, четырех глав, выводов, библиографического списка из 120 наименований и 4 приложений. Объем работы: 197 стр. печатного текста, 66 рисунков, 47 таблиц.

# **1 ГЛАВА. АНАЛИЗ ПРЕДМЕТНОЙ ОБЛАСТИ ЗАДАЧ ПОСТРОЕНИЕ КАЧЕСТВЕННЫХ МАТРИЦ КОРРЕСПОНДЕНЦИИ В РАМКАХ ФУНКЦИОНИРОВАНИЯ СИСТЕМ КОСВЕННОГО УПРАВЛЕНИЯ ТРАНСПОРТНЫМИ ПОТОКАМИ**

## **1.1 Понятие косвенного управления транспортными потоками**

Организация дорожного движения состоит из двух основных компонентов:

- директивное управление транспортными потоками (ДУТП);
- косвенное управление транспортными потоками (КУТП).

ДУТП в современном мире представлено различными автоматизированными системами управления дорожным движением. Такой тип управления транспортными потоками подразумевает жесткое (безальтернативное) соблюдение участниками дорожного движения всех требований, предъявляемых дорожными знаками, разметкой и/или светофорными объектами [1-3]. Иными словами, любое отступление от предписаний или запретов является нарушением правил дорожного движения (ПДД) и влечет за собой привлечение участников дорожного движения (УДД) к административной ответственности (например, проезд на запрещающие сигналы светофора). КУТП заключается в управлении транспортными потоками через мотивацию УДД к выбору альтернативных вариантов проезда посредством предоставления информации о текущей или прогнозной дорожной обстановке как во время поездки, так и перед ней. Данный вид управления транспортными потоками может осуществляться через средства общего пользования (динамическое информационное табло (ДИТ) или через средства индивидуального пользования (бортовое оборудование транспортного средства, мобильные устройства). Основное различие перечисленных методов управления транспортными потоками (УТП) заключается в том, что при ДУТП производится ограничение пропускной способности дорог, а при КУТП – перераспределение транспортных потоков (ТП) по улично-дорожной сети (УДС) без ограничения пропускной способности дорог [4,5].

## **1.2 Анализ отечественного и зарубежного опыта в области косвенного управления транспортными потоками**

### **1.2.1 *Общее представление о системах информирования***

Научная проработка в области систем КУТП начинала проводиться еще во времена существования СССР и обозначались они как системы предупреждения водителей ТС. Основной задачей таких систем является своевременное информирование УДД о необходимости изменения режима или маршрута движения. При этом, необходимую УДД информацию предлагалось разделять на три основные группы, при этом каждому виду информации был определен наиболее оптимальный способ информирования:

– первая группа. Характеристика (параметры) дороги и её отдельных элементов, например, общие сведения о маршруте движения, направление дороги, опасные участки, ровность и скользкость дорожного покрытия

– вторая группа. Условия движения по дороге, например, параметры транспортного потока, рекомендации по выбору оптимального режима движения в зависимости от дорожной обстановки (загрузка дороги движением, наличие транспортных заторов, скорости движения на отдельных участках дорог, рекомендации о возможном изменении маршрута следования, по выбору полосы движения, изменению скорости движения, предупреждения о наличии встречных ТС в зоне с ограниченной видимостью, о правильности выбора направления движения и др.

– третья группа. «Внешние» условия движения, например, метеорологическая видимость, осадки (снег, дождь), снежные заносы, гололед, опасность значительных паводков, лавин, камнепадов, обвалов, подвижек, оползней и тому подобное [6].

Системы КУТП предназначены для предоставления УДД второй группы информации, а именно рекомендации по выбору оптимального маршрута движения транспортных средств (ТС) в зависимости от текущей или прогнозной

дорожной обстановки. Также в трудах Бабкова В.Ф. представлена структура систем предупреждения УДД, представленная на рисунке 1.1 [6].

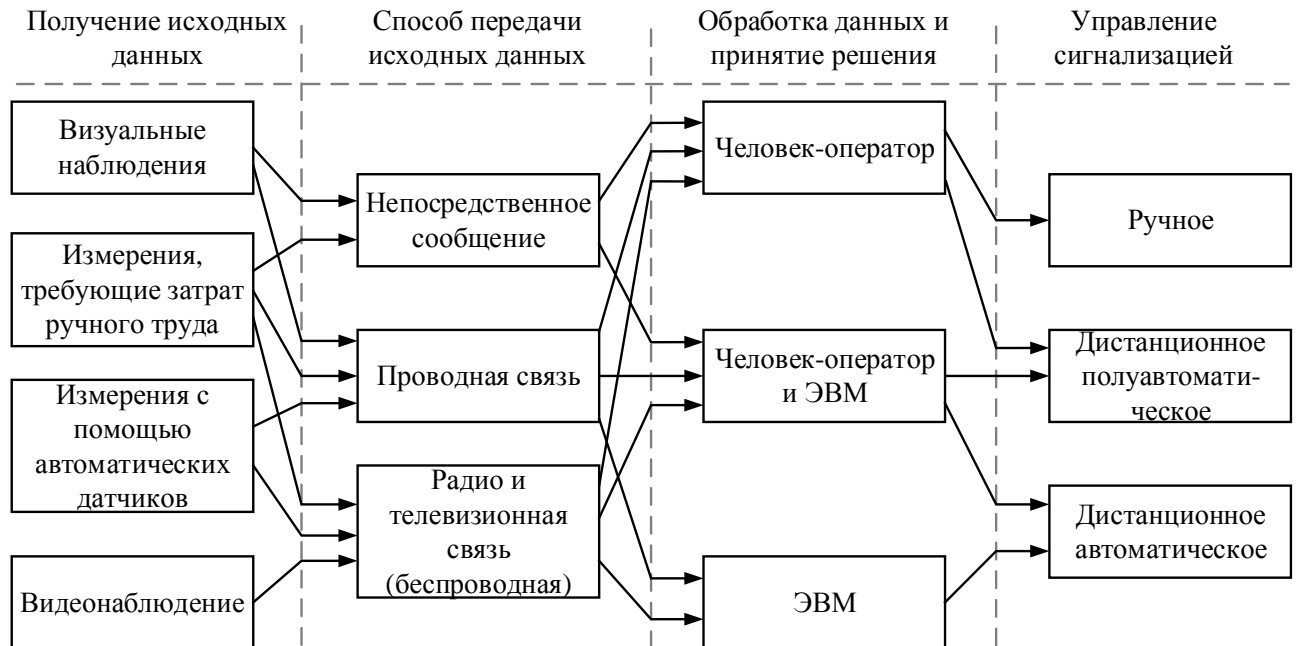


Рисунок 1.1 – структура систем предупреждения УДД [6]

Представленная схема хоть и была предложена достаточно давно, но не потеряла своей идеологической актуальности. В силу того, что интенсивность движения ТС в настоящее время достаточно велика, то формирование исходных данных методами визуального наблюдения и иными методами, требующими ручного труда более не являются актуальными. Также отмечается высокая роль качества (точности) исходных данных в рамках функционирования систем предупреждения УДД, поскольку некорректная работа или ложное срабатывание таких систем приводит к снижению доверия УДД к таким системам, что может повысить риск возникновения ДТП или привести к крайне низкой эффективности рассматриваемых систем (зависит от типа предоставляемой информации).

Отдельно стоит рассмотреть тенденцию развития и внедрения такой технологии как автономное движение. В транспортном потоке, состоящем в основном из транспортных средств, управляемых в ручном режиме, системы информирования в целом останутся частью систем КУТП. Однако, в транспортном потоке, состоящем в основном из автономных транспортных средств, элементы

системы информирования, а именно, качественные матрицы корреспонденции, как составляющая часть цифровой модели дороги, могут выступать в роли элементов ДУТП, которые смогут принудительно задавать маршруты движения транспортным средствам и тем самым не просто строить качественные матрицы корреспонденции (КМК) исходя из сложившейся дорожной обстановки, а формировать их, добиваясь наибольшей эффективности УДС в целом.

### 1.2.2 Методы сбора исходных данных для систем информирования

Сбор исходных данных о параметрах ТП является первым этапом на пути проектирования (или функционирования) систем информирования. Существует несколько вариантов сбора исходных данных:

– исследование на стационарных постах:

1) метод наблюдения. Данный метод обеспечивает получение информации об интенсивности, плотности и составе ТП могут заноситься непосредственно наблюдателем в специальные бланки или могут быть получены при анализе видеозаписей с камер видеонаблюдения, установленных на УДС вместо наблюдателей. Обработка видеозаписей может проводится вручную [7], или же с помощью программ обработки видеозаписей [10-12]. Рассматриваемый метод применялся при комплексном обследовании транспортных потоков в центре Москвы 28 апреля 1999 года, которое было осуществлено Управлением транспорта и связи на основании Распоряжения Мэра Москвы № 277-РМ от 01.04.99 г. "О проведении комплексного обследования транспортных потоков в центральной части г. Москвы" [11].

2) метод опроса УДД. Данный метод обеспечивает получение информации об истоках ТП, объектах притяжения, маршрутах движения, доли транзитного и местного движения. При этом ТС останавливают только один раз для проведения анкетирования. Требуется остановки каждого ТС. Одним из примеров применения данной методики служит комплексное обследование, проведенное в октябре-декабре 1999г. Управлением транспорта и связи на основании Распоряжения Мэра Москвы № 1168-РМ от 18.10.99 г. «О проведении комплексного обследования



условий движения на улично-дорожной сети г. Москвы». В рамках выполнения данного распоряжения был проведен опрос водителей на выездных пикетах города о целях поездки и использовании московской кольцевой автомобильной дороги, а также опрос более 20 тыс. водителей транспортных средств о маршрутах движения, на 225 постах по всей улично-дорожной сети города [11].

3) метод талонного обследования. Данный метод обеспечивает получение информации об истоках ТП, объектах притяжения, маршрутах движения, доли транзитного и местного движения, а также позволяет рассчитать скорости сообщения. При этом ТС совершает две краткосрочные остановки – в местах выдачи и сбора талонов. Талоны могут иметь различное содержание в зависимости от цели исследования и иметь различные цвета и в зависимости от типа ТС. Требуется остановки каждого ТС [12, 13]. В последнее время широко применяется при исследовании пассажиропотоков общественного транспорта.

4) метод наклеивания ярлыков. Данный метод обеспечивает получение информации об истоках ТП, объектах притяжения, маршрутах движения, доли транзитного и местного движения. В данном случае ТС совершает одну краткосрочную остановку на въезде в рассматриваемый участок УДС, во время которой на ТС наклеивают ярлык – специальную метку, цвет, форма или символ которой соответствуют определенному въезду. На других постах происходит фиксация данных ярлыков методом наблюдения. Метод наклеивания ярлыков также требует остановки каждого ТС, продолжительность которой значительно меньше, чем остановка ТС при предыдущих методах [12, 13].

5) метод записи государственных регистрационных знаков (ГРЗ). Данный метод обеспечивает получение практически любой информации о параметрах ТП, кроме состава ТП. При этом на УДС размещаются несколько точек наблюдения, на которых происходит фиксация ГРЗ. Данный метод не требует каких-либо остановок ТС и может быть реализован с помощью метода наблюдения [7] или с помощью автоматического распознавания ГРЗ [14–24]. На сегодняшний день данный метод реализуется в рамках систем автоматической фото-видеофиксации нарушений ПДД.

б) применение детекторов транспорта. Данный метод обеспечивает получение информации об интенсивности, плотности, средней скорости ТП и определять длину очереди ТС в заданном направлении движения, например, у перекрестков. Метод не требует каких-либо остановок ТС и позволяет получать данные о параметрах ТП при большой интенсивности движения. [12,25–28].

– с помощью подвижных средств:

1) метод «плавающего» ТС. В роли такого ТС может выступать специальная ходовая лаборатория, либо штатное ТС, оборудованное самопишущими приборами-тахографами. Данный метод применяется для получения пространственно-временной характеристики режимов движения по УДС, в том числе для построения изохронных карт, на которых отображены кривые, равноудаленные от общего объекта притяжения (ОП). Рассматриваемый метод широко применяется в сервисах, предоставляющих информацию о загрузке УДС, в которых «плавающими» ТС являются сами пользователи данных сервисов. Мобильные приложения, предоставляемые рассматриваемыми сервисами, периодически отправляют данные о месторасположении, скорости и направления движения ТС (определяются с помощью глобальной навигационной спутниковой системой (ГНСС) в центр обработки данных (ЦОД, где проводится обработка информации и отправляется обратно пользователям.

2) аэрофотосъемка. Проводится с помощью различных летательных аппаратов (пилотируемые, автопилотируемые, роботизированные летательные аппараты, проще говоря, дроны). Данный метод позволяет получить информацию об интенсивности, плотности и составе ТП [6, 29, 30]. Метод применялся при проведении исследований ТП города Москвы на основании Распоряжения Мэра Москвы № 277-РМ от 01 апреля 1999 г. и Распоряжения Мэра Москвы № 1168-РМ от 18 октября 1999 года [11].

3) трекинг ТС с помощью ГНСС. Данный метод позволяет получить информацию об интенсивности, плотности, скорости ТП и маршрутах движения ТС. Осуществляется с помощью установки на ТС специального оборудования, передающего вышеперечисленную информацию в ЦОД. Особенность данного

метода заключается в том, что каждое устройство имеет свой идентификатор и относится к одному ТС, что позволяет проводить построение маршрутов движения ТС. В настоящее время применяется предприятиями, осуществляющими грузовые и пассажирские перевозки, в том числе и предприятиями городского пассажирского транспорта (например, ГУП «Мосгортранс», ЗАО НПП «Транснавигация») и в качестве дополнительной функции охранных систем ТС [31–36].

Затем полученная информация о параметрах ТП направляется в ЦОД, где происходит её дальнейшая обработка и формирование наиболее оптимальных решений в рамках поставленных задач, в том числе и с области организации дорожного движения (ОДД). Как правило поиск таких решений проводится с помощью имитационного моделирования ТП, поскольку проведение экспериментов в реальных условиях может привести к ухудшению дорожной обстановки и спровоцировать негативное влияние на финансовую и социальные области.

Немалую роль в процессах разработки и функционирования систем информирования отведена имитационному моделированию ТП, именно по его результатам формируются варианты КУТП. Научной проработке в данной области было посвящено немало работ целого ряда советских ученых, таких как: Афанасьев М.Б., Бабков В.Ф., Васильев А.П., Лобанов Е.М., Сильянов В.В., Ситников Ю.М., Калужский Я.А., Рыжков И.П., Зырянов В.В. [37–42]. Среди зарубежных трудов, посвященных имитационному моделированию, особо выделяются труды Джиппса П. и Дрю Д., Хейт Ф. которые легли в основу многих программных продуктов имитационного моделирования [43–44].

Для достижения наибольшей эффективности систем информирования необходимо определить наиболее оптимальные параметры средств отображения информации (допустимая яркость свечения, колориметрические характеристики, углы обзора и др.), структуру и контент информационных сообщений, размер и тип шрифта. Выбор данных параметров зависит от психофизиологических особенностей УДД, которые также являются объектом научных исследований. В

качестве примера таких исследований можно привести научные труды Лобанова Е.М. [5, 45–50]. Кроме того, достаточно большое количество в данной области проведено исследований и зарубежными коллегами [51–53].

### **1.3 Современное представление о системах косвенного управления транспортными потоками**

В настоящее время информацию о дорожной обстановке УДД предоставляют несколько сервисов, которые используют собственные источники информации, базы данных и статистику. Кроме того, они [сервисы] предоставляют услугу по формированию маршрутов движения ТС с наименьшими временными затратами. При этом всем пользователям предоставляется информация об одних и тех же альтернативах. При таком подходе не учитывается остаточная пропускная способность альтернатив и объем перераспределяемых на них ТП, что приводит к переносу транспортного затора на альтернативную дорогу и наоборот. Таким образом, происходит неоптимальное использование возможностей УДС.

Однако, в научных трудах последних лет предложена концепция единого центра КУТП, который стал бы единственным источником информирования УДД. Данный подход позволил бы исключить ситуацию, описанную выше и добиться наиболее оптимальной загрузки УДС. Схема функционирования систем КУТП такого типа представлена на рисунке 1.2.

На первом (1) этапе функционирования систем КУТП происходит сбор и передача в ЦОД следующих исходных данных:

– со стороны дорожной инфраструктуры: данные об интенсивности, плотности и скорости ТП, идентификационные данные ТС (для построения маршрутов движения ТС);

– со стороны мобильных приложений и бортового оборудования: скорость ТС: скорость движения ТС, ОП, местоположение ТС, идентификационные данные ТС (для построения маршрутов движения ТС).

На втором (2) этапе функционирования происходит обработка исходных данных, построение КМК, общий анализ дорожной обстановки и ТП.

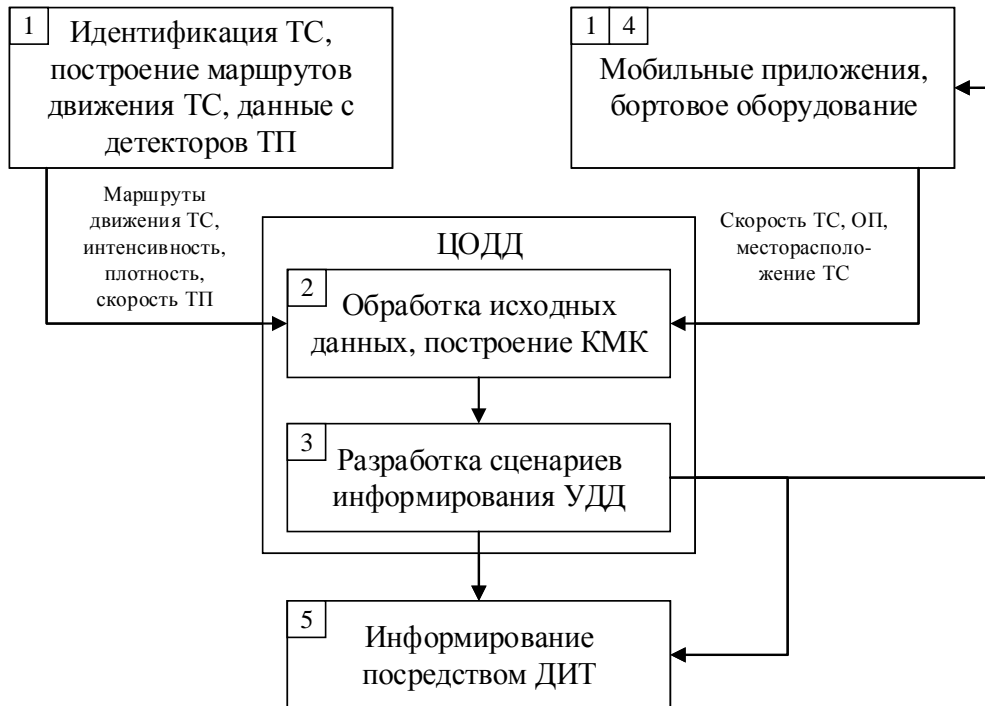


Рисунок 1.2 – Схема функционирования систем КУТП на базе единого ЦОД

На третьем (3) этапе проводится разработка сценариев информирования УДД, а именно определение наиболее оптимальных областей предоставления информации, разработка сообщений, формирование сценариев сообщений. Стоит отметить, что в данном случае УДД, пользующиеся мобильными приложениями и остальные УДД, которые получают информацию посредством ДИТ рассматриваются как единая целевая аудитория, что позволяет более рационально перераспределять ТП [5].

На последних этапах осуществляется непосредственно вывод информации на ДИТ или бортовое оборудование (если предусмотрена такая возможность) в виде сообщений о дорожной обстановки и наиболее оптимальных маршрутах движения, и передача информации в мобильные приложения или в бортовое оборудование в виде определенного маршрута движения. Стоит отметить, что при таком подходе к системам КУТП возможен случай, когда часть ТП заведомо будет направляться в сторону транспортного затора для того, чтобы не допустить перегрузки

альтернативной дороги и тем самым сохранить наиболее оптимальную загрузку УДС, в противном случае наступает ситуация, идентичная настоящей.

Сам процесс разработки систем КУТП рассматривается как определенная последовательность следующих этапов:

- 1) определение границ участка УДС;
- 2) сбор исходных данных;
- 3) разработка технологии КУТП;
- 4) предварительное определение областей информирования УДД;
- 5) разработка технических требований к средствам информирования УДД;
- 6) финальное определение области информирования УДД;
- 7) расчет индикаторов эффективности функционирования систем КУТП;
- 8) корректировка технологии КУТП (при неудовлетворительных показателях индикаторов эффективности) (рисунок 1.3) [5, 54, 55, 113].

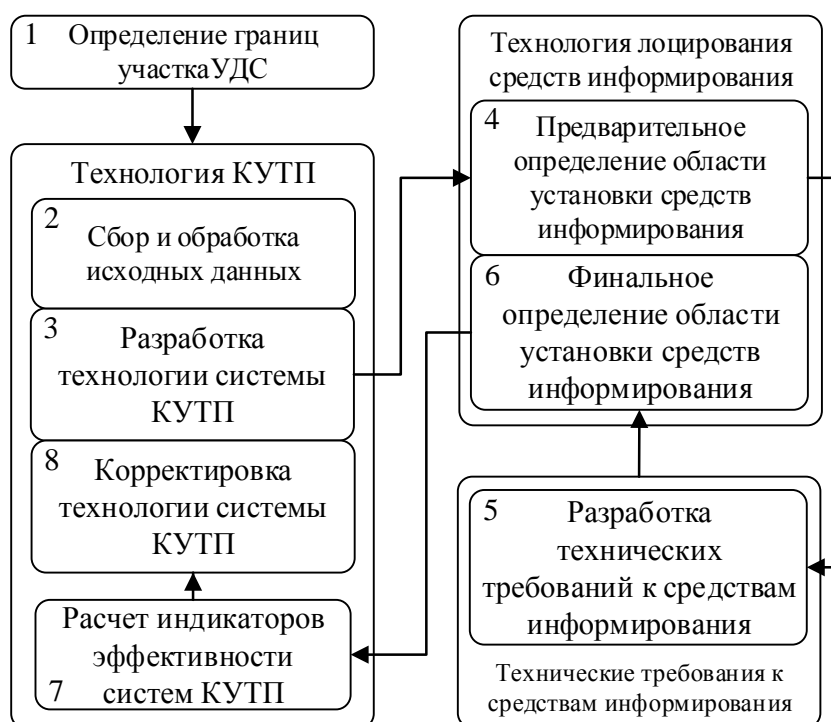


Рисунок 1.3 – Процесс разработки систем КУТП

Вначале проводятся мероприятия по определению границ участка УДС, для которого будет разрабатываться система КУТП, иными словами, определяется

область прямого влияния системы на ТП. Затем проводится сбор и обработка исходных данных: параметры ТП, характеристики дорог, анализ ОП и их времени жизни, состояние дорожной инфраструктуры и прочее. На основе полученной информации проводят разработку технологии КУТП, а именно: выбор средств информирования УДД, определение показателей (индикаторов) эффективности системы и т.д. Далее, в программах имитационного моделирования проводят ряд экспериментов, направленных на определение наиболее оптимальных областей информирования УДД. После чего, проводится разработка технических требований к средствам информирования УДД, которые зависят от выбранной технологии КУТП и специфики областей информирования. Финальное определение областей информирования УДД проводится исходя из возможностей, применяемых или доступных средств информирования, состоянием коммуникаций, возможностью отвлечения внимания водителя без увеличения риска возникновения ДТП. Исходя из результатов финального определения областей информирования УДД формируются банки стандартных сообщений (БСС), сценарии информирования и прогнозируется реальная эффективность разработанной системы.

На данный момент активно ведутся исследования в области систем КУТП, касающиеся различных областей данных систем: технологической составляющей систем КУТП [5, 56], определения областей информирования [2, 4] и технических требований к средствам отображения информации [56] и другие [57-63]. Кроме того, в РФ уже разработано и внедрено несколько национальных стандартов, касающихся систем КУТП как подсистемы ИТС [55, 56, 62]. Стоит отметить, что в научных трудах последних лет и в государственных стандартах в качестве источника исходных данных для проектирования и функционирования систем КУТП используются в том числе, и информация о маршрутах движения ТП и объему ТП, следующих данными маршрутами.

#### 1.4 Понятие качественной матрицы корреспонденции

В мировой практике большинство решений в рамках КУТП принимаются на основе анализа стандартных матриц корреспонденций ТП, которые в свою очередь получают при помощи различных математических моделей обработки данных об интенсивности, плотности, скорости ТП и параметрах перераспределения ТП на перекрестках рассматриваемого участка УДС. Формированию матриц корреспонденции ТП их применению и обработке параметров транспортных потоков (в рамках управления транспортными потоками) посвящено немало научных трудов (Приложение А) [4, 5, 64-81, 113].

Анализ приведенных в таблице А.1 источников позволил выделить общую характерную особенность – критерием оценки точности таких матриц, как правило, выступают такие параметры ТП как интенсивность, плотность и скорость, а также параметры перераспределения ТП на перекрестках. Несмотря на высокую точность имитационных моделей, созданных на основе полученных матриц корреспонденций, этот метод имеет существенный недостаток: невозможно определить маршруты движения ТС. Информация о маршрутах движения ТС дает возможность достаточно точно определять области информирования УДД, формировать БСС (точное определение актуальных ОП, относительно которых будет осуществляться информирование УДД), формировать сценарии смены БСС и, как следствие, предоставляет возможность прогнозировать эффект от внедрения КУТП. В свою очередь, возможность достаточно точного прогнозирования эффективности является инструментом технико-экономического обоснования систем КУТП, т.е. позволяет аргументированно ответить на вопрос о целесообразности внедрения КУТП на тот или иной участок УДС. Матрица корреспонденции ТП, содержащая дополнительную информацию о маршрутах движения ТП была названа КМК [5, 55, 56, 113].

Также стоит отметить, что текущей степени проработки в области построения КМК недостаточно для полноценного применения данных матриц в рамках реализации КУТП, а именно:



– отсутствуют исследования зависимости эффективности систем КУТП от точности КМК и, как следствие, отсутствуют требования к минимально допустимой точности КМК в рамках решения задач КУТП;

– отсутствуют методические рекомендации по построению КМК.

При более подробном рассмотрении технологии систем КУТП можно выделить операции, которые осуществляются непосредственно с помощью КМК (рисунок 1.4) [5,56]:

– создание уточненной матрицы объектов притяжения (МОП) – массива списков основных объектов притяжения транспортных потоков (стоков), расположенных в пределах принятой области распространения системы КУТП с указанием их времени жизни, величины и характера (исходящий или транзитный) транспортного потока,

– создание банка стандартных сообщений (БСС) – иерархического списка шаблонов стандартных сообщений, актуализированного для области распространения (зоны) системы КУТП и определение мест предоставления информации УДД;

– проведение предварительного определения мест предоставления информации УДД [104, 113].



Рисунок 1.4 – Технология функционирования систем КУТП

Таким образом, КМК является одним из ключевых аспектов технологической составляющей систем КУТП.

Стоит отметить, что в некоторых случаях возможно создание систем КУТП с помощью КМК, построенных аналитическим методом на основе данных об интенсивности ТП (простейшие условия ОДД), а именно:

- наличие одного объекта притяжения ОП;
- наличие не более одного альтернативного маршрута;
- наличие нескольких ОП с единым альтернативным маршрутом.

Наглядно недостаток обычных матриц корреспонденции демонстрирует пример, представленный на рисунках 1,5 и 1.6. Предположим, что имеется примитивная УДС с двумя ОП, двумя истоками ТП, двумя альтернативами для ОП №1 и транспортным затором, возникшим на общем участке основной дороги. Пусть известны данные об интенсивности ТП и его распределении на перекрестках. Предположим, что для разрешения сложившейся ситуации необходимо перераспределять от 1800 до 2000 авт/ч с основной дороги альтернативные с помощью информирования УДД посредством ДИТ. В данном примере единственным возможным способом борьбы с транспортным затором является перераспределение части ТП на альтернативные маршруты до ОП №1. Стоит отметить, что по данным простой матрицы корреспонденции (МК) невозможно определить величину ТП, прибывающего на ОП №1 из каждого ОП (только общее значение интенсивности ТП), вследствие чего невозможно определить наиболее оптимальное место установки средств информирования и корректно определить технологию информирования. Иными словами, невозможно ответить на ключевые вопросы КУТП:

- достаточно ли установки информирования УДД только в области истока №1 (или только в области истока №2) или же необходима осуществлять информирование УДД одновременно в области обоих истоках;
- какова возможная величина перераспределенного ТП (не возникнет или не перенесется ли транспортный затор на альтернативных дорогах).

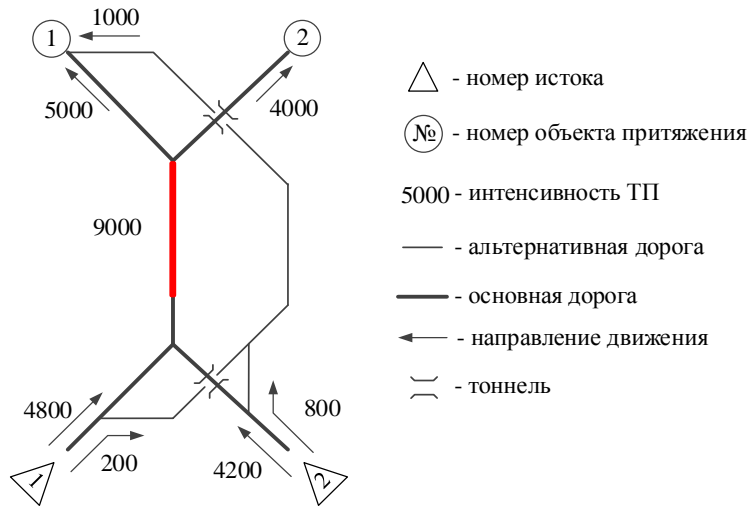


Рисунок 1.5 – Пример использования стандартной матрицы корреспонденции

Если же рассмотреть данную ситуацию с условием, что в качестве исходных данных выступает КМК, т.е. определены маршруты движения ТС и доля ТП, следующего данными маршрутами (рисунок 1.6), то становится возможным определить место информирования УДД, создать точную и достоверную имитационную модель и, что является основным преимуществом, спрогнозировать результаты перераспределения ТП по УДС.

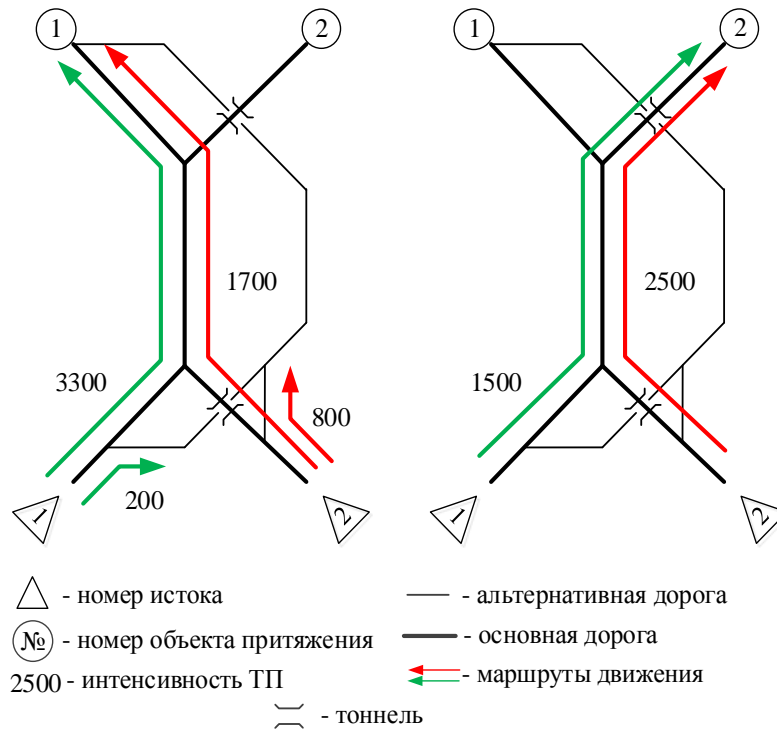


Рисунок 1.6 – Пример использования стандартной матрицы корреспонденции

## 1.5 Способы построения качественных матриц корреспонденции

В зависимости от поставленной задачи КМК делится на два типа:

- неоперативная КМК;
- оперативная КМК.

Неоперативная КМК носит статистический характер, т.е. является неким массивом (базой) данных, собранной за определенный интервал времени. Кроме того, неоперативная КМК не подлежит обновлению, в связи с чем её применение ограничивается и возможно только в рамках этапа технико-экономического обоснования систем КУТП. Иными словами, неоперативные КМК позволяют установить потенциальную эффективность систем КУТП и определить насколько целесообразно их внедрение на рассматриваемой участок сети дорог. Оперативная КМК носит динамический характер и обновляется согласно заданному расписанию, что позволяет применять их в рамках функционирования систем КУТП, а также проводить оценку их эффективности.

Для решения задачи построения КМК из всех перечисленных в п. 1.2.2 способов получения исходных данных пригодны следующие:

- опрос УДД;
- метод «наклеивания ярлыков»;
- метод записи ГРЗ;
- графическое распознавание государственных регистрационных знаков;
- радиочастотная идентификация ТС;
- мониторинг треков ТС с помощью ГНСС;
- с помощью сотовых сетей и сетей передачи данных (например, GSM).

Стоит отметить, что первые три способа возможно применить только для получения неоперативных КМК, причем первые два способа требуют остановки каждого ТС. С учетом текущего уровня автомобилизации населения городов и объемов ТП рационально отказаться от применения способов получения информации, использующих ручной труд и/или остановку всех (или большинства)

ТС. Таким образом, стоит принять к рассмотрению остальные способы построения КМК.

### 1.5.1 *Графическое распознавание государственных регистрационных знаков*

Рассматриваемый метод заключается в цифровой обработке изображения ГРЗ с помощью специальных комплексов оборудования, которые устанавливаются на рассматриваемом участке УДС. Данные комплексы состоят из оптического устройства (видеокамеры) и устройства обработки полученного с видеокамеры изображения, которое представляет собой компьютерный системный блок с установленным программным обеспечением (ПО) обработки полученного с видеокамеры изображения. Данная технология применяется при организации автомобильных стоянок и в системах фото-видеофиксации нарушений ПДД.

Процесс построения КМК на основе графического распознавания ГРЗ состоит из следующих этапов (рисунок 1.7):

- этап I. Запись видеоизображения проезда ТС через область фокусировки видеокамеры;
- этап II. Кадрирование видеоизображения, иными словами, отбираются несколько наиболее «удачных» с точки зрения комплекса кадров, на которых присутствует ГРЗ ТС. На полученных кадрах ПО определяет ГРЗ и, следуя заданному алгоритму, осуществляет распознавание символов ГРЗ.
- этап III. Определение маршрутов движения ТС, построение КМК. Информация о распознанных ГРЗ поступает в ЦОД, где и происходит определение сначала маршрутов движения отдельных ТС и объемы ТП, которые следуют данными маршрутами. Затем уже происходит агрегирование полученной информации – построение КМК.

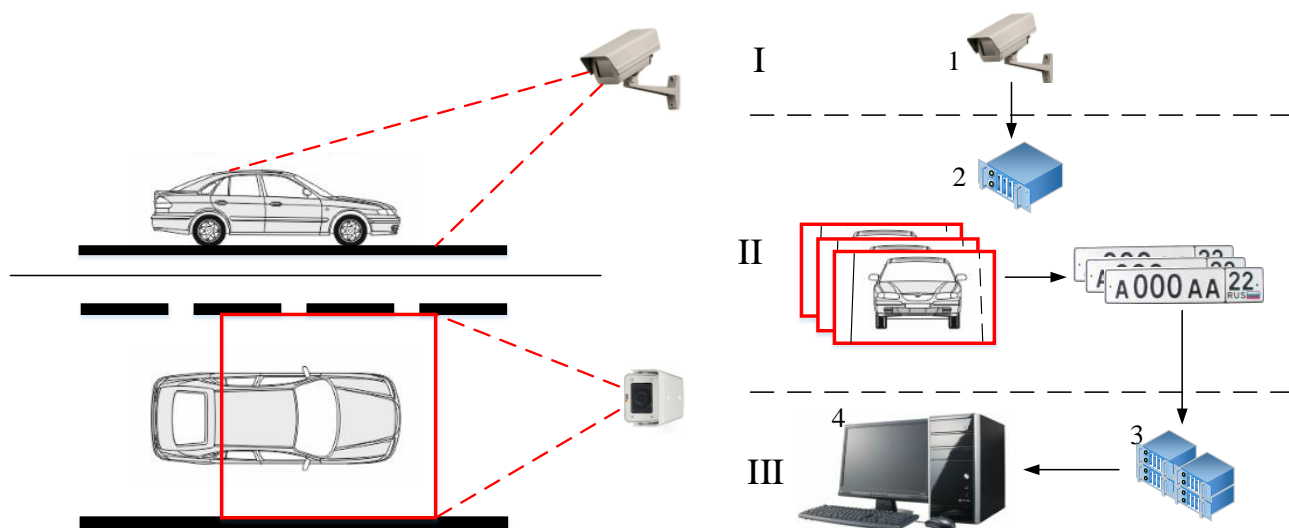


Рисунок 1.7 – Процесс построения КМК на основе графического распознавания ГРЗ

Рассматриваемый метод построения КМК обладает собственными преимуществами и недостатками. К основным преимуществам можно отнести следующее:

- не требуют установки на ТС какого-либо дополнительного оборудования на ТС, поскольку без установка ГРЗ эксплуатация ТС не допускается на законодательном уровне;

- данная технология доступна для реализации в настоящее время. В настоящее время разработано и представлено на рынке множество различных комплексов графического распознавания ГРЗ;

- обладают достаточно высокой точностью распознавания ГРЗ. Постоянное совершенствование оптических систем и алгоритмов обработки изображений позволяет осуществлять распознавание ГРЗ с точностью выше 90% (до 98%).

- комплекс одновременно может быть задействован как средство фото-видеофиксации нарушений ПДД, например, контроль скоростного режима (определение мгновенной и/или средней скорости движения, нарушений рядности движения, правил перестроения, направления движения и т.п.).

К основным недостаткам рассматриваемого метода следует отнести следующее:

– высокая степень зависимости точности распознавания от погодных условий и сезонности. Обильные осадки, например, проливной дождь, снегопад и т.п., которые создают помехи для оптических устройств. Кроме того, определенным временам года соответствует высокая степень загрязненность ГРЗ, что в значительной степени снижает точность распознавания ГРЗ.

– зависимость точности распознавания от плотности и состава ТП. При условиях высокой плотности ТП (высокие значения коэффициента насыщения движением) и наличии крупногабаритных ТС (автобусы, грузовые ТС и др.) возрастает вероятность полного (или частичного) перекрытия (закрытия) ГРЗ габаритами других ТС;

– требуется доступ к линиям электропередач и каналам передачи данных.

### 1.5.2 *Радиочастотная идентификация ТС*

Метод радиочастотной идентификации очень похож на метод графического распознавания ГРЗ. Отличие заключается в том, что идентификация ТС осуществляется посредством расшифровки радиосигнала, поступившего к считывателю от специального оборудования (например, RFID-метки), которое установлено на ТС. Считывающие устройства при этом могут быть заложены под дорожное покрытие. Рассматриваемая технология применяется при организации автомобильных стоянок, в рамках оплаты за проезд по платным участкам дорог, на крупных предприятиях для организации автоматического учета подвижного состава. Условно данную систему можно также разделить на три этапа (рисунок 1.8):

– этап I. Прием считывателем сигнала от радиометки, и последующая передача его на устройство расшифровки сигналов.

– этап II. Расшифровка (декодирование) полученного радиосигнала.

– этап III. Определение маршрутов движения ТС, построение КМК. Информация о ТС поступает в ЦОД, где и происходит определение сначала маршрутов движения отдельных ТС и объемы ТП, которые следуют данными

маршрутами. Затем уже происходит агрегирование полученной информации – построение КМК.

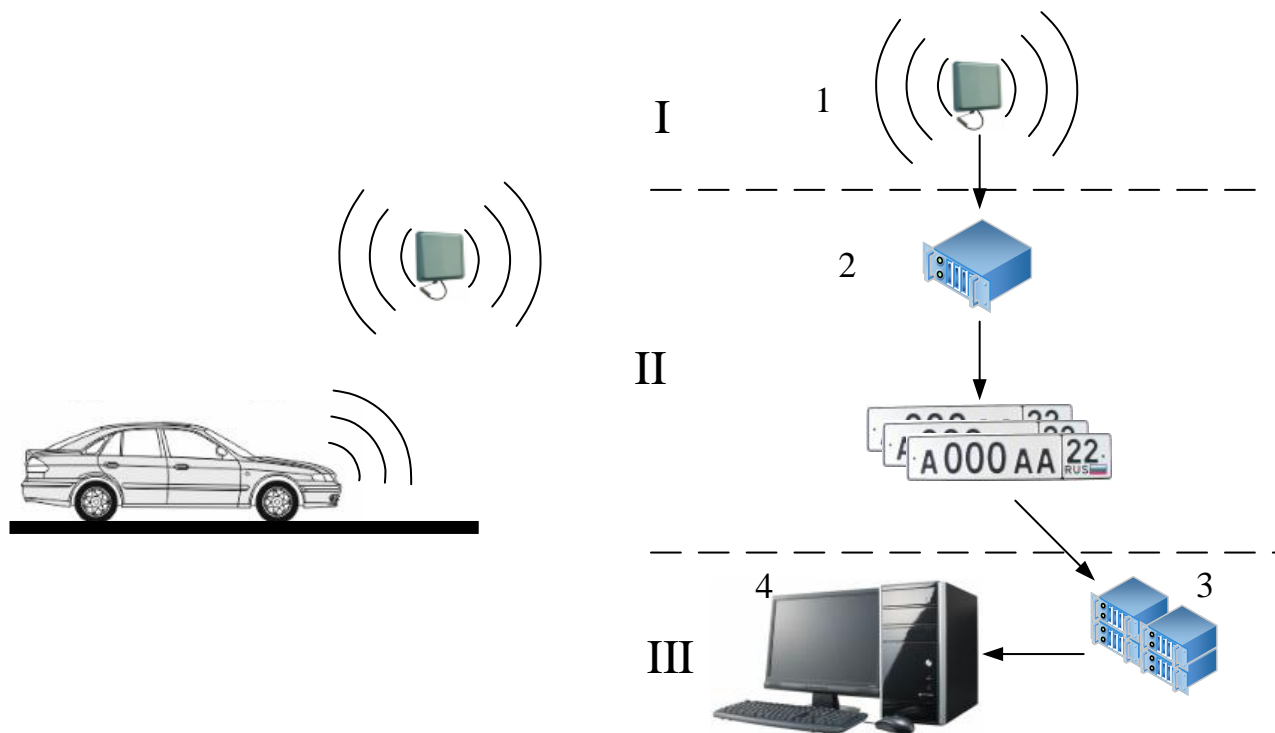


Рисунок 1.8 – Процесс построения КМК на основе радиочастотной идентификации ТС

В качестве основных преимуществ рассматриваемого комплекса идентификации ТС следует отметить следующее:

- практически абсолютная точность идентификации.
- радиометка может быть вмонтирована непосредственно в ГРЗ, что упрощает процедуру оснащения данными метками парка ТС;
- точность идентификации (качество радиосигнала) не зависит от погодных условий.
- точность идентификации не зависит от состава ТП, т.к. установка считывателей радиосигналов под дорожное покрытие делает невозможным перекрытие (отражение) сигнала радиометки другими ТС.
- комплекс одновременно может быть задействован как средство фиксации нарушений ПДД, например, контроль скоростного режима (определение мгновенной (при установке дополнительного оборудования) и/или средней



скорости движения, нарушений рядности движения, правил перестроения, направления движения и т.п.).

К основным недостаткам рассматриваемого комплекса относятся:

- рассматриваемая технология еще не внедрена в рамках оснащения всего парка ТС (существуют только пилотные проекты);
- длительный процесс оснащения парка ТС необходимыми радиометками;
- требуется доступ к линиям электропередач и каналам передачи данных.

### 1.5.3 *Спутниковый мониторинг треков транспортных средств*

Принцип работы спутникового мониторинга треков ТС заключается в отслеживании и анализе точек месторасположений транспортного средства (временных и пространственных координат) с помощью специального оборудования, устанавливаемое непосредственно на ТС и состоящего из нескольких частей:

- приёмник спутниковых сигналов;
- модули хранения данных;
- модуль передачи данных.

Приемник спутниковых сигналов получает координатные данные от навигационных спутников, определяет координаты ТС, сохраняет их в бортовом хранилище данных и по возможности передаёт с помощью модуля передачи данных в центр обработки данных (ЦОД) (рисунок 1.9).

Спутниковый мониторинг треков ТС может быть двух видов:

- «online». Дистанционная передача данных в режиме реального времени через доступные каналы связи, рисунок б «а», «б»);
- «offline» (данные считываются в определенных местах установки точек сбора информации, рисунок б «в»).

В «offline» режиме отсутствует потребность в удаленной передаче данных, что позволяет применять более дешёвые бортовые устройства и отказаться от сотрудничества с операторами, предоставляющими услуги связи. Стоит отметить,

что при «online» варианте передачи данных отсутствует какая-либо привязка к УДС, что делает возможным построение КМК высокой точности для любого участка любого размера и в любой момент времени. Стоит отметить, что в обоих случаях парк ТС должен быть укомплектован специальным оборудованием.



Рисунок 1.9 – Процесс построения КМК на основе трекинга ТС с помощью ГНСС

Основные преимущества и спутникового мониторинга треков ТС:

- высокая точность идентификации ТС;
- высокая точность определения маршрутов движения ТС (данные о местоположении ТС фиксируются раз в минуту);
- отсутствует привязка к УДС (при «online» варианте);
- не требуется доступ к линиям электропередач и каналам передачи данных (при «online» варианте).

Основные недостатки спутникового мониторинга треков ТС:

- увеличение погрешности определения местоположения ТС в условиях плотной городской застройки и в условиях высокой плотности облаков (может быть устранено при использовании средств высокоточного позиционирования);

– необходимо оснащение парка ТС специальным бортовым оборудованием.

Стоит отметить, что в соответствии с Техническим регламентом Таможенного союза «О безопасности колесных транспортных средств», начиная с 1 января 2015 г. ТС, впервые проходящие процедуру одобрения типа на соответствие требованиям технического регламента должны будут предусматривать наличие автомобильного терминала «ЭРА-ГЛОНАСС», а с 1 января 2017 г. – все ТС, выпускаемые в обращение на территории стран Таможенного союза [105]. Точности глобального спутникового позиционирования вполне достаточно для определения дороги, по которой движется ТС и, как следствие, достаточно для определения маршрутов движения. Принцип работы автомобильного терминала «ЭРА-ГЛОНАСС» заключается в том, что при ДТП автоматически происходит определение местоположения ТС с помощью спутников ГЛОНАСС, после чего через операторов сотовой связи передаются данные о происшествии в соответствующие органы. Данное положение создает в перспективе возможность реализации рассматриваемого метода построения КМК. Однако, к какому моменту времени данными терминалами будет оснащено достаточное для систем КУТП количество ТС определить достаточно сложно. Поскольку данная технология уже начинает внедряться, то целесообразно провести экспертный опрос с целью уточнения возможности применения.

#### ***1.5.4 С помощью сотовых сетей и сетей передачи данных***

Стоит также рассмотреть метод мобильного позиционирования с помощью различных технологий передачи данных (Wi-Fi, WiMAX, GSM, GPS, CDMA, IP), поскольку в современном обществе средства мобильной связи (сотовые телефоны) имеются у подавляющего большинства УДД. На сегодняшний день существует достаточно много технологий мобильного позиционирования:

– метод идентификации сот. В данном случае месторасположение приемника определяется по сигналу, поступающему на соту, в зоне действия которой он находится. Точность определения координат геолокации при этом

составляет до 150 метров в условиях городской застройки (плотное расположение сот) и до 35 километров в условиях открытого пространства [106];

– метод идентификации сот с учетом временной корректировки. В момент активного использования приемника или его регистрации в сети проводится расчет величины временной корректировки, которая учитывает временную задержку, возникающую при распространения сигнала, которая, в свою очередь, позволяет определить расстояние до активной соты. В данном случае точность варьируется в интервале 100-300 м (плотное расположение сот) и возрастает до 500 м в условиях открытой местности [106];

– метод времени прибытия. Основан на измерении интервалов времени, за которые сигнал с мобильного телефона достигает трех или более точек, оснащенных измерительными модулями системы. Центр расчетов положения запрашивает ближайшие к мобильному телефону измерительные модули и вычисляет положение телефона на основании времени приема сигналов (временных задержек) в фиксированных пунктах. Обеспечивает точность позиционирования 125 метров в более чем 50% случаев. Для реализации требует высокой плотности сети, высокой стоимости дополнительного оборудования и затрат на обслуживание [106].

– метод разности времен (задержки сигнала). Метод основан на измерении разницы во времени прибытия сигнала в одну базовую станцию, имеющую блок измерительного модуля, и еще, как минимум, в две соты с таким же оборудованием. Обеспечивается точность до 100 метров. Данный метод требует применение нового оборудования со стороны операторов и установку дополнительных модулей синхронизации [106].

– метод позиционирования с помощью точек доступа сетей Wi-Fi, WiMAX. Местоположение устройств фиксировалось методом триангуляции по точкам доступа. В общем виде принцип работы выглядит следующим образом: программа на клиентском устройстве определяет уровни сигнала и идентификаторы всех «видимых» точек доступа и отсылала эти данные на сервер, который по заранее

составленной карте покрытия пытается определить примерное местоположение, которое соответствовало этим данным. Обеспечивается точность до 50 метров [106].

Преимуществом данного метода является наличие практически у каждого УДД средств мобильной связи и возможность определять местоположение данных средств без модернизации самих устройств. Существенный недостаток, который ставит под сомнение целесообразность.

### ***1.5.5 С помощью математических моделей расчета корреспонденций и моделей распределения транспортных потоков***

На текущий момент наиболее распространенным и общепризнанным способом получения КМК является применение математических моделей расчета матриц межрайонных корреспонденций ТП и моделей распределения ТП:

- гравитационные модели;
- энтропийные модели;
- модели конкурирующих возможностей;
- иные гибридные модели [107].

Наибольшее распространение получили два способа привязки транспортной модели к УДС:

– граф-модели, в которых на электронной карте УДС строится граф/орграф, вершины которого отображают узлы УДС, соединенные дорогами (ребрами). При этом определяются правила прохождения по графу – организация дорожного движения;

– ГИС-модели, в которых на электронной карте УДС, разделённой на участки: узлы дорог, сами дороги и участки их сопряжения. При этом, каждому элементу задается математическое описание, соответствующее его характеру, а матрица корреспонденций представляет собой количественную характеристику передвижения по дорожной сети, определяющей взаимодействие между различными зонами [108].

Существуют различные модели для расчета корреспонденций:

### *Гравитационная модель*

Данная модель предусматривает расчет баланса прибытия-отправления между двумя зонами. Основная идея модели заключается в том, что все тела притягиваются друг к другу с силой прямо пропорциональной произведению масс этих тел и обратно пропорциональной квадрату расстояния между ними. Применительно к транспортной системе, в качестве тел выступают истоки ТП и объекты притяжения ТП, за массу тела принимается суммарный объем выезжающего/въезжающего ТП, расстояние между истоками и объектами притяжения можно представить в виде эквивалентных затраты, связанных с передвижением. С математической точки зрения, данная модель аналогична второму закону Ньютона. Основным недостатком данной модели заключается в том, что объем корреспонденций находится в квадратичной зависимости от входящих и исходящих ТП. Т.е. при увеличении их объемов, например, в два раза приводит к увеличению общему объему корреспонденций в четыре раза, что неприемлемо. В связи с этим, вместо классической гравитационной модели на практике используют ее модификацию, в которую добавлены дополнительные условия, например, балансовые ограничения на выезд и въезд [109,110].

### *Энтропийная модель*

В данной модели исходят из вероятностного описания поведения автомобилей: реализуемое состояние системы имеет наибольший статистический вес, который отражает сравнительные вероятности реализации различных состояний в системе. Принцип данных моделей заключается в том, что реальному распределению потока на сети, которые генерируются в результате самоорганизации, ставится в соответствие распределение ТП (которые удовлетворяют транспортным ограничениям), которое может быть получено в результате максимизации некоторой энтропийной функции, зависящей от состояния системы. Максимизация взвешенной энтропии означает, что проводится поиск не просто равновесного состояния, а такого состояния, которое близко по вероятности к тому, которое сложилось бы в реальных условиях с учетом индивидуальных предпочтений участников дорожного движения [109].

### *Модель конкурирующих возможностей Стауффера*

В данной модели заложены предположения о том, что объем корреспонденций между двумя зонами определяется числом альтернативных центров на пути следования, т.е. числом альтернативных возможностей посещения [107].

### *Другие модели*

Модели семейства «конкурирующих центров» учитывают большую или меньшую привлекательность зоны. Их рассматривают как обобщение гравитационной модели. Дальнейшие обобщения приводят к учету структуры системы зон. Зоны ранжируются по статусу. Загрузка улично-дорожной сети основана на поиске равновесного распределения потоков. Входной информацией для модели служит матрица корреспонденций. На выходе модель выдает средние значения потоков на элементах сети и средние доли поворотов на перекрестках.

Основное отличие моделей гравитационного типа и моделей промежуточных возможностей состоит в следующем: гравитационные модели основаны на расчете транспортной доступности центров прибытия, рассматриваемых в основном изолированно от альтернативных центров, в то время как модели промежуточных возможностей учитывают взаимное расположение альтернативных возможностей прибытия, но не учитывают явно фактора транспортной доступности (дальности). В связи с этим предложены различные варианты агрегированных моделей, учитывающие оба указанных фактора. В частности, в предложена объединенная «гравитационно-конкурирующая» модель энтропийного типа, т.е. основанная на поиске распределения корреспонденций с максимальным статистическим весом [107].

Основные преимущества использования математических моделей:

- создание моделей ТП и моделей поведения ТС с высокой точностью;
- высокая степень научной проработки в данной области;
- наличие на рынке различного ПО, основанного на вышеперечисленных математических моделях.

Основной недостаток данного метода построения КМК заключается в том, что оценка точности полученных имитационных моделей проводится на основе сравнения таких параметров ТП как интенсивность ТП, распределение ТП на перекрестках и др. без оценки достоверности маршрутов движения ТС [107].

#### ***1.5.6 Определение возможных методов построения качественных матриц корреспонденции***

Представленное описание особенностей способов построения КМК позволяет сделать следующие выводы:

– наиболее доступным способом получения корреспонденции ТП является применение принципов математического моделирования, однако данный метод не оценивает достоверность маршрутов движения ТС, которая в свою очередь является неотъемлемой частью исходных данных для решения задач КУТП. Чтобы определить возможность применения данного метода в рамках решения задач КУТП необходимо провести сравнение модельных КМК с реальными, но, ввиду отсутствия каких-либо методик построения КМК и отсутствием минимальных требований к точности определения маршрутов движения, провести сравнение не представляется возможным. Таким образом, метод получения корреспонденций ТС посредством математических моделей в рамках настоящего диссертационного исследования не подлежит рассмотрению.

– несомненным преимуществом в точности определения маршрутов движения ТС обладают методы радиочастотной идентификации ТС и метод трекинга ТС с помощью ГНСС. Данные методы обладают практически абсолютной точностью идентификации ТС и, как следствие, позволяют осуществлять построение КМК очень высокой точности. Однако, на данный момент времени оба метода реализованы лишь частично и их применение по отношению ко всем ТС не представляется возможным. Стоит отметить, что положено начало оснащению ТС специальными модулями «ЭРА-ГЛОНАСС», которые в перспективе могут быть использованы для построения КМК. Поэтому целесообразно определить



примерные временные границы, когда рассматриваемый метод будет доступен к реализации.

– методы определения маршрутов ТС с помощью мобильных средств связи также не целесообразно рассматривать в рамках настоящего диссертационного исследования ввиду низкого уровня точности определения местоположения устройства. Создается высокая вероятность некорректного определения местоположения ТС при условии расположения параллельно идущих дорог в непосредственной близости (например, дублирующая дорога, близко расположенная к основной).

– метод построения КМК с помощью систем графического распознавания ГРЗ обладает высокой точностью идентификации ТС и, несмотря на достаточно сильное влияние различных факторов на точность идентификации остается единственным методом построения КМК для решения задач КУТП

## 1.6 Выводы по главе 1

1. Определено, что основным источником исходных данных является КМК, предоставляющую информацию о маршрутах движения ТС;

2. КМК обладают достаточно большим потенциалом практического применения как в условиях ТП с преобладанием ручного управления ТС, так и в условиях ТП с преобладанием автономных ТС;

3. Рассмотрен отечественный и зарубежный опыт в области проектирования систем КУТП, рассмотрены наиболее перспективные методы сбора исходных данных;

4. Научная проработка в области построения КМК недостаточна и в данной области существует необходимость проведения дополнительных исследований;

5. В рамках настоящей диссертационной работы поставлены следующие задачи:

1) определить зависимость эффективности систем косвенного управления транспортными потоками от точности качественных матриц корреспонденции при ошибке I и II рода;

2) определить минимальную допустимую точность качественных матриц корреспонденций для эффективного функционирования систем косвенного управления транспортными потоками;

3) разработать математическую модель расчета точности качественных матриц корреспонденции в зависимости от точности используемого оборудования и его расстановки на улично-дорожной сети и принцип перерасчета качественных матриц корреспонденций, позволяющего снизить требования к точности качественных матриц;

4) определить область допустимых значений средней фактической точности определения маршрутов движения транспортных средств для эффективного функционирования систем косвенного управления транспортными потоками;

5) разработать методику построения качественных матриц корреспонденции для решения задач управления транспортными потоками.

## 2 ГЛАВА. РАЗРАБОТКА МАТЕМАТИЧЕСКОЙ МОДЕЛИ РАСЧЕТА ТОЧНОСТИ МАРШРУТОВ ДВИЖЕНИЯ ТРАНСПОРТНЫХ СРЕДСТВ. РАЗРАБОТКА МЕТОДИК ПРОВЕДЕНИЯ ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ

### 2.1 Определение целевой функции исследования

Согласно схеме процесса разработки систем КУТП, представленной в главе 1, область научных задач данных систем состоит из нескольких составляющих, тесно связанных между собой:

- методика зонирования (определение границ участка УДС для внедрения системы КУТП);
- технологическая составляющая систем КУТП;
- технология лоцирования мест информирования УДД;
- техническое проектирования средств информирования УДД.

Следовательно, общий вид целевой функции КУТП выглядит следующим образом:

$$F_{\text{КУТП}} = F_{\text{зонир}} \cdot F_{\text{техн}} \cdot F_{\text{лоцир}} \cdot F_{\text{ср.инф.}}, \quad (2.1)$$

где  $F_{\text{КУТП}}$  – целевая функция КУТП;

$F_{\text{зонир}}$  – целевая функция зонирования;

$F_{\text{техн}}$  – целевая функция технологической составляющей КУТП;

$F_{\text{лоцир}}$  – целевая функция определения мест информирования УДД;

$F_{\text{ср.инф.}}$  – целевая функция проектирования технических характеристик средств информирования УДД [4,5,113].

В свою очередь целевая функция КМК является одним из трех важных компонентов технологической составляющей систем КУТП:

$$F_{\text{техн}} = F_{\text{КМК}} \cdot F_{\text{БСС}} \cdot F_{\text{сценар}} \quad (2.2)$$

где  $F_{\text{КМК}}$  – целевая функция КМК;

$F_{\text{БСС}}$  – целевая функция БСС;

$F_{\text{сценар}}$  – целевая функция сценарирования.

Поскольку в настоящей диссертационной работе рассматривается лишь задача построения КМК, которая является частью технологической составляющей процесса проектирования систем КУТП, то целевые функции иных задач следует принять за постоянную величину, соответствующую оптимуму. Таким образом, к рассмотрению принимается следующее утверждение:

$$F_{\text{КУТП}} \approx F_{\text{техн}} \approx F_{\text{КМК}} \quad (2.3)$$

Поскольку КМК содержит в себе исходные данные для определения оптимальной величины перераспределения ТП (оптимального варианта КУТП), то задача функции построения КМК сводится к сбору, анализу и предоставлению информации, обладающей минимальной необходимой для КУТП точностью.

В свою очередь, точность самой КМК зависит от точности идентификации ТС и варианта расстановки идентификационных блоков (ИБ) на УДС в случае построения КМК с помощью дорожной инфраструктуры. Таким образом, возникает необходимость в проведении следующих исследований:

- зависимость эффективности КУТП от точности КМК;
- минимальная необходимая точность КМК для эффективного функционирования систем КУТП;
- зависимость точности КМК от точности применяемого оборудования и его расстановки на УДС.

## **2.2 Исследование зависимости эффективности УТП от точности КМК**

Для того, чтобы провести полноценное исследование зависимости эффективности УТП от точности КМК необходимо располагать следующими ресурсами:

- участок УДС, отвечающий минимальным требованиям для внедрения КУТП (см. глава 1);
- средства информирования УДД;
- КМК ТП до внедрения систем УТП;
- построение КМК ТП после внедрения систем УТП.

Поскольку на данном этапе не существует методик построения КМК, а доступные методы обладают весьма посредственной точностью (см. глава 1), то единственным возможным вариантом проведения экспериментов является применение имитационного моделирования. Кроме того, проведение подобных экспериментов на реальных участках УДС может привести к ухудшению дорожной обстановки и снижению такого индикатора эффективности, как уровень доверия УДД, что неизбежно приведет к изменениям процентного распределения типов водителей, что в свою очередь приведет к некорректной оценке возможной реакции ТП на УТП и значительному снижению эффективности систем УТП (некорректное формирование контента БСС и сценариев информирования) [5].

Таким образом, проведение подобного исследования возможно только с помощью имитационного моделирования.

При этом программный продукт должен обладать следующим минимальным набором функции:

- возможность задавать параметры ТС, близкие к реальным;
- моделирование на микро- и мезоуровнях;
- возможность назначать маршруты движения ТП;
- возможность маршрутного перераспределения ТП.

В большинстве источников, для проведения модельных экспериментов с ТП применялись общепризнанные программные продукты «AimSun» и «PTV Vissim». В рамках данной диссертационной работы было применено ПО фирмы AimSun, поскольку доступная версия ПО отвечала всем предъявленным требованиям.

Согласно представленной в главе 1 информации, оценка эффективности систем КУТП проводится с помощью следующих индикаторов эффективности:

- увеличение фактической пропускной способности УДС;
- снижение временных затрат на преодоление участка УДС;
- снижение экологической нагрузки;
- повышение уровня доверия водителей к системам УТП.

Стоит отметить, что такой индикатор эффективности как «снижение экологической нагрузки» является следствием увеличения первых двух индикаторов и отдельное его рассмотрение не имеет практического значения в рамках настоящего исследования. Поскольку эксперименты проводятся в программах имитационного моделирования, то становится невозможной оценка уровня доверия УДД к системам УТП, то в рамках работы уровень доверия принимается как постоянная величина, значение которой было описано в главе 1. Кроме того, необходимо ввести дополнительный индикатор эффективности «оптимальность загрузки УДС», поскольку увеличение первых двух индикаторов вовсе не означает, что загрузка УДС стала более оптимальной. Данное положение связано с описанным выше недостатком имитационного моделирования, т.к. УДД в модели не следует заданным правилам и не может поменять своего решения (если программа направила ТС по определенному маршруту, то оно будет двигаться по нему). В реальной ситуации неравномерность загрузки УДС негативно повлияет на уровень доверия УДД, что приводит к значительному снижению эффективности систем УТП [5].

Таким образом, в рамках диссертационного исследования оценка эффективности УТП будет проводиться с помощью следующих индикаторов эффективности:

- увеличение фактической пропускной способности УДС;
- снижение временных затрат на преодоление участка УДС;
- оптимальность загрузки УДС (равномерная загрузка дорог);

### ***2.2.1 Параметры транспортных потоков, необходимые для расчета индикаторов эффективности систем косвенного управления транспортными потоками***

Применяемой программой имитационного моделирования предусмотрена возможность сбора различной статистической информации о параметрах ТП. В

рамках диссертационного исследования проводился сбор следующих параметров ТП для модели УДС в целом:

- средняя интенсивность ТП ( $N$ , авт/ч);
- общее время в пути, ( $t_{\text{общ}}$ , с/мин).

Примечание – Параметр «общее время в пути» обладает специфичной размерностью, указывающая величину суммарного времени, затраченное всеми ТС на преодоление модели участка УДС за один час имитации (аналогичным показателем можно назвать сумма моточасов ТС за час имитации).

Для оценки оптимальность загрузки УДС было решено прибегнуть к расчету основных параметров уровня обслуживания для каждой из основных дорог модели УДС:

- коэффициент загрузки движения, для которого проводился замер средней интенсивности ТП ( $z$ );
- коэффициент скорости движения, для которого проводился замер средней скорости ТС ( $v$ , км/ч);
- коэффициент насыщенности движения, для которого проводился замер плотности ТП, ( $q$ , авт/км) [104].

Однако, в ходе эксперимента возникло несколько трудностей:

1) поскольку применяемая программа имитационного моделирования начинает сбор данных о параметрах ТС с момента их въезда на модель УДС, то возникает проблема с учетом виртуальных очередей на въезд в УДС (если на момент окончания эксперимента не все ТС смогли покинуть УДС);

2) применяемый программный продукт приводит статистические данные относительно временного интервала, равного одному часу, однако, параметр «общее время в пути» приводится именно для заданного интервала сбора данных, равного одной минуте эксперимента, следовательно, возникает необходимость приведения данного индикатора к часовому значению;

3) такие индикаторы эффективности как «увеличение фактической пропускной способности УДС» и «снижение временных затрат на преодоление

участка УДС» взаимозависимы, что приводило к некорректной оценке эффективности КУТП.

4) поскольку каждый участок УДС уникален и обладает своими значениями параметров ТП и свои особенности КУТП, то возникает необходимость введения дополнительного безразмерного параметра, который позволил бы оценивать на одном уровне эффективность КУТП различных участков УДС.

Для решения перечисленных выше трудностей были применены следующие меры:

1) для решения первой проблемы было решено провести корректировку параметра «общее время в пути», увеличив его основное значение пропорционально времени простоя ТС в виртуальной очереди (2.5), что позволит провести более достоверную оценку эффективности систем КУТП. Величина очереди измерялась в минутах с момента окончания генерации ТС до момента выезда последнего ТС из модели УДС.

$$t = t_{\text{общ}} \cdot \left(1 + \frac{t_{\text{в}} - 60}{60}\right) \quad (2.4)$$

где:  $t_{\text{общ}}$  – общее время в пути;

$t_{\text{в}}$  – время въезда последнего ТС в УДС.

2) для решения второй проблемы достаточно простого перевода в необходимые единицы измерения, однако, если при этом приводить единицу измерения к минутам, то меняется только единица измерения, а абсолютное (числовое) значение индикатора эффективности остается неизменным:  $t_{\text{общ}} \left(\frac{\text{с}}{\text{минп}}\right) \cdot \frac{60}{60} = t_{\text{общ}} \left(\frac{\text{мин}}{\text{ч}}\right)$ . Таким образом, пересчет параметра ТП не потребовался.

3) для решения третьей проблемы было решено ввести параметр «среднее время движения одного ТС» через рассматриваемую УДС, который учитывает как интенсивность движения, так и общее время в пути:

– среднее время движения одного ТС через УДС, мин/авт.

$$t_{\text{авт}} = \frac{t}{N} \quad (2.5)$$



где  $t$  – общее время, затраченное ТС на проезд по УДС за обозначенный интервал времени с учетом очереди на въезд в УДС, (мин/ч);

$N$  – средняя интенсивность ТП (авт/ч).

4) для решения последней проблемы было решено ввести коэффициент эффективности КУТП:

$$K_{\text{Э}} = \frac{t_{\text{авт баз}} - t_{\text{авт факт}}}{t_{\text{авт баз}} - t_{\text{авт мин}}} = \frac{\Delta t_{\text{авт факт}}}{\Delta t_{\text{авт max}}}, K_{\text{Э}} \leq 1 \quad (2.6)$$

где  $t_{\text{авт мин}}$ , – общее время, затраченное ТС на проезд по УДС при наиболее эффективном КУТП (мин/ч);

$t_{\text{авт факт}}$  – общее время, затраченное ТС на проезд по УДС при текущем КУТП (мин/ч);

$t_{\text{авт баз}}$  – общее время, затраченное ТС на проезд по УДС при отсутствии КУТП (мин/ч).

Максимальное значение коэффициента эффективности КУТП соответствует наилучшему варианту КУТП и наоборот.

Расчет основных параметров уровня обслуживания для каждой из основных дорог модели УДС проводился по следующим формулам:

– коэффициент загрузки движения:

$$z = \frac{N}{P} \quad (2.7)$$

где  $P$  – пропускная способность дороги, легковых (авт/ч);

$N$  – фактическая интенсивность движения (авт/ч);

– коэффициент скорости движения:

$$c = \frac{v_z}{v_0} \quad (2.8)$$

где  $v_z$  – средняя скорость движения ТП (км/ч);

$v_0$  – средняя скорость свободного движения ТП (км/ч).

– коэффициент насыщенности движением:

$$\rho = \frac{q_z}{q_{\text{max}}} \quad (2.9)$$

где  $q_z$  – текущая плотность движения (авт/км),

$q_{max}$  – максимальная плотность движения (авт/км) [104].

Среднеквадратичное отклонение характеристик уровня обслуживания является хорошим показателем оптимальности загрузки УДС. Чем меньше величина отклонения, тем более оптимальна загрузка УДС:

$$\sigma = \sqrt{\frac{1}{n} \cdot \sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2} \quad (2.10)$$

где  $n$  – количество вариантов КУТП;

$x_i$  – текущее значение характеристики уровня обслуживания;

$\bar{x}$  – среднее значение характеристики уровня обслуживания.

Таким образом,  $F_{куТП} = f(K_э; \sigma_z; \sigma_c; \sigma_\rho) \rightarrow \text{optim}$  при  $K_э \rightarrow \max$  и  $\sigma_z; \sigma_c; \sigma_\rho \rightarrow \min$ .

Для определения дальнейшего хода исследования необходимо определить приоритетную технологию идентификации ТС, на основе которой будет проводиться построение КМК [82].

### 2.2.2 *Определение технологии идентификации транспортных средств*

В результате анализа возможных способов построения КМК, проведенного в главе 1 выделяются две основных технологии идентификации ТС:

- с помощью ГНСС;
- с помощью дорожной инфраструктуры.

Чтобы определить актуальную технологию идентификации ТС необходимо оценить насколько доступны рассматриваемые варианты. Поскольку доступной информации было недостаточно, чтобы оценить возможности и перспективы ГНСС было решено прибегнуть к экспертной оценке на основе индивидуального мнения членов экспертной группы. Экспертная оценка проводилась согласно описанной в форме. Респонденты отвечали на присланные им по электронной почте бланки с вопросами, которые состояли из следующих частей:

- формулировка задачи и оцениваемого метода;
- анкета и оценка компетенции эксперта;

- вопросы, задаваемые эксперту;
- ответы эксперта на поставленные вопросы.

В качестве рассматриваемой задачи выступало определение маршрутов (треков) ТС по участкам УДС с точностью не менее 90% (точность рассчитывается относительно общего количества ТС). Порог точности, равный 90% был определен в результате обработки результатов экспериментов по исследованию зависимости эффективности КУТП от точности КМК. Применение порога точности, равного 60% для данной технологии идентификации некорректно, т.к. равномерная концентрация оборудованных ТС, равная 60% по различным участкам УДС маловероятна. В качестве оцениваемого метода выступал трекинг ТС с помощью ГНСС при условии установки на ТС специального оборудования.

Критериями оценки компетенции выступали:

- уровень теоретического знания в рассматриваемой области;
- практический опыт в рассматриваемой области;
- способность предвидеть логику событий.

Респондент проводил оценку критериев одним из предложенных вариантов – «высоко», «средне» или «низко». Каждому критерию проставлялись баллы в зависимости от выбранного варианта ответа: 1; 0,5 и 0 соответственно. Затем рассчитывался средний балл компетенции. Во внимание принимались мнения тех экспертов, чей средний балл оказался не менее 0,5. В общей сложности в экспертной оценке участвовало десять респондентов, у троих из них квалификационный балл оказался ниже 0,5, у остальных экспертов он превысил пороговое значение [83].

Вопросы, заданные экспертам:

- к какому году (каким годам) доля автомобилей, доступных для трекинга с помощью ГНСС достигнет 90% для Москвы и Московской обл.?
- к какому году (каким годам) доля автомобилей, доступных для трекинга с помощью ГНСС достигнет 90% для западной части РФ?

– каким темпом вероятнее всего будет расти количество оборудованных автомобилей?

Результаты экспертной оценки:

для Москвы и Московской области не менее 90% ТС будет оборудовано необходимыми устройствами ближе к 2025г., а для территории западной части РФ ближе к 2030. Однако некоторые эксперты дали комментарий о том, что оборудовать ТС намного проще, чем организовать одновременный трекинг такого количества автомобилей. Самым оптимальный срок реализации поставленной задачи, предположительно, является 2035г.

Таким образом, можно сделать вывод, что в краткосрочной и среднесрочной перспективе актуальной технологией будет построение КМК на основе идентификации ТС посредством дорожной инфраструктуры. Кроме того, для районов крупных городов и мегаполисов с достаточно плотной застройкой построение КМК посредством ГНСС может сопровождаться значительными помехами, которые могут привести к некорректному построению маршрутов.

### ***2.2.3 Методы исследования зависимости эффективности КУТП от точности КМК***

Поскольку на настоящий момент оценка точности оборудования идентификации ТС возможна только с помощью детекторов ТП (которые, согласно данным, приведенным в 1 главе, обладают погрешностью как в большую, так и в меньшую сторону), то возможны два вида ошибки при построении КМК, которые возникают при следующих условиях:

– ошибка I рода, т.е. расчетная точность КМК ниже фактической. Возникает в случае погрешности детектора ТП в меньшую сторону, т.е. фактическая интенсивность ТП выше показателей детекторов. В таком случае расчётная точность идентификации ТП окажется выше фактической (Рисунок 2.1).

– ошибка II рода, т.е. расчетная точность КМК выше фактической. Возникает в случае погрешности детектора ТП в большую сторону, т.е.

фактическая интенсивность ТП ниже показателей детекторов. В таком случае расчётная точность идентификации ТП окажется ниже фактической (рисунок 2.2) [115].

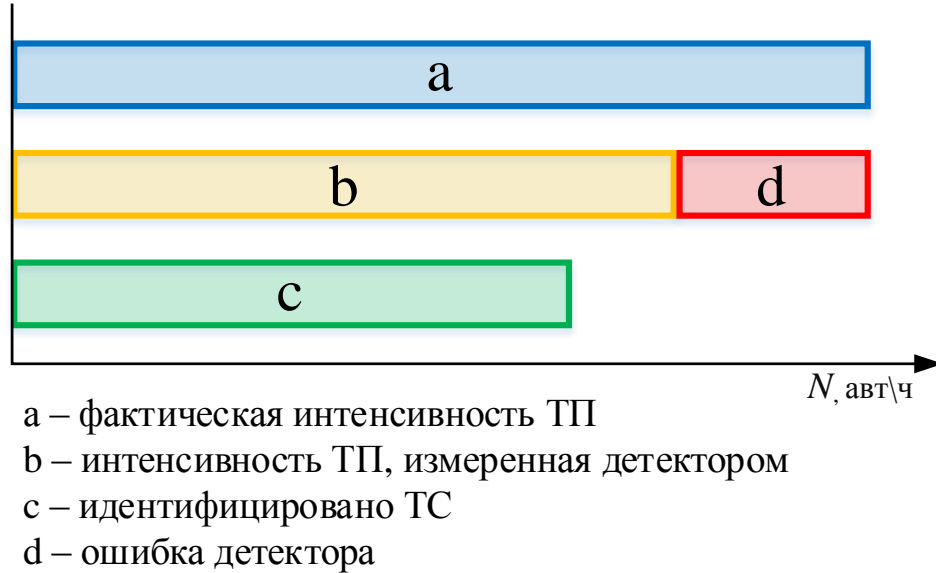


Рисунок 2.1 – Соотношение параметров при ошибке I рода

$$P_{\text{факт}} = \frac{c}{a}; P_{\text{расч}} = \frac{c}{b}; P_{\text{факт}} < P_{\text{расч}} \quad (2.11)$$

где  $P_{\text{факт}}$  – фактическая точность идентификации;

$P_{\text{расч}}$  – расчетная точность идентификации.

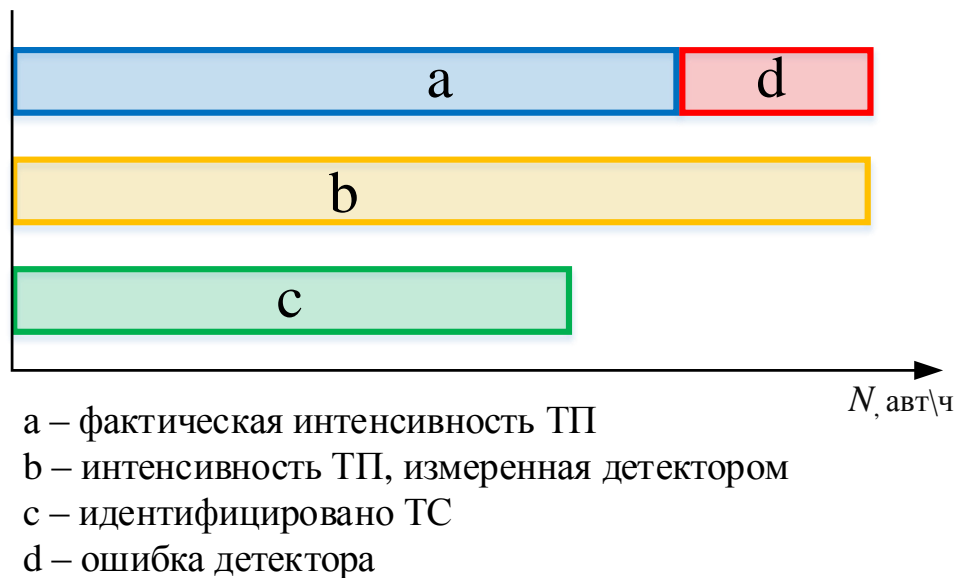


Рисунок 2.2 – Соотношение параметров при ошибке II рода

$$P_{\text{факт}} = \frac{c}{a}; P_{\text{расч}} = \frac{c}{b}; P_{\text{факт}} > P_{\text{расч}} \quad (2.12)$$

Таким образом, модельный эксперимент необходимо проводить в 2 этапа:

- исследование недооценки КМК ( $P_{\text{факт}} < P_{\text{расч}}$ );
- исследование переоценки КМК ( $P_{\text{факт}} > P_{\text{расч}}$ ).

Последствием ошибки I рода служит формирование таких сценариев информирования УДД, при которых происходит перераспределение большего числа ТС, чем рассчитывалось. Это может привести к возникновению транспортных заторов на альтернативных маршрутах и одновременной разгрузке основных дорог [115].

В таком случае система КУТП будет перенаправлять ТП в сторону нового транспортного затора, что спровоцирует падение уровня доверия УДД к системе КУТП, а наличие доступа к различным сервисам информирования о текущей дорожной обстановке только увеличит величину падения этого индикатора эффективности.

Последствием ошибки II рода служит формирование таких сценариев информирования УДД, при которых происходит перераспределение меньшего числа ТС, чем рассчитывалось. Это может привести к неполноценному использованию пропускной способности альтернативных дорог и неполноценному использованию систем КУТП. Стоит отметить, что рассматривая ошибка не оказывает абсолютно никакого негативного влияния на дорожную обстановку и на уровень доверия УДД к системе КУТП [115].

Поскольку максимальная величина погрешности транспортных детекторов составляет 20% (см. глава 1), то целесообразно в рамках исследования рассматривать точность КМК в интервале от 100% до 80% с шагом, равным 5% (для получения более точных результатов), а при точности КМК ниже 80% с шагом, равным 10% (для представления общей картины зависимости эффективности КУТП от точности КМК) вплоть до момента, пока не останется единственного варианта КУТП, либо КУТП применить будет попросту невозможно [115].

Возможность совершения ошибок I и II рода в любой момент времени является существенным недостатком обычных детекторов ТП, который не позволяет осуществлять корректную оценку точности КМК. Стоит отметить, что ИБ может создавать только ошибку I рода, таким образом, применение ИБ в качестве детекторов ТП является несомненным преимуществом и позволяет осуществлять корректную оценку точности КМК. Кроме того, наличие только одного типа ошибки создаёт условия для корректировки полученных данных, смысл которой заключается в перерасчете КМК таким образом, чтобы она отвечала минимальным требованиям систем КУТП (если построенная КМК не удовлетворяет предъявляемым требованиям к точности). Исходя из вышесказанного, в рамках диссертационного исследования целесообразно провести дополнительный эксперимент ПО определению возможностей современных средств фото-видеофиксации [115].

### ***2.2.3.1 Исследование зависимости эффективности КУТП от точности КМК при её недооценке***

Целью данного эксперимента является исследование влияния ошибки входных данных на эффективность систем, создающей условия, при которых фактическая точность КМК оказывается ниже расчетной (Рисунок 2.3).

В рамках эксперимента была создана имитационная модель, обладающая всеми необходимыми условиями для реализации КУТП, именуемая «базовой» моделью. Относительно выходных данных модели будет проводиться расчет коэффициента эффективности КУТП. Затем назначается точность КМК; в зависимости от заданной точности проводится корректировка матрицы сторонних ТП – разница между фактической и расчетной точностями КМК принимается как сторонние ТП, чтобы модель соответствовала базовой.

Затем проводилось определение наиболее оптимальных вариантов КУТП для модели с заданной точностью КМК с учетом пропускных способностей дорог и развязок. После чего полученные опытным путем варианты КУТП применялись непосредственно в базовой модели, проводился сбор выходных данных базовой

модели с учетом КУТП. На основе этих данных и данных базовой модели без учета КУТП проводился расчет индикаторов эффективности КУТП.

Сначала определялись оптимальные варианты перераспределения ТП для КМК, обладающей 100% точностью. Затем назначалась новая точность КМК, при которой проходили проверку варианты распределения ТП, полученные для предыдущей точности КМК и проводился поиск иных возможных вариантов. Из найденных вариантов перераспределения определялись наиболее оптимальные, затем проводилось назначение следующей точности КМК и т.д. Данная операция повторялась до тех пор, пока не оставался единственно возможный вариант, равный максимально возможному перераспределению ТП. Дальнейшее исследование точности КМК проводить уже было бы бессмысленно [115].

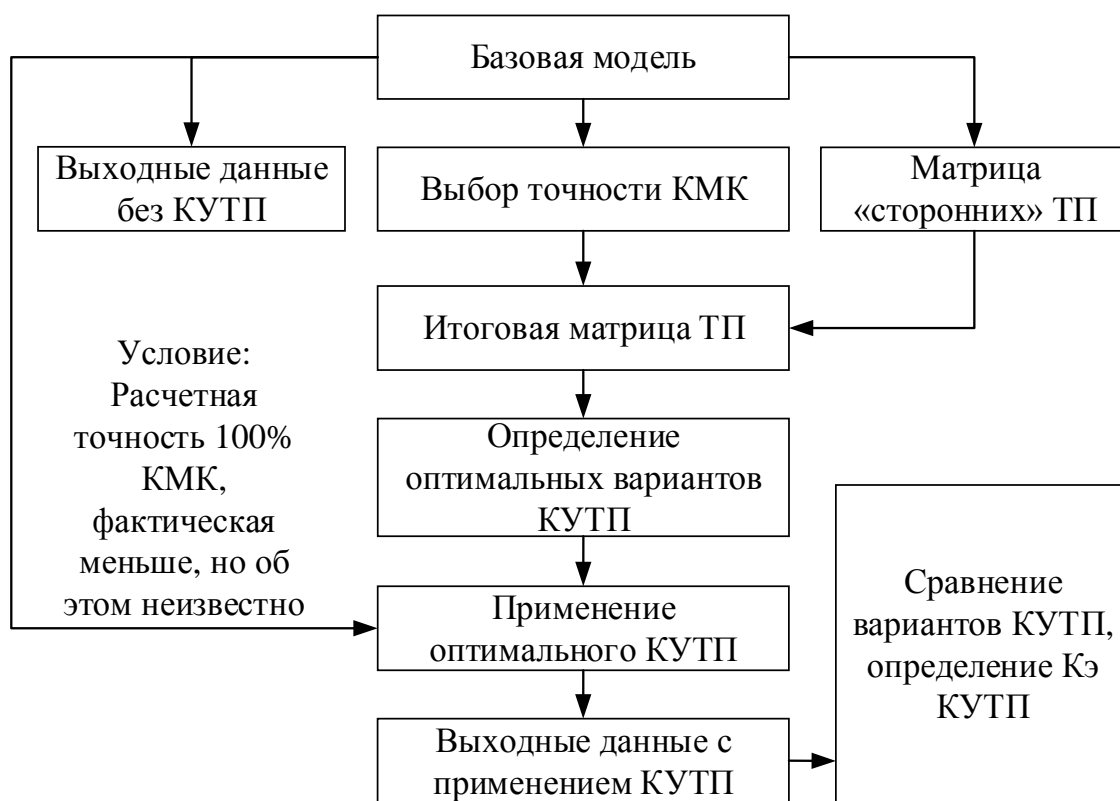


Рисунок 2.3 – Схема проведения эксперимента при недооценке КМК

Выбор точности КМК происходил по схеме, приведенной на рисунке 2.4.



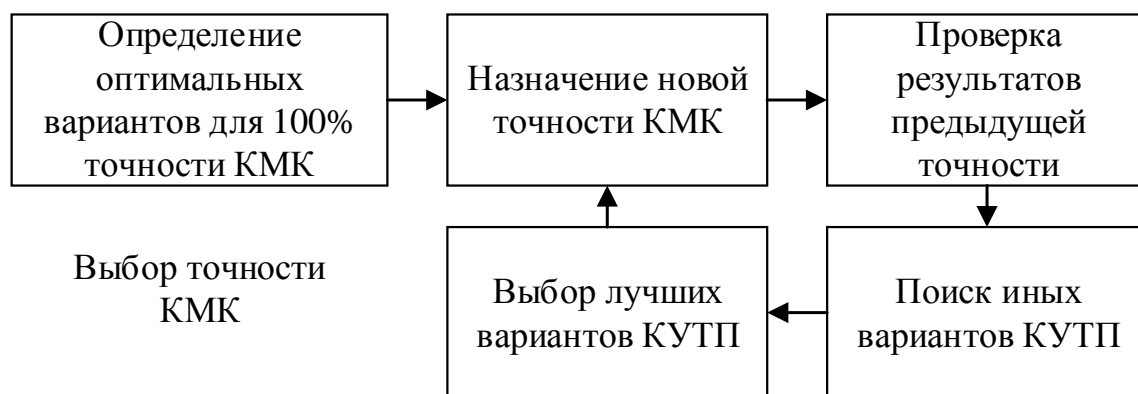


Рисунок 2.4 – Схема выбора точности КМК при недооценке КМК

### 2.2.3.2 Исследование зависимости эффективности КУТП от точности КМК при её переоценке

Данный эксперимент проводится для исследования влияния на эффективность систем КУТП ошибки входных данных, создающей условия, при которых фактическая точность КМК оказывается выше расчетной (Рисунок 2.5).

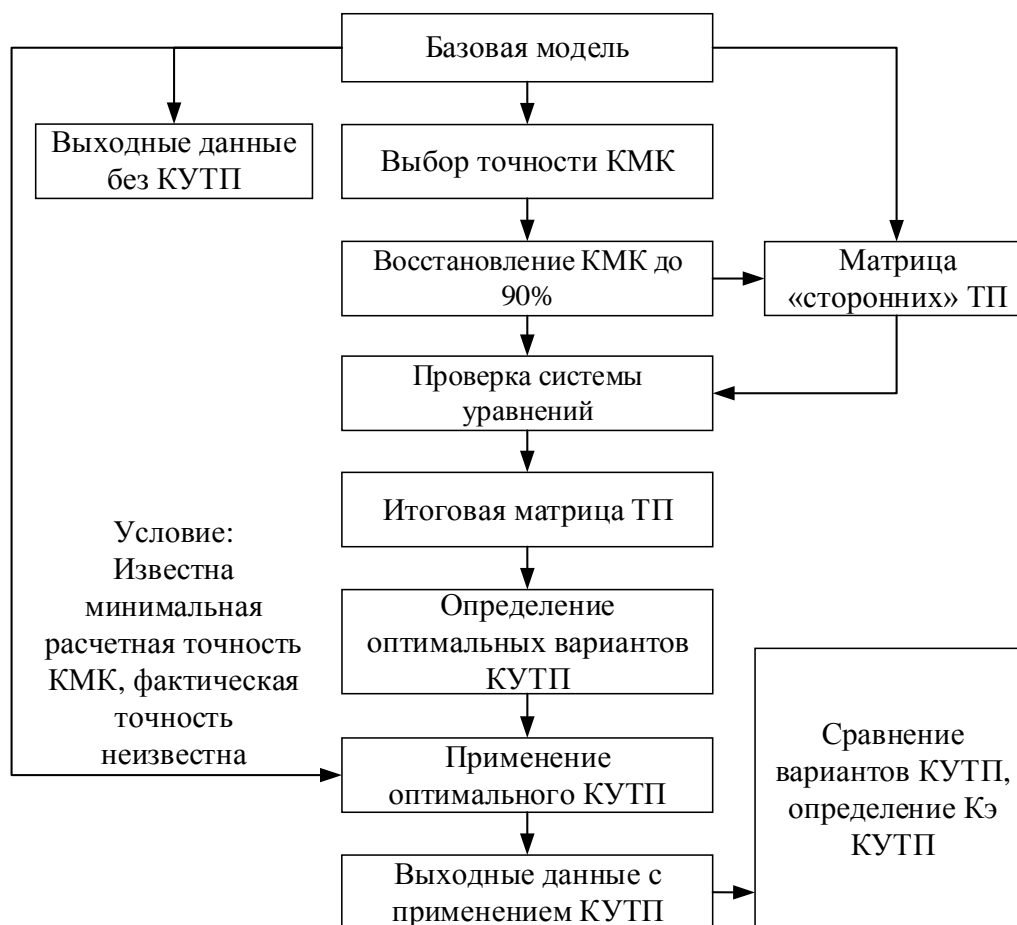


Рисунок 2.5 – Схема проведения эксперимента при переоценке КМК

Для проведения эксперимента использовались те же имитационные модели УДС, что и для эксперимента, описанного в предыдущем пункте. Схема исследования переоценки КМК отличается от схемы исследования недооценки КМК в принципе формировании матриц ТП с помощью перерасчета КМК. Поскольку анализ результатов экспериментов, связанных с недооценкой КМК, выявил, что минимально допустимая точность КМК составляет 90%, то в тех случаях, когда расчетная точность КМК окажется ниже этого значения, необходимо провести перерасчет КМК до этого уровня минимальной допустимой точности. Данная мера позволит не только исследовать зависимость эффективности КУТП от точности КМК при её переоценке, но и проверить корректность работы предложенного принципа корректировки КМК [115].

После выбора точности КМК необходимо произвести перерасчет, который позволит получить минимальную гарантированную точность, равную 90%, и если фактическая точность окажется выше минимально расчетной, то произойдет переоценка КМК.

В данной ситуации возможны два варианта исследования:

- определены все маршруты движения ТС к ОП;
- определены только ключевые маршруты движения, которые удовлетворяют условиям КУТП.

В первом случае предоставляется возможность определения общей фактической точности КМК, а не маршрутов в отдельности, в результате чего можно сделать вывод о величине возможной погрешности при перерасчете, если он необходим (при фактической точности не менее 90% перерасчет не требуется). Худшим вариантом развития событий будет среднее значение фактической точности КМК, при котором, например, точность одного маршрута окажется равной минимальной расчетной, а другого абсолютной. Во втором случае невозможно определить среднюю фактическую точность КМК, поэтому в любом случае следует применять перерасчет точности несмотря на то, что в некоторых

случаях это может привести к значительной переоценке и крайне неэффективному использованию КУТП [115].

В рамках диссертационного исследования для каждой точности КМК с помощью генератора псевдослучайных чисел назначалась фактическая точность маршрутов движения ТС в интервале  $[P; 100]$ , где  $P$  – минимальная расчетная точность КМК. Верхний предел обусловлен особенностью идентификации, т.к. выше 100% ТС идентифицировать попросту невозможно. После этого КМК восстанавливалась (проводился перерасчет) до уровня точности, равному 90%. Таким образом, были рассмотрены точности КМК 85% и ниже. Для более достоверного сравнения результатов экспериментов было решено принять к рассмотрению КМК одинаковой средней точности для различных имитационных моделей [115].

При построении моделей УДС с перерасчетной КМК необходимо принимать во внимание следующую систему неравенств:

$$\begin{cases} \sum N_{оп}^{кмк} \leq N_{оп}^{общ}; \\ \sum N_{дор}^{маршр} \leq N_{дор}^{общ}. \end{cases} \quad (2.13)$$

где  $\sum N_{оп}^{кмк}$  – суммарная интенсивность ТП, следующих по рассматриваемым маршрутам через ИБ, установленном на ОП с учетом перерасчета;

$N_{оп}^{общ}$  – общая интенсивность всех ТП, проехавших через ИБ на ОП согласно показаниям детекторов;

$N_{дор}^{маршр}$  – суммарная интенсивность ТП на участке дороги с учетом перерасчета;

$N_{дор}^{общ}$  – общая интенсивность всех ТП, проехавших через ИБ на участке дороги согласно показаниям детекторов.

Несоблюдение какого-либо из положений приведённой выше системы неравенств перерасчетная КМК говорит о значительном превышении фактических значений КМК. Иными словами, фактическая точность нескольких (или всех) маршрутов оказалась выше минимальной расчетной. Кроме того, чем больше данное несоответствие, тем выше погрешность модели УДС и тем ниже будет

прогнозируемая эффективность систем КУТП. При значительной переоценке все равно следует применять перерасчетные значения интенсивности КМК, поскольку перерасчет ориентирован на минимальную точность, равную 90%, т.е. при изменении перерасчетных значения возникает риск получить недооценку какого-либо маршрута, превышающую отметку в 10%, что недопустимо согласно результатам исследования влияния недооценки КМК на эффективность КУТП. Однако можно пренебречь другими ТП, на которые действие КУТП не распространяется, чтобы получить модель, которая более достоверно отражающую реальную дорожную обстановку. Допускается пренебрегать только теми ТП, направление движения которых совпадает с маршрутами КМК на основных дорогах и которые напрямую влияют на рассматриваемые транспортные заторы. Стоит отметить, что применение такой меры допустимо только при условии неизменности фаз светофорных объектов, в противном случае, становится возможным создание некорректного светофорного регулирования и, как следствие, более серьезных транспортных заторов [115].

### **2.3 Процесс построения качественных матриц корреспонденции с помощью дорожной инфраструктуры**

Процесс построения КМК состоит из определенной последовательности действий (рисунок 2.6):

- 1) считывание информации о ТС (изображение ГРЗ, радиосигнал);
- 1) обработка информации о ТС (идентификация ТС);
- 2) построение маршрута движения ТС;
- 3) построение маршрутов движения ТП;
- 4) корректировка точности маршрутов движения ТП;
- 5) построение КМК.

Условно процесс построения КМК можно разделить на три уровня:

– уровень ТС. К данному уровню относятся считывание информации о ГРЗ, её обработка и построение маршрута движения ТС. Кроме того, уровень ТС можно назвать наиболее ответственным, т.к. на нем сосредоточена основная масса

параметров, от которых зависит точность идентификации ТС. Каждому параметру соответствует свой коэффициент, который учитывает влияние (погрешность) соответствующего параметра на точность идентификации. Величину коэффициентов необходимо оценивать для каждого участка УДС в отдельности, т.к. каждый участок обладает в своем роде уникальными характеристиками. К данным параметрам относятся:

- 1) состояние объекта идентификации ( $k_1$ ), т.е. физическое состояние ГРЗ, например, степень загрязненности, целостность конструкции, целостность лакокрасочного покрытия).
- 2) погодные-климатические условия ( $k_2$ ), например, проливной дождь, метель.
- 3) расположение объекта идентификации на ТС ( $k_3$ ), например, где именно на ТС прикреплен ГРЗ, углы его расположения.
- 4) скорость движения ТС ( $k_4$ ), например, ограничение, связанное с возможностью оборудования).
- 5) траектория движения ТС ( $k_5$ ), например, искажение символов ГРЗ на изображении, которое может привести к некорректной идентификации ТС, частичный или полный выход ГРЗ за пределы области фокусировки оборудования.
- 6) плотность ТП ( $k_6$ ), например, перекрытие ГРЗ габаритами других ТС.
- 7) состав ТП ( $k_7$ ), например, вероятность перекрытия ГРЗ габаритами других ТС, которая увеличивается с ростом количества крупногабаритного транспорта.
- 8) качество и техническое состояние идентификационного оборудования ( $k_7$ ), например, качество матриц и оптики видеокамер, их степень загрязненности.
- 9) качество ПО ( $k_8$ ), например, эффективность алгоритмов обработки изображений.

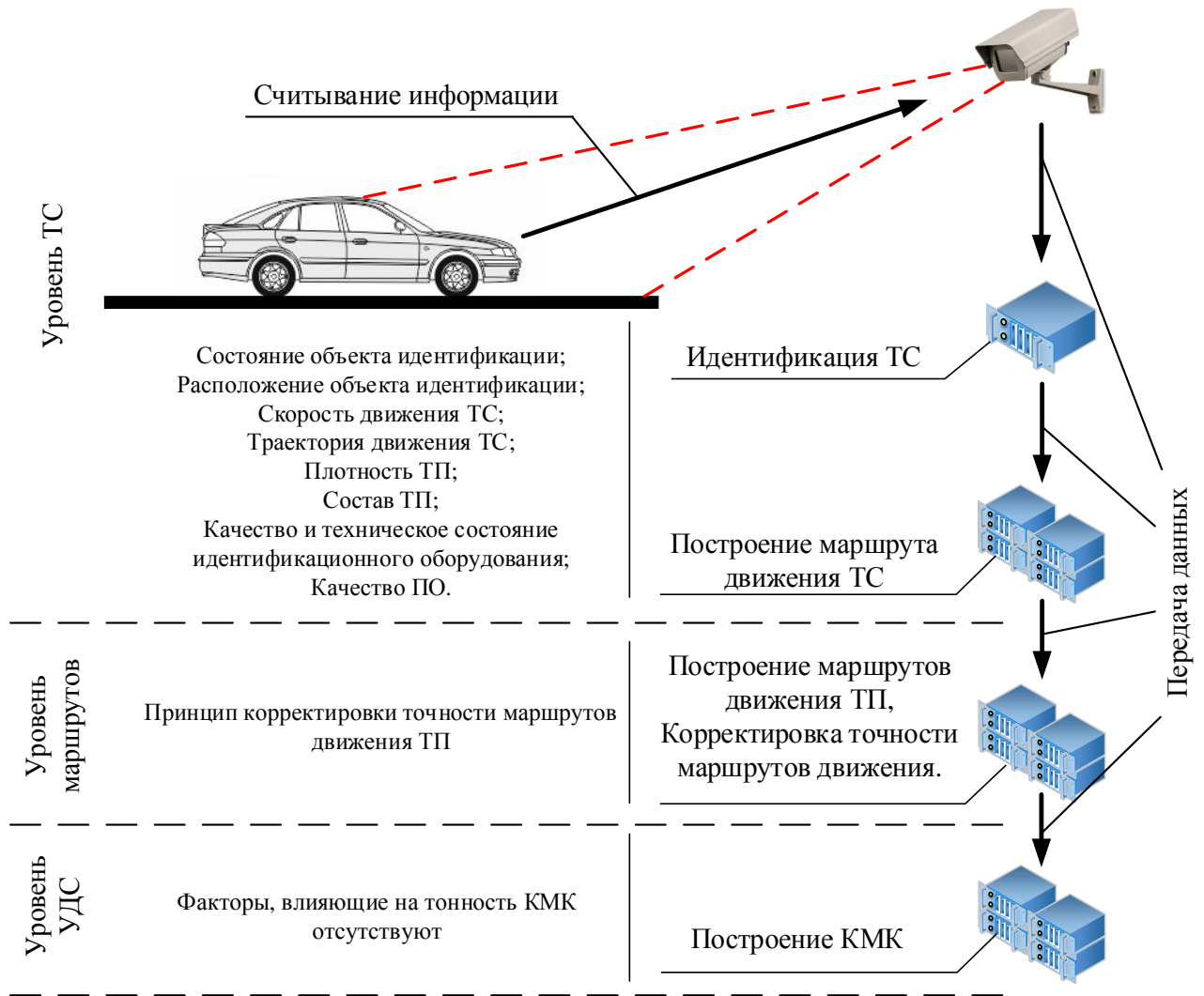


Рисунок 2.6 – Процесс построения КМК

– уровень маршрута. К данному уровню относятся построение маршрутов движения ТП (агрегирование информации, полученной на предыдущем этапе) и корректировка точности маршрутов, которая также влияет на точность КМК. Однако, данная ошибка учитывается непосредственно при проведении самой корректировки и введение отдельного коэффициента, учитывающего влияние на точность КМК не требуется.

Таким образом можно сделать вывод, что в основном точность КМК зависит от точности идентификации ТС. Следовательно, общую погрешность идентификации можно представить в виде суммы коэффициентов, соответствующих вышеперечисленным факторам.

$$k_{\text{идент}} = k_1 + k_2 + k_3 + k_4 + k_5 + k_6 + k_7 + k_8 + k_9 \quad (2.14)$$

где  $k_{\text{идент}}$  – общая погрешность идентификации ТС;

$k_{1-8}$  – частные погрешности, вызванные тем или иным параметром.

Тогда точность каждого ИБ можно представить в следующем виде:

$$p_{\text{бл}} = p_{\text{бл}}^{\text{идеал}} - k_{\text{идент}} \quad (2.15)$$

где  $p_{\text{бл}}$  – фактическая точность идентификации (фактическая точность ИБ);

$p_{\text{бл}}^{\text{идеал}}$  – точность идентификации при идеальных условиях, соответствующий уровню качества оборудования и ПО.

Стоит отметить, что при использовании ИБ для определения параметров ТП, о чем говорилось ранее, необходим также учет параметров, параметров, от которых зависит точность идентификации ТС. Поскольку требования к точности идентификации в рамках детектирования намного ниже, то и учитывается лишь те параметры, которые могут «скрыть» факт наличия ГРЗ, а именно:

- плотность ТП;
- состав ТП;
- состояние объекта идентификации, например, такая степень загрязненности ТС, что невозможно установить факт наличия ГРЗ.

Поскольку в задачи настоящей работы не входит исследование влияния вышеперечисленных факторов на точность идентификации, а также не применяются реальные данные какого-либо идентификационного оборудования, то в основу исследования берется фактическая точность идентификации в общем виде ( $p_{\text{бл}}$ ).

#### **2.4 Исследование зависимости точности КМК от точности оборудования и вариантов его расстановки на улично-дорожной сети**

Поскольку основной технологией идентификации в рамках диссертационного исследования является идентификация ТС посредством дорожной инфраструктуры, то целесообразно провести исследование,

направленное на изучение зависимости точности КМК от точности применяемого оборудования и вариантов его расстановки на УДС.

С точки зрения теории вероятности идентификация ТС посредством дорожной инфраструктуры представляет собой случайное независимое испытание, при котором за событие следует принимать успешную идентификацию ТС, вероятность наступления которого равна фактической точности используемых ИБ ( $p_{\text{бл}}$ ). Независимость испытаний обусловлена тем, что результат идентификации ТС на одном ИБ не оказывает никакого влияния на вероятность успешной идентификации ТС (наступления события) на другом ИБ. Применение законов теории вероятностей при расчете точности маршрутов позволит определить «наихудший вариант» развития событий, т.е. позволит определить минимальную гарантированную точность построенных маршрутов движения ТС, что дает гарантию получения КМК необходимой точности [84-86,113].

При условиях независимости и случайности испытаний за основу расчетов минимальной точности маршрутов движения ТС следует применить уравнение Бернулли (2.16):

$$P_n(k) = C_n^k \cdot p_{\text{бл}}^k \cdot q_{\text{бл}}^{n-k}, k = 0 \dots n \quad (2.16)$$

где  $n$  – общее количество ИБ на маршруте;

$k$  – количество ИБ, на которых ТС было идентифицировано;

$P_n(k)$  – вероятность распознавания на  $k$  любых ИБ из общего количества  $n$ ;

$C_n^k = \frac{n!}{(n-k)! \cdot k!}$  – число сочетаний  $k$  распознаваний из  $n$  ИБ;

$p_{\text{бл}}$  – точность ИБ;

$q_{\text{бл}}$  – погрешность ИБ;

$q_{\text{бл}} = 1 - p_{\text{бл}}$ .

Также в рамках каждого маршрута движения соблюдается правило полной группы, т.е. сумма всех возможных комбинаций успешных идентификаций ТС равна единице (2.17).

$$P_n(0) + P_n(1) + P_n(2) + P_n(3) + \dots + P_n(i) = 1 \quad (2.17)$$

где  $i = 1 \dots n$  – количество ИБ, на которых идентификация ТС была успешной;



$n$  – общее количество ИБ, расположенное на маршруте следования ТС;

$P_n(i)$  – вероятность успешной идентификации ТС на  $i$  ИБ из  $n$  [113].

Однако, формула Бернулли применима только в том случае, если точность идентификации ТС на каждом ИБ одинакова, в таком случае, формулу следует применять только для определения наиболее оптимального сочетания технических характеристик ИБ и способа их расстановки на этапе проектирования систем КУТП без учета уже установленного на УДС идентификационного оборудования. Однако, во время функционирования систем КУТП или их проектирования с учетом уже установленного на УДС оборудования выполнение условия равной точности идентификации ТС на всех ИБ маловероятно, то минимальную точность КМК следует рассчитывать с помощью теоремы умножения вероятностей и правила полной группы в рамках маршрутов движения ТС [113].

$$P_n(0) + P_n(1) + P_n(2) + \dots + P_n(n) = 1 \quad (2.18)$$

Например, полная группа для маршрута движения ТС, на котором расположены три ИБ, имеет следующий вид:

$$P_3(0) + P_3(1) + P_3(2) + P_3(3) = 1 \quad (2.19)$$

$$q_1 \cdot q_2 \cdot q_3 + p_1 \cdot q_2 \cdot q_3 + q_1 \cdot p_2 \cdot q_3 + q_1 \cdot q_2 \cdot p_3 + \\ + p_1 \cdot p_2 \cdot q_3 + p_1 \cdot q_2 \cdot p_3 + q_1 \cdot p_2 \cdot p_3 + p_1 \cdot p_2 \cdot p_3 = 1 \quad (2.20)$$

где  $q_n = 1 - p_n$ ;

$p_n$  – вероятность успешной идентификации на ИБ № $n$ ;

$q_n$  – вероятность неудачной идентификации на ИБ № $n$ .

Стоит отметить, что с точки зрения КМК неудачная идентификация хотя бы на одном ИБ влечет за собой невозможность построения полного маршрута движения ТС. Следовательно, расчет точности маршрута движения ТС можно было бы свести к примитивному расчету вероятности успешной идентификации на всех ИБ, через которые двигалось ТС [113]:

$$P_m = P_n(n) = p_{\text{бл}}^n \quad (2.21)$$

Однако при неудачной идентификации ТС в следующих случаях существует возможность частичного восстановления точности маршрутов:

а) если ТС не могло объехать участок дороги, на котором оно не было идентифицировано, в силу каких-либо обстоятельств (объезд перекрыт в связи с проведением ремонтно-строительных работ и др.) (Рисунок 2.7а). В этом случае величина восстановления точности равна вероятности неудачной идентификации только на рассматриваемом ИБ. Для приведенного примера формула точности маршрута будет выглядеть следующим образом [113]:

$$P = p_{\text{бл}}^3 + q_{\text{бл}} \cdot p_{\text{бл}}^2 \quad (2.22)$$

где  $q_{\text{бл}} \cdot p_{\text{бл}}^2$  – вероятность неудачной идентификации только на отмеченном ИБ.

б) если на объезде участка дороги, на котором не произошла идентификация ТС, также установлен один или более ИБ (Рисунок 2.7б) и ни на одном из них не было успешной идентификации рассматриваемого ТС. В таком случае величина восстановления точности равна произведению вероятности успешной идентификации ИБ, установленного на объезде, и вероятности неудачной идентификации только на рассматриваемом ИБ. Для рассматриваемого примера формула точности маршрута будет выглядеть следующим образом [113]:

$$P = p_{\text{бл}}^3 + p_{\text{бл}} \cdot q_{\text{бл}} \cdot p_{\text{бл}}^2 \quad (2.23)$$

в) если неудачная идентификация никак не повлияет на процесс определения маршрута, т.е. маршрут движения ТС будет очевиден. (Рисунок 2.7в). В данном случае, как и в первом, величина восстановления точности равна вероятности неудачной идентификации только на рассматриваемом ИБ. Для рассматриваемого примера формула точности маршрута будет выглядеть следующим образом [113]:

$$P = p_{\text{бл}}^4 + 2 \cdot q_{\text{бл}} \cdot p_{\text{бл}}^3 \quad (2.24)$$

где 2 – коэффициент, указывающий количество рассматриваемых случаев, которые могут наступить в рамках рассматриваемого маршрута.

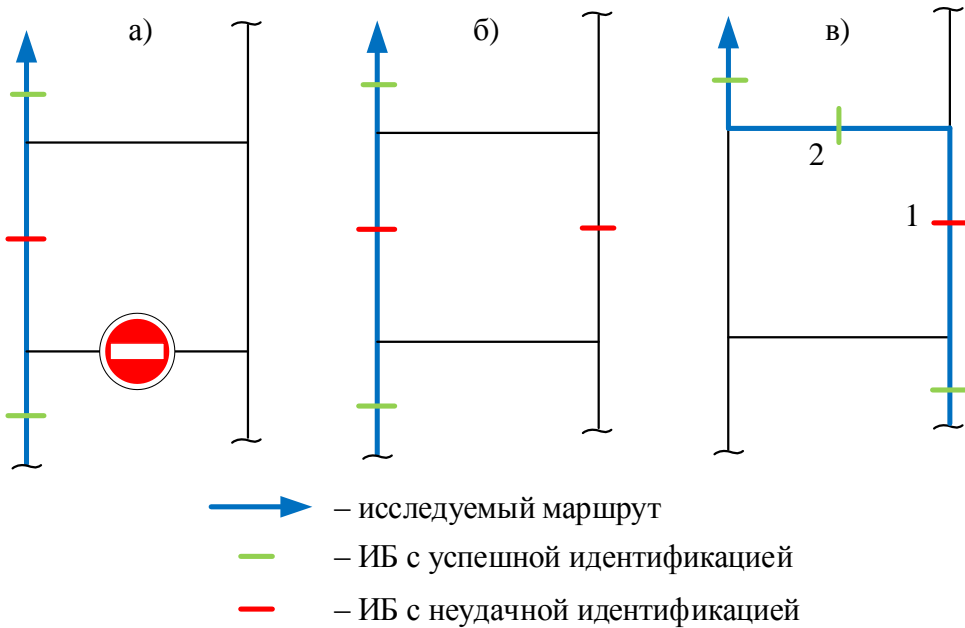


Рисунок 2.7 – Примеры восстановления точности маршрутов движения ТС

Следует отметить, что все вышеперечисленные варианты восстановления точности маршрутов подчиняются одному закону, который можно выразить в следующем виде [113]:

$$P = p_{\text{бл}}^n + \alpha \cdot k \cdot q_{\text{бл}} \cdot p_{\text{бл}}^{n-1} \quad (2.25)$$

где  $\alpha$  – доля ТП, которые возможно восстановить, равная вероятности успешной идентификации хотя бы на одном ИБ, расположенном на объезде (если имеется несколько вариантов объезда, то следует принимать во внимание тот, на котором расположено наименьшее количество ИБ, либо они вовсе отсутствуют);

$k$  – коэффициент, указывающий количество возможных подобных случаев;

$q_{\text{бл}} \cdot p_{\text{бл}}^{n-1}$  – вероятность неудачной идентификации только на одном ИБ [113].

Предлагаемые варианты восстановления маршрутов пригодны как на этапе проектировании систем КУТП, так и на этапе функционирования систем. Заметим, что на этапе функционирования существует возможность расчета среднего времени движения ТС по различным участкам рассматриваемых УДС, следовательно, возможно восстановление маршрутов путем расчета и анализа

такого параметра как среднее время движения ТС. Однако если данный показатель по участку основного маршрута приблизительно равен времени движения ТС по объезду этого участка, то восстановление по полученным данным будет невозможно.

На участках дорог, на которых расположены ОП или исток ТП, неудачная идентификация не может быть восполнена и ведет к невозможности построения полного маршрута. Следовательно, увеличение точности на таких участках дорог зависит только от технических характеристик самого идентификационного оборудования и от того, как именно оно установлено [113]. Кроме того, с точки зрения теории вероятности, установка на одном участке УДС дублирующих ИБ в значительной степени увеличивает точность идентификации. Стоит отметить, что установка более двух ИБ на одном участке УДС не целесообразно, т.к. данная мера способствует лишь незначительному приросту к показателю точности идентификации ТС при достаточно больших затратах на установку дополнительного ИБ (вступает в силу закон Парето).

Таким образом, формула расчета минимальной гарантированной точности маршрута имеет следующий вид:

$$P_m = P_n(n) + \alpha_1 \cdot k_1 \cdot P_n(n-1) + \alpha_2 \cdot k_2 \cdot P_n(n-2) + \dots + \alpha_j \cdot k_j \cdot P_n(n-j) \quad (2.26)$$

После некоторых преобразований уравнение точности построения маршрута примет следующий вид:

$$P_m = P_n(n) + P_n(n-j) \cdot \sum(\alpha_j \cdot k_j) \quad (2.27)$$

где  $j=1 \dots n$  – количество ИБ, на которых идентификация оказалась неудачной;  
 $\alpha_j = 1 - q^i$  – вероятность успешной идентификации хотя бы на одном из  $i$  ИБ, расположенных на объезде;  
 $P_n(n-j)$  – вероятность неудачной идентификации одновременно на  $j$  ИБ;  
 $k_i$  – коэффициент, обозначающий количество сочетаний рассматриваемых  $\alpha_j$  и  $P_n(n-j)$  [113].

Уравнение точности построения маршрута состоит из трех параметров: точность маршрута, точность ИБ и способ расстановки ИБ. Следовательно, с помощью данного уравнения возможно решение следующих задач:

– определение минимальной точности и варианта расстановки ИБ на рассматриваемом участке УДС для достижения минимальной необходимой точности КМК. Данная задача возникает при проектировании новых систем, когда задана только необходимая точность КМК.

– расчет минимальной гарантированной точности КМК, которую могут обеспечить установленные на УДС ИБ. Применяется для определения возможности осуществления КУТП на основе КМК, полученных от уже установленного оборудования. Задача возникает при внедрении систем КУТП на участки УДС, на которых осуществляется идентификация ТС (например, установлены системы фото-видеофиксации нарушений ПДД (известны точности ИБ и их расстановки на УДС));

– определение минимальной точности ИБ при заданных возможных местах их установки. Задача возникает при ограниченных возможностях размещения ИБ на УДС (запрет на размещение ИБ федеральными службами безопасности на определенных участках дорог) при известных минимальной допустимой точности КМК и разрешенных локациях установки ИБ;

– определение наиболее оптимального варианта расстановки ИБ на УДС для достижения заданной точности КМК при заданной точности ИБ. Задача возникает при ограничении, наложенном на выбор ИБ (например, условия выполняемого контракта) [113].

Результатами решения выведенного уравнения точности построения маршрута являются различные варианты расстановки ИБ по УДС, необходимое для каждого варианта количество ИБ и их минимальные точности, необходимые для построения КМК. Для большей наглядности результаты решений уравнений следует представлять в графическом виде. При этом по оси абсцисс следует размещать количество ИБ ( $n_{иб}$ ), а по оси ординат – минимальную необходимую

точность ( $p_{иб}$ ). Самим точкам на графике следует присвоить обозначение, присвоенное рассматриваемому варианту расстановки оборудования на УДС. Также на графике целесообразно отобразить точности рассматриваемых (доступных на рынке или уже установленных на УДС) систем идентификации ТС. (рисунок 2.8)

После решения уравнения могут возникать следующие случаи:

1) Точности рассматриваемых ИБ недостаточно для построения КМК необходимой точности при рассматриваемом варианте их расположения на УДС. Такие варианты решения уравнения точности построения маршрутов движения ТС или отбрасываются как непригодные, или подвергаются изменениям и заново рассчитываются, пока не будут соответствовать второму или третьему случаю.

2) Точности рассматриваемых ИБ более чем достаточно для построения КМК необходимой точности при рассматриваемом варианте их расположения на УДС. Такие варианты решения уравнения обладают определенным «запасом точности», который означает, что для построения КМК необходимой точности может быть использовано менее точное оборудование и/или меньшее количество ИБ для получения третьего случая.

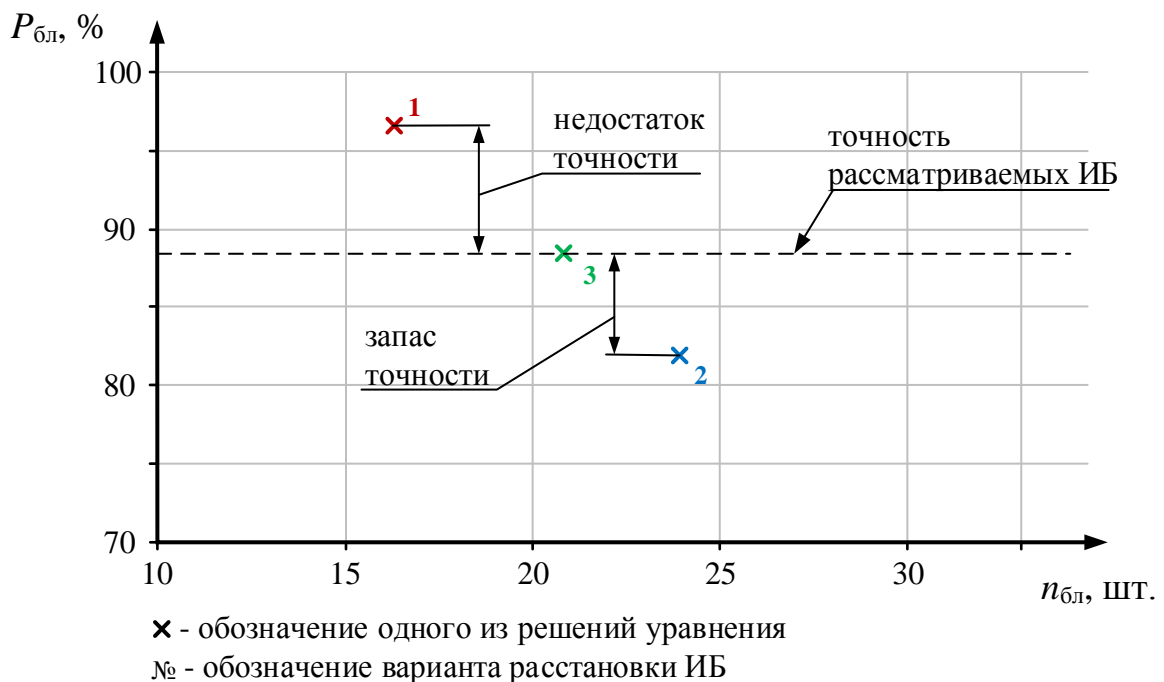


Рисунок 2.8 – Графическое отображение требований к точности ИБ

3) Точности рассматриваемых ИБ достаточно для построения КМК необходимой точности при рассматриваемом варианте их расположения на УДС. Такие варианты решения уравнения являются наиболее оптимальными с точки зрения материальных затрат на их реализацию. Стоит отметить, что в данном случае необходимо корректно оценивать все параметры, которые влияют на точность идентификации в рамках рассматриваемого участка УДС и кроме того, необходимо проводить своевременное техническое обслуживание установленного оборудования.

После отбора вариантов расстановки ИБ на УДС, удовлетворяющих всем условиям следует провести оценку с точки зрения материальных затрат на их реализацию, в том числе:

- стоимость ИБ и их установки;
- стоимость дополнительных опор для ИБ и стоимости их установки (если необходимо);
- стоимость проведения коммуникаций (подключение электропитания, каналов связи) и др.

Поскольку оценка материальных затрат на реализацию того или иного варианта в значительной степени зависит от частного случая топологии УДС и является не научной задачей, то в рамках данного диссертационного исследования не принимается к рассмотрению.

Стоит обратить внимание на то, что при условии построения полной КМК возможен расчет средней фактической точности КМК, по величине которой можно будет сделать вывод о возможной величине погрешности и о возможности применения КУТП. Полной КМК следует считать такую КМК, которая построена для всех маршрутов ТС исследуемого направления движения ТП при условии, что различные направления не имеют общих дорог и пересечений в зоне распространения систем КУТП (Рисунок 2.9).

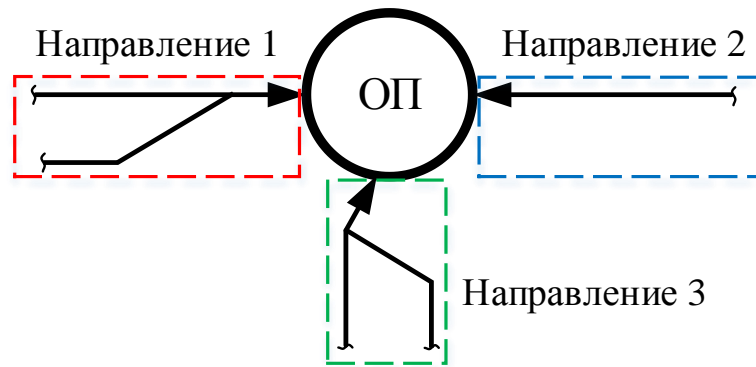


Рисунок 2.9 – Схематическое изображение направлений ТП

В виду наличия данной особенности КМК в рамках диссертационного исследования также целесообразно провести расчет области допустимых погрешностей и области допустимых значений фактической точности КМК (при которых допускается разработка систем КУТП), в зависимости от минимально гарантированной точности КМК.



## 2.5 Выводы по главе 2

1. Проведен анализ индикаторов эффективности систем КУТП и проведена их коррекция в соответствии с поставленными задачами, а именно введен дополнительный коэффициент эффективности систем КУТП, позволяющий сравнивать между собой результаты экспериментов на различных УДС, также введен индикатор, позволяющий оценивать равномерность загрузки УДС посредством сравнения условий движения на основных дорогах УДС.

2. Выявлены недостатки ПО в области расчета выходных данных проведенных экспериментов, в связи с чем разработаны соответствующие корректировки, а именно: расчет времени, затраченного ТС на пребывании в очереди на въезд в УДС с момента его генерации,

3. Проведен экспертный опрос, в результате которого установлено, что до 2030-2035 гг. наиболее актуальным методом идентификации ТС является метод распознавания ГРЗ.

4. Разработана математическая модель расчета минимальной точности маршрутов движения ТС в зависимости от применяемого метода идентификации ТС.

5. Разработан принцип корректировки расчетной точности маршрутов движения, основанный на принципах теории вероятностей.

6. Разработана структура модельного экспериментального исследования зависимости точности систем КУТП от возможных ошибок I и II рода, включающий в себя проведение экспериментов в трех различных моделях УДС при различных условиях дорожного движения.

7. Разработана методика перерасчета точности маршрутов движения ТС при условии возникновения ошибки II рода.

8. Разработана методика проведения экспериментального исследования возможностей современного комплекса графического распознавания ГРЗ на полигонном комплексе МАДИ «Умная дорога».

### 3 ГЛАВА. ПРОВЕДЕНИЕ ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ

Поскольку расчет индикаторов эффективности КУТП проводится в средних значениях как для УДС в целом, так и для основных дорог, то для получения более достоверного результата эксперимент было решено провести при следующих условиях:

- идеальная имитационная модель (наиболее благоприятна для расчета средних значений индикаторов эффективности);
- имитационная модель №1: основана на идеальной модели и приближена к реальным условиям (изменена топология УДС; добавлены ТП, не подверженные влиянию КУТП);
- имитационная модель №2: совершенно иная УДС, приближенная к реальным условиям.

Каждая из моделей отвечает необходимым требованиям для внедрения системы КУТП:

- наличие альтернативных путей;
- наличие транспортных заторов;
- наличие доминантных ОП;
- длина альтернативных маршрутов не превышает длину основных маршрутов более чем в два раза.

Кроме того, в первых двух моделях было решено отказаться от регулируемых перекрестков в пользу многоуровневых развязок, т.к. их применение никоим образом не отражается на сути исследования. Для того, чтобы модель ТП была более реалистичной, в ней были заданы следующие характеристики дорог и ТС:

- максимально допустимая скорость на прямолинейных участках равна 60 км/ч;
- максимальная допустимая скорость движения на съездах развязок составляет 20 км/ч;
- ширина полосы дорог составляет три метра;

- длина ТС составляет  $4 \pm 0,5$  м;
- ширина ТС составляет 2 м;
- максимальное ускорение составляет  $3 \text{ м/с}^2$ ;
- номинальное замедление составляет  $4 \text{ м/с}^2$ ;
- максимальное замедление составляет  $6 \text{ м/с}^2$ ;
- минимальная дистанция между автомобилями составляет 1 метр [115].

### **3.1 Проведение эксперимента в идеальной модели**

#### **3.1.1 Описание модели УДС**

Особенность данной модели УДС заключается в создании наиболее благоприятных условий для оценки эффективности КУТП:

- отсутствие «сторонних» ТП. Поскольку сторонние ТП не подвержены влиянию КУТП, двигаются лишь по определенным фиксированным маршрутам и оказывают влияние только на остаточную пропускную способность дорог и развязок. «Сторонние» ТП также создают дополнительные погрешности в выходные данные модели;

- протяженность основных маршрутов примерно одинакова. Данная мера была принята для более достоверной оценки средних значений выходных данных по УДС;

- расчетная средняя скорость движения ТС по всем маршрутам составляет 55 км/ч, в свободных условиях при уровне обслуживания «А» [82].

Общий вид модели УДС и детальные изображения развязок представлены ниже (Рисунок 3.1 – Рисунок 3.5) [115].

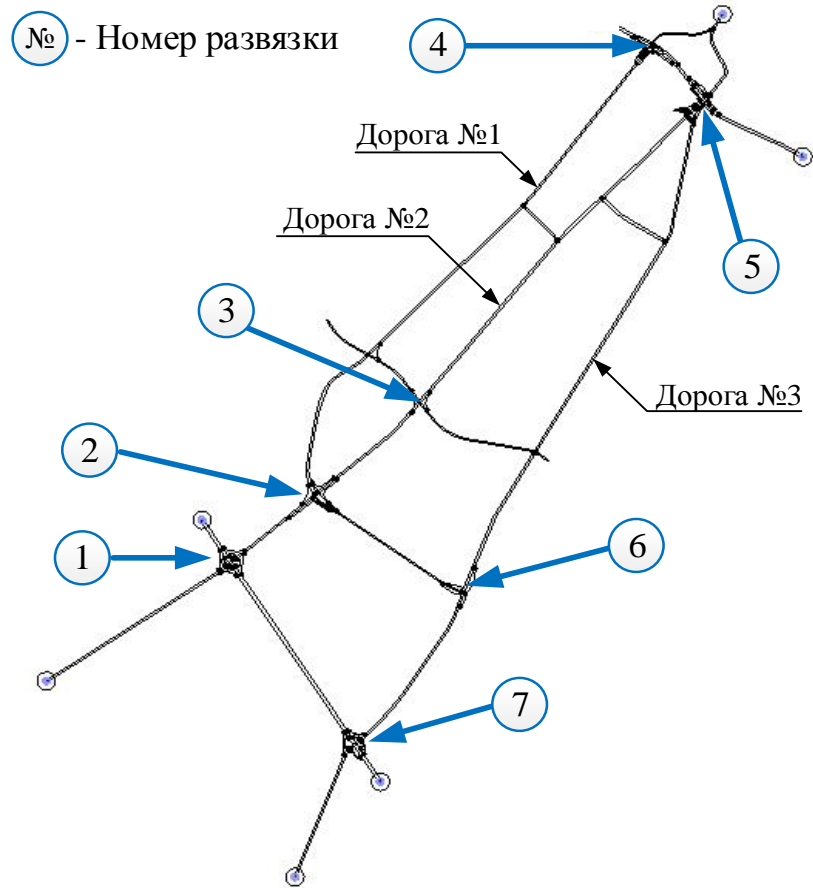


Рисунок 3.1 – Общий вид модели УДС

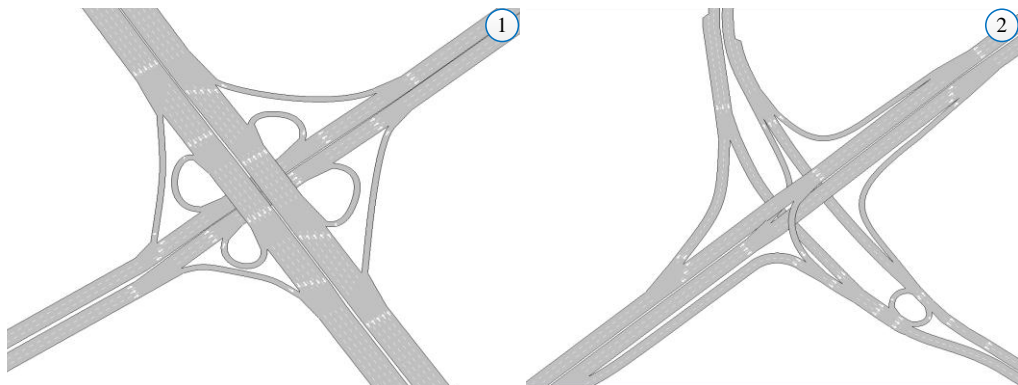


Рисунок 3.2 – Схема развязок №1 и №2

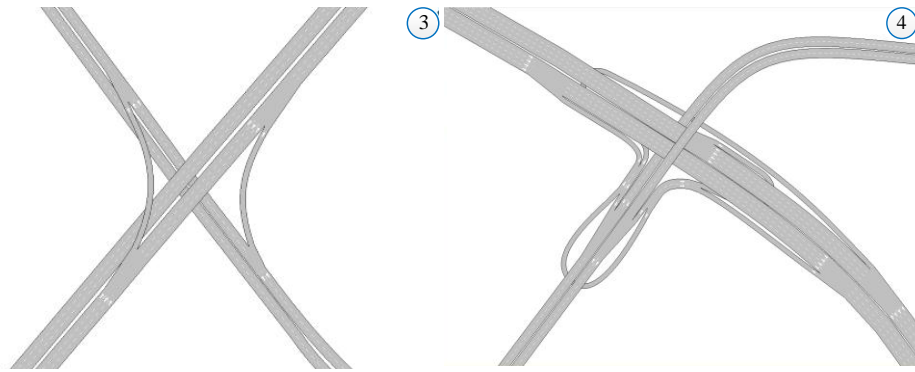


Рисунок 3.3 – Схема развязок №3 и №4

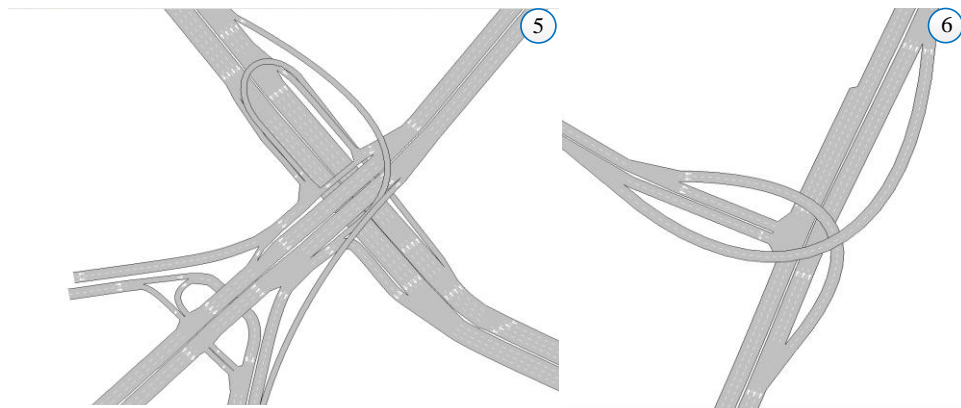


Рисунок 3.4– Схема развязок №5 и №6

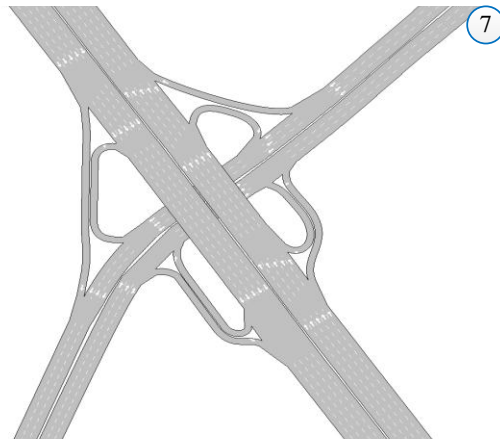


Рисунок 3.5 – Схема развязок №7

Для создания условий идеальной модели было решено задать ТП транзитного характера, что позволило назначить основные маршруты движения таким образом, чтобы их протяжённость была примерно одинакова и составляет  $4,5 \pm 0,2$  км. В

рассматриваемой модели ТП двигаются из истоков №1–№4 в ОП №1 и ОП №2 (Рисунок 3.6).

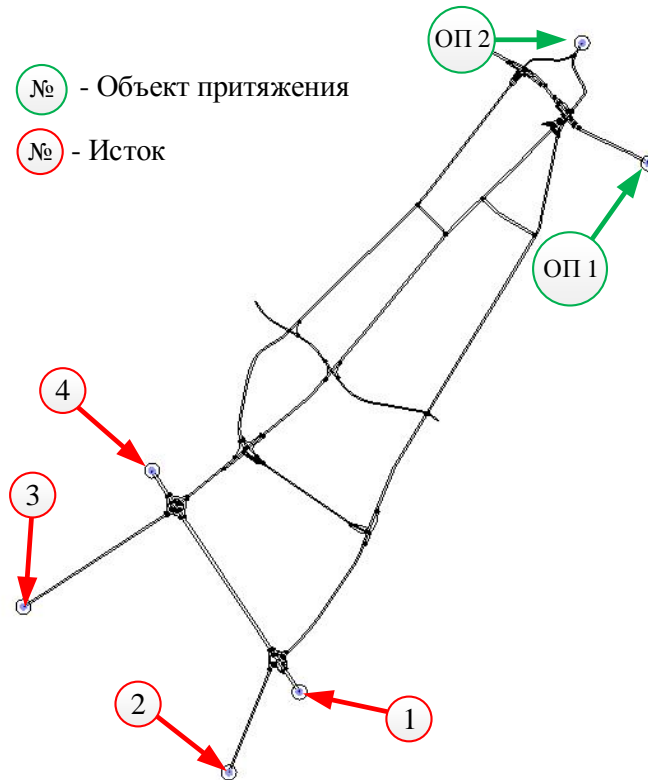


Рисунок 3.6 – Расположение ОП и истоков ТП

Для каждого основного маршрута движения были определены альтернативные маршруты исходя из пропускных способностей транспортных развязок и дорог, расположенных на рассматриваемых основных маршрутах (Рисунок 3.7). Согласно выбранным маршрутам движения ТП, УДС обладает номинальными характеристиками, представленными в таблице 3.1. ТС проходит УДС со средней скоростью 55 км/ч при свободных условиях на уровне обслуживания «А» [82].

Таблица 3.1 – Номинальные характеристики модели УДС

Показатель	Номер дороги		
	1	2	3
$N$ , авт/ч	3800	3800	3750
$v_0$ , км/ч	55	55	55
$q$ , авт/км	100	130	130

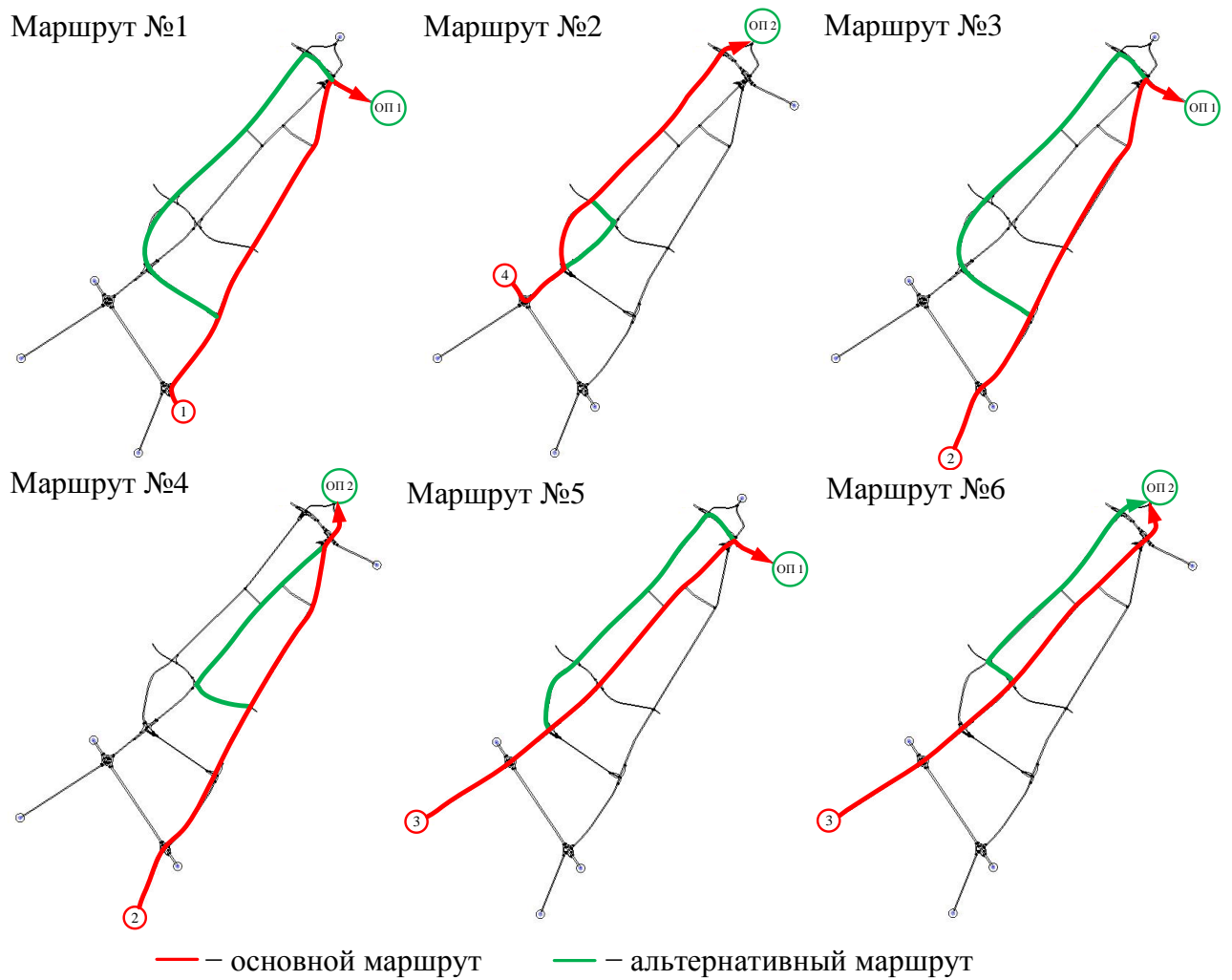


Рисунок 3.7– Основные и альтернативные маршруты движения ТП

Для рассматриваемой модели УДС была сформирована базовая КМК, применение которой спровоцировало образование крупных транспортных заторов на основных дорогах (Таблица 3.2).

Таблица 3.2 – Базовая КМК идеальной модели УДС

Исток	Объект притяжения	
	ОП №1	ОП №2
1	600	–
2	2000	2000
3	2000	1800
4	–	1000
$\Sigma$	9400	

Схематично дорожная обстановка базовой идеальной модели представлена на рисунке 3.8.

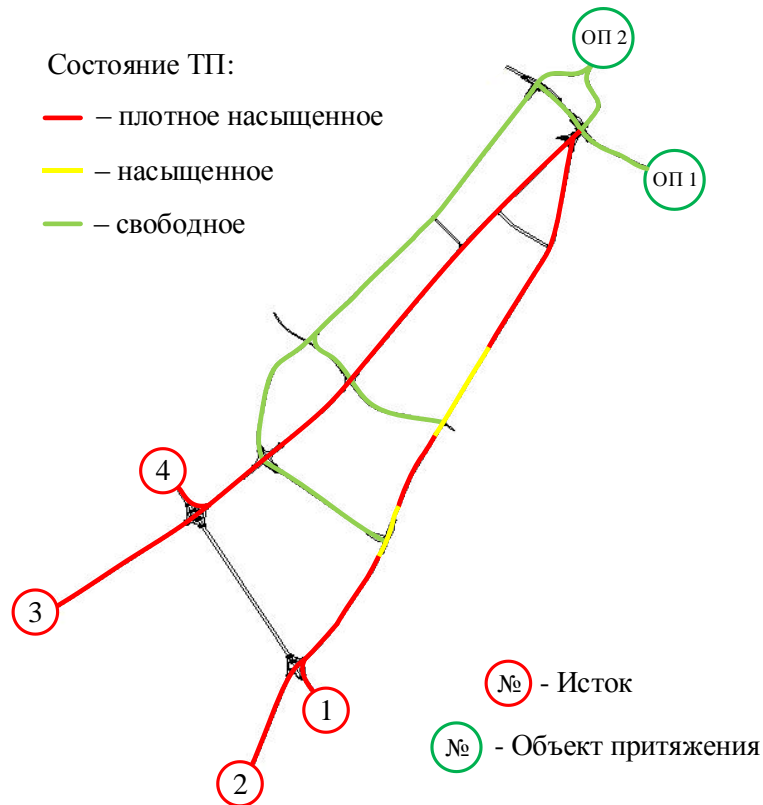


Рисунок 3.8 – Схема дорожной обстановки базовой модели

В рамках эксперимента период генерации ТП выбран равным одному часу для удобства расчета индикаторов эффективности. Наблюдение за ТП проводится до момента выезда из УДС последнего ТС, попутно фиксировалось время въезда последнего ТС для учета очереди на въезд. Таблица исходных данных базовой имитационной модели по УДС представлена в таблице 3.3.

Поскольку для диссертационного исследования этап заполнения УДС транспортными средствами и этап зарождения транспортных заторов не имеют никакой ценности, то было решено задать в программе имитационного моделирования некоторую временную задержку. В течение этой задержки происходил запуск генерации ТП в пустую УДС и начинали формироваться транспортные заторы и только после этого начинался анализ данных ТП.

Формирование транспортных заторов длилось вплоть до 22-ой минуты проведения эксперимента. Только после этого модель перешла в «равновесное»



состояние (протяженность транспортных заторов на модели УДС достигла максимального значения). Поэтому данные рассчитывались для ТС, которые въехали на УДС после 22-ой минуты. Поскольку применяемая программа имитационного моделирования рассчитывает индикаторы эффективности только для тех ТС, которые уже покинули модель УДС, то данные по ТС, въехавших на 22-ой минуте будут рассчитаны только после того, как они преодолели транспортные заторы и покинули модель УДС. Что произошло только на 40-ой минуте эксперимента. Поскольку генерация ТП длится до 60-ой минуты, после которой генерация ТП прекращалась и в УДС въезжали только ТС из виртуальной очереди и часть УДС при этом разгружается, то данные о параметрах ТП несколько искажались. Таким образом, принимались во внимание только те данные, которые были рассчитаны для интервала времени с 40-ой по 60-ой минуты включительно. Данное положение наглядно демонстрирует график зависимости скорости движения ТС по одной из основных дорог от продолжительности эксперимента (Рисунок 3.9).

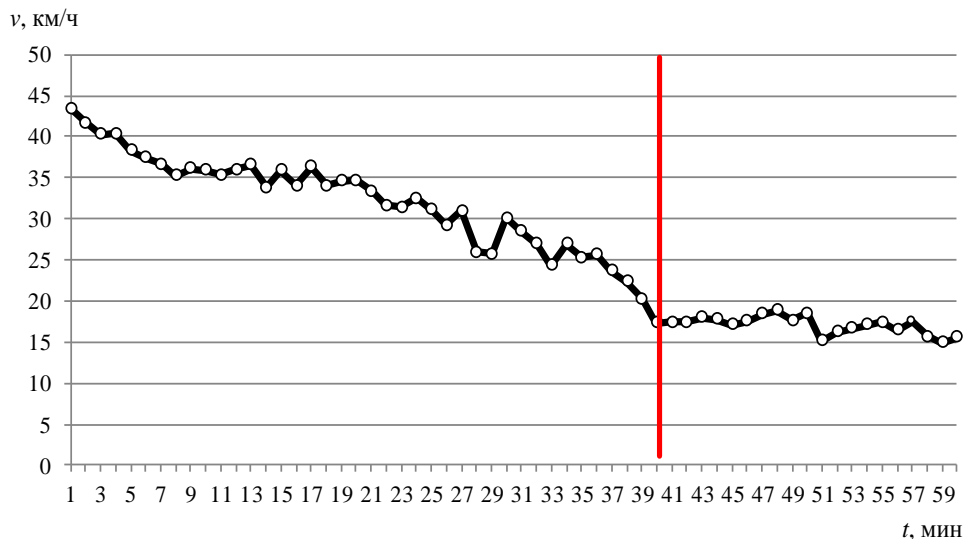


Рисунок 3.9 – График зависимости скорости движения ТС по одной из основных от продолжительности эксперимента

Для рассматриваемой базовой модели были получены выходные данные в целом для УДС (таблица 3.3) и выходные данные для каждой из основных дорог в отдельности (таблица 3.4) согласно п. 2.2.

Таблица 3.3– Выходные данные базовой модели в целом

Минута	N, авт/ч	$t_{общ}$ , мин/ч	Минута	N, авт/ч	$t_{общ}$ , мин/ч
...					
40	6120	122092,5	51	5160	124424,1
41	6360	124831,0	52	6420	141664,6
42	5640	112364,7	53	7140	148704,8
43	5880	106839,5	54	6660	127151,0
44	5460	103970,9	55	6420	126970,8
45	5760	118754,5	56	6600	136663,3
46	6120	118311,3	57	5640	115095,9
47	6120	114224,2	58	6420	143452,4
48	5220	95976,8	59	6600	152276,9
49	5100	105522,5	60	6600	141984,1
50	5040	97880,2	...		

Таблица 3.4 – Выходные данные основных дорог модели УДС

Минута	Дорога №1			Дорога №2			Дорога №3		
	N, авт/ч	$v$ , км/ч	$q$ , авт/км	N, авт/ч	$v$ , км/ч	$q$ , авт/км	N, авт/ч	$v$ , км/ч	$q$ , авт/км
...									
40	240	50,2	2,9	2400	5,4	118,5	2940	13,4	100,9
41	240	58,1	3,3	2160	6,2	117,7	3300	11,8	102,2
42	420	52,2	2,5	2100	6,0	122,5	3420	9,3	103,3
43	180	53,6	1,9	1080	5,7	131,5	3420	11,6	93,3
44	180	50,0	0,6	2280	5,0	135,4	3841	12,0	91,5
45	120	49,7	0,7	1620	5,5	132,7	4080	15,4	84,5
46	–	–	0,1	1620	5,7	129,3	3540	17,8	81,9
47	60	60,5	0,4	1500	5,4	134,4	4080	19,2	89,3
48	–	–	0,2	1440	5,0	139,9	3780	17,1	88,8
49	60	47,0	0,9	1320	4,9	140,3	3420	18,7	91,3
50	240	56,3	2,7	1620	4,6	141,3	3000	23,0	95,7
51	300	56,6	2,7	2280	4,5	135,5	3480	14,3	104,6
52	360	55,0	5,0	2340	5,2	126,5	3900	12,5	94,5
53	600	53,7	4,2	1500	4,7	124,8	4200	15,5	78,3
54	360	53,3	3,4	1380	4,8	134,2	3960	24,5	81,9
55	420	53,5	2,9	1380	4,4	141,3	4100	21,3	79,3
56	180	48,3	1,3	1260	4,2	142,1	3840	24,4	77,6
57	180	51,7	3,2	1800	4,3	141,4	3720	20,7	83,9
58	360	51,0	3,4	1740	4,3	137,1	3580	20,0	87,8
59	480	52,8	2,9	1680	4,0	133,4	4152	17,0	80,2
60	240	57,8	1,4	1740,0	4,1	134,7	3941	19,5	77,4
...									

По полученным выходным данным были рассчитаны значения характеристик уровня обслуживания для дорог и общие характеристики модели УДС, которые в дальнейшем принимаются за базовые, относительно которых будет проводиться сравнение эффективности полученных вариантов КУТП (таблицы 3.5 и 3.6).

Таблица 3.5 – Характеристики базовой модели без учета КУТП

Параметр	Дорога			УДС
	1	2	3	
$N$ , авт/ч	384,7	1925,7	3700	6020
$v$ , км/ч	53,2	4,9	17,1	–
$q$ , авт/км	2,2	130	89	–
$t_B$ , МИН	–			96,0
$t_{общ}$ , МИН/ч	–			122817
$t_{aem}$ , МИН	–			32,64

Таблица 3.6 – основные характеристики уровня обслуживания базовой модели

Показатель	Номер дороги			$\sigma$
	1	2	3	
$z$	0,1	0,51	0,99	0,45
$c$	0,97	0,09	0,31	0,46
$\rho$	0,02	1,0	0,68	0,5

### 3.1.2 Данные, полученные в ходе эксперимента при недооценке КМК

Эксперимент проводился в соответствии с алгоритмом, описанном в главе 2. За первоначальное значение точности КМК было выбрано абсолютное значение (100%). После чего рассматривалось следующее значение точности КМК, при котором в первую очередь проверялась эффективность вариантов КУТП, полученных при предыдущей точности КМК и затем проводился поиск иных вариантов КУТП.

В ходе эксперимента оказалось, что оптимальные варианты КУТП в моделях с точностью КМК, равной 100% и 95% абсолютно идентичны, поэтому результаты были объединены в одну позицию. Каждой точности КМК соответствовала собственная матрица ТП, сформированная согласно п.2.2.3.1. Рассматриваемые

матрицы ТП приведены в Приложении Б (таблица Б.1), соответствующие результаты эксперимента также представлены в Приложении Б (таблицы Б.2 – Б.4).

### 3.1.3 Данные, полученные в ходе эксперимента при переоценке КМК

Данный эксперимент проводился в соответствии с алгоритмом, описанном в главе 2. Первоначальное было выбрано значение точности КМК, равное 85%. Для каждой рассматриваемой точности КМК с помощью псевдослучайных чисел были назначены точности каждого из маршрутов, что позволило получить не самые благоприятные для эксперимента условия, которые были описаны в главе 2. (таблица 3.7).

Таблица 3.7 – Фактические точности маршрутов модели УДС

№ маршрута	$P_{\text{КМК}}, \%$				
	50	60	70	80	85
1	60	87	98	90	89
2	80	60	73	100	90
3	66	80	77	83	95
4	88	86	77	91	93
5	98	68	70	93	85
6	75	60	99	94	92
$\bar{P}_{\text{КМК}}$	77,8	73,5	82,3	91,8	90,7

Согласно назначенным фактическим точностям маршрутов модели УДС проводился перерасчет КМК (согласно принципу, описанному в главе 2), в результате которого были сформирована расчетные базовые матрицы ТП, которые представлены в Приложении В (таблица В.1). Характеристики базовых моделей УДС также представлены в Приложении В (таблица В.2). Для полученной модели были определены наиболее оптимальные варианты КУТП, которые представлены в Приложении В (таблица В.3). Выходные данные для каждого варианта КУТП также представлены в Приложении В (таблицы В.4 и В.5).

## 3.2 Модель, приближенная к реальным условиям №1

### 3.2.1 Описание модели УДС

Для дальнейшего исследования была создана модель УДС, приближенная к реальным условиям. За основу была взята УДС идеальной модели, которая претерпела несколько изменений:

- созданы дополнительные истоки ТП и ОП (Рисунок 3.10);
- изменена геометрия дороги №1, что позволило увеличить протяжённость альтернативных маршрутов, что непременно окажет влияние на результат эксперимента (Рисунок 3.10);

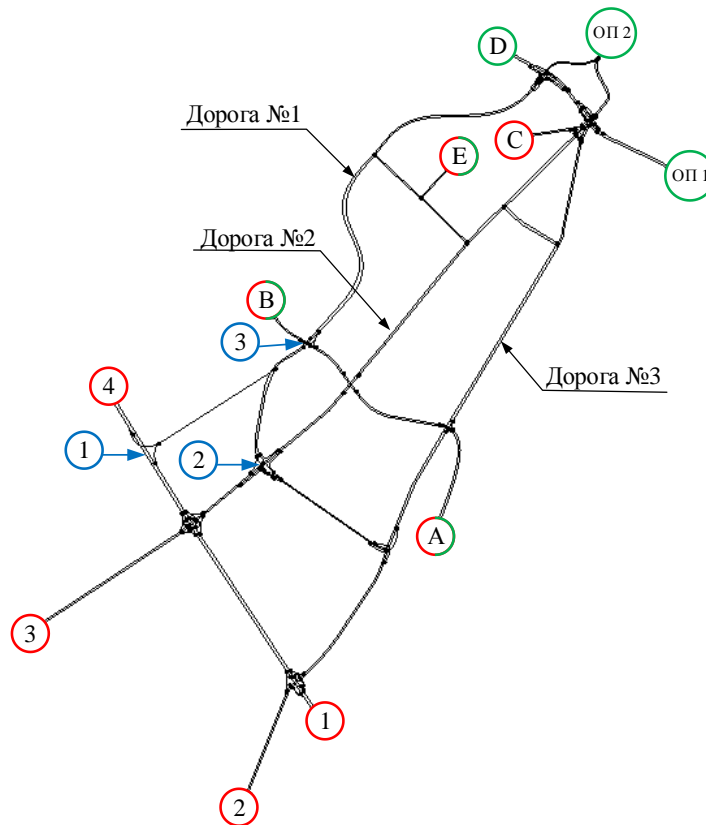


Рисунок 3.10 – Общий вид модели УДС

- изменена схема ОДД. Некоторые развязки претерпели изменения (исключена возможность съезда на дорогу №2 с дороги №1), добавлен новый съезд на альтернативную дорогу, который стал единственным съездом на альтернативы с дороги №2. (Рисунок 3.11);

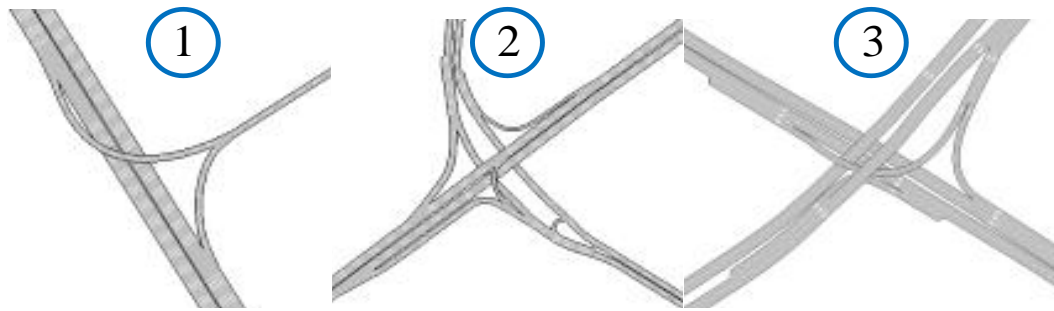


Рисунок 3.11 – Схема развязок

– в соответствии с изменениями ОДД изменились альтернативные маршруты движения ТП, в том числе увеличилась и их протяженность (Рисунок 3.13);

– введены сторонние ТП, которые не подвержены влиянию КУТП. Маршруты сторонних ТП пролегают по тем же участкам дорог, по которым движутся основные ТП, что повышает чувствительность модели (Рисунок 3.12).

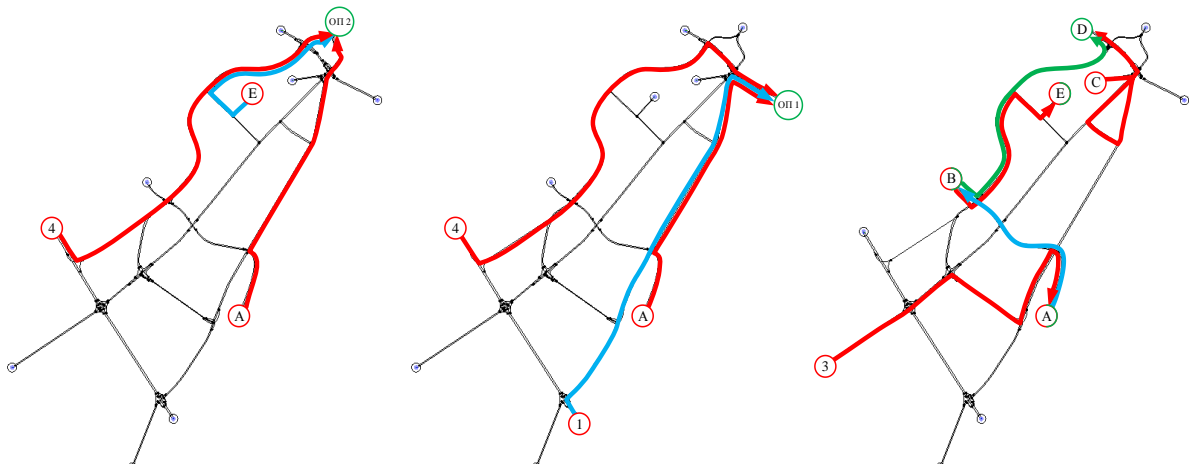


Рисунок 3.12 – Маршруты сторонних ТП

Полученная модель УДС согласно выбранным маршрутам движения ТП, обладает номинальными характеристиками, которые приведены в таблице 3.8 [115].

Таблица 3.8 – Номинальные характеристики модели УДС

Показатель	Номер дороги		
	1	2	3
$N$ , авт/ч	3800	3800	3750
$v_0$ , км/ч	55	55	55
$q$ , авт/км	90	130	130

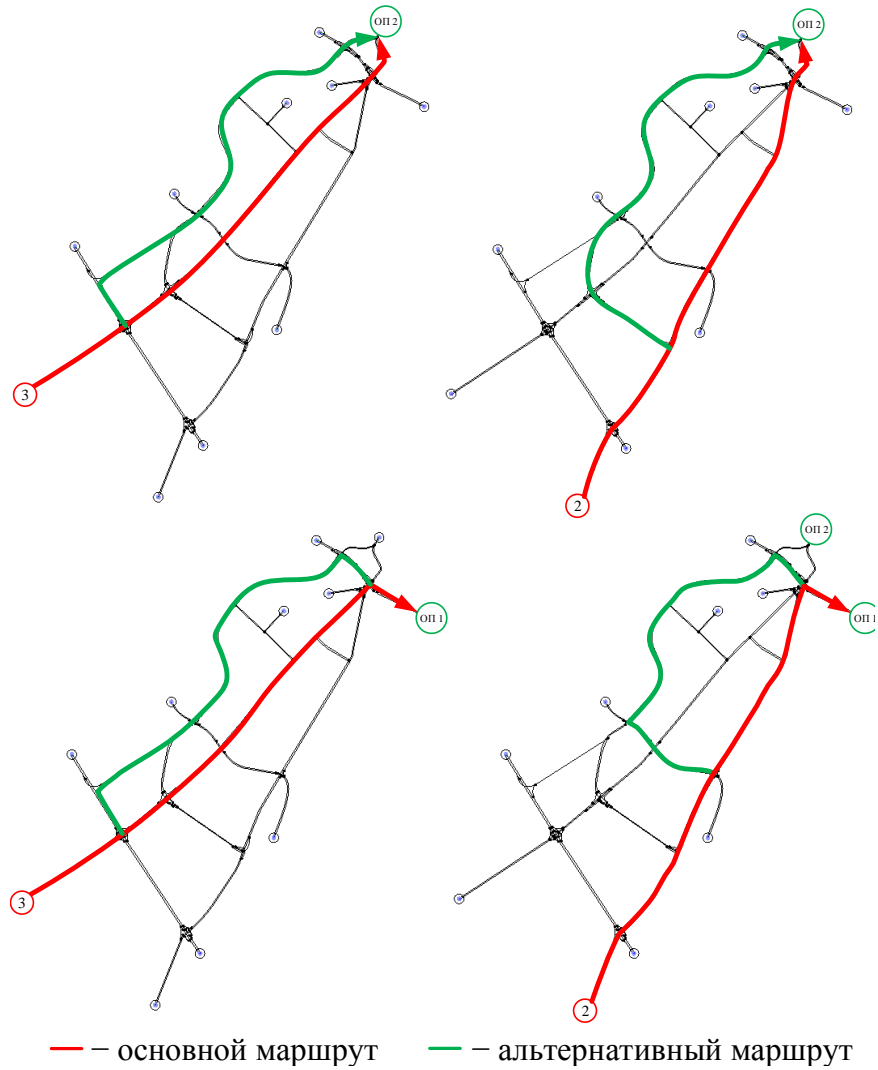


Рисунок 3.13 – Схемы основных и альтернативных маршрутов движения

Для модельного эксперимента была принята матрица корреспонденции ТП, которая приведена в таблице 3.9.

Таблица 3.9 – матрица корреспонденции ТП

Исток	Объект притяжения					
	А	В	Д	Е	ОП 1	ОП2
1	—	—	—	—	600	—
2	—	—	—	—	1000	1000
3	500	—	—	—	1500	1500
4	—	—	—	—	500	500
А	—	1000	—	—	500	600
В	—	—	300	300	—	—
С	—	—	400	—	400	—
Е	—	—	—	—	—	1000
$\Sigma$	11600					

В рассматриваемом эксперименте генерация ТП продолжается один час, наблюдение за ТП, расчет индикаторов эффективности проводится до момента выезда последнего ТС из модели УДС. Как и в предыдущем эксперименте данные о равновесном состоянии ТП появляются лишь на 40-ой минуте эксперимента (Рисунок 3.14) Таким образом был применен тот же метод обработки данных, что при исследовании идеальной модели.

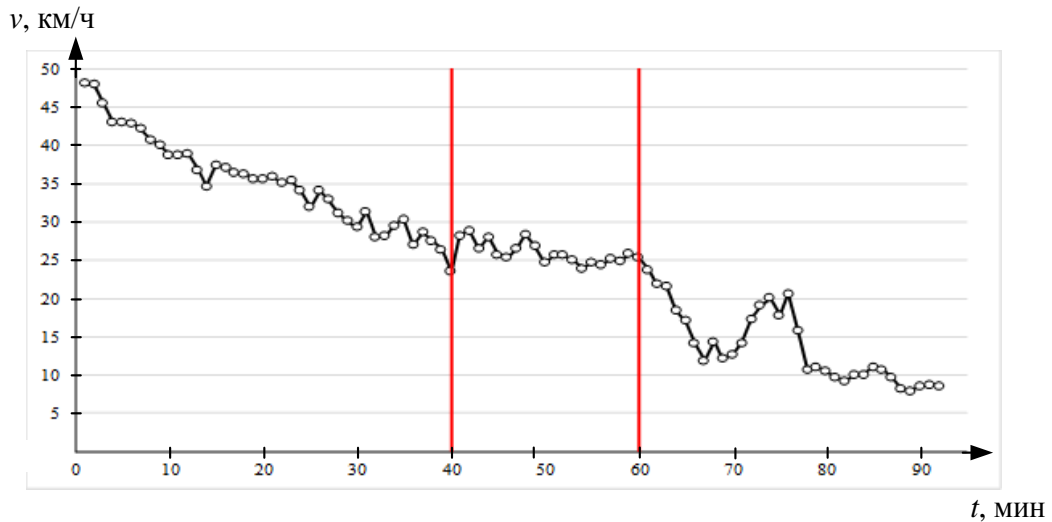


Рисунок 3.14 – График зависимости скорости движения ТС от продолжительности эксперимента

Полученная имитационная модель обладает характеристиками, приведёнными в таблице 3.10, которые принимаются как базовые.

Таблица 3.10 – Характеристики базовой модели без учета КУТП

Параметр	Дорога			УДС
	1	2	3	
$N$ , авт/ч	1905,7	2114,3	2548,6	8985,71
$v$ , км/ч	52,4	5,9	7,4	–
$q$ , авт/км	16,6	122,1	112,3	–
$t_B$ , МИН	–			87
$t_{общ}$ , МИН/ч	–			119199
$t_{aem}$ , МИН	–			19,23



Схематично дорожная обстановка базовой модели представлена на рисунке 3.15, соответствующие основные характеристики уровня обслуживания – в таблице 3.11.

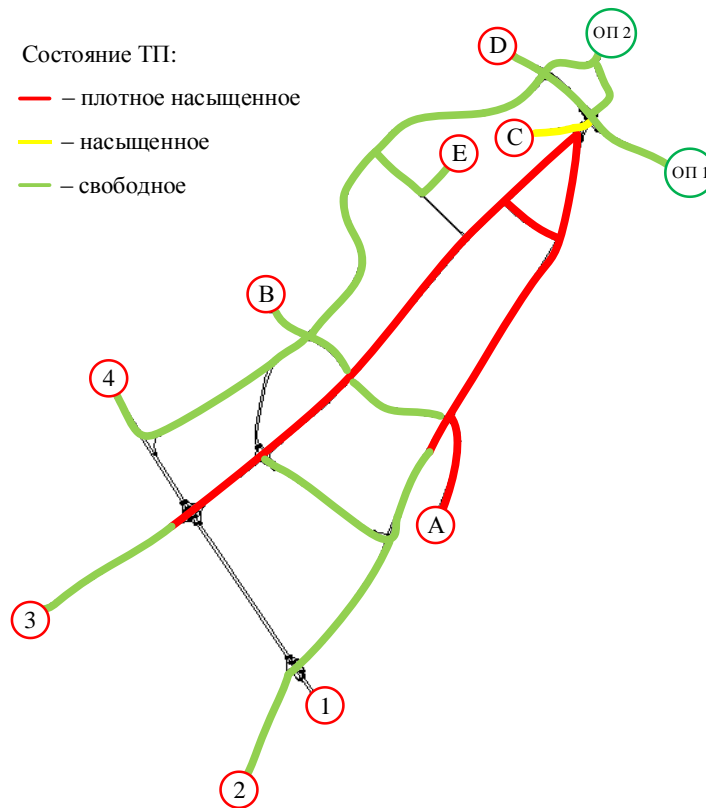


Рисунок 3.15 – Схема дорожной обстановки базовой модели

Таблица 3.11 – основные характеристики уровня обслуживания базовой модели

Показатель	Номер дороги			$\sigma$
	1	2	3	
$z$	0,5	0,56	0,75	0,13
$c$	0,95	0,11	0,13	0,48
$\rho$	0,18	0,98	0,98	0,46

### 3.2.2 Данные, полученные в ходе эксперимента при условии недооценки КМК

Эксперимент проводился согласно схеме, приведенной в главе 2. В результате эксперимента для каждой точности КМК были определены наиболее оптимальные варианты КУТП (таблица 3.12). Поскольку новая модель оказалась довольно чувствительной, то для каждого варианта точности КМК приходится не более трех вариантов КУТП.

Таблица 3.12 – Наиболее оптимальные варианты КУТП

Точность КМК	Исток	Распределение 1		Распределение 2		Распределение 3	
		ОП1	ОП2	ОП1	ОП2	ОП1	ОП2
		Осн/альт	Осн/альт	Осн/альт	Осн/альт	Осн/альт	Осн/альт
95%, 100%	2	40/60	90/10	30/70	100/-	40/60	100/-
	3	60/40	100/-	60/40	100/-	50/50	100/-
90%	2	30/70	90/10	40/60	100/-	40/60	90/10
	3	60/40	100/-	50/50	100/-	60/40	100/-
85%	2	30/70	80/20	40/60	70/30	30/70	70/30
	3	50/50	100/-	40/60	100/-	50/50	100/-
80%	2	30/70	60/40	35/65	65/35	30/70	70/30
	3	50/50	100/-	45/55	100/-	50/50	100/-
70%	2	30/70	35/65	30/70	40/60	30/70	30/70
	3	35/65	100/-	40/60	100/-	40/60	100/-
60%	2	30/70	30/70	30/70	30/70	30/70	30/70
	3	40/60	100/-	35/65	100/-	30/70	100/-
50%	2	30/70	30/70				
	3	30/70	70/30				

Общие выходные данные и выходные данные основных дорог модели УДС с учетом КУТП представлены в таблицах 3.13 и 3.14 соответственно.

Таблица 3.13 – Общие выходные данные модели УДС с учетом КУТП

Точность КМК	Параметр	№ распределения		
		1	2	3
100, 95%	$N$ , авт/ч	11745,7	11425,7	11425,7
	$t_{\text{общ}}$ , мин/ч	60025,2	58943,7	56025,4
	$t_{\text{в}}$ , мин	60		
90%	$N$ , авт/ч	11311,4	11425,7	11745,7
	$t_{\text{общ}}$ , мин/ч	64294,6	56025,4	60025,2
	$t_{\text{в}}$ , мин	62	60	
85%	$N$ , авт/ч	11234,3	11202,9	11182,9
	$t_{\text{общ}}$ , мин/ч	68545,6	75626,1	71950,1
	$t_{\text{в}}$ , мин	64	65	66
80%	$N$ , авт/ч	11128,6	11042,9	11182,9
	$t_{\text{общ}}$ , мин/ч	77062,6	72343,7	71950,1
	$t_{\text{в}}$ , мин	71	70	69
70%	$N$ , авт/ч	10906,7	10840	10914,3
	$t_{\text{общ}}$ , мин/ч	85197,9	82098	86857,3
	$t_{\text{в}}$ , мин	78	77	78
60%	$N$ , авт/ч	10914,3	10997,1	10762,9
	$t_{\text{общ}}$ , мин/ч	86857,3	85610	87675,1
	$t_{\text{в}}$ , мин	78	79	79
50%	$N$ , авт/ч	11020		
	$t_{\text{общ}}$ , мин/ч	96724,1		
	$t_{\text{в}}$ , мин	78		

Таблица 3.14 – Выходные данные основных дорог модели УДС с учетом КУТП

Точность КМК	Распределение	N, авт/ч			V, км/ч			q, авт/км		
		№ дороги			№ дороги			№ дороги		
		1	2	3	1	2	3	1	2	3
100, 95%	1	2980	2554	3097	48,8	53,7	52,5	18	24,5	29,2
	2	2960	2489	3020	48,5	53,2	52,4	17,9	23,8	29,1
	3	2925	2348	3054	48,3	53,8	52,6	17,4	23,2	28,8
90%	1	2837	2388	2925	49	53,7	52,7	25,5	26,7	28,1
	2	2925	2440	3054	50,1	52,6	47,4	17,4	27,9	28,8
	3	2980	2354	3097	48,8	53,7	52,5	18,1	24,5	29,2
85%	1	3049	2126	2803	38,5	53,7	52,7	38,8	13,1	17,5
	2	3206	2426	2483	46,3	48,9	52,9	31,8	17,4	15,4
	3	3114	2123	2757	38,3	53,9	52,8	38,7	13	17,2
80%	1	3171	2309	2514	28,6	53,5	52,7	48,2	14,2	15,6
	2	3114	2022	2711	27,9	53,8	52,7	49,5	12,4	16,9
	3	3114	2122	2757	38,3	53,9	52,8	48,7	13	17,2
70%	1	3102	2068	2337	18,2	53,9	53,2	80,2	12,6	14,4
	2	3177	2145	2328	18,8	53,7	53,2	77,8	13,1	14,4
	3	3220	2134	2245	19,6	53,5	53	77	13,2	14
60%	1	3220	2134	2245	19,6	53,5	53	77	13,2	14
	2	3185	2091	2357	18,8	53,8	53,2	78	12,8	14,5
	3	3165	1897	2368	18,8	54	52,7	78,5	11,6	14,7
50%	1	3329	1406	2346	20,7	54,2	53	75,1	8,6	14,5

### 3.2.3 Данные, полученные в ходе эксперимента при переоценке КМК

В данном эксперименте для того, чтобы модель обладала характеристиками, близкими к базовой модели при значительной переоценке КМК (кроме случая, когда точности КМК равна 85%), уменьшалась интенсивность сторонних ТП, маршрут движения которых в значительной степени совпадает с основными маршрутами. В результате эксперимента для каждой точности КМК были определены наиболее оптимальные варианты КУТП, которые представлены в таблице 3.15. Выходные данные для УДС в целом и выходные данные для основных дорог модели УДС с учетом КУТП представлены в таблицах 3.16 и 3.17 соответственно.

Таблица 3.15 – оптимальные перераспределения

Точность КМК	Исток	Распределение 1		Распределение 2		Распределение 3	
		ОП1	ОП2	ОП1	ОП2	ОП1	ОП2
		Осн/альт	Осн/альт	Осн/альт	Осн/альт	Осн/альт	Осн/альт
85%	2	35/65	95/5	40/60	100/-	40/60	90/10
	3	60/40	100/-	50/50	100/-	60/40	100/-
80%	2	35/65	95/5	40/60	100/-	40/60	90/10
	3	60/40	100/-	50/50	100/-	60/40	100/-
70%	2	45/55	100/-	40/60	100/-	45/55	100/-
	3	55/45	100/-	60/40	100/-	45/55	100/-
60%	2	50/50	100/-	45/55	100/-		
	3	70/30	100/-	65/45	100/-		
50%	2	50/50	80/20				
	3	80/20	100/-				

Таблица 3.16 – Выходные данные

Точность КМК	Параметр	№ распределения		
		1	2	3
85%	$N$ , авт/ч	11520	11425,7	11745,7
	$t_{\text{общ}}$ , мин/ч	59050	56025,4	60025,2
	$t_{\text{в}}$ , мин	60		
80%	$N$ , авт/ч	11520	11425,7	11745,7
	$t_{\text{общ}}$ , мин/ч	59050	56025,4	60025,2
	$t_{\text{в}}$ , мин	60		
70%	$N$ , авт/ч	11400	11548,6	11208
	$t_{\text{общ}}$ , мин/ч	56997	55580	62996
	$t_{\text{в}}$ , мин	60		
60%	$N$ , авт/ч	11411	11546	
	$t_{\text{общ}}$ , мин/ч	67906	63562	
	$t_{\text{в}}$ , мин	64	62	
50%	$N$ , авт/ч	11011		
	$t_{\text{общ}}$ , мин/ч	71317		
	$t_{\text{в}}$ , мин	70		

Таблица 3.17 – Выходные данные по дорогам отдельно

Точность КМК	Распределение	$N$ , авт/ч			$V$ , км/ч			$q$ , авт/км		
		№ дороги			№ дороги			№ дороги		
		1	2	3	1	2	3	1	2	3
85%	1	2946	2409	2993	49	53	52	27	15	19
	2	3017	2577	3215	44,6	51,9	44,7	26,3	24	51,8
	3	3142	2775	3443	43,8	50,1	42,3	27,6	25,1	42,6
80%	1	2946	2409	2993	49	53	52	27	15	19
	2	3017	2577	3215	44,6	51,9	44,7	26,3	24	51,8
	3	3142	2775	3443	43,8	50,1	42,3	27,6	25,1	42,6

Продолжение таблицы 3.17

70%	1	2794	2203	3194	49,6	53,8	52,2	25,7	13,4	20,1
	2	2811	2343	3037	50	53,5	52,4	25,6	14,5	19
	3	2923	2377	3022	43,6	53,7	51,2	31,6	13	20,8
60%	1	2657	2066	3129	50,3	43,7	52,3	20,2	30,1	52,6
	2	2893	2246	2996	50,1	39,8	51,4	19,4	17,5	51,7
50%	1	1856	2143	3310	52,3	35,1	36,4	12,5	30,7	68,4

### 3.3 Модель, приближенная к реальным условиям №2

#### 3.3.1 Описание модели УДС

Данная модель УДС, как и предыдущие модели, удовлетворяет всем необходимым требованиям для КУТП и характерна наличием регулируемых перекрестков, транспортных заторов на основных дорогах перед светофорами №1 и №2 (Рисунок 3.16, Рисунок 3.17). Кроме того, данная модель имеет ряд существенных ограничений для реализации КУТП (съезд на альтернативную дорогу единственный для всех маршрутов, большая разница основных маршрутов по протяженности, высокое варьирование отношений протяженностей альтернативных маршрутов к протяженностям соответствующих основных маршрутов). Поскольку в рамках данной работы рассматривается только КУТП, то фазы светофорных объектов принимаются неизменными (Рисунок 3.18) [115].

Основные маршруты рассматриваемой модели УДС в значительно отличаются между собой по протяженности, также сильно варьируется отношение протяжённости альтернативных маршрутов к протяженности основных, минимальное отношение при этом составляет 1,08, а максимальное – 2,0 (Рисунок 3.18).

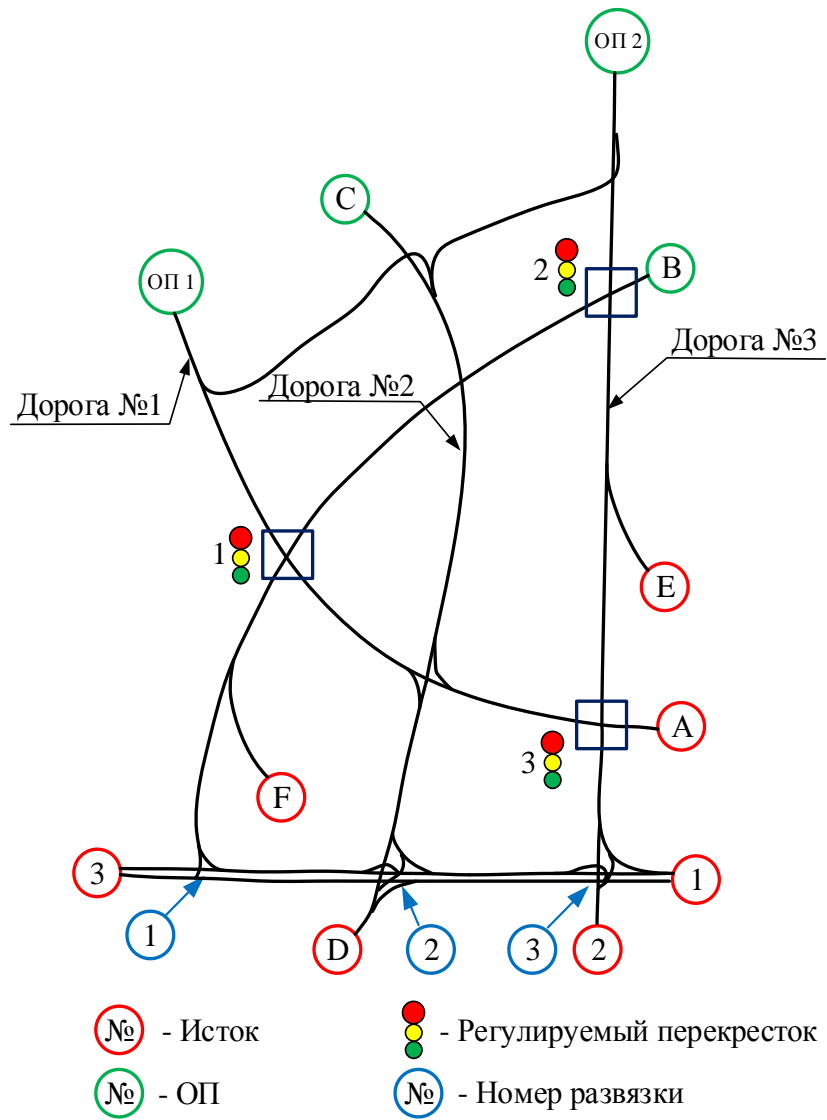


Рисунок 3.16 – Общий вид модели УДС

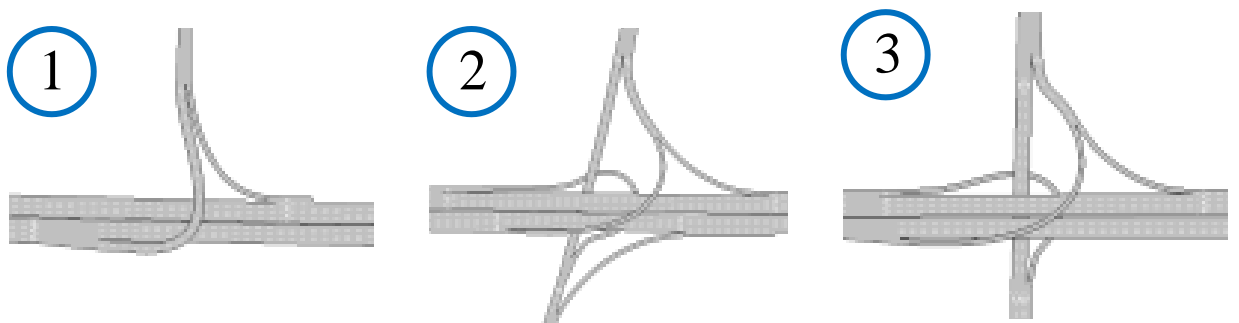


Рисунок 3.17 – Схема развязок

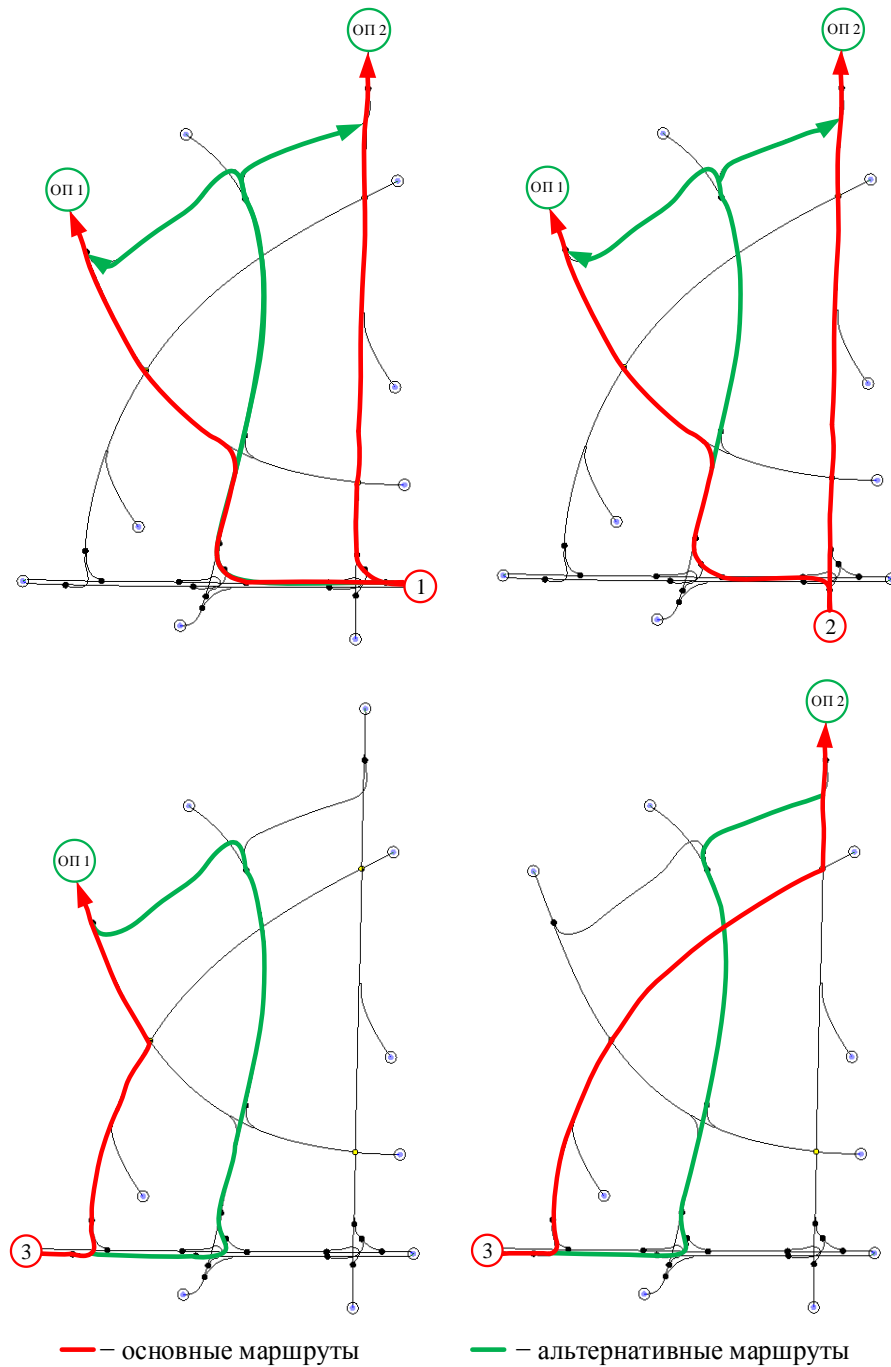


Рисунок 3.18 –Схемы основных и альтернативных маршрутов

Сторонние маршруты движения ТС пролегают практически по всем имеющимся участкам дорог, и на некоторых из них можно будет уменьшать интенсивность ТП для получения выходных характеристик УДС, близких к базовой модели (Рисунок 3.19).

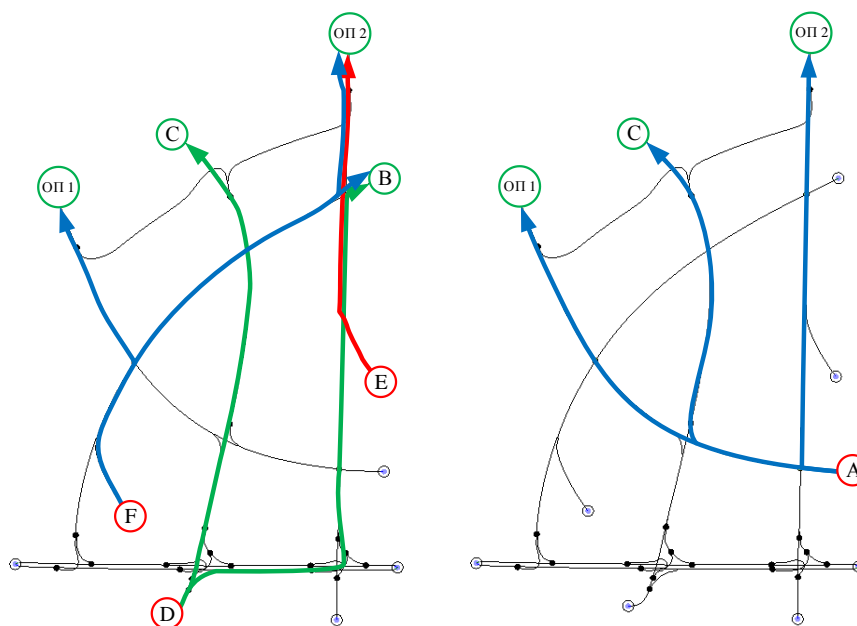


Рисунок 3.19 – Схемы сторонних маршрутов

Полученная модель УДС согласно выбранным маршрутам движения ТП обладает номинальными характеристиками, представленными в таблице 3.18.

Таблица 3.18 – Номинальные характеристики модели УДС

Показатель	Номер дороги		
	1	2	3
$N$ , авт/ч	3500	3400	3600
$v_0$ , км/ч	40	55	38
$q$ , авт/км	95	95	130

Для модельного эксперимента была принята матрица корреспонденции ТП, приведенная в таблице 3.19.

Таблица 3.19 – Матрица корреспонденции ТП

Исток	Объект притяжения			
	В	С	ОП 1	ОП2
1	–	–	1000	1000
2	–	–	1000	1600
3	–	–	700	700
А	–	300	300	300
Д	700	600	–	–
Е	–	–	–	800
F	300	–	200	300
$\Sigma$	9800			



В данном эксперименте генерация ТП продолжается также в течение одного часа, наблюдение за ТП и расчет выходных данных проводится до момента выезда из УДС последнего ТС. Как и в предыдущих экспериментах, выходные данные модели собирались при равновесном состоянии ТП, которое появляется только на 30-ой минуте эксперимента. Это наглядно демонстрирует график зависимости средней скорости движения ТС от продолжительности эксперимента (Рисунок 3.20). Таким образом производилась обработка данных, полученных с 30-ой по 60-ую минуты эксперимента.

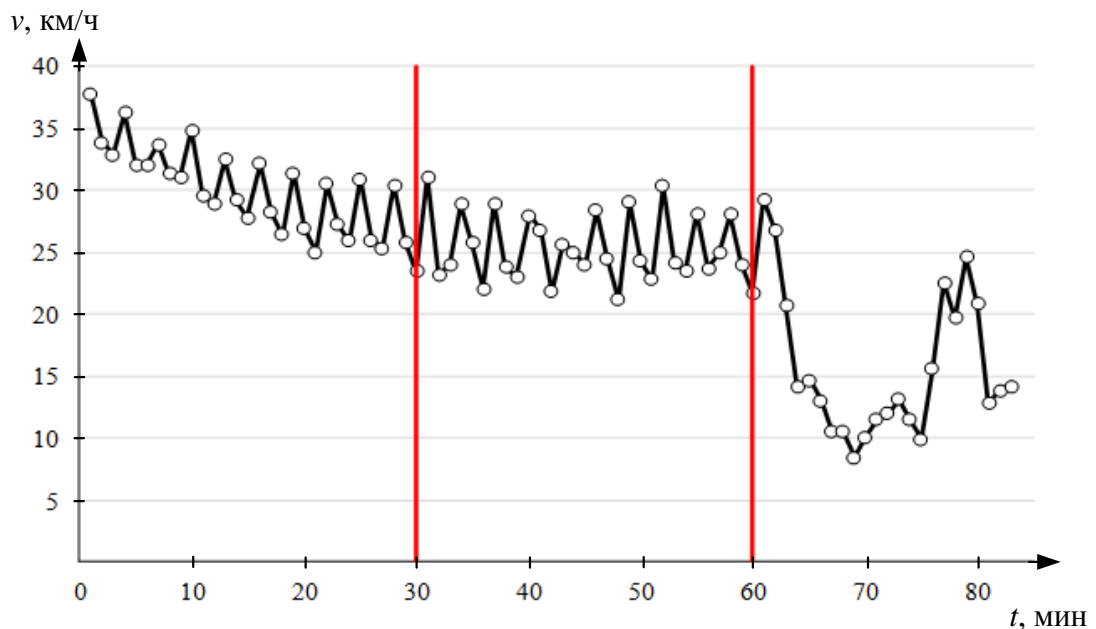


Рисунок 3.20– График зависимости скорости движения ТС от продолжительности эксперимента

Полученная имитационная модель обладает характеристиками, представленными в таблице 3.20, которые принимаются за базовые и относительно которых будет проводиться анализ эффективности КУТП.

Таблица 3.20 – Характеристики базовой модели без учета КУТП

Параметр	Дорога			УДС
	1	2	3	
$N$ , авт/ч	3108	883	3600	8608
$v$ , км/ч	45,4	54	10,8	–
$q$ , авт/км	26,3	7,9	114,7	–

$t_B$ , МИН	–	78
$t_{общ}$ , МИН/Ч	–	63927
$t_{aem}$ , МИН	–	9,6

Схематично дорожная обстановка базовой модели представлена на рисунке 3.21, соответствующие основные характеристики уровня обслуживания – в таблице 3.21.

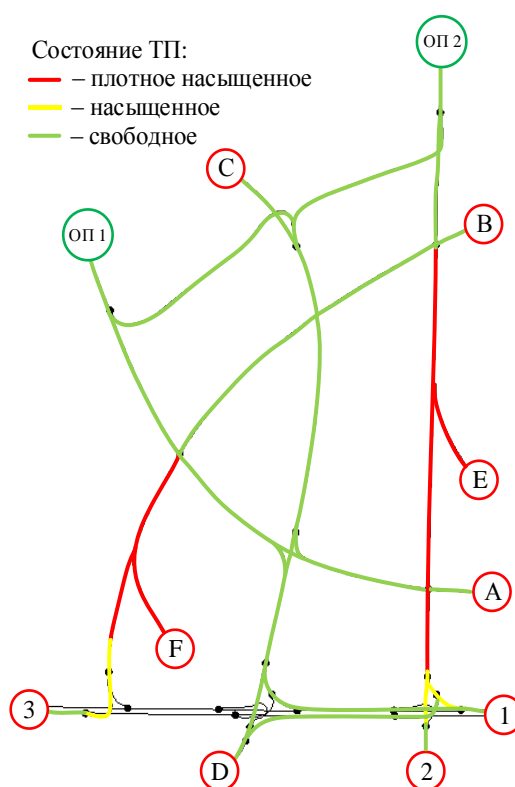


Рисунок 3.21 – Схема дорожной обстановки базовой модели

Таблица 3.21 – Основные характеристики уровня обслуживания базовой модели

Показатель	Номер дороги			$\sigma$
	1	2	3	
$z$	0,89	0,26	1,0	0,4
$c$	0,91	0,98	0,36	0,34
$\rho$	0,28	0,08	0,88	0,42

### 3.3.2 Данные, полученные в ходе эксперимента при недооценке КМК

Эксперимент проводился согласно схеме, приведенной в главе 2. В результате эксперимента для каждой точности КМК были определены наиболее оптимальные варианты КУТП (таблица 3.22). Поскольку полученная модель обладает высокой чувствительностью и существенные ограничения для

применения КУТП, то для каждого варианта точности КМК существовало не более трех вариантов КУТП.

Таблица 3.22 – Наиболее оптимальные варианты КУТП

Точность КМК	Исток	Распределение 1		Распределение 2		Распределение 3	
		ОП1	ОП2	ОП1	ОП2	ОП1	ОП2
		Осн/альт	Осн/альт	Осн/альт	Осн/альт	Осн/альт	Осн/альт
95%, 100%	1	90/10	70/30	80/20	60/40	90/10	60/40
	2	90/10	55/45	100/-	60/40	90/10	60/40
	3	40/60	70/30	60/40	60/40	70/30	40/60
90%	1	90/10	70/30	80/20	55/45	90/10	60/40
	2	90/10	50/50	100/-	50/50	90/10	55/45
	3	40/60	70/30	55/45	55/45	60/35	40/60
85%	1	80/20	60/40	80/20	50/50	80/20	70/30
	2	80/20	55/45	100/-	50/50	80/20	35/65
	3	50/50	50/50	55/45	55/45	50/50	50/50
80%	1	70/30	60/40	75/25	55/45	80/20	70/30
	2	70/30	40/60	75/25	45/55	80/20	35/65
	3	50/50	40/60	40/60	50/50	50/50	50/50
70%	1	60/40	60/40	70/30	55/45	60/40	50/50
	2	70/30	30/70	60/40	35/65	60/40	40/60
	3	50/50	40/60	50/50	40/60	40/60	40/60
60%	1	50/50	50/50	70/30	55/45	60/40	40/60
	2	50/50	30/70	60/40	30/70	60/40	35/65
	3	45/55	40/60	30/70	50/50	50/50	30/70
50%	1	60/40	35/65	60/40	30/70		
	2	60/40	30/70	50/50	30/70		
	3	30/70	30/70	30/70	30/70		

Общие выходные данные и выходные данные основных дорог модели УДС с учетом КУТП представлены в таблицах 3.23 и 3.24 соответственно.

Таблица 3.23 – Общие выходные данные модели УДС с учетом КУТП

Точность КМК	Параметр	№ распределения		
		1	2	3
100, 95%	$N$ , авт/ч	9740	9754	9894
	$t_{\text{общ}}$ , мин/ч	29206	29835	29109
	$t_{\text{в}}$ , мин	60		
90%	$N$ , авт/ч	9874	9774	9765
	$t_{\text{общ}}$ , мин/ч	29297	32539	29047
	$t_{\text{в}}$ , мин	60		
85%	$N$ , авт/ч	8921	8674	9928
	$t_{\text{общ}}$ , мин/ч	36810	43139	32946
	$t_{\text{в}}$ , мин	60	64	60

Продолжение таблицы 3.23

80%	$N$ , авт/ч	8977	8749	9228
	$t_{\text{общ}}$ , МИН/ч	45561	46813	37946
	$t_{\text{в}}$ , МИН	64	72	60
70%	$N$ , авт/ч	8545	8360	8774
	$t_{\text{общ}}$ , МИН/ч	47591	49595	46572
	$t_{\text{в}}$ , МИН	70	72	66
60%	$N$ , авт/ч	8471	8360	8459
	$t_{\text{общ}}$ , МИН/ч	47841	52940	53415
	$t_{\text{в}}$ , МИН	70	74	72
50%	$N$ , авт/ч	8572	8508	
	$t_{\text{общ}}$ , МИН/ч	53407	52951	
	$t_{\text{в}}$ , МИН	80	82	

Таблица 3.24 – Выходные данные основных дорог модели УДС с учетом КУТП

Точность КМК	Распределение	$N$ , авт/ч			$V$ , км/ч			$q$ , авт/км		
		№ дороги			№ дороги			№ дороги		
		1	2	3	1	2	3	1	2	3
100, 95%	1	3162	2793	3345	33,2	50,5	33,9	29,6	26,4	28,5
	2	3217	2677	3315	33,4	51,1	30,7	28,6	25	50,8
	3	3182	2748	3408	32,8	50,9	32,8	27,8	25,7	42,8
90%	1	3181	2799	3367	33,3	49,9	33,8	29,4	26,3	28,4
	2	3017	2577	3215	34,6	51,9	34,7	26,3	24	51,8
	3	3142	2775	3443	33,8	50,1	32,4	27,6	25,1	42,6
85%	1	2874	3064	3167	34,9	50,1	35	27	49,8	48
	2	3017	2777	3115	35	32,4	34,7	26,3	24	51,8
	3	2791	3168	2814	35,1	31,5	33,5	25	58,9	31,7
80%	1	2998	2871	2908	33,8	29,8	3,4	24,7	41,1	42,1
	2	2891	2968	2800	34,5	31,6	34,6	25,6	65,1	32,4
	3	2791	3168	2814	35,1	31,5	33,5	25	58,9	31,7
70%	1	2749	3100	2650	34,1	23,7	36,9	23,1	62,1	28
	2	2675	3178	2786	35,6	26,9	35,4	24,3	68,9	29,2
	3	2839	3372	2911	35,4	24,8	33,4	25	77,9	30
60%	1	2948	2165	3216	29,7	52,4	25,6	31,4	21,4	62,5
	2	3046	1948	3284	26,8	51,3	26,4	35,8	20,7	62,8
	3	3005	2184	3253	27,6	51,7	25,9	33,1	20,1	61,4
50%	1	3165	1994	3289	26,7	50,9	23,7	34,9	19,7	63,8
	2	3076	1942	3406	28,6	52,3	22,8	31,8	19,1	62,4

### 3.3.3 Данные, полученные в ходе эксперимента при переоценке КМК

В данном эксперименте, как и в предыдущем, для того, чтобы модель обладала характеристиками, близкими к базовой модели при значительной

переоценке КМК (все варианты точности КМК кроме 85%), уменьшалась интенсивность сторонних ТП. Маршрут движения сторонних ТП в значительной степени совпадает с основными маршрутами, т.е. снижалась интенсивность ТП на маршрутах: F–ОП1, F–ОП2, D–ОП2, А–ОП2, А–ОП1. В результате эксперимента для каждой точности КМК были определены наиболее оптимальные варианты КУТП, представленные в таблице 3.25. Общие выходные данные и выходные данные основных дорог модели УДС с учетом КУТП представлены в таблицах 3.26 и 3.27 соответственно.

Таблица 3.25 – Наиболее оптимальные варианты КУТП

Точность КМК	Исток	Распределение 1		Распределение 2		Распределение 3	
		ОП1	ОП2	ОП1	ОП2	ОП1	ОП2
		Осн/альт	Осн/альт	Осн/альт	Осн/альт	Осн/альт	Осн/альт
85%	1	90/10	70/30	90/10	60/40	80/20	55/45
	2	90/10	55/45	90/10	60/40	100/-	50/50
	3	40/60	70/30	70/30	40/60	55/45	55/45
80%	1	90/10	70/30	90/10	60/40	80/20	55/45
	2	90/10	55/45	90/10	60/40	100/-	50/50
	3	40/60	70/30	70/30	40/60	55/45	55/45
70%	1	100/-	70/30	90/10	70/30	80/20	55/45
	2	90/40	60/40	100/-	70/30	100/-	50/50
	3	50/50	40/60	80/20	50/50	55/45	55/45
60%	1	100/-	80/20	100/-	80/20	100/-	70/30
	2	100/-	75/25	100/-	70/30	90/10	80/20
	3	80/20	80/20	70/30	80/20	60/40	90/10
50%	1	90/10	90/10	100/-	80/20		
	2	90/10	80/20	100/-	75/25		
	3	90/10	80/20	85/15	85/15		

Таблица 3.26 – Общие выходные данные модели УДС с учетом КУТП

Точность КМК	Параметр	№ распределения		
		1	2	3
85%	$N$ , авт/ч	9740	9894	9774
	$t_{\text{общ}}$ , мин/ч	29206	29110	32540
	$t_{\text{в}}$ , мин	60		
80%	$N$ , авт/ч	9740	9894	9774
	$t_{\text{общ}}$ , мин/ч	29206	29110	32540
	$t_{\text{в}}$ , мин	60		
70%	$N$ , авт/ч	9914	9414	9774
	$t_{\text{общ}}$ , мин/ч	29841	40667	32540
	$t_{\text{в}}$ , мин	63	61	60

Продолжение таблицы 3.26

60%	$N$ , авт/ч	9366	9128	9243
	$t_{\text{общ}}$ , мин/ч	42923	40490	41872
	$t_{\text{в}}$ , мин	62	64	63
50%	$N$ , авт/ч	9156	9230	
	$t_{\text{общ}}$ , мин/ч	41860	42885	
	$t_{\text{в}}$ , мин	65	66	

Таблица 3.27 – Выходные данные основных дорог модели УДС с учетом КУТП

Точность КМК	Распределение	$N$ , авт/ч			$V$ , км/ч			$q$ , авт/км		
		№ дороги			№ дороги			№ дороги		
		1	2	3	1	2	3	1	2	3
85%	1	3072	2599	3214	31,1	49,9	31,4	30,8	24,3	58,4
	2	2948	2476	3116	32,4	51,9	32,4	29,7	23,4	51,8
	3	3046	2597	3184	33,8	50,1	30,7	28,4	24,6	52,6
80%	1	3072	2599	3214	31,1	49,9	31,4	30,8	24,3	58,4
	2	2948	2476	3116	32,4	51,9	32,4	29,7	23,4	51,8
	3	3046	2597	3184	33,8	50,1	30,7	28,4	24,6	52,6
70%	1	3072	2259	3416	29,7	50,9	29,7	30,4	23,7	61,7
	2	2948	2176	3216	30,9	52,4	28,7	29,6	22,9	58,4
	3	3046	2384	3384	31,8	51,8	27,4	28,2	23,5	56,6
60%	1	2948	2165	3216	29,7	53,4	25,6	31,4	21,4	62,5
	2	3046	1948	3384	26,8	52,3	24,4	35,8	20,7	62,8
	3	3005	2084	3253	27,6	51,7	24,9	33,1	20,1	61,4
50%	1	3165	1894	3389	26,7	50,9	23,7	34,9	19,7	63,8
	2	3076	1942	3406	28,6	52,3	22,8	31,8	19,1	62,4

В общей сложности было осуществлено немногим более одной тысячи запусков имитационных моделей с целью получения большего количества выходных данных и, как следствие, повышения точности и достоверности результатов их обработки.

### 3.4 Эксперимент, направленный на исследование зависимости точности КМК от точности оборудования и вариантов его расстановки на УДС

Целью аналитического эксперимента является приведение примера исследования зависимости точности КМК от точности идентификации с применением формулы расчета точности построения маршрутов, выведенной в главе 2.

Для проведения эксперимента была выбрана УДС идеальной модели, т.к. она наиболее сложна с точки зрения расчетов за счет большого количества возможных альтернатив.

Особенности эксперимента:

- рассматривается фактическая точность ИБ, выраженная в общем виде;
- повышение точности самих ИБ невозможно;
- точность идентификации ИБ одинакова (для написания формул расчета точности в более наглядном виде).

Перечисленные допущения приняты в силу того, что исследование влияния рассмотренных факторов на точность идентификации не является целью диссертационной работы. Согласно принятым допущениям возможны следующие методы повышения точности идентификации:

- установка ИБ не только на участках основных и альтернативных дорог, но и на съездах с основных дорог на альтернативные;
- дублирующая установка ИБ (на одном участке дороги идентификация ТС проводится дважды). Таким образом, идентификация ТС (событие) будет считаться удачной (состоится), если ТС будет идентифицировано хотя бы на одном ИБ из двух. Согласно теории вероятности, это позволит увеличить точность идентификации со значения фактической точности ИБ ( $p_{\text{бл}}$ ) до значения, равному  $1 - q_{\text{бл}}^2$ .

Таким образом можно выделить 2 принципа расстановки ИБ:

- только на участках дорог основных и альтернативных маршрутов движения (Рисунок 3.22а);
- на участках дорог основных и альтернативных маршрутов движения, а также на съездах с основных маршрутов на альтернативные (Рисунок 3.22б);

Для обоих принципов расстановки ИБ возможно применение восстановления маршрутов при неудачной идентификации, но это применимо только к тем ИБ, которые расположены в центральной части УДС, т.к. неудачная идентификация на ИБ истока и/или ОП влечет за собой невозможную потерю маршрута (Рисунок

3.22). Чтобы определить величину коэффициента восстановления, необходимо определить возможные варианты объезда ИБ с неудачной идентификацией и выбрать тот, на котором расположено наименьшее количество ИБ. Затем необходимо рассчитать вероятность успешной идентификации хотя бы на одном из ИБ, т.к. если произойдет успешная идентификация на объезде, то данное ТС уже не рассматривается как «участник маршрута», что увеличивает показатель точности рассматриваемого маршрута.

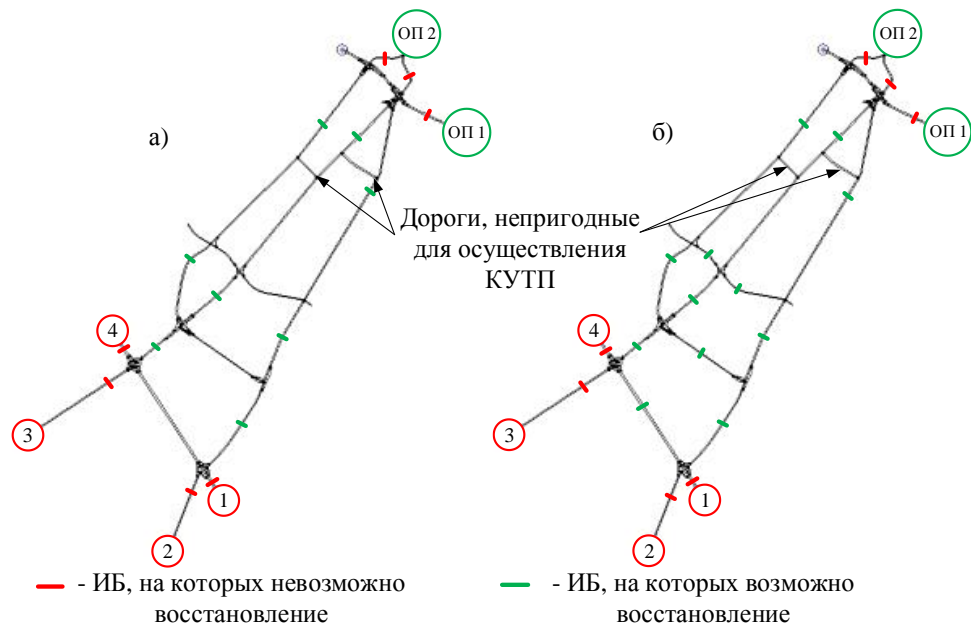


Рисунок 3.22 – Принципы расстановки ИБ

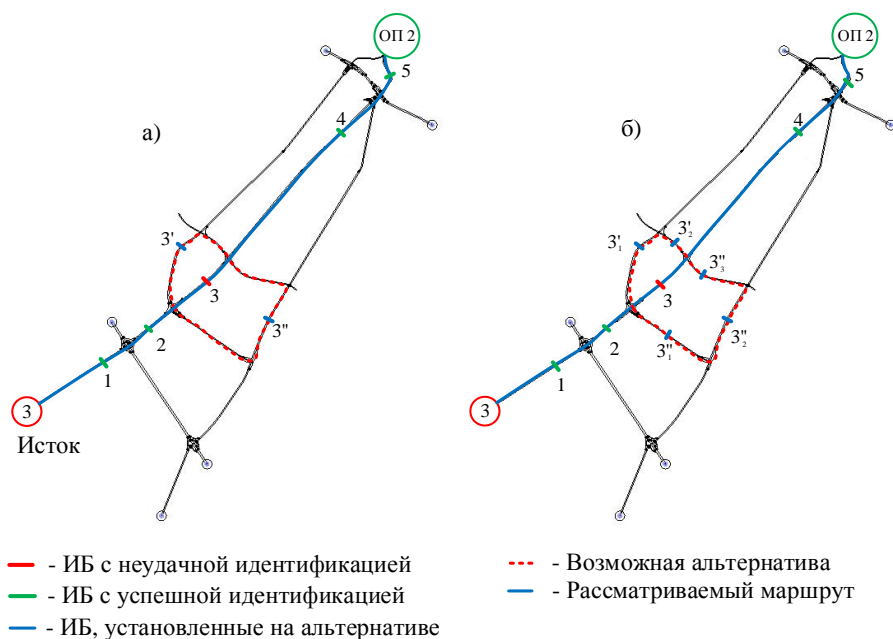


Рисунок 3.23 – Схема возможных объездов участка дороги с ИБ №3



Если же успешной идентификации на объезде не произойдет, то рассматриваемое ТС можно отнести к рассматриваемому маршруту. Таким способом возможно корректировать точность рассматриваемых маршрутов согласно значениям коэффициентов восстановления.

В качестве наглядного примера восстановления точности маршрута в рамках рассматриваемой УДС рассмотрим восстановление маршрута 3-ОП2 при условии неудачной идентификации на ИБ №3 (рисунок 3.23). При этом для случая а) точность возможных объездов одинакова и равна точности ИБ. Для случая б) величина коэффициента восстановления объезда №1 меньше величины коэффициента восстановления объезда №2 в силу меньшего количества ИБ, следовательно, стоит принять во внимание объезд №1.

Для случая а) точность маршрута определяется согласно следующей формуле:

$$P_m = p_{\text{бл}}^5 + p_{\text{бл}}^4 \cdot q_{\text{бл}} \cdot (1 - q_{\text{бл}}) \quad (3.1)$$

где  $P_m$  – точность маршрута;  $p_{\text{бл}}$  – точность ИБ,  $p_{\text{бл}}^4 \cdot q_{\text{бл}}$  – вероятность неудачной идентификации ТС на ИБ №3 при успешной идентификации на остальных ИБ,  $(1 - q_{\text{бл}})$  – коэффициент восстановления точности маршрута, равная точности ИБ.

Для случая б) точность маршрута определяется согласно следующей формуле:

$$P_m = p_{\text{бл}}^5 + p_{\text{бл}}^4 \cdot q_{\text{бл}} \cdot (1 - q_{\text{бл}}^2) \quad (3.2)$$

где  $(1 - q_{\text{бл}}^2)$  – коэффициент восстановления точности маршрута, равный вероятности успешной идентификации хотя бы на одном из ИБ, расположенных на объезде №1.

Рассмотрим несколько случаев расстановки ИБ:

– I случай расстановки ИБ. Применяется принцип расстановки №1 без применения дублирующей установки ИБ (Рисунок 3.24а).

Формула точности основных маршрутов движения ТС:

$$P_m = P_5(5) + P_5(4) \cdot (1 - q_{\text{бл}}) \cdot 3 = p_{\text{бл}}^5 + p_{\text{бл}}^4 \cdot q_{\text{бл}} \cdot (1 - q_{\text{бл}}) \cdot 3 =$$

$$= p_{\text{бл}}^5 + 3 \cdot p_{\text{бл}}^4 \cdot q_{\text{бл}} \cdot p_{\text{бл}} = p_{\text{бл}}^5 \cdot (1 + 3 \cdot q_{\text{бл}}) \quad (3.3)$$

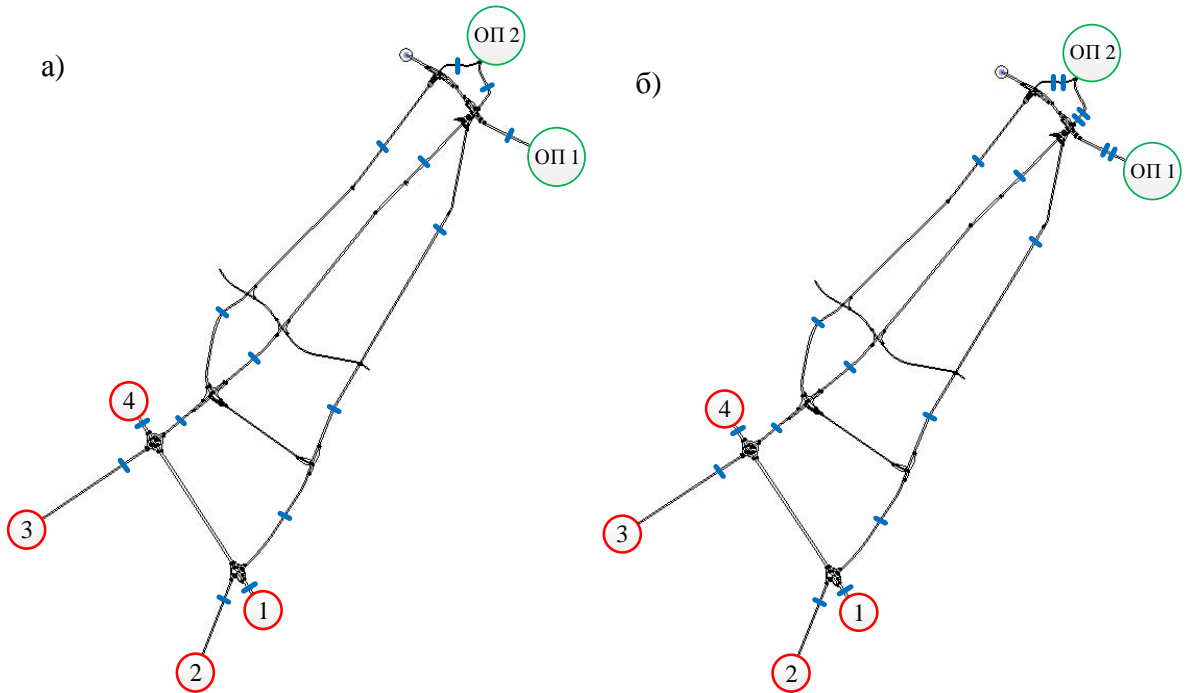


Рисунок 3.24 – I и II случаи расстановки ИБ

Формула точности альтернативных маршрутов движения ТС, но с учетом того, что неудачная идентификация на любом из ИБ ведет к невозможности восстановления маршрутов (наступает случай, описанный как исключение в разделе 2.3 перечисление б):

$$P_M = P_5(5) = p_{\text{бл}}^5 \quad (3.4)$$

– II случай расстановки ИБ. Применяется принцип расстановки №1 с применением дублирующей установки ИБ на участках УДС возле ОП (Рисунок 3.24б).

Формула точности основных маршрутов движения ТС:

$$P_M = p_{\text{бл}}^4 \cdot p' + p_{\text{бл}}^3 \cdot p' \cdot (1 - q_{\text{бл}}) \cdot 3 = p_{\text{бл}}^4 \cdot p' + p_{\text{бл}}^3 \cdot p' \cdot q_{\text{бл}} \cdot p_{\text{бл}} \cdot 3 = p_{\text{бл}}^4 \cdot p' \cdot (1 + 3 \cdot q_{\text{бл}}) \quad (3.3)$$

Формула точности альтернативных маршрутов движения ТС:

$$P_M = p_{\text{бл}}^4 \cdot p' \quad (3.4)$$

– III случай расстановки ИБ. Применяется принцип расстановки №1 с применением дублирующей установки ИБ на участках УДС возле ОП и истоков ТП (Рисунок 3.25а).

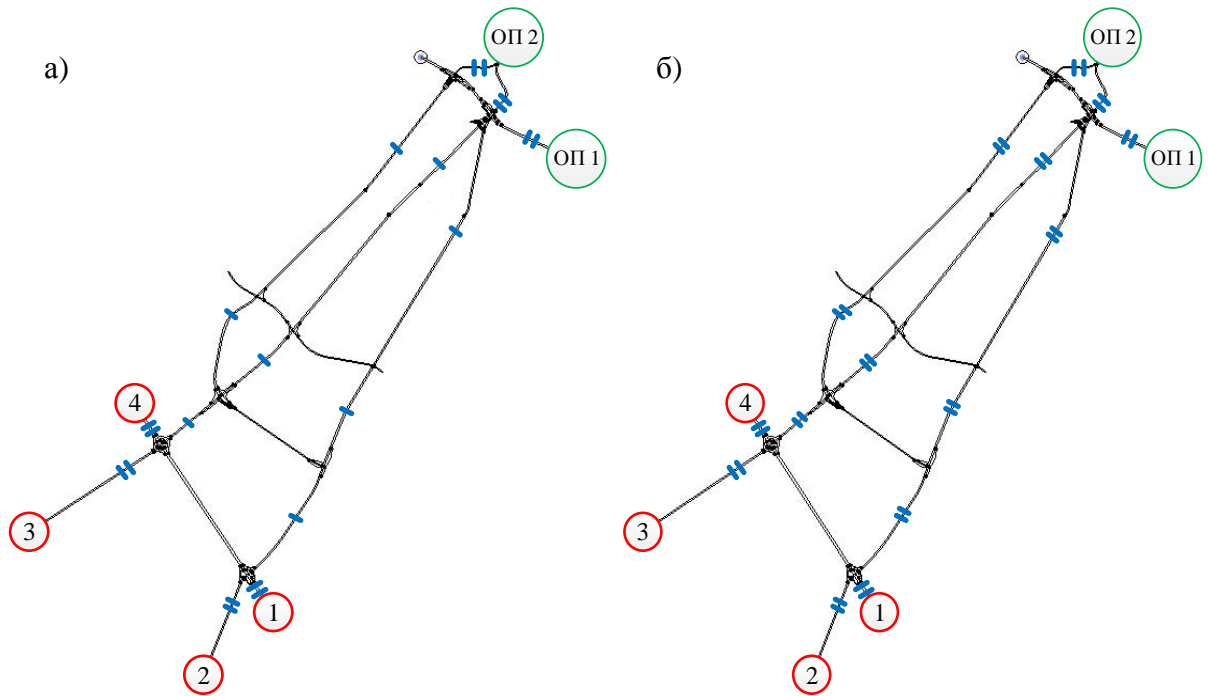


Рисунок 3.25 – III и IV случаи расстановки ИБ

Формула точности основных маршрутов движения ТС:

$$P_M = p_{\text{бл}}^3 \cdot p'^2 + p_{\text{бл}}^2 \cdot p'^2 \cdot (1 - q_{\text{бл}}) \cdot 3 = p_{\text{бл}}^3 \cdot p'^2 + p_{\text{бл}}^2 \cdot q_{\text{бл}} \cdot p'^2 \cdot p_{\text{бл}} \cdot 3 = p_{\text{бл}}^3 p'^2 \cdot (1 + 3 \cdot q_{\text{бл}}) \quad (3.5)$$

Формула точности альтернативных маршрутов движения ТС:

$$P_M = p_{\text{бл}}^3 \cdot p'^2 \quad (3.6)$$

– IV случай расстановки ИБ. Применяется принцип расстановки №1 с применением дублирующей установки ИБ на всех участках основных и альтернативных дорог (Рисунок 3.25б).

Формула точности основных маршрутов движения ТС:

$$P_M = P_5(5) + P_5(4) \cdot 3 \cdot p' = p'^5 + p'^4 \cdot q' \cdot 3 \cdot p' = p'^5 \cdot (1 + 3 \cdot q') \quad (3.7)$$

Формула точности альтернативных маршрутов движения ТС:

$$P_M = P_5(5) = p'^5 \quad (3.8)$$

– V случай расстановки ИБ. Применяется принцип расстановки №2 без применения дублирующей установки ИБ (Рисунок 3.26а).

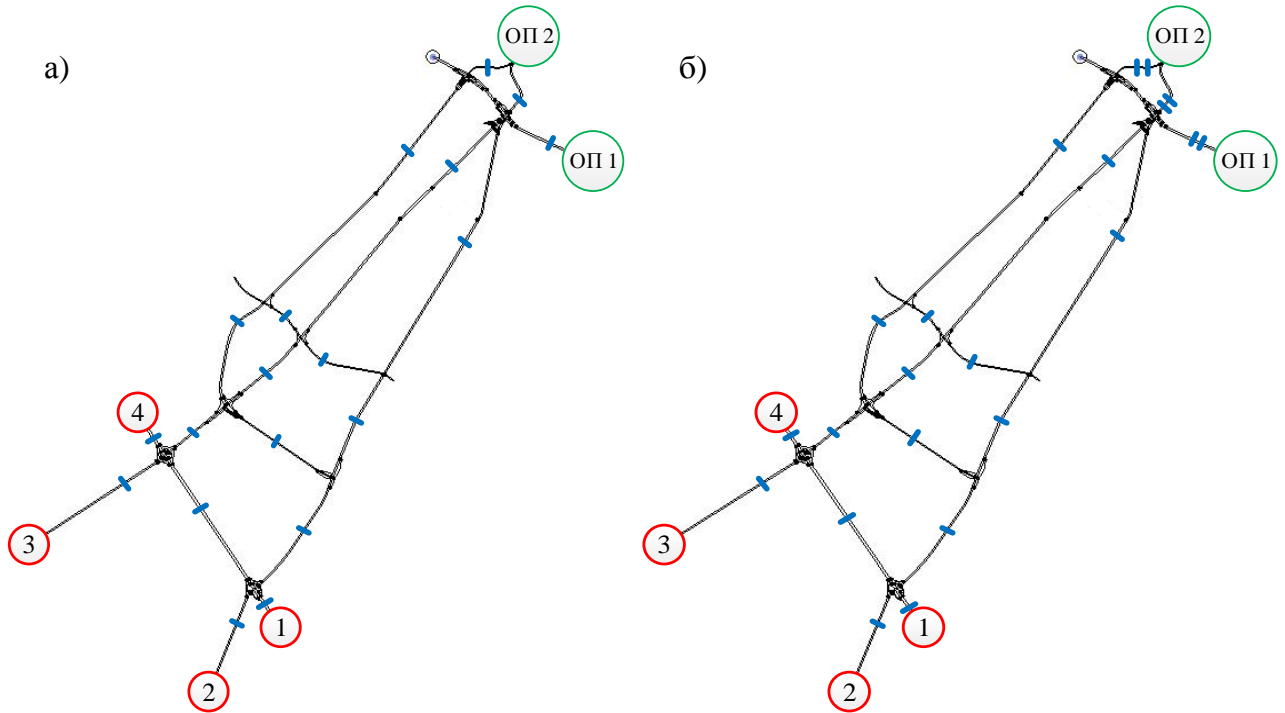


Рисунок 3.26 – V и VI случаи расстановки ИБ

Формула точности основных маршрутов движения ТС:

$$P_M = P_5(5) + P_5(4) \cdot (1 - q_{\text{бл}} + 1 - q_{\text{бл}}^2 + 1 - q_{\text{бл}}^3) + P_5(3) \cdot (1 - q_{\text{бл}} + 2 \cdot (1 - q_{\text{бл}}^2)) = p_{\text{бл}}^5 + p_{\text{бл}}^4 \cdot q_{\text{бл}} \cdot (3 - q_{\text{бл}} - q_{\text{бл}}^2 - q_{\text{бл}}^3) + p_{\text{бл}}^3 \cdot q_{\text{бл}}^2 \cdot (3 - q_{\text{бл}} - 2 \cdot q_{\text{бл}}^2) \quad (3.9)$$

Формула точности альтернативных маршрутов движения ТС:

$$P_M = P_6(6) + P_6(5) \cdot (1 - q_{\text{бл}}^2 + 1 - q_{\text{бл}}^3 + 2) + P_6(4) \cdot (2 \cdot (1 - q_{\text{бл}}) + 3 \cdot (1 - q_{\text{бл}}^3) + 1 \cdot 1) = p_{\text{бл}}^6 + p_{\text{бл}}^5 \cdot q_{\text{бл}} \cdot (4 - q_{\text{бл}}^2 - q_{\text{бл}}^3) + p_{\text{бл}}^4 \cdot q_{\text{бл}}^2 \cdot (6 - 2 \cdot q_{\text{бл}} - 3 \cdot q_{\text{бл}}^3) \quad (3.10)$$

– VI случай расстановки ИБ. Применяется принцип расстановки №2 с применением дублирующей установки ИБ на участках УДС возле ОП (Рисунок 3.26б).

Формула точности основных маршрутов движения ТС:

$$P_M = p_{\text{бл}}^4 \cdot p' + p_{\text{бл}}^3 \cdot p' \cdot (1 - q_{\text{бл}} + 1 - q_{\text{бл}}^2 + 1 - q_{\text{бл}}^3) + p_{\text{бл}}^2 \cdot p' \cdot (1 - q_{\text{бл}} + 2 \cdot (1 - q_{\text{бл}}^2)) = p_{\text{бл}}^4 \cdot p' + p_{\text{бл}}^3 \cdot p' \cdot q_{\text{бл}} \cdot (3 - q_{\text{бл}} - q_{\text{бл}}^2 - q_{\text{бл}}^3) + p_{\text{бл}}^2 \cdot p' \cdot q_{\text{бл}}^2 \cdot (3 - q_{\text{бл}} - 2 \cdot q_{\text{бл}}^2) \quad (3.11)$$

Формула точности альтернативных маршрутов движения ТС:

$$P_M = p_{\text{бл}}^5 \cdot p' + p_{\text{бл}}^4 \cdot p' \cdot (1 - q_{\text{бл}}^2 + 1 - q_{\text{бл}}^3 + 2) + p_{\text{бл}}^3 \cdot p' \cdot (2 \cdot (1 - q_{\text{бл}}) + 3 \cdot (1 - q_{\text{бл}}^3) + 1 \cdot 1) = p_{\text{бл}}^5 \cdot p' + p_{\text{бл}}^4 \cdot q_{\text{бл}} \cdot p' \cdot (4 - q_{\text{бл}}^2 - q_{\text{бл}}^3) + p_{\text{бл}}^3 \cdot q_{\text{бл}}^2 \cdot p' \cdot (6 - 2 \cdot q_{\text{бл}} - 3 \cdot q_{\text{бл}}^3) \quad (3.12)$$

– VII случай расстановки ИБ. Применяется принцип расстановки №2 с применением дублирующей установки ИБ на участках УДС возле ОП и истоков ТП (Рисунок 3.27а).

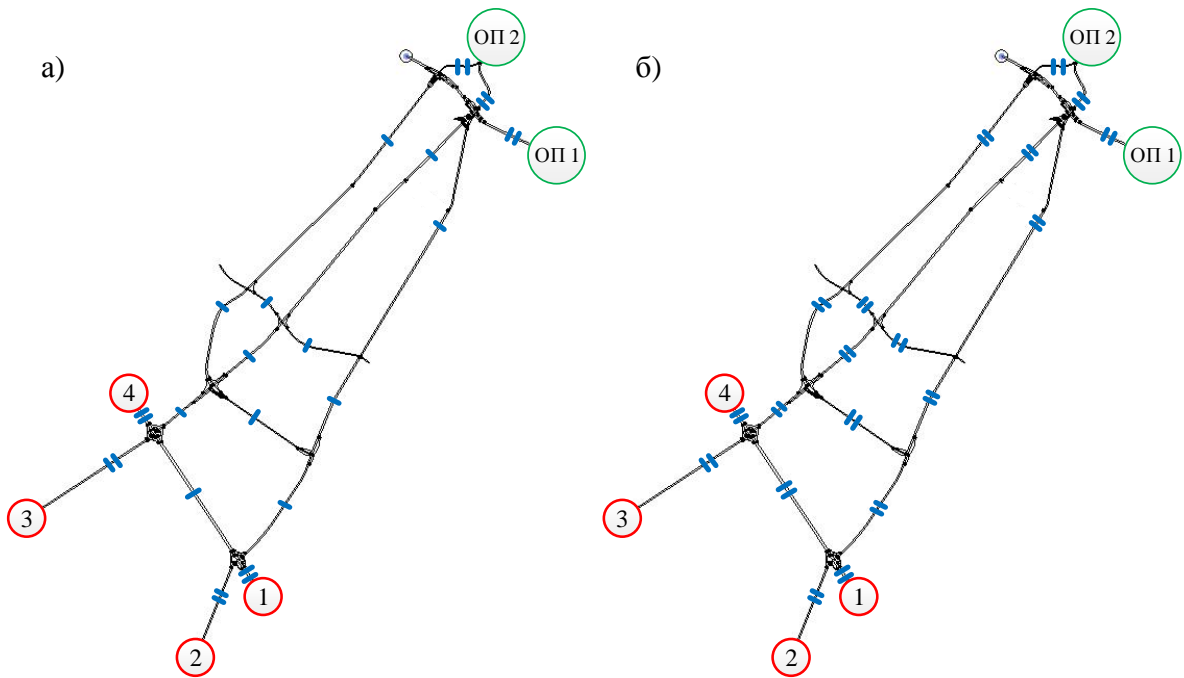


Рисунок 3.27 – VII и VIII случаи расстановки ИБ

Формула точности основных маршрутов движения ТС:

$$P_M = p_{\text{бл}}^3 \cdot p'^2 + p_{\text{бл}}^2 \cdot p'^2 \cdot (1 - q_{\text{бл}} + 1 - q_{\text{бл}}^2 + 1 - q_{\text{бл}}^3) + p_{\text{бл}}^1 \cdot p'^2 \cdot (1 - q_{\text{бл}} + 2 \cdot (1 - q_{\text{бл}}^2)) = p_{\text{бл}}^3 \cdot p'^2 + p_{\text{бл}}^2 \cdot p'^2 \cdot q_{\text{бл}} \cdot (3 - q_{\text{бл}} - q_{\text{бл}}^2 - q_{\text{бл}}^3) + p_{\text{бл}}^1 \cdot p'^2 \cdot q_{\text{бл}}^2 \cdot (3 - q_{\text{бл}} - 2 \cdot q_{\text{бл}}^2) \quad (3.13)$$

Формула точности альтернативных маршрутов движения ТС:

$$P_M = p_{\text{бл}}^4 \cdot p'^2 + p_{\text{бл}}^3 \cdot p'^2 \cdot (1 - q_{\text{бл}}^2 + 1 - q_{\text{бл}}^3 + 2) + p_{\text{бл}}^2 \cdot p'^2 \cdot (2 \cdot (1 - q_{\text{бл}}) + 3 \cdot (1 - q_{\text{бл}}^3) + 1 \cdot 1) = p_{\text{бл}}^4 \cdot p'^2 + p_{\text{бл}}^3 \cdot q_{\text{бл}} \cdot p'^2 \cdot (4 - q_{\text{бл}}^2 - q_{\text{бл}}^3) + p_{\text{бл}}^2 \cdot q_{\text{бл}}^2 \cdot p'^2 \cdot (6 - 2 \cdot q_{\text{бл}} - 3 \cdot q_{\text{бл}}^3) \quad (3.14)$$

– VIII случай расстановки ИБ. Применяется принцип расстановки №2 с применением дублирующей установки ИБ на всех участках основных и альтернативных дорог (Рисунок 3.27б).

– Формула точности основных маршрутов движения ТС:

$$P_M = P_5(5) + P_5(4) \cdot (1 - q' + 1 - q'^2 + 1 - q'^3) + P_5(3) \cdot (1 - q' + 2 \cdot (1 - q'^2)) = p'^5 + p'^4 \cdot q' \cdot (3 - q' - q'^2 - q'^3) + p'^3 \cdot q'^2 \cdot (3 - q' - 2 \cdot q'^2) \quad (3.15)$$

Формула точности альтернативных маршрутов движения ТС:

$$P_M = P_6(6) + P_6(5) \cdot (1 - q'^2 + 1 - q'^3 + 2) + P_6(4) \cdot (2 \cdot (1 - q') + 3 \cdot q'^3) + 1 \cdot 1 = p'^6 + p'^5 \cdot q' \cdot (4 - q'^2 - q'^3) + p'^4 \cdot q'^2 \cdot (6 - 2 \cdot q' - 3 \cdot q'^3) \quad (3.16)$$

Анализ и дальнейшая обработка формул проводились в главе 4 настоящей работы.

### **3.5 Проведение эксперимента, направленного на изучение возможностей современных средств графической идентификации ГРЗ**

Поскольку на сегодняшний момент доступным способом идентификации ТС является графическое распознавание ГРЗ, то было решено также провести эксперимент, направленный на изучение возможностей современных средств графической идентификации ГРЗ. Поскольку заявленные технические характеристики подобных систем в большинстве своем определялись при идеальных условиях (неподвижное, либо движущееся с незначительной скоростью ТС, абсолютно чистый ГРЗ и др.), то возникает необходимость проведения натурного эксперимента, задача которого состояла в уточнении возможностей рассматриваемых систем распознавания ГРЗ. Основная задача эксперимента заключается в определении точности распознавания ГРЗ при следующих условиях:

– прямолинейная траектория ТС (Рисунок 3.28). Во время эксперимента ТС проезжало как по центру области фокусировки, так и по её границам, имитируя обычное движение ТС по дороге.

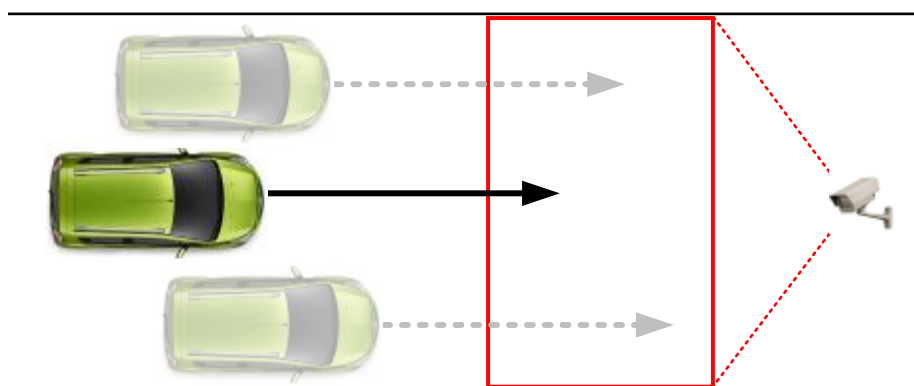


Рисунок 3.28 – одиночный проезд ТС

– перестроения ТС в области фокусировки видеокамер. При перестроении создавалось максимально возможное для ТС отклонение от прямолинейного движения. Траектория движения и область фокусировки видеокамеры были подобраны таким образом, чтобы идентификация ГРЗ проводилась только при максимальном отклонении ТС от прямолинейного движения (Рисунок 3.29).

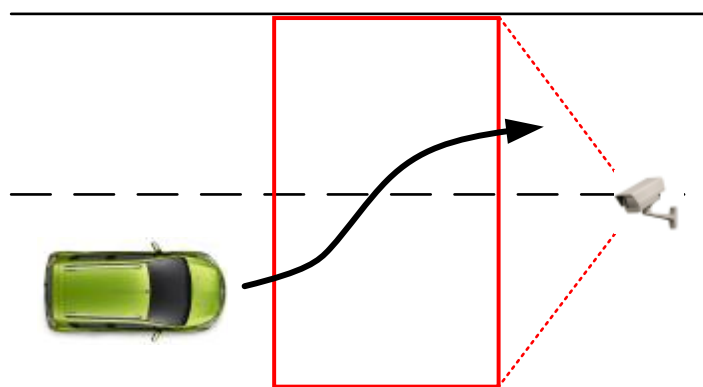


Рисунок 3.29 – пример имитации перестроения ТС

Для каждого типа эксперимента проводилось по 100 распознаваний ГРЗ при скорости ТС от 40 до 60 км/ч. На испытательном участке размещены 2 П-образные опоры, на которых установлены по 2 видеокамеры (Рисунок 3.30).

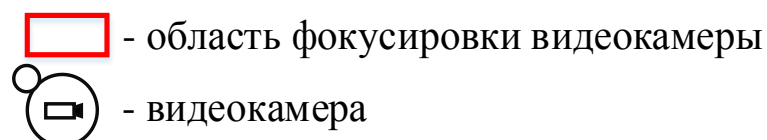
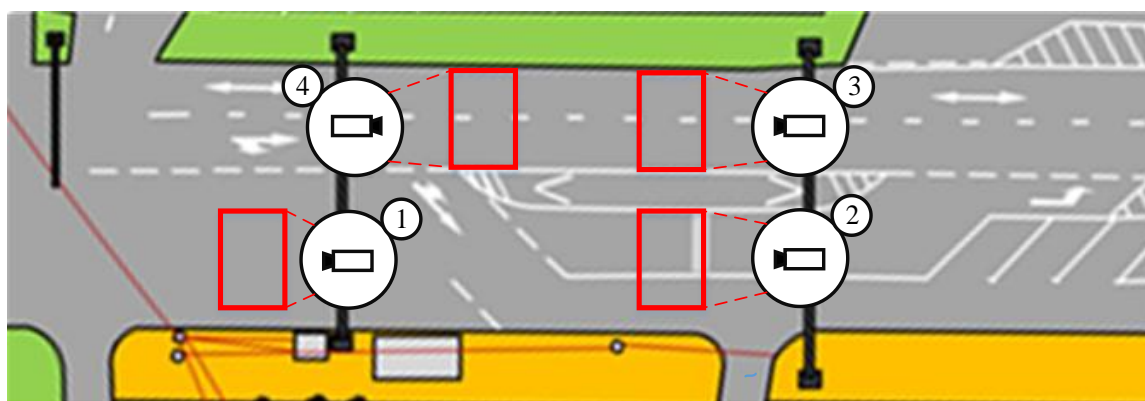


Рисунок 3.30 – расположение камер и места фокусировок видеокамер

Данное расположение камер позволило организовать движение ТС по круговой траектории таким образом, чтобы за 1 круг ТС проезжало через 4 области распознавания (Рисунок 3.31). Тем самым на каждый тип эксперимента требовалось проехать по 25 кругов.

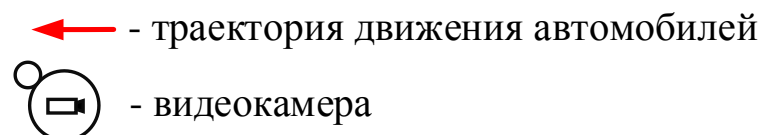
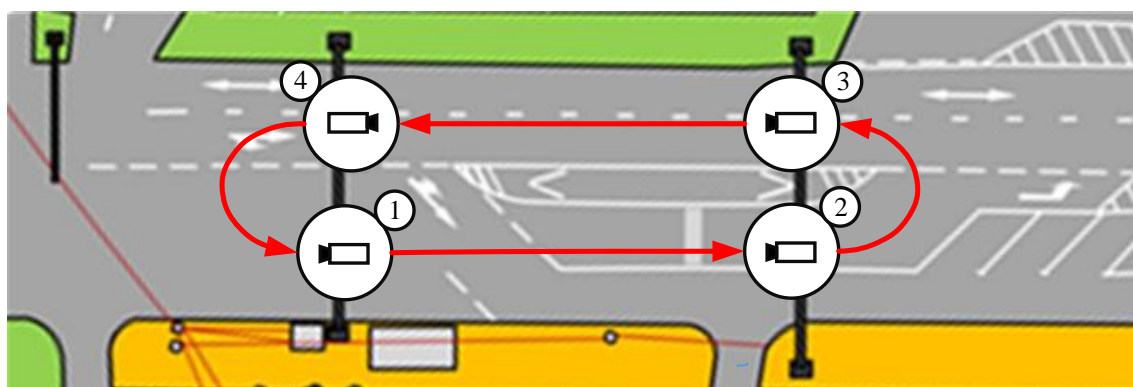


Рисунок 3.31 – Схема направления движения ТС

Для проведения эксперимента использовалась система распознавания ГРЗ «Авто-инспектор» [87], обладающая следующими техническими характеристиками:

- вероятность распознавания в дневное время составляет не менее 95 %;



- максимальная допустимая скорость движения ТС в области фокусировки видеокамеры – 180 км/ч;
- ширина области фокусировки для одной видеокамеры не более 5 метров;
- допустимый интервал движения автомобилей за легковым ТС до 1,5 метров, за грузовым ТС до 4 метров;
- максимальный вертикальный угол наклона видеокамеры к плоскости дорожного полотна – 40°;
- максимальный угол горизонтального отклонения видеокамеры от направления движения транспорта – 30°;
- максимальный угол крена номерной пластины на ТС – 15°, что позволяет проводить идентификацию ГРЗ при наклонном закреплении номерных пластин на бампере, при маневрировании автомобиля в зоне фокусировки видеокамеры, при проективных искажениях из-за установки камеры с отклонением от оси движения.
- распознавание номерных знаков Российской Федерации;
- максимальное расстояние от видеокамеры до ГРЗ – 75 метров, оптимальное – от 4-х до 12-ти метров;
- высота символа (букв, цифр) номерного знака: не менее 10 пикселей;
- толщина линии символа (букв, цифр) номерного знака: не менее 1,2 пиксела.

Рабочий экран оператора программы состоит из нескольких частей:

- окно выбора видеокамеры в котором можно задавать область распознавания ГРЗ;
- окно статистики идентификации;
- окно детальной информации (Рисунок 3.32).

Эксперименты для каждого условия проводились при различной степени загрязненности регистрационного знака:

- абсолютно чистый ГРЗ;
- максимальная допустимая загрязненность ГРЗ согласно ТР ТС 018/2011;

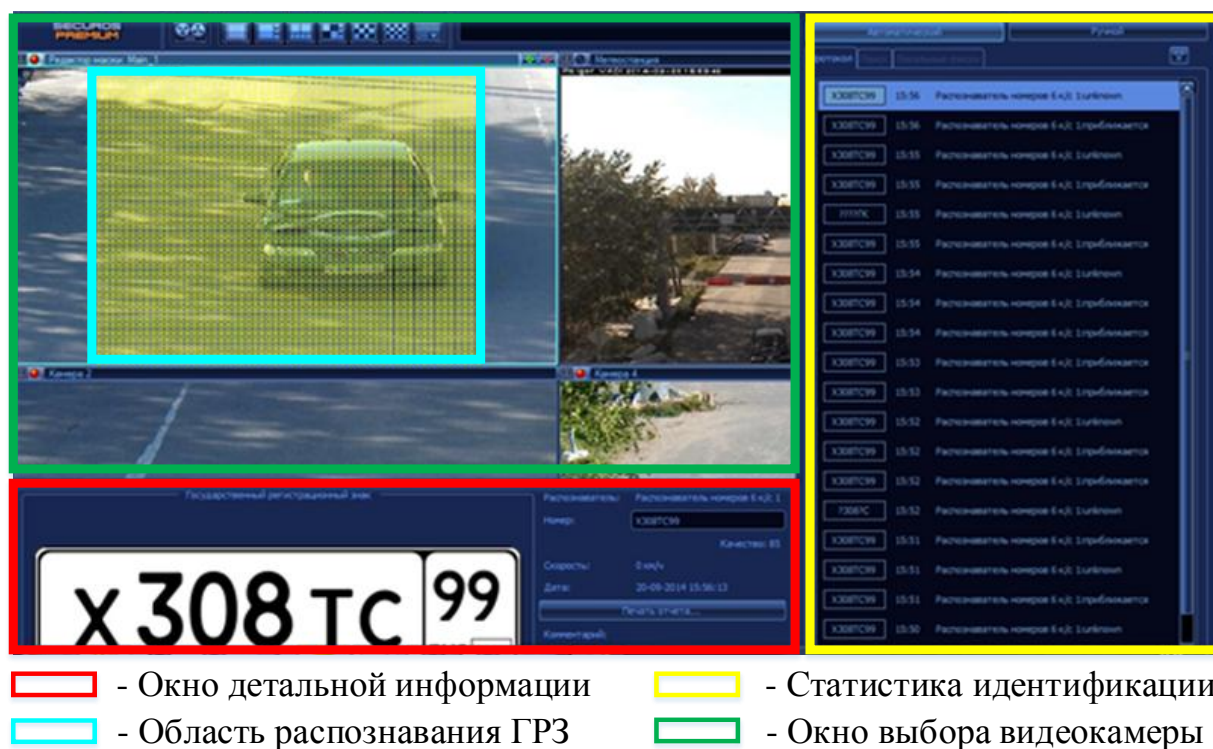


Рисунок 3.32 – Интерфейс программы распознавания ГРЗ

– загрязнение, превышающее допустимое значение.

Пример результаты экспериментов приведены таблице 3.28.

Таблица 3.28 – Пример таблицы данных эксперимента

№ проезда	№ Камеры	Распознанный ГРЗ		
		Чистый ГРЗ	Максимально допустимое загрязнение ГРЗ	Загрязнение, превышающее допустимое значение
1	1	X 308 TC 99	X 308 TC 99	- 308 -C -7
	2	X 308 TC 99	K 308 TP 19	K -96 TC 97
	3	X 308 TC 99	X 308 TC 99	X 308 TC 99
	4	X 308 TC 99	X 308 TC 99	X 608 TC 99
2	1	X 308 TC 97	X 308 TC 99	K 308 -C 19
	2	X 308 TC 99	X 308 TC 77	X 308 TC 99
	3	X 308 TC 99	X 308 TC 99	Б -09 У- 11
	4	X 308 TC 99	X 308 TC 99	X 808 T- 77
...				
25	1	X 308 TC 77	X 308 TC 99	X 308 TC 99
	2	X 308 TP 99	X 308 TC 99	X 308 TC 99
	3	X 308 TC 99	X 308 TC 11	K -06 ТБ 77
	4	X 308 TC 99	X 308 TC 99	X 308 TC 97

### 3.6 Выводы по главе 3

1. Проведены экспериментальные исследования по определению зависимости эффективности систем КУТП от точности КМК в зависимости от возможных ошибок I и II рода при различных условиях (различные модели УДС).

2. Проведена апробация разработанной математической модели расчета точности маршрутов движения на одной из моделей УДС для различных вариантов расстановки оборудования на УДС.

3. Проведено экспериментальное исследование по определению возможностей современных комплексов распознавания ГРЗ, а именно исследована зависимость точности распознавания ГРЗ в зависимости от степени загрязненности объекта идентификации, при условии максимально возможного отклонения от прямолинейного движения (имитация перестроения при условии минимального радиуса разворота ТС).

## 4 ГЛАВА. ОБРАБОТКА РЕЗУЛЬТАТОВ ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ

### 4.1 Обработка результатов экспериментов, проведенных в идеальной модели

#### 4.1.1 Обработка результатов, полученных при недооценке КМК

Индикаторы эффективности КУТП, рассчитанные на основе результатов экспериментов, проведенных при переоценке КМК представлены в таблицах 4.1 – 4.3. Расчет проводился согласно положениям, описанным в главе 2.

Таблица 4.1 – Значение основных характеристик уровня обслуживания и среднего времени движения одного ТС через УДС

$P_{\text{КМК}}, \%$	Вариант т КУТП	z			c			$\rho$			$t_{\text{авт}}, \text{МИН}$
		№ дороги			№ дороги			№ дороги			
		1	2	3	1	2	3	1	2	3	
100, 95	1	0,75	0,86	0,89	0,89	0,81	0,71	0,26	0,21	0,29	6,4
	2	0,87	0,74	0,90	0,83	0,81	0,91	0,28	0,14	0,18	6,7
	3	0,81	0,87	0,78	0,86	0,88	0,93	0,21	0,19	0,15	6,0
	4	0,86	0,82	0,76	0,86	0,88	0,91	0,28	0,17	0,14	6,3
	5	0,88	0,83	0,75	0,77	0,87	0,95	0,26	0,18	0,14	6,1
	6	0,88	0,79	0,73	0,82	0,92	0,96	0,27	0,15	0,12	6,3
90	1	0,87	0,74	0,90	0,83	0,81	0,91	0,28	0,14	0,18	6,7
	2	0,65	0,83	0,97	0,90	0,74	0,73	0,24	0,28	0,27	6,3
	3	0,81	0,87	0,78	0,86	0,88	0,93	0,21	0,19	0,15	6,0
	4	0,83	0,72	0,92	0,88	0,72	0,88	0,31	0,22	0,19	6,6
	5	0,86	0,82	0,76	0,86	0,88	0,91	0,28	0,17	0,14	6,3
	6	0,88	0,83	0,75	0,77	0,87	0,95	0,26	0,18	0,14	6,1
85	1	0,8	0,74	0,6	0,38	0,95	0,55	0,81	0,14	0,34	12,7
	2	0,94	0,49	0,81	0,54	0,97	0,59	0,67	0,09	0,36	11,4
	3	0,91	0,47	0,76	0,49	0,96	0,47	0,7	0,09	0,47	13,1
	4	0,91	0,55	0,88	0,84	0,7	0,9	0,39	0,4	0,38	11,5
	5	0,98	0,55	0,9	0,83	0,81	0,9	0,43	0,14	0,18	6,7
	6	0,66	0,82	0,97	0,9	0,72	0,73	0,26	0,37	0,27	8,9
80	1	0,8	0,74	0,6	0,38	0,95	0,55	0,81	0,14	0,34	12,7
	2	0,94	0,49	0,81	0,54	0,97	0,59	0,67	0,09	0,36	11,4
	3	0,91	0,47	0,76	0,49	0,96	0,47	0,7	0,09	0,47	13,1
	4	0,91	0,55	0,88	0,84	0,7	0,9	0,39	0,4	0,38	11,5
	5	0,66	0,82	0,97	0,9	0,72	0,73	0,26	0,37	0,27	8,9
	6	0,65	0,81	0,93	0,89	0,74	0,72	0,24	0,38	0,27	9,2
70	1	0,88	0,57	0,64	0,47	0,97	0,94	0,73	0,1	0,12	17,9
	2	0,83	0,53	0,67	0,42	0,97	0,94	0,79	0,1	0,13	15,5
	3	0,8	0,74	0,6	0,38	0,95	0,55	0,81	0,14	0,34	12,7

	4	0,87	0,39	0,7	0,46	0,87	0,18	0,74	0,07	0,84	17,6
	5	0,91	0,55	0,88	0,84	0,65	0,90	0,39	0,4	0,38	11,5
	6	0,87	0,43	0,72	0,47	0,97	0,47	0,72	0,08	0,4	15,6

Продолжение таблицы 4.1

60	1	0,88	0,57	0,64	0,47	0,97	0,94	0,73	0,1	0,12	17,9
	2	0,83	0,53	0,67	0,42	0,97	0,94	0,79	0,1	0,13	15,5
	3	0,85	0,46	0,67	0,45	0,97	0,32	0,75	0,09	0,6	12,7
	4	0,87	0,39	0,7	0,47	0,98	0,18	0,73	0,07	0,84	17,6
	5	0,91	0,33	0,72	0,49	0,98	0,18	0,7	0,06	0,83	18,0
	6	0,87	0,43	0,72	0,47	0,97	0,47	0,65	0,08	0,4	15,0
50	1	0,78	0,68	0,61	0,39	0,96	0,81	0,83	0,13	0,15	14,5
	2	0,82	0,79	0,58	0,4	0,96	0,77	0,81	0,15	0,15	15,0
	3	0,83	0,66	0,61	0,41	0,95	0,92	0,79	0,12	0,12	21,0
	4	0,88	0,57	0,64	0,47	0,97	0,94	0,73	0,1	0,12	17,9
	5	0,87	0,39	0,7	0,47	0,98	0,18	0,73	0,07	0,84	17,6
	6	0,91	0,39	0,72	0,49	0,98	0,18	0,7	0,06	0,83	18,0

Таблица 4.2 – Среднеквадратичные отклонения основных характеристик уровня обслуживания

$P_{\text{КМК}}, \%$	Параметр	Вариант КУТП						$\bar{\sigma}$
		1	2	3	4	5	6	
100, 95	$z$	0,08	0,09	0,05	0,05	0,07	0,08	0,07
	$c$	0,09	0,05	0,03	0,02	0,09	0,07	0,06
	$\rho$	0,04	0,07	0,03	0,07	0,06	0,08	0,06
90	$z$	0,09	0,16	0,05	0,1	0,05	0,07	0,08
	$c$	0,05	0,1	0,03	0,09	0,02	0,09	0,06
	$\rho$	0,07	0,02	0,03	0,06	0,07	0,06	0,05
85	$z$	0,1	0,23	0,22	0,2	0,23	0,15	0,19
	$c$	0,29	0,24	0,28	0,1	0,05	0,1	0,18
	$\rho$	0,3	0,25	0,28	0,03	0,13	0,07	0,18
80	$z$	0,1	0,23	0,22	0,2	0,15	0,14	0,18
	$c$	0,29	0,24	0,28	0,1	0,1	0,09	0,18
	$\rho$	0,3	0,25	0,28	0,03	0,07	0,07	0,17
70	$z$	0,16	0,15	0,1	0,25	0,2	0,23	0,18
	$c$	0,28	0,31	0,29	0,35	0,14	0,28	0,28
	$\rho$	0,12	0,13	0,34	0,34	0,38	0,4	0,28
60	$z$	0,16	0,15	0,2	0,24	0,3	0,23	0,21
	$c$	0,28	0,31	0,34	0,4	0,4	0,28	0,34
	$\rho$	0,32	0,35	0,32	0,4	0,4	0,28	0,34
50	$z$	0,08	0,13	0,11	0,16	0,24	0,3	0,17
	$c$	0,3	0,28	0,3	0,28	0,4	0,4	0,33
	$\rho$	0,35	0,33	0,34	0,32	0,4	0,4	0,36

Таблица 4.3 – Значения коэффициентов эффективности КУТП

Точность КМК, %	$K_2$
	Распределение

	1	2	3	4	5	6
100	0,98	0,97	1,00	0,99	1,00	0,99
95	0,98	0,97	1,00	0,99	1,00	0,99
90	0,97	0,99	1,00	0,98	0,99	1,00

Продолжение таблицы 4.3

85	0,75	0,80	0,73	0,79	0,97	0,89
80	0,75	0,80	0,73	0,79	0,89	0,88
70	0,55	0,64	0,75	0,56	0,79	0,64
60	0,55	0,64	0,75	0,56	0,55	0,66
50	0,68	0,66	0,44	0,55	0,56	0,55

Согласно полученные данным был построен график зависимости коэффициента эффективности КУТП от точности КМК (Рисунок 4.1). Полученный график можно разделить на два четко выраженных интервала:

- точность КМК не менее 90%;
- точность КМК ниже 90%.

В данном случае аппроксимация данных проводилась для каждого характерного интервала отдельно. Для значений точности КМК, находящихся в интервале от 100 до 90 процентов, была применена линейная аппроксимация, по отношению к оставшемуся значениям точности КМК – полиномиальная аппроксимация второй степени. Основное отличие обозначенных интервалов заключается в том, что если для КМК характерна точность, превышающая 90%, то эффективность КУТП не только обладает четко выраженной стабильностью, но и соответствует максимальной эффективности КУТП, а при снижении точности КМК ниже 90% происходит осязаемое снижение эффективности КУТП. Также стоит отметить, что для интервала, соответствующего точности КМК ниже 90%, характерен непрогнозируемый уровень эффективности КУТП.

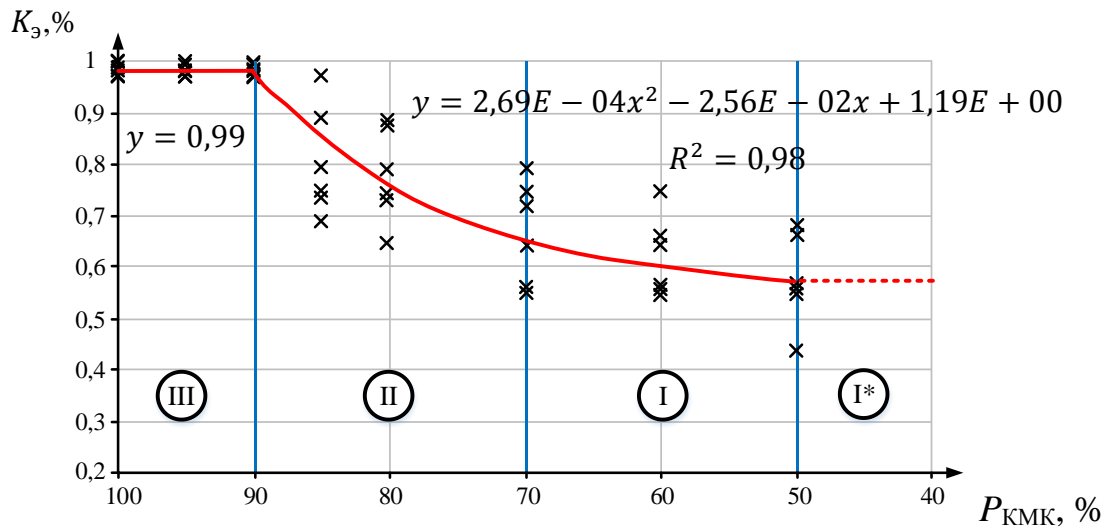


Рисунок 4.1 – График зависимости эффективности КУТП от точности КМК при её недооценке

Анализ значений среднеквадратичных отклонений, приведенный в таблице 4.2, позволяет выделить в графике зависимости эффективности КУТП от точности КМК несколько характерных интервалов:

– Интервал I\* (точность КМК менее 50%). Данному интервалу точностей КМК соответствует единственный возможный вариант перераспределения ТП, равный максимально возможному по условиям проведения исследования, поэтому его подробный анализ не несет в себе какой-либо ценности для диссертационного исследования;

– Интервал I (точность КМК принимает значения от 50% до 70%) – область малоэффективного КУТП. Отличается как самыми низкими показателя эффективности КУТП, так и значительной неравномерной загрузкой основных дорог. Среднеквадратичные отклонения основных характеристик уровня обслуживания движения принимают значения от 0,2 до 0,4 [104];

– Интервал II (точность КМК принимает значения от 70% до 90%) – область рискованного КУТП. Отличается непрогнозируемой эффективностью КУТП. При равнозначно благоприятных результатах имитационного моделирования полученные возможные варианты перераспределения ТП в базовой модели УДС показывают совершенно различные результаты относительно показателя эффективности КУТП, и по равномерности загрузки основных дорог.

Среднеквадратичные отклонения основных характеристик уровня обслуживания движения принимают значения от 0,1 до 0,2 [104];

– Интервал III (точность КМК более 90%) – область эффективного КУТП. Отличается не только наиболее эффективным КУТП, но и равномерной (сбалансированной) загрузкой УДС. Среднеквадратичные отклонения основных характеристик уровня обслуживания движения принимают значения менее 0,1 [104].

Анализ полученных значений индикаторов эффективности позволил сделать вывод, что значение минимальной допустимой точности КМК при её недооценке равно 90%. Для КМК с более низкой точностью характерна неравномерная загрузка УДС в целом (возникновение транспортных заторов на альтернативных маршрутах и их минимизация на основных маршрутах движения). Иными словами, варианты перераспределения ТП направляют ТС с разгруженных дорог в транспортные заторы, что в реальных условиях спровоцирует значительное падение уровня доверия УДД к системам КУТП [104].

#### 4.1.2 *Обработка результатов экспериментов с перераспределением при переоценке КМК*

Индикаторы эффективности КУТП, рассчитанные на основе результатов экспериментов, проведенных при переоценке КМК, представлены в таблицах 4.4 – 4.6. Расчет проводился согласно положениям, описанным в главе 2.

Таблица 4.4 – Значение основных характеристик уровня обслуживания и среднего времени движения одного ТС через УДС

$P_{\text{КМК}}, \%$	Вариант КУТП	$z$			$c$			$\rho$			$t_{\text{авт}}, \text{МИН}$
		№ дороги			№ дороги			№ дороги			
		1	2	3	1	2	3	1	2	3	
85	1	0,70	0,92	0,89	0,89	0,81	0,71	0,26	0,21	0,29	6,4
	2	0,81	0,87	0,78	0,86	0,88	0,93	0,21	0,19	0,15	6,0
	3	0,90	0,79	0,84	0,82	0,71	0,94	0,27	0,22	0,16	6,3
	4	0,95	0,75	0,71	0,71	0,90	0,95	0,36	0,15	0,13	6,6
	5	0,88	0,91	0,69	0,63	0,89	0,93	0,42	0,19	0,13	6,4
	6	0,93	0,83	0,69	0,77	0,87	0,95	0,31	0,18	0,13	6,1
80	1	0,70	0,92	0,89	0,89	0,81	0,71	0,26	0,21	0,29	6,4
	2	0,81	0,87	0,78	0,86	0,88	0,93	0,21	0,19	0,15	6,0
	3	0,98	0,61	0,90	0,83	0,81	0,91	0,27	0,14	0,18	6,7



	4	0,90	0,79	0,84	0,82	0,71	0,94	0,36	0,22	0,16	6,3
	5	0,88	0,91	0,69	0,63	0,89	0,93	0,42	0,19	0,13	6,4
	6	0,93	0,83	0,69	0,77	0,87	0,95	0,31	0,18	0,13	6,1
70	1	0,81	0,87	0,78	0,86	0,88	0,93	0,31	0,19	0,15	6,0
	2	0,88	0,87	0,76	0,80	0,87	0,94	0,37	0,19	0,14	6,4
	3	0,93	0,83	0,69	0,77	0,87	0,95	0,41	0,18	0,13	6,1
	4	0,96	0,82	0,70	0,69	0,89	0,91	0,46	0,17	0,14	7,8
	5	0,90	0,79	0,84	0,82	0,71	0,94	0,37	0,22	0,16	6,3
	6	0,95	0,75	0,71	0,72	0,90	0,95	0,45	0,15	0,13	6,6
60	1	0,88	0,87	0,76	0,80	0,87	0,94	0,37	0,19	0,14	6,4
	2	0,92	0,77	0,73	0,77	0,88	0,39	0,40	0,40	0,14	8,2
	3	0,93	0,83	0,69	0,77	0,87	0,95	0,41	0,18	0,13	6,1
	4	0,94	0,79	0,68	0,82	0,92	0,96	0,37	0,15	0,12	6,3
	5	0,92	0,82	0,63	0,51	0,92	0,96	0,62	0,16	0,12	7,8
	6	0,96	0,82	0,70	0,69	0,89	0,91	0,46	0,17	0,14	6,6
50	1	0,86	0,64	0,92	0,84	0,33	0,5	0,34	0,83	0,68	8,5
	2	0,86	0,59	0,91	0,83	0,31	0,58	0,34	0,93	0,38	8,8
	3	0,82	0,67	0,87	0,85	0,33	0,42	0,32	0,89	0,76	8,9

Таблица 4.5 – Среднеквадратичные отклонения основных характеристик уровня обслуживания

$P_{\text{КМК}}, \%$	Параметр	Вариант КУТП						$\bar{\sigma}$
		1	2	3	4	5	6	
85	$z$	0,12	0,05	0,05	0,13	0,12	0,12	0,1
	$c$	0,09	0,03	0,11	0,13	0,12	0,12	0,1
	$\rho$	0,04	0,03	0,06	0,12	0,15	0,09	0,08
80	$z$	0,12	0,05	0,19	0,5	0,12	0,12	0,11
	$c$	0,09	0,03	0,05	0,11	0,16	0,09	0,09
	$\rho$	0,04	0,03	0,06	0,1	0,15	0,09	0,08
70	$z$	0,05	0,7	0,12	0,13	0,05	0,13	0,09
	$c$	0,03	0,07	0,09	0,12	0,11	0,12	0,09
	$\rho$	0,08	0,12	0,15	0,18	0,11	0,18	0,14
60	$z$	0,07	0,1	0,12	0,13	0,15	0,13	0,12
	$c$	0,07	0,26	0,09	0,07	0,25	0,12	0,14
	$\rho$	0,12	0,15	0,15	0,13	0,28	0,18	0,17
50	$z$	0,15	0,17	0,11	–	–	–	0,14
	$c$	0,26	0,26	0,28	–	–	–	0,27
	$\rho$	0,25	0,33	0,3	–	–	–	0,3

Таблица 4.6 – Значения коэффициентов эффективности КУТП

Точность КМК, %	$K_3$					
	Распределение					
	1	2	3	4	5	6
100	0,98	0,97	1,00	0,99	1,00	0,99
95	0,98	0,97	1,00	0,99	1,00	0,99
90	0,97	0,99	1,00	0,98	0,99	1,00
85	0,93	1,00	0,92	0,91	0,92	0,98

80	0,93	1,00	0,88	0,92	0,92	0,98
70	1,00	0,92	0,98	0,79	0,92	0,91
60	0,92	0,74	0,98	0,97	0,79	0,90
50	0,71	0,71	0,70	–	–	–

Согласно полученным данным был построен график зависимости коэффициента эффективности КУТП от точности КМК (Рисунок 4.2). В данном случае была применена полиномиальная аппроксимация второй степени по отношению во всем значениям точности КМК.

Анализ среднеквадратичных отклонений (Таблица 4.5) позволил сделать вывод, что график зависимости эффективности КУТП от точности КМК, как и при исследовании недооценки КМК, можно разделить на несколько характерных интервалов:

– Интервал I\* (точность КМК менее 50%). В данной области графика количественные характеристики ТП, получаемых с помощью перерасчета (перерасчётные МК), в значительной степени превышает количественные характеристики ТП базовых МК. При этом, дорожная ситуация в имитационной модели настолько отличается от изначально базовой, что транспортные заторы формируются на всей УДС (на основных и альтернативных дорогах) и какие-либо варианты перераспределение ТП попросту невозможно определить. Таким образом, подробный анализ данного интервала не несет в себе какой-либо ценности для диссертационного исследования [104];

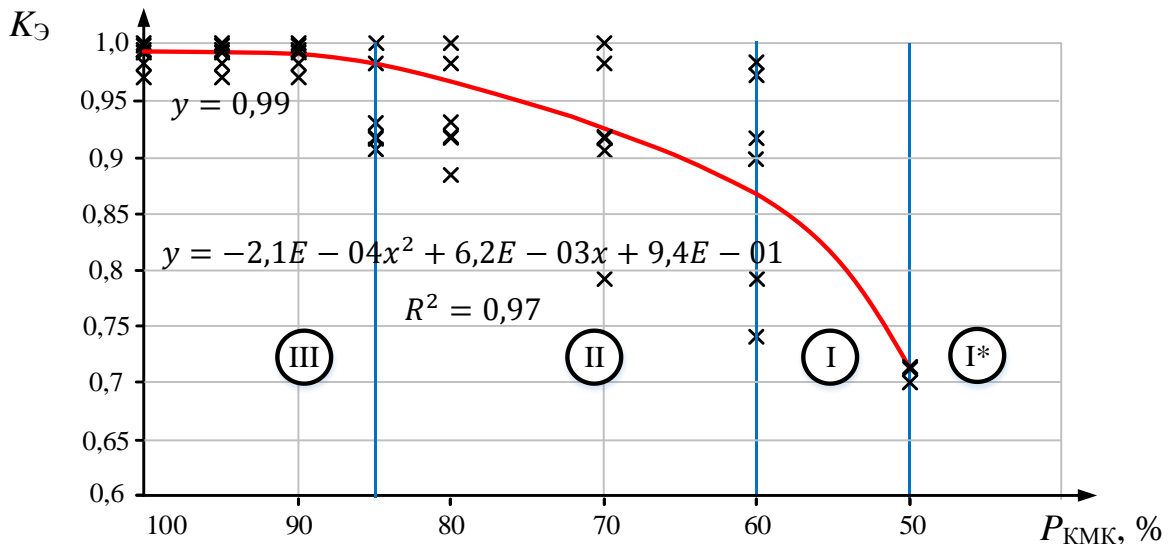


Рисунок 4.2 – График зависимости эффективности КУТП от точности КМК при её переоценке

– Интервал I (точность КМК принимает значения от 50% до 60%). Данной области соответствует значительное несоответствие количественных характеристик ТП перерасчетных МК и базовой КМК. Как следствие, занижается показатель эффективность КУТП. Среднеквадратичные отклонения основных характеристик уровня обслуживания движения принимают значения от 0,15 до 0,3 [104];

– Интервал II (точность КМК принимает значения от 60% до 80%). Для данной области характерно небольшое и среднее превышение количественных характеристик ТП перерасчетных МК относительно базовой КМК. Данное обстоятельство занижает показатель эффективности КУТП. Среднеквадратичные отклонения основных характеристик уровня обслуживания движения принимают значения от 0,1 до 0,17 [104];

– Интервал III (точность КМК более 80%) – область эффективного КУТП. Данная область характеризуется наиболее эффективным перераспределением ТП, равномерной (сбалансированной) загрузкой УДС и достаточно небольшими отклонениями количественных характеристик ТП перерасчетных МК относительно базовой КМК. Среднеквадратичные отклонения основных характеристик уровня обслуживания движения принимают значения менее 0,1 [104].

Анализ полученных значений показателя эффективности КУТП, позволил сделать вывод, что значение минимальной допустимой точности КМК при условии её переоценки составляет 60%. Применение КМК с точностью менее 60% приводит к невозможности проектирования КУТП вследствие значительного несоответствия имитационной модели реальным условиям движения. Стоит отметить одну важную особенность: применение переоцененных МК не оказывает негативного эффекта на уровень доверия УДД к системам КУТП поскольку ТП всегда будут перенаправляться на более свободные альтернативные дороги. Кроме того, после

проведения оценки текущей эффективности систем КУТП возможно осуществление корректировки сценариев УТП для повышения эффективности КУТП вплоть до ее максимально возможного уровня [104].

## 4.2 Результаты модели, приближенной к реальности I

### 4.2.1 Недооценка КМК

Индикаторы эффективности КУТП, рассчитанные на основе результатов экспериментов, проведенных при переоценке КМК, представлены в таблицах 4.7 и 4.8.

Таблица 4.7 – Значения основных характеристик уровня обслуживания и среднего времени движения одного ТС через УДС

Точность КМК, %	Вариант КУТП	z			c			ρ			t <sub>авт</sub> , мин
		№ дороги			№ дороги			№ дороги			
		1	2	3	1	2	3	1	2	3	
100, 95	1	0,78	0,67	0,83	0,89	0,98	0,95	0,20	0,19	0,22	5,1
	2	0,78	0,66	0,81	0,88	0,97	0,95	0,20	0,18	0,22	5,1
	3	0,77	0,62	0,81	0,88	0,98	0,96	0,19	0,18	0,22	4,9
90	1	0,75	0,63	0,78	0,89	0,98	0,96	0,28	0,21	0,22	5,4
	2	0,77	0,64	0,81	0,91	0,96	0,86	0,19	0,21	0,22	4,9
	3	0,78	0,62	0,83	0,89	0,98	0,95	0,20	0,19	0,22	5,1
85	1	0,80	0,56	0,75	0,70	0,98	0,96	0,43	0,10	0,13	6,1
	2	0,84	0,64	0,66	0,84	0,89	0,96	0,35	0,13	0,12	7,3
	3	0,82	0,56	0,74	0,70	0,98	0,96	0,43	0,10	0,13	7,1
80	1	0,83	0,61	0,67	0,52	0,97	0,96	0,54	0,11	0,12	8,2
	2	0,82	0,53	0,72	0,51	0,98	0,96	0,55	0,10	0,13	7,6
	3	0,82	0,56	0,74	0,70	0,98	0,96	0,54	0,10	0,13	7,4
70	1	0,82	0,54	0,62	0,33	0,98	0,97	0,89	0,10	0,11	10,2
	2	0,84	0,56	0,62	0,34	0,98	0,97	0,86	0,10	0,11	9,7
	3	0,85	0,56	0,60	0,36	0,97	0,96	0,86	0,10	0,11	10,3
60	1	0,85	0,56	0,60	0,36	0,97	0,96	0,86	0,10	0,11	10,3
	2	0,84	0,55	0,63	0,34	0,98	0,97	0,87	0,10	0,11	10,2
	3	0,83	0,50	0,63	0,34	0,98	0,96	0,87	0,09	0,11	10,7
50	1	0,88	0,37	0,63	0,38	0,99	0,96	0,83	0,07	0,11	11,4

Таблица 4.8 – Значения коэффициентов эффективности КУТП и среднеквадратичных отклонений основных характеристик уровня обслуживания

Точность КМК, %	K <sub>э</sub>			σ		
	Распределение			σ <sub>z</sub>	σ <sub>c</sub>	σ <sub>ρ</sub>
	1	2	3			

100	0,99	0,99	1,0	0,09	0,05	0,02
95	0,99	0,99	1,0	0,09	0,05	0,02
90	0,97	1,0	0,99	0,09	0,05	0,03
85	0,94	0,83	0,9	0,12	0,12	0,17
80	0,77	0,81	0,84	0,13	0,23	0,25
70	0,63	0,68	0,62	0,15	0,36	0,44
60	0,6	0,63	0,57	0,16	0,36	0,44
50	0,55	–	–	0,25	0,35	0,43

Согласно полученным данным был построен график зависимости коэффициента эффективности КУТП от точности КМК (Рисунок 4.3). Полученный график так же, как и в случае с идеальной моделью, можно разделить на два четко выраженных интервала:

- точность КМК не менее 90%;
- точность КМК ниже 90%.

В данном случае также целесообразно провести аппроксимацию данных для каждого интервала отдельно: к первому интервалу была применена линейная аппроксимация, ко второму – полиномиальная второй степени.

Наблюдается картина, идентичная результатам, проведенным в идеальной модели. Несмотря на то, что значения среднеквадратичных отклонений основных характеристик уровня обслуживания несколько отличаются, график зависимости эффективности КУТП от точности КМК делится на зоны с абсолютно теми же границами и идентичными характеристиками.

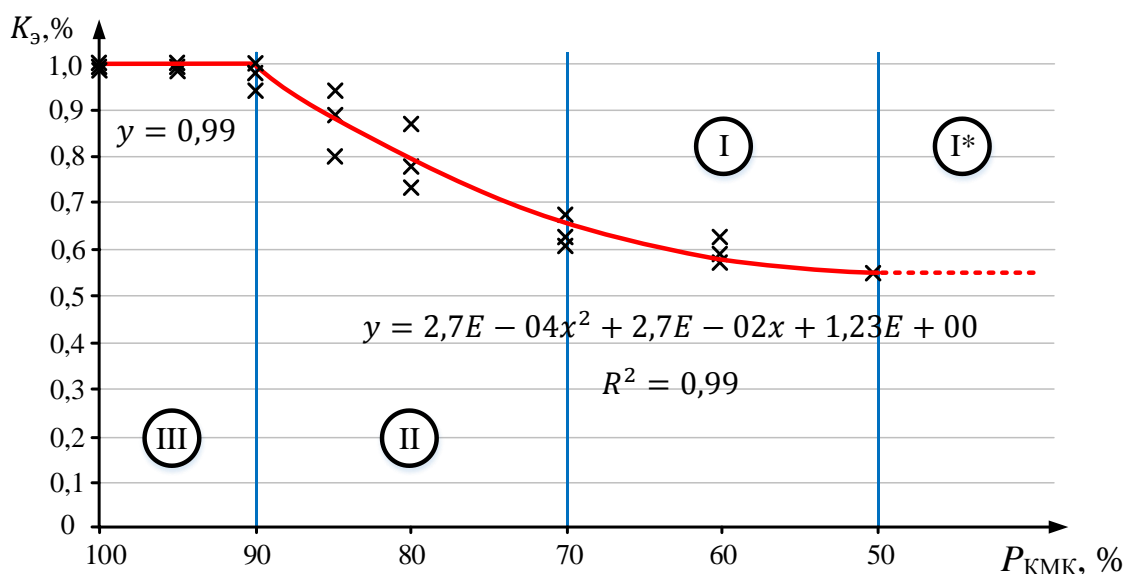


Рисунок 4.3 – График зависимости эффективности КУТП от точности КМК при её недооценке

#### 4.2.2 Переоценка КМК

Индикаторы эффективности КУТП, рассчитанные на основе результатов экспериментов, проведенных при переоценке КМК представлены в таблицах 4.9 и 4.10.

Таблица 4.9 – Значения основных характеристик уровня обслуживания и среднего времени движения одного ТС через УДС

Точность КМК, %	Вариант КУТП	z			c			ρ			t <sub>авт</sub> , мин
		№ дороги			№ дороги			№ дороги			
		1	2	3	1	2	3	1	2	3	
85	1	0,78	0,63	0,8	0,89	0,96	0,95	0,3	0,12	0,15	5,1
	2	0,79	0,68	0,86	0,81	0,94	0,81	0,29	0,18	0,4	5,4
	3	0,83	0,73	0,92	0,8	0,91	0,77	0,31	0,19	0,33	4,9
80	1	0,78	0,63	0,8	0,89	0,96	0,95	0,3	0,12	0,15	5,1
	2	0,79	0,68	0,86	0,81	0,94	0,81	0,29	0,18	0,4	5,4
	3	0,83	0,73	0,92	0,8	0,91	0,77	0,31	0,19	0,33	4,9
70	1	0,74	0,58	0,85	0,9	0,98	0,95	0,29	0,1	0,15	5,0
	2	0,74	0,62	0,81	0,91	0,97	0,95	0,28	0,11	0,15	4,9
	3	0,77	0,63	0,81	0,79	0,98	0,93	0,35	0,1	0,16	5,6
60	1	0,7	0,54	0,83	0,91	0,79	0,95	0,22	0,23	0,4	6,3
	2	0,76	0,59	0,8	0,91	0,72	0,93	0,22	0,13	0,4	5,7
50	1	0,49	0,56	0,88	0,95	0,64	0,66	0,14	0,24	0,53	7,4

Таблица 4.10 – Значения коэффициентов эффективности КУТП и среднеквадратичных отклонений основных характеристик уровня обслуживания

Точность КМК, %	K <sub>э</sub>			σ		
	Распределение			σ <sub>z</sub>	σ <sub>c</sub>	σ <sub>ρ</sub>
	1	2	3			
100	0,99	0,99	1,0	0,09	0,05	0,02
95	0,99	0,99	1,0	0,09	0,05	0,02
90	0,97	1,0	0,99	0,09	0,05	0,03
85	0,98	0,97	1,0	0,09	0,06	0,09
80	0,98	0,97	1,0	0,09	0,06	0,09
70	0,99	1,0	0,95	0,11	0,06	0,11
60	0,9	0,95	–	0,13	0,1	0,12



100, 95	1	0,9	0,82	0,93	0,83	0,92	0,89	0,31	0,28	0,22	3
	2	0,92	0,79	0,92	0,84	0,93	0,81	0,3	0,26	0,39	3
	3	0,91	0,81	0,95	0,82	0,93	0,86	0,29	0,27	0,33	2,9
90	1	0,91	0,82	0,94	0,83	0,91	0,89	0,31	0,28	0,22	2,9
	2	0,86	0,76	0,89	0,87	0,94	0,91	0,28	0,25	0,4	3,3
	3	0,9	0,93	0,78	0,88	0,59	0,88	0,26	0,62	0,24	2,9
85	1	0,82	0,90	0,88	0,87	0,91	0,92	0,28	0,52	0,37	4,1
	2	0,86	0,82	0,87	0,88	0,59	0,91	0,28	0,25	0,40	5,3
	3	0,80	0,93	0,78	0,88	0,57	0,88	0,26	0,62	0,24	3,3
80	1	0,86	0,84	0,81	0,85	0,54	0,09	0,26	0,43	0,32	5,4
	2	0,83	0,87	0,78	0,86	0,57	0,91	0,27	0,69	0,25	6,4
	3	0,80	0,90	0,75	0,89	0,56	0,86	0,24	0,60	0,26	4,1
70	1	0,79	0,91	0,74	0,85	0,43	0,97	0,24	0,65	0,22	6,5
	2	0,76	0,93	0,77	0,89	0,49	0,93	0,26	0,73	0,22	7,1
	3	0,81	0,99	0,81	0,89	0,45	0,88	0,26	0,82	0,23	5,8
60	1	0,72	0,94	0,75	0,87	0,38	0,93	0,27	0,85	0,20	6,6
	2	0,80	0,93	0,71	0,90	0,35	0,89	0,24	0,87	0,21	7,8
	3	0,77	0,97	0,69	0,93	0,34	1,00	0,24	0,79	0,22	7,6
50	1	0,69	0,97	0,67	0,92	0,33	0,95	0,24	0,99	0,20	8,3
	2	0,66	0,99	0,64	0,93	0,31	0,97	0,24	0,99	0,19	8,5

Таблица 4.12 – Значения коэффициентов эффективности КУТП и среднеквадратичных отклонений основных характеристик уровня обслуживания

Точность КМК, %	$K_3$			$\bar{\sigma}$		
	Распределение			$\bar{\sigma}_z$	$\bar{\sigma}_c$	$\bar{\sigma}_p$
	1	2	3			
100	0,99	0,99	1,0	0,07	0,05	0,05
95	0,99	0,99	1,0	0,07	0,05	0,05
90	1,0	0,94	1,0	0,07	0,04	0,05
85	0,82	0,64	0,94	0,05	0,13	0,14
80	0,63	0,48	0,82	0,05	0,25	0,18
70	0,46	0,37	0,57	0,1	0,26	0,29
60	0,45	0,27	0,3	0,13	0,32	0,35
50	0,19	0,16	–	0,18	0,36	0,45

Согласно полученным данным был построен график зависимости коэффициента эффективности КУТП от точности КМК (Рисунок 4.5). В данном случае также целесообразно провести аппроксимацию данных для каждого интервала отдельно, к первому интервалу была применена линейная аппроксимация, ко второму – полиномиальная второй степени.



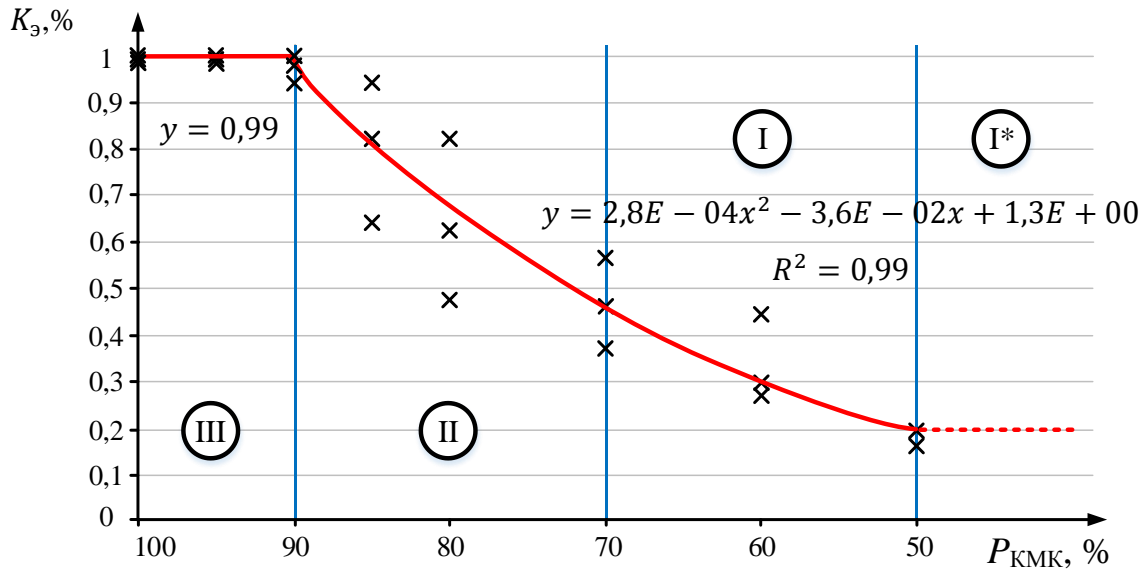


Рисунок 4.5 – График зависимости эффективности КУТП от точности КМК при её недооценке

Наблюдается ситуация, идентичная результатам, проведенным в идеальной модели. Несмотря на то, что значения среднеквадратичных отклонений основных характеристик уровня обслуживания несколько отличаются, график зависимости эффективности КУТП от точности КМК делится на зоны с абсолютно теми же границами.

#### 4.3.2 Переоценка КМК

Индикаторы эффективности КУТП, рассчитанные на основе результатов экспериментов, проведенных при переоценке КМК, представлены в таблицах 4.13 и 4.14.

Таблица 4.13 – Значения основных характеристик уровня обслуживания и среднего времени движения одного ТС через УДС

Точность КМК, %	Вариант КУТП	z			c			ρ			t <sub>авт</sub> , мин
		№ дороги			№ дороги			№ дороги			
		1	2	3	1	2	3	1	2	3	
85	1	0,88	0,76	0,89	0,78	0,91	0,83	0,32	0,26	0,45	3,0
	2	0,84	0,73	0,87	0,81	0,94	0,85	0,31	0,25	0,40	3,0
	3	0,87	0,76	0,88	0,85	0,91	0,81	0,30	0,26	0,40	3,3
80	1	0,88	0,76	0,89	0,78	0,91	0,83	0,32	0,26	0,45	3,0
	2	0,84	0,73	0,87	0,81	0,94	0,85	0,31	0,25	0,40	3,0
	3	0,87	0,76	0,88	0,85	0,91	0,81	0,30	0,26	0,40	3,3

70	1	0,88	0,66	0,95	0,74	0,93	0,78	0,32	0,25	0,47	3,0
	2	0,84	0,64	0,89	0,77	0,95	0,76	0,31	0,24	0,45	3,4
	3	0,87	0,70	0,94	0,80	0,94	0,72	0,30	0,25	0,44	3,9
60	1	0,84	0,58	0,89	0,74	0,97	0,67	0,33	0,18	0,48	4,1
	2	0,87	0,60	0,94	0,67	0,95	0,64	0,38	0,20	0,48	4,3
	3	0,86	0,64	0,9	0,69	0,94	0,68	0,35	0,21	0,47	4,2
50	1	0,9	0,59	0,91	0,67	0,93	0,62	0,37	0,21	0,49	4,8
	2	0,88	0,57	0,95	0,72	0,95	0,6	0,33	0,2	0,48	4,9

Таблица 4.14 – Значения коэффициентов эффективности КУТП и среднеквадратичных отклонений основных характеристик уровня обслуживания

Точность КМК, %	$K_{\Sigma}$			$\sigma$		
	Распределение			$\bar{\sigma}_z$	$\bar{\sigma}_c$	$\bar{\sigma}_p$
	1	2	3			
100	0,99	0,99	1,0	0,07	0,05	0,05
95	0,99	0,99	1,0	0,07	0,05	0,05
90	1,0	0,94	1,0	0,07	0,04	0,05
85	0,99	0,99	0,94	0,07	0,06	0,06
80	0,99	0,99	0,94	0,07	0,06	0,08
70	0,99	0,93	0,86	0,12	0,11	0,11
60	0,82	0,88	0,84	0,14	0,12	0,13
50	0,72	0,7	–	0,19	0,17	0,14

В данном случае наблюдается ситуация, идентичная результатам обработки данных для предыдущей модели. Несмотря на то, что значения среднеквадратичных отклонений основных характеристик уровня обслуживания несколько отличаются, график зависимости эффективности КУТП от точности КМК делится на зоны с абсолютно теми же границами и идентичными характеристиками.

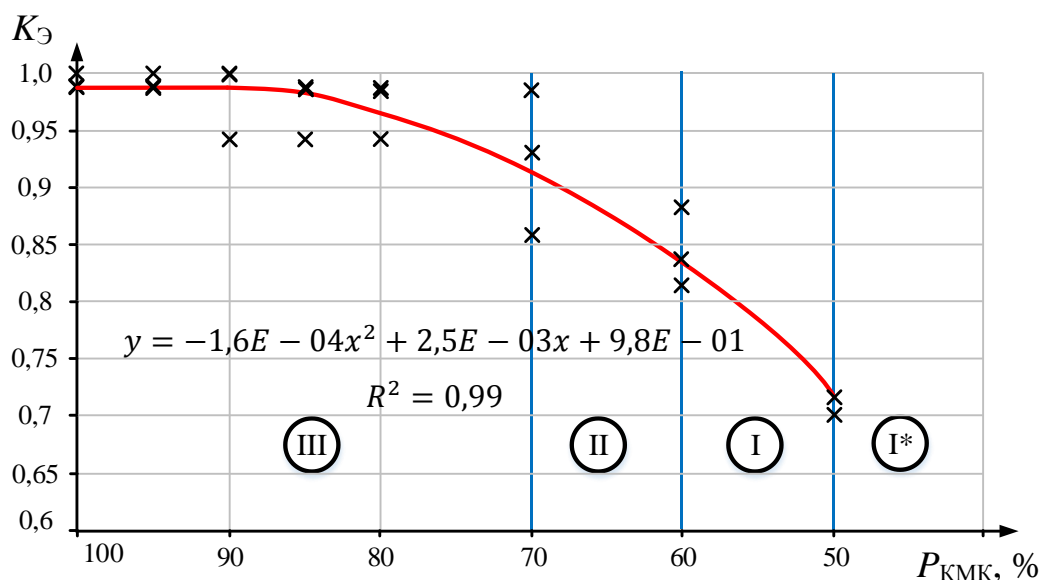


Рисунок 4.6 – График зависимости эффективности КУТП от точности КМК при её переоценке

#### 4.4 Сравнение результатов экспериментов различных имитационных моделей

Для большей наглядности для комплексной оценки и сравнения результатов экспериментов, проведенных в различных моделях УДС, были построены общие сводные графики зависимости коэффициента эффективности КУТП от точности КМК при условиях недооценки и переоценки КМК (Рисунок 4.7 и 4.8), анализ которых позволил выделить определенные сходства результатов экспериментов.

Отдельно следует отметить идентичность результатов экспериментов с применением КМК, точность которых превышала 90% (максимальная эффективность КУТП).

Сводный график зависимости эффективности КУТП от точности КМК при условии её недооценки также показывает схожее характерное падение эффективности КУТП при снижении точности КМК ниже 90%. Эксперименты, проведенные в различных имитационных моделях показывали общую тенденцию, при которой доля перераспределяемого ТП оказывалась в той или иной степени выше чем пропускная способность альтернативной дороги. И чем ниже была точность применяемых КМК, тем большим было данное превышение.

Поскольку одним из условий проведения экспериментов являлся постоянный уровень доверия УДД к системам КУТП, то в имитационных моделях ТП беспрекословно следовали заданному плану перераспределения, даже несмотря на то, что проезд по альтернативным дорогам был затруднен по причине образования на них транспортных заторов [104].

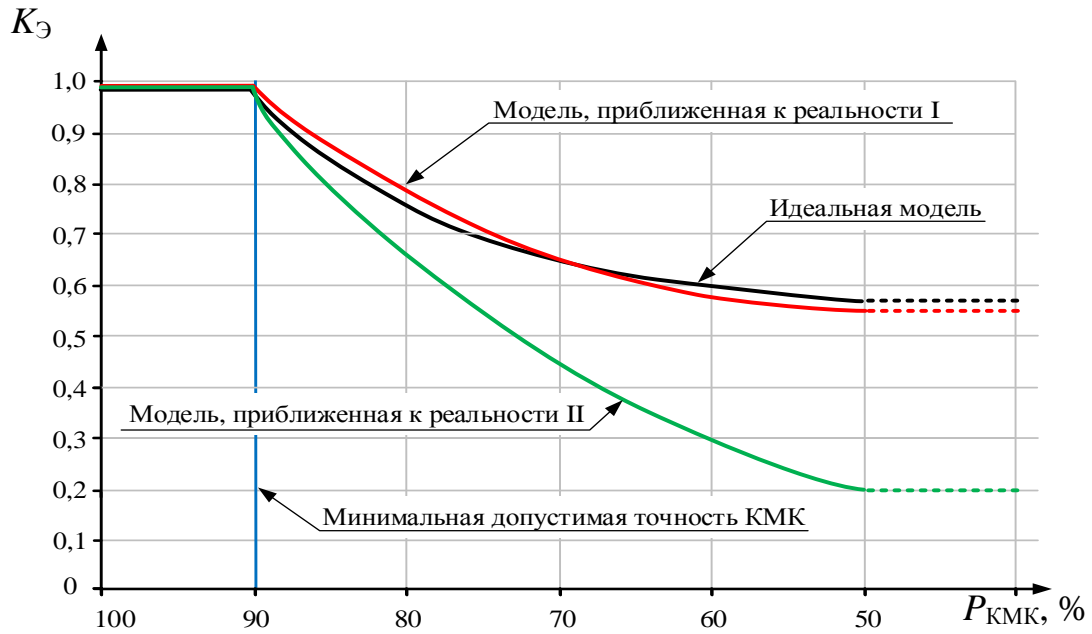


Рисунок 4.7 – Сравнение графиков зависимости эффективности КУТП от точности КМК при её недооценке

В реальных условиях такие сценарии перераспределения ТП вызвали бы колоссальное падение уровня доверия УДД к системам КУТП, что, в свою очередь, привело бы к еще большему падению эффективности КУТП. Стоит отметить, что на основе текущего уровня доверия к системе проводится формирование БСС, и разработка сценариев УТП. Следовательно, применение сценариев, которые смогли спровоцировать падение уровня доверия попросту неприемлемо.

Вследствие того, что результат исследования зависимости эффективности КУТП от точности КМК при условии её недооценки показал, что для эффективного функционирования систем КУТП вполне достаточно точности КМК не ниже 90%, то соответствующие данной точности значения коэффициента эффективности систем КУТП были взяты из предыдущего исследования [104].

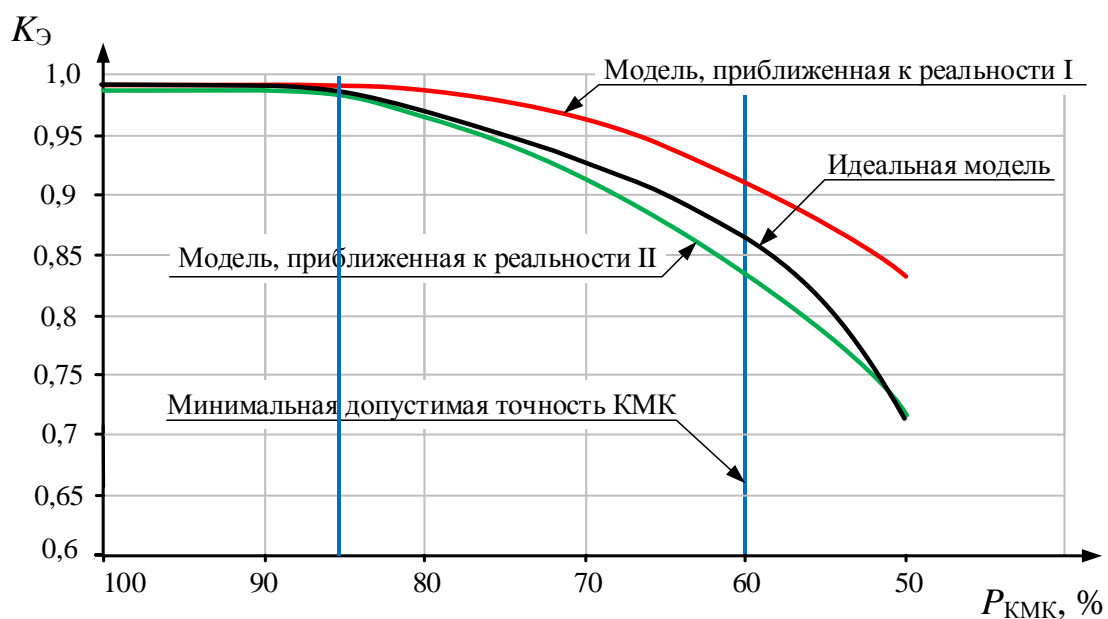


Рисунок 4.8 – Сравнение графиков зависимости эффективности КУТП от точности КМК при её переоценке

Стоит отметить, что с учетом перерасчета КМК наибольшая эффективность систем КУТП достигается при точности КМК не ниже 85% (точность КМК указана до проведения перерасчета). После отметки в 85% для всех имитационных моделей наблюдается снижение коэффициента эффективности КУТП, которое связано с растущей погрешностью (переоценкой) КМК. Это связано с неполной реализацией возможностей альтернативных маршрутов движения, т.е. пропускная способность альтернативных маршрутов превышает спрос на пропускную способность, который формируется за счет перераспределения ТП. Такая ситуация не оказывает негативного влияния на уровень доверия УДД к системам КУТП, поэтому дальнейшее снижение эффективности систем КУТП не предвидится (в отличие от ситуации с недооценкой КМК), наоборот, после реализации КУТП создается возможность принятия мер, направленных на повышение эффективности КУТП (например, корректировка контента БСС и/или сценариев КУТП). Несмотря на то, что на сводном графике однозначно нельзя определить значение минимальной допустимой точности КМК, сравнение характеристик уровня обслуживания позволяет сделать вывод о том, что рассматриваемая величина равна 60% [104].

Таким образом, применение предлагаемого ранее принципа перерасчета КМК позволяет снизить требования к минимальной необходимой точности КМК до 60%. Поскольку исследование проводилось относительно такого параметра как точность КМК, то целесообразно провести оценку величины погрешности перерасчетных КМК, что позволит определить величину допустимой погрешности при переоценке КМК.

Для определения величины максимальной возможной погрешности при переоценке КМК необходимо провести расчёт средней погрешности КМК и погрешности маршрутов, обладающих максимальной точностью, в результате перерасчета по следующим формулам соответственно:

$$\bar{Q}_{\text{КМК}} = \frac{\bar{P}_{\text{факт}}}{P_{\text{КМК}}^{\text{min}}} \cdot 90 - 100 \quad (4.1)$$

где  $\bar{P}_{\text{факт}}$  – средняя фактическая (текущая) точность КМК;

$P_{\text{КМК}}^{\text{min}}$  – минимальная гарантированная точность КМК.

$$Q_{\text{маршр}}^{\text{max}} = \frac{P_{\text{факт}}}{P_{\text{КМК}}^{\text{min}}} \cdot 90 - 100 \quad (4.2)$$

где  $P_{\text{факт}}$  – средняя фактическая (текущая) точность КМК [104].

Погрешности перерасчетных КМК, примененных в модельном эксперименте, представлены в таблице 4.15. Поскольку средняя точность КМК была одинаковой для всех имитационных моделей моделей, то и величина средней погрешности так же будет для них одинакова. Поскольку модельный эксперимент показал, что минимальная допустимая точность КМК, с учетом переоценки, для осуществления КУТП равна 60%, то целесообразно рассчитать указанные выше погрешности именно для этой минимальной точности КМК [104].

Таблица 4.15 – Максимальная погрешность перерасчетных маршрутов движения ТС, примененных в экспериментах

Параметр	$P_{\text{КМК}}^{\text{min}}$	$\bar{P}_{\text{факт}}$	$P_{\text{маршр}}^{\text{max}}$	$Q_{\text{маршр}}^{\text{max}}$
Значение	60	73,5	86,6	30,05

Согласно расчетам, даже при сравнительно небольшой средней погрешности КМК максимальная погрешность для отдельных маршрутов составила 30%. Таким образом, для осуществления эффективного КУТП переоценка маршрутов движения ТП не должна превышать 30%. Для того, чтобы определить величину минимально допустимой расчетной точности полной КМК необходимо определить диапазон допустимых значений фактической точности КМК, при которых погрешность маршрутов перерасчетной КМК не превысит 30%. Кроме того, следует учесть и то, что фактическая точность КМК ( $P_{\text{факт}}$ ) не может быть больше абсолютной точности (100%), также не может быть отрицательным числом и должна быть больше, чем расчетная минимальная гарантированная точность КМК ( $P_{\text{КМК}}^{\text{min}}$ ) [104]. Иными словами, область допустимых значений фактической точности КМК должна удовлетворять следующим условиям:

$$\left\{ \begin{array}{l} \frac{P_{\text{факт}}}{P_{\text{КМК}}^{\text{min}}} \cdot 90\% - 100\% \leq 30\%; \\ 0 \leq P_{\text{факт}} \leq 100\%; \\ P_{\text{факт}} \geq P_{\text{КМК}}^{\text{min}}. \end{array} \right. \quad (4.3)$$

Кроме того, необходимо рассмотреть и множество точек, для которых выполняется следующее условие:  $90\% \leq P_{\text{факт}} \leq 100\%$ , т.к. согласно проведённым экспериментам допускается недооценка маршрутов, не превышающая 10%. Решение приведенной выше системы уравнений с дополнительным условием представлено на рисунке 4.9. Область допустимых значений фактической точности маршрутов движения ТС, занимает всю окрашенную часть графика.

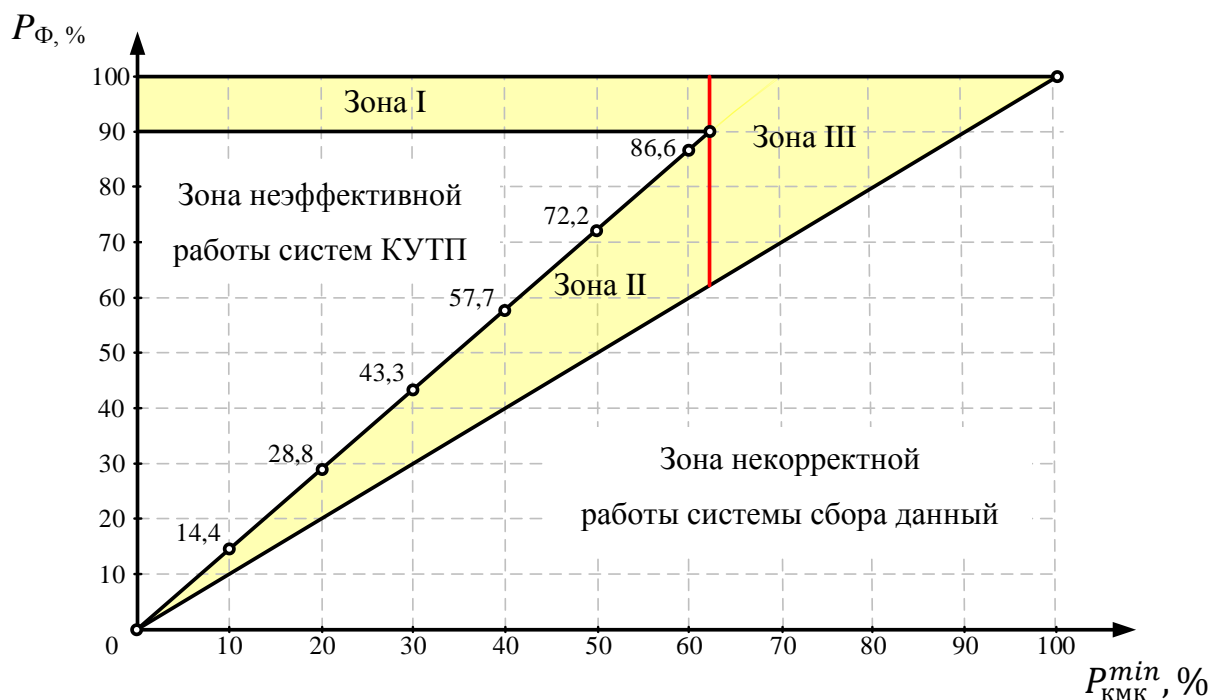


Рисунок 4.9 – Область допустимых значений фактической точности маршрутов движения ТС

Исходя из результатов проведенных исследований область множества допустимых значений точности маршрутов движения ТС можно разделить на 3 зоны, обладающих своими характерными особенностями:

- зона I. Если значения точности маршрута движения ТС принадлежат данной области, то перерасчет точности КМК не требуется и данные принимаются «в чистом виде»;

- зона II. Если значения точности маршрута движения ТС принадлежат данной области, то необходимо применение принципа перерасчета точности КМК;

- зона III. Наиболее благоприятная область допустимых значений фактической точности маршрутов движения ТС, т.к. применение принципа перерасчета точности для любых маршрутов не приведет к превышению максимальной допустимой погрешности.

Однако, фактические точности всех маршрутов движения ТС должны принадлежать или зоне II и по отношению к ним следует применить принцип перерасчета точности, или же принадлежать зоне I и по отношению к ним перерасчет точности проводить не требуется. Если же фактическая точность части



маршрутов будут принадлежать зоне I, а часть маршрутов зоне II, то неизбежно применение принципа перерасчета, что приведет к превышению допустимой погрешности и созданию неэффективного КУТП.

Оставшуюся (бесцветную) область графика можно разделить на две характерные зоны:

– зона неэффективной работы КУТП. Данная область графика характерна превышением погрешностью КМК максимально допустимого значения, что не позволяет создать корректную имитационную модель участка УДС. Следствием данных аспектов служит разработка неэффективных вариантов КУТП, и чем дальше значение фактической точности КМК удалено от границы области допустимых значений, тем больше погрешность перерасчётной КМК и меньше эффективность КУТП.

– зона некорректной работы системы сбора данных. Достижение средней фактической точностью КМК любых значений, принадлежащих данной области служит сигналом о каких-либо неполадках в системе сбора данных или о том, что были допущены существенные ошибки при оценке параметров, влияющих на точность построения КМК, описанных в главе 2.

Стоит отметить, что полная КМК позволяет определить не точную фактическую точность КМК, а лишь её среднее значение. Значит, в практических целях следует рассматривать именно область допустимых значений средней фактической точности КМК, которая предусматривала в себе допустимые значения фактической точности маршрутов, определённые ранее. При этом начало зоны III будет соответствовать той минимальной точности КМК, при которой максимальная возможная погрешность не превысит предельного значения. Для определения этой границы следует воспользоваться формулой (4.2), при дополнительном условии –  $Q_{\text{КМК}} \leq 30\%$ . При построении неполной КМК данному условию соответствует значение минимальной точности КМК, равной 69%, а при условии построения полной КМК – 66%. Стоит отметить, что при 65% точности существует лишь небольшая вероятность незначительного превышения

максимально допустимой погрешности КМК ( $\sim 5\%$ ), следовательно, для решения поставленной задачи к приведенной выше системе неравенств (4.3) следует предъявить дополнительные требования [104]:

$$\begin{cases} \frac{P_{\text{факт}}^{\text{max}} - P_{\text{КМК}}^{\text{min}}}{2} \leq \bar{P}_{\text{факт}}, \text{ при } P_{\text{КМК}}^{\text{min}} < 65; \\ \bar{P}_{\text{факт}} \leq 100, \text{ при } P_{\text{КМК}}^{\text{min}} \geq 65. \end{cases} \quad (4.4)$$

Поскольку при минимальной расчетной точности КМК, меньшей 65% происходит начинает увеличиваться вероятность разработки неэффективных вариантов КУТП и, принимая во внимание результаты модельных экспериментов, можно внести последнее условие – допускается к рассмотрению минимальной расчетной точности полной КМК, величина которой составляет не менее 60% ( $P_{\text{расч}}^{\text{min}} \geq 60\%$ ). Область допустимых значений средней фактической точности маршрутов полной КМК представлена на рисунке 4.10.

Закрашенную область представленного графика также можно разделить на несколько зон, как и область допустимых значений фактической точности маршрутов движения ТС: зону I, зону II и зону III, обладающими теми же характеристиками, что и зоны, представленными на рисунке 4.9. Бесцветная область также представлена двумя зонами: зона неэффективной работы КУТП и зоной некорректной работы системы сбора данных, характеристика которых представлена выше.

Область графика, окрашенная в зеленый цвет, означает, что при данных значения средней фактической точности маршрутов полной КМК возможна разработка наиболее эффективных вариантов КУТП. Область графика, окрашенная в желтый цвет, означает, что при данных значения средней фактической точности полной КМК возможна разработка вариантов КУТП, обладающих не самыми высокими индикаторами эффективности. Однако, данные варианты КУТП не создают ситуаций, которые могут привести к снижению уровня доверия УДД к системам КУТП [104].

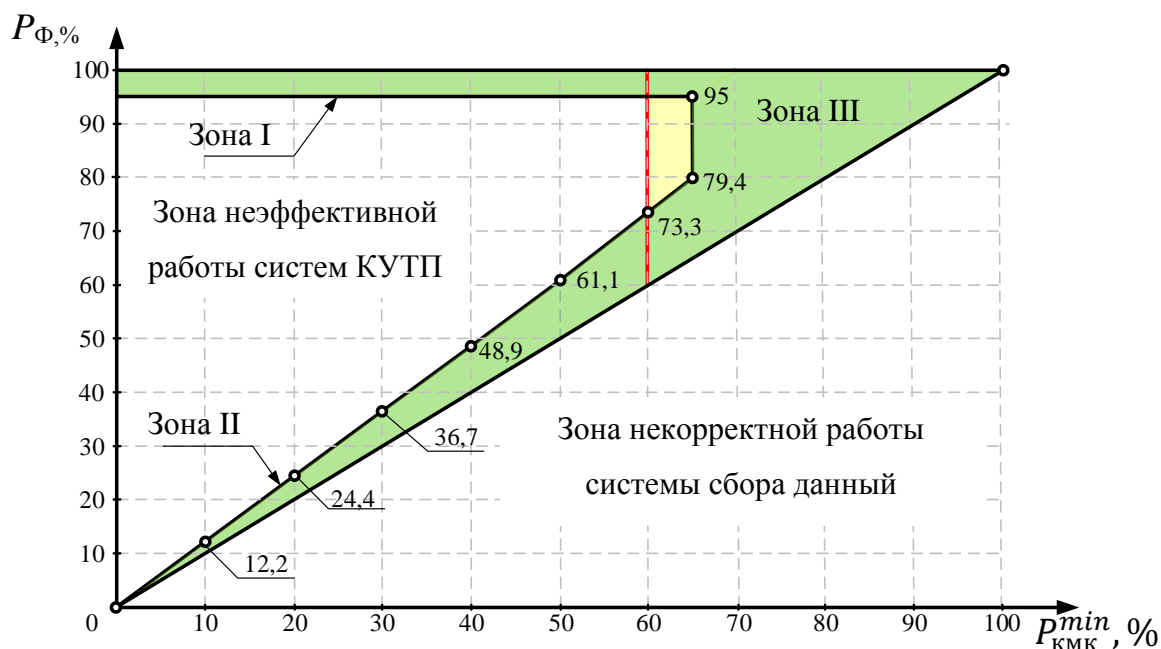


Рисунок 4.10 – Область допустимых значений средней фактической точности маршрутов полной КМК

Учитывая характеристику зоны I и зоны II и вероятность того, что средняя фактическая точность маршрутов будет удовлетворять предъявленным требованиям при минимальной точности маршрутов менее 60% достаточно мала, то итоговая область допустимых значений средней фактической точности маршрутов полной КМК будет выглядеть так, как показано на рисунке 4.11. Данную область можно разделить на три характерных участка:

- участок I ( $69\% \leq P_{\text{КМК}}^{\text{min}} \leq 100\%$ ). Соответствует области допустимых значений средней фактической точности маршрутов при условии построения неполной КМК.

- участок II ( $60\% \leq P_{\text{КМК}}^{\text{min}} \leq 100\%$ ). Соответствует области допустимых значений средней фактической точности маршрутов при условии построения полной КМК.

- участок III ( $60\% \leq P_{\text{КМК}}^{\text{min}} \leq 65\%$ ). Соответствует области допустимых значений средней фактической точности маршрутов, при которой эффективность КУТП может быть не критично ниже максимально возможного значения [104].

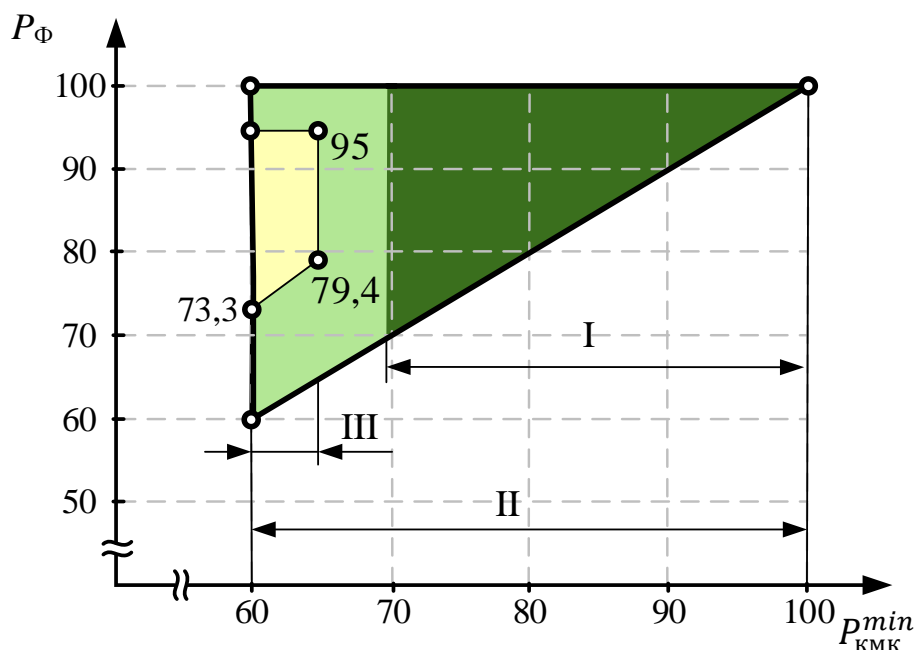


Рисунок 4.11 – Итоговая область допустимых значений средней фактической точности маршрутов движения ТС

Стоит отметить, что такие действующие на настоящий момент нормативно-технические документы как ГОСТ Р 56351 и ОДМ 218.9.011 ссылаются на КМК как на неотъемлемый элемент систем КУТП и системного анализа проектов ИТС, но данные документы не предъявляют требований к точности КМК. В связи с этим рекомендуется включить результаты настоящего диссертационного исследования, а именно, минимальную необходимую точность КМК и принципы ее перерасчета в качестве требований в основную часть стандарта и отраслевой дорожной методики.

#### 4.5 Результаты моделирования расстановки оборудования

Получив экспериментально допустимые границы значений точности КМК, становится возможным прямое решение уравнения, выведенного в главе 2. Решения уравнений можно получить с помощью различных программных продуктов. В рамках исследования применялся программный продукт «Mathcad», возможностей которого вполне достаточно для выполнения поставленных задач.

Для того, чтобы программа смогла произвести расчет, необходимо привести формулу к стандартному виду с одной неизвестной. Для этого необходимо принять за неизвестную переменную "x" точность идентификации ИБ. Поиск корней уравнения выполняется с помощью оператора «polyroots», который предоставит все решения уравнения, но для того, чтобы им было возможно воспользоваться, необходимо провести преобразование формулы к стандартному виду с помощью оператора «expand» и присвоить необходимое значение свободному члену  $P_m$ ,  $P_m \in [0; 1]$ .

Пример приведения полученных формул к стандартному виду:

$$P_m = p_{\text{бл}}^5 \cdot (1 + 3 \cdot q_{\text{бл}}) = x^5 \cdot (1 + 3 \cdot (1 - x)) \xrightarrow{\text{expand}} 4 \cdot x^5 - 3 \cdot x^6 \quad (4.5)$$

В итоге имеются два уравнения для недооценки и переоценки КМК соответственно, представленных в стандартном виде:

$$-3 \cdot x^6 + 4 \cdot x^5 - 0,9 = 0; \quad (4.6)$$

$$-3 \cdot x^6 + 4 \cdot x^5 - 0,6 = 0. \quad (4.7)$$

Стоит отметить, что для каждого уравнения существуют несколько корней, количество которых определяется максимальным значением показателя степени неизвестной, но в рамках КУТП имеют значения только те корни уравнений, которые удовлетворяют следующим условиям:

- принадлежат области действительных чисел, поскольку программа выдает все значения корней уравнений, в том числе и комплексные;
- должны быть не менее нуля и не более единицы, что соответствует возможным значениям точности ИБ;
- должны быть не менее точности маршрута.

Точность ИБ будет равна точности маршрута только при абсолютном значении, в иных случаях точность маршрута, согласно теории вероятности, всегда ниже точности ИБ (4.8).

$$\begin{cases} p_{\text{бл}} \in R; \\ 0 \leq p_{\text{бл}} \leq 1; \\ p_{\text{бл}} \geq P_m. \end{cases} \quad (4.8)$$

Для решения уравнения в среде «Mathcad» его необходимо представить в виде матрицы, в которую заносятся значения коэффициентов при неизвестной и свободном члене уравнения. В матрицу вносятся абсолютно все коэффициенты, даже если они равны нулю, начиная со свободного члена в сторону увеличения показателя степени.

Примеры решения уравнений в среде применяемого программного продукта представлены на рисунке 4.10.

а) недооценка КМК

$$a := \begin{bmatrix} -0.9 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 4 \\ -3 \end{bmatrix}$$

$y := \text{polyroots}(a)$

$$y = \begin{bmatrix} -0.572 + 0.382i \\ -0.572 - 0.382i \\ 0.15 + 0.721i \\ 0.15 - 0.721i \\ 0.954 \\ 1.224 \end{bmatrix}$$

б) переоценка КМК

$$a := \begin{bmatrix} -0.6 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 4 \\ -3 \end{bmatrix}$$

$y := \text{polyroots}(a)$

$$y = \begin{bmatrix} -0.53 - 0.355i \\ -0.53 + 0.355i \\ 0.143 - 0.666i \\ 0.143 + 0.666i \\ 0.832 \\ 1.274 \end{bmatrix}$$

Рисунок 4.12

Среди всех полученных корней уравнения предъявляемым требованиям удовлетворяют только следующие корни:

- $p_{\text{бл}} = 0,954$  при недооценке КМК (рисунок 4.10а);
- $p_{\text{бл}} = 0,832$  при переоценке КМК (рисунок 4.10б).

Подобным методом были составлены уравнения минимальных необходимых точностей ИБ для различных вариантов расстановки ИБ на УДС, описанных в главе 3. Данные уравнения представлены в таблице 4.16 в стандартном виде после применения оператора «expand».

Таблица 4.16 – Общий вид уравнений точности КМК

Расстановка ИБ		Уравнение
I	Осн	$-3x^6 + 4x^5 - P_M = 0$
	АЛЪТ	$x^5 - P_M = 0$
II	Осн	$3x^7 - 10x^6 + 8x^5 - P_M = 0$
	АЛЪТ	$-x^6 + 2x^5 - P_M = 0$
III	Осн	$-3x^9 + 12x^8 - 8x^7 - 16x^6 + 16x^5 - P_M = 0$
	АЛЪТ	$x^7 - 4x^6 + 4x^5 - P_M = 0$
IV	Осн	$-3x^{12} + 36x^{11} - 184x^{10} + 520x^9 - 880x^8 + 896x^7 -$ $-512x^6 + 128x^5 - P_M = 0$
	АЛЪТ	$-x^{10} + 10x^9 - 40x^8 + 80x^7 - 80x^6 + 32x^5 - P_M = 0$
V	Осн	$-x^8 + 3x^7 - x^6 - 5x^5 + 5x^4 - P_M = 0$
	АЛЪТ	$2x^9 - 10x^8 + 23x^7 - 26x^6 + 11x^5 + x^4 - P_M = 0$
VI	Осн	$x^9 - 5x^8 + 7x^7 + 3x^6 - 15x^5 + 10x^4 - P_M = 0$
	АЛЪТ	$-2x^{10} + 14x^9 - 43x^8 + 72x^7 - 63x^6 + 21x^5 + 2x^4 - P_M = 0$
VII	Осн	$-x^{10} + 7x^9 - 17x^8 + 11x^7 + 21x^6 - 40x^5 + 20x^4 - P_M = 0$
	АЛЪТ	$-x^{11} + 9x^{10} - 36x^9 + 81x^8 - 112x^7 + 102x^6 - 61x^5 +$ $+17x^4 + 2x^3 - P_M = 0$
VIII	Осн	$-x^{16} + 16x^{15} - 115x^{14} + 490x^{13} - 1373x^{12} + 2644x^{11} -$ $-3527x^{10} + 3150x^9 - 1635x^8 + 136x^7 + 456x^6 -$ $-320x^5 + 80x^4 - P_M = 0$
	АЛЪТ	$-2x^{18} + 36x^{17} - 298x^{16} + 1504x^{15} - 5175x^{14} +$ $+12866x^{13} - 23910x^{12} + 33888x^{11} - 36979x^{10} +$ $+30990x^9 - 19543x^8 + 8808x^7 + 2520x^6 - 320x^5 +$ $+16x^4 - P_M = 0$

Решение каждого уравнения описанным выше методом для точностей КМК 60% (при построение полной КМК) и 90% (без применения перерасчета КМК) позволило получить результаты расчетов минимальных необходимых точностей ИБ, которые представлены в таблице 4.17. Для каждого уравнения существовал единственный корень, удовлетворяющий предъявленным условиям.

Таблица 4.17 – Минимальные необходимые точности ИБ

Вариант расстановки	Количество ИБ	Точность оборудования, %			
		Основные маршруты		Альтернативные маршруты	
		60%	90%	60%	90%
I	15	83	95	90	98
II	18	79	93	85,5	97,5
III	22	72,5	88,5	85	96,5
IV	30	59	79	69	85
V	19	79,5	95	79,5	95
VI	22	72	91	72	91
VII	26	63	82	64	82
VIII	38	55	78	55	77,5

Стоит отметить, что для некоторых вариантов расстановки ИБ характерны разные значения минимальных точностей ИБ для основных и для альтернативных маршрутов. В таких случаях следует поступать следующим образом:

- при построении неполной КМК достаточно принимать во внимание только расчеты, связанные с основными маршрутами движения ТС. При данном варианте построения КМК следует воспользоваться первым вариант расстановки ИБ на УДС, при котором установка ИБ происходит только на основных дорогах рассматриваемого участка УДС. В данном случае минимальную гарантированную точность КМК следует принять равной 70%.

- при построении полной КМК необходимо принимать во внимание расчеты как для основных, так и для второстепенных маршрутов движения ТС. При данном варианте построения КМК следует воспользоваться вторым вариантом расстановки ИБ на УДС, при котором установка ИБ происходит только как основных дорогах рассматриваемого участка УДС, так и на второстепенных участках, что позволяет в равной степени проводить построение любых маршрутов. В данном случае минимальную гарантированную точность КМК следует принять равной 60%.

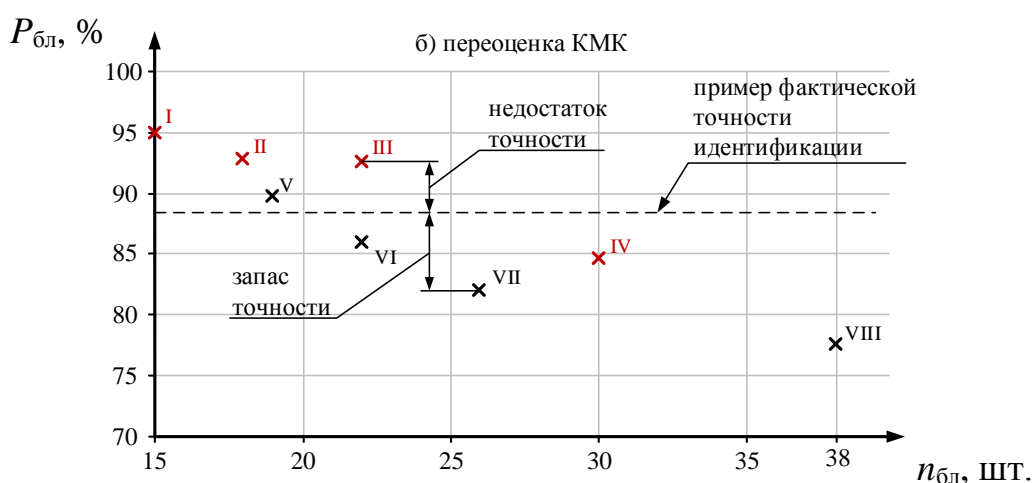
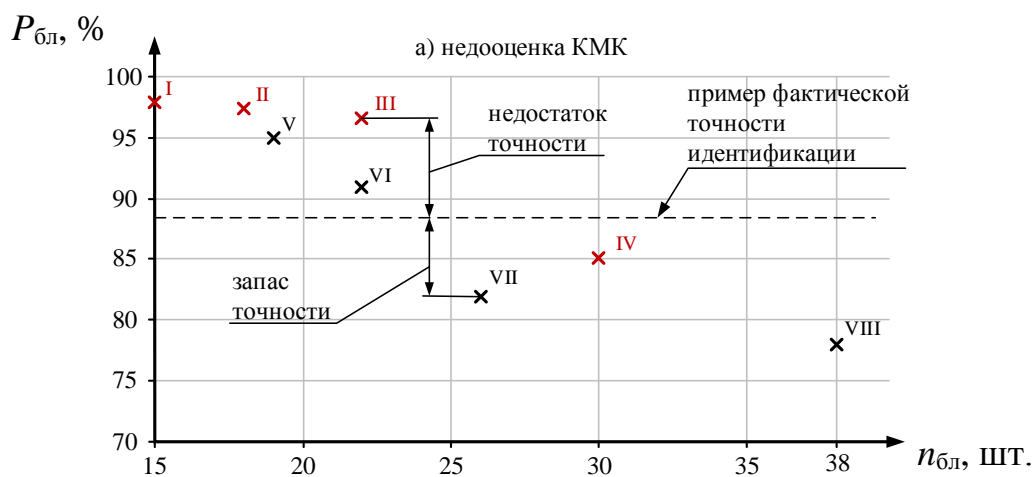
Для большей наглядности (согласно п.2.4) результаты расчетов были представлены в графическом виде как зависимость точности ИБ от их количества и их способа расстановки (рисунок 4.13). По построенным графикам можно определить наиболее оптимальное сочетание точности ИБ, их количества и их



способа расстановки их на УДС. Допустим, что в рамках эксперимента доступны ИБ, обладающие фактической точностью идентификации, равной 89%. В таком случае, (согласно описанию графиков, приведенных в главе 2) принятое значение точности ИБ разделяет график на две части:

– верхняя часть; включает в себя область, которая расположена выше линии фактической точности ИБ. Находящиеся в данной области варианты расстановки ИБ непригодны для применения;

– нижняя часть; включает в себя оставшуюся область графика, включая линию фактической точности ИБ. Находящиеся в данной области варианты расстановки ИБ пригодны для применения.



× - первый вариант расстановки оборудования, основные маршруты  
 × - второй вариант расстановки оборудования, все маршруты  
 № - номер случая расстановки идентификаторов

Рисунок 4.13 – График зависимости точности ИБ от их количества и способа расстановки на УДС при недооценке КМК

Полученные результаты наглядно показывают, что точность построения КМК зависит не только от количества ИБ, но и от способа их расстановки на УДС, т.к. от последнего в значительной мере зависит величина корректировки точности. Стоит обратить внимание на вариант расстановки №III и вариант расстановки №VI, в которых задействовано равное количество ИБ (рисунок).

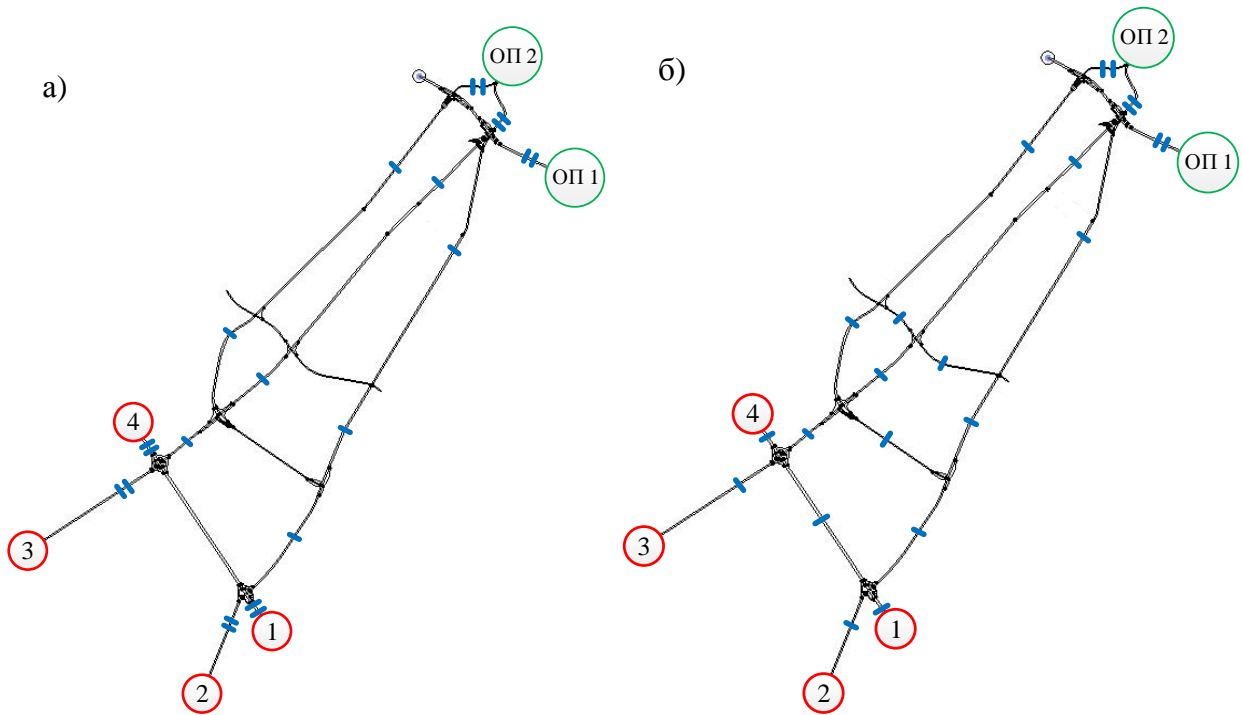


Рисунок 4.14 – варианты расстановок ИБ №III и №VI соответственно

При равном количестве ИБ вариант расстановки VI имеет преимущество, т.к. позволяет использовать менее точное, а, следовательно, более дешевое оборудование для построения КМК с необходимой точностью (но возникают дополнительные затраты на проведение коммуникаций к ИБ, расположенным на второстепенных дорогах, что может нивелировать рассматриваемое преимущество). Это лишний раз говорит о высокой степени влияния варианта расстановки ИБ и о том, что при проектировании системы сбора данных для проектирования КМК необходимо рассматривать несколько вариантов расстановки ИБ на УДС. Исходя из полученных результатов можно сформировать наиболее рациональную последовательность действий при расстановке ИБ на УДС, представленную на рисунке 4.15 (если расстановка оборудования на каком-либо

шаге не позволяет построить КМК необходимой точности, то необходимо приступить к следующему):

– шаг 1. Необходимо выполнить расстановку ИБ на основных дорогах рассматриваемого участка УДС.

– шаг 2. Необходимо выполнить установку дублирующих ИБ на тех участках основных дорог, которые наиболее близко расположены к ОП.

– шаг 3. Необходимо выполнить расстановку ИБ на второстепенных дорогах рассматриваемого участка УДС.

– шаг 4. Необходимо выполнить установку дублирующих ИБ на участках второстепенных дорог.

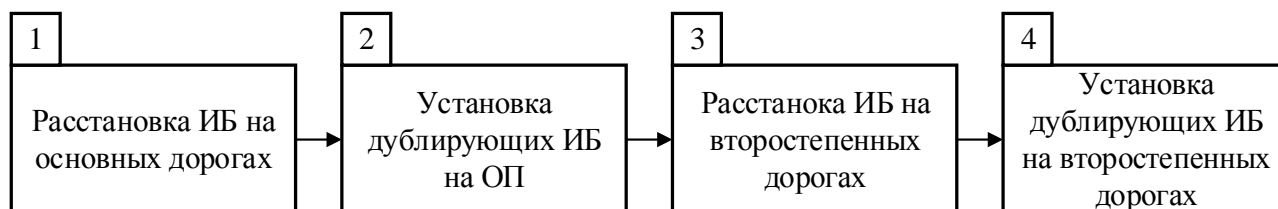


Рисунок 4.15 – Последовательность действий при расстановке ИБ на УДС

#### 4.6 Результаты полигонных испытаний

Анализ и обработка результатов натурального эксперимента по исследованию возможностей систем идентификации ТС с помощью графического распознавания ГРЗ представлены в таблице 4.18.

Согласно полученным данным, если состояние ГРЗ соответствует требованиям, представленным в ТР ТС 018/2011, то система идентификации обладает остаточной высокой точностью распознавания. При превышении допустимого загрязнения ГРЗ точность распознавания значительно снижается, и вероятность построения КМК сводится к минимуму, не говоря уже о возможности её применения для разработки КУТП. Стоит отметить, что точность распознавания ГРЗ без обозначения региона несколько выше, чем полное распознавание ГРЗ.

Таблица 4.18 – Результаты испытаний:

Вид испытания	Точность распознавания					
	Чистый ГРЗ		Максимально допустимое загрязнение ГРЗ		Загрязнение, превышающее допустимое значение	
	номер	Номер и регион	номер	Номер и регион	номер	Номер и регион
Одиночный проезд ТС	99%	97%	99%	95%	32%	10%
Перестроение	99%	95%	98%	93%	28%	7%
Одновременно два ТС	99%	97%	99%	95%	30%	9,4%
Факт проезда ТС (ГРЗ)	100%	100%	100%	100%	99%	99%

Принимая во внимание тот факт, что вероятность одновременного проезда двух ТС с одинаковыми номерами, но разными регионами через ИБ на каком-либо маршруте достаточно невелика, то для построения КМК допускается применять частичное распознавание ГРЗ (обозначением региона допускается пренебречь). Кроме того, результат обработки полученных данных подтвердил, что точность определения факта проезда ТС (простое определение наличия ГРЗ на ТС) практически абсолютна, что позволяет использовать ИБ и в качестве детекторов ТП. А это, в свою очередь, означает, что получаемые данные будут обладать только одним видом ошибки I рода, т.е. будет наблюдаться недооценка КМК (см. глава 2). Тогда применение принципа перерасчета КМК исходя из данных о минимальной гарантированной (расчетной) точности КМК и средней фактической точности КМК становится актуальным методом повышения точности КМК.

Исходя из результатов проведенных экспериментов и сделанных на их основе выводов можно говорить о том, что собрано достаточно данных для формирования методики построения КМК с помощью анализа треков ТС.

#### 4.7 Разработка методики построения качественных матриц корреспонденции

Построение КМК необходимо начинать с анализа УДС на наличие уже установленного оборудования идентификации ТС (системы автоматической фиксации нарушений ПДД; иные системы, требующие идентификации ТС). В зависимости от наличия уже установленного оборудования возможны следующие варианты действий. Вначале рассмотрим вариант, когда на УДС отсутствует какое-либо идентификационное оборудование, т.к. он является наиболее простым для описания (алгоритм построения качественных матриц корреспонденции представлен на рисунке 4.16).

В таком случае необходимо спланировать варианты расстановки ИБ. Предположим, что уже известны ОП и истоки ТП, тогда сначала необходимо расставить ИБ на участки основных дорог рассматриваемой УДС (дороги с наибольшей интенсивностью движения и/или наибольшей пропускной способностью). Затем следует выполнить действие 1 – расчет минимальной необходимой точности ИБ согласно выведенной формуле расчета точности построения маршрутов (п. 2.4). При этом минимальная точность КМК принимается равной 70%, если построение полной КМК с учетом рассматриваемого варианта расстановки ИБ невозможно, и равной 60%, если рассматриваемый вариант расстановки ИБ создает возможность построения полной КМК (п. 4.4).

Если рассматриваемое идентификационное оборудование (существующее на рынке, имеющееся в наличии и т.п.) соответствует или превышает расчетное значение, то следует отметить данный вариант расстановки ИБ. Также следует выполнить действие 2 – проверить, не существует ли иного варианта расстановки того же количества ИБ, при котором рассматриваемое идентификационное оборудование было бы способно обеспечить необходимую точность КМК (п. 4.5). Если же требования к точности ИБ слишком высоки, то следует разместить на участке УДС дополнительный ИБ и выполнить действие 1. Если новый вариант расстановки ИБ делает возможным построение КМК необходимой точности, то

следует выполнить действие 2, в противном случае необходимо разместить еще один дополнительный ИБ и повторить описанные выше действия.

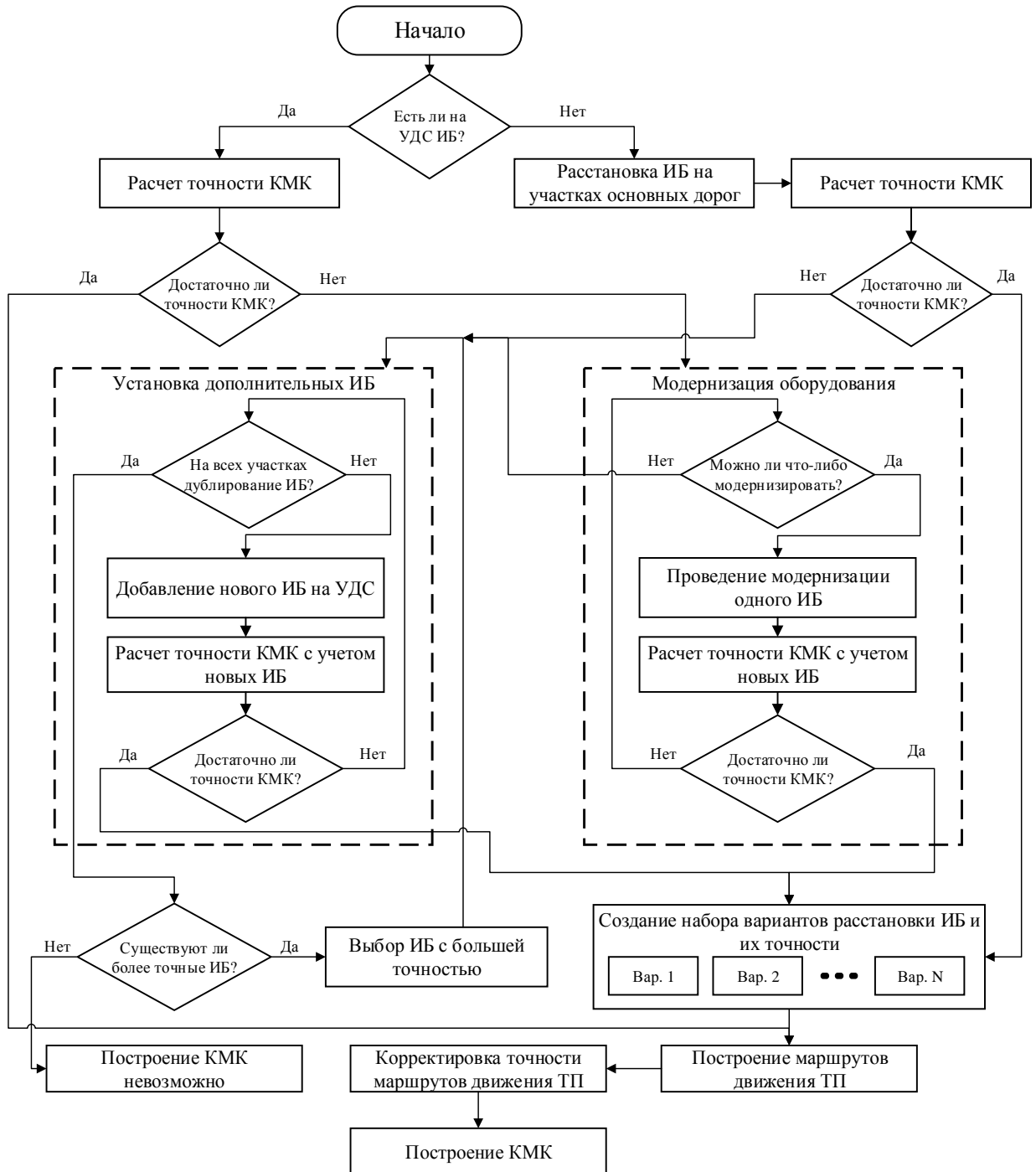


Рисунок 4.16 – Алгоритм построения качественных матриц корреспонденции

При этом сначала рекомендуется установка дублирующих ИБ на участках дорог, расположенных непосредственно перед ОП, затем установка дублирующих ИБ на второстепенные дороги участка УДС и только после этого приступить к дублированию остальных ИБ (п. 4.5).

Данный цикл следует повторять до тех пор, пока не будет удовлетворено требование к точности КМК или же не будет достигнута дублирующая установка ИБ на всех участках дорог рассматриваемой УДС. Если же цикл приведет к тому, что на каждом участке будет применена дублирующая установка ИБ, а требования к точности КМК не будут удовлетворены, то следует выполнить действие 3 – рассмотреть более точное оборудование и проверить, при каких вариантах расстановки ИБ будет возможно построение КМК необходимой точности. Действие 3 следует повторять до тех пор, пока не будут найдены возможные варианты решения, в противном случае следует констатировать факт, что построение КМК необходимой точности доступными средствами невозможно (п. 2.4).

После создания набора возможных вариантов следует выполнить действие 4 – экономический анализ, т.е. определение примерной стоимости реализации того или иного варианта, учитывающий стоимость идентификационного оборудования, его установки, подключения коммуникаций и прочее. После чего проводится выбор наиболее оптимального варианта расстановки ИБ и его реализация.

После реализации одного из вариантов расстановки ИБ на УДС проводится действие 5 – сбор данных, построение маршрутов движения ТП, корректировка точности маршрутов (п. 2.4) и агрегирование полученной информации, т.е. построение КМК. Стоит отметить, что вид, который будет принимать КМК может зависеть от требования заказчика или зависеть от среды (ПО) в которой происходит обработка данных с ИБ.

Теперь рассмотрим вариант, когда на УДС уже установлено оборудование с функцией идентификации ТС. Сперва следует выполнить действие 1, описанное выше. В случае, если с помощью уже установленного идентификационного оборудования возможно построение КМК необходимой точности, то следует приступить к действию 5. В противном случае следует рассмотреть вариант, учитывающий модернизацию имеющегося оборудования, т.е. замену существующих ИБ на более точные, или замену некоторых компонентов ИБ

(например, замену/восстановление оптики видеокамер, установка более сложных алгоритмов обработки изображений и т.д.).

Затем следует выполнить действие 6 – определить, возможно ли модернизировать какое-либо оборудование, т.к. если на УДС уже установлено самое современное и точное оборудование, то проведение модернизации невозможно. Предположим, что существует возможность модернизации системы сбора данных. Тогда следует выполнить действие 7 – провести виртуальную замену одного из ИБ и выполнить действие 1. В том случае если данный вариант модернизации оборудования позволяет получить КМК необходимой точности, то следует его принять к дальнейшему рассмотрению. Также следует выполнить действие 2 и для остальных ИБ (в данном случае вместо установки новых ИБ рассматривается модернизация уже установленного оборудования). После чего необходимо провести действие 4 с целью определения наименее затратного варианта модернизации оборудования и затем выполнить действие 5.

Если же модернизации одного ИБ будет недостаточно для построения КМК необходимой точности, то необходимо повторить действие 6 и 7, но с учетом предыдущей(-их) модернизаций и выполнить действие 1. Данный цикл следует повторять пока не будут определено минимальное количество ИБ, подлежащих модернизации или до тех пор, пока не будет достигнут вариант полной модернизации. Далее следует выполнить действие 2 (вместо установки новых ИБ рассматривается модернизация уже установленного оборудования). После определения наиболее выгодного варианта модернизации оборудования следует вместо действия 6 выполнить поиск возможных вариантов установки дополнительного оборудования без проведения модернизации (необходимо выполнить действия 1–5, но с учетом, что часть оборудования уже установлена на УДС).

В тех случаях, когда проведение модернизации оборудования невозможно (уже установлено самое современное оборудование, либо модернизации недостаточно для построения КМК необходимой точности) следует рассматривать вариант установки дополнительного оборудования. Иными словами, необходимо



выполнить действия 1–5, но с учетом, что часть оборудования уже установлена на УДС, при этом модернизация ИБ не рассматривается.

Если и в таком случае не будет достигнута необходимая точность КМК, то следует рассмотреть «гибридные» варианты – одновременное проведение модернизация оборудования, и расстановка дополнительных ИБ. Поскольку разработка «гибридных» вариантов в значительной мере зависит от топологии УДС и ОДД, которые можно назвать уникальными для каждого участка УДС, то разработка общего алгоритма действий не представляется возможным, однако, первым действием следует повышать точность идентификации на тех участках основных дорог, которые наиболее близко расположены к ОП. В том случае, если будет найдено «гибридное» решение поставленной задачи следует выполнить действие 2. В противном случае самым последним вариантом будет рассматриваться полная замена ИБ на самые точные из доступных вариантов при дублировании на каждом участке основных и второстепенных дорог. Если и этот варианте будет обеспечивать построение КМК необходимой точности, то следует констатировать факт о невозможности построения КМК имеющимися средствами.

Поскольку в ГОСТ Р 56351 «Интеллектуальные транспортные системы. Косвенное управление транспортными потоками. Требования к технологии информирования участников дорожного движения посредством динамических информационных табло» и ОДМ 218.9.011 «Рекомендации по выполнению обоснования интеллектуальных транспортных систем» не содержится методических рекомендаций по построению КМК, то рекомендуется включение разработанной в рамках настоящего диссертационного исследования методики в перечисленные нормативно-технические документы в качестве приложений, носящих рекомендательный характер.

#### 4.8 Выводы по главе 4

1. Определено, что значение минимальной допустимой точности маршрутов движения при ошибке I рода составляет 90%.
2. Определено, что значение минимальной допустимой точности маршрутов движения при ошибке II рода составляет 69% с учетом применения разработанного принципа перерасчета точности маршрутов движения и построения неполной КМК.
3. Определено, что значение минимальной допустимой точности маршрутов движения при ошибке II рода составляет 60% с учетом применения разработанного принципа перерасчета точности маршрутов движения и построения полной КМК.
4. На основе полученных данных определена область допустимых значений средней точности маршрутов движения ТС для эффективной разработки и функционирования систем КУТП.
5. На основе результатов экспериментов на полигонном комплексе МАДИ «Умная дорога» Разработаны практические рекомендации, позволяющие исключить возникновение ошибки I рода и тем самым снизить порог минимальной допустимой точности маршрутов движения на 30% при построении КМК.
6. На основе результатов апробации разработанной математической модели расчета минимальной точности маршрутов движения ТС разработаны практические рекомендации по расстановке оборудования на УДС.
7. Разработана методика построения КМК для решения задач управления транспортными потоками, рассматривающая наиболее рациональную последовательность действий при построении КМК и содержащую ряд практических рекомендаций по оптимизации расстановки оборудования на УДС.
8. Сформированы практические рекомендации по внесению изменений в ГОСТ Р 56351 и ОДМ 218.9.011.

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В результате проведенного диссертационного исследования были достигнуты все поставленные задачи и основная цель, в том числе:

1) проведено исследование зависимости эффективности систем косвенного управления транспортными потоками от точности качественных матриц корреспонденции, в результате которого определена зависимость эффективности косвенного управления транспортными потоками от величины ошибки I рода качественных матриц корреспонденции, при которой фактическое перераспределение части транспортного покла, превышает расчетное количество и от величины ошибки II рода качественных матриц корреспонденции, при которой фактическое перераспределение части транспортного покла, меньше расчетного количества.

2) определена минимально допустимая точность качественных матриц корреспонденции для эффективного функционирования систем косвенного управления транспортными потоками, которая составляет:

- 90% без применения перерасчета качественных матриц корреспонденции;
- 69% с применением перерасчета качественных матриц корреспонденции при условии построения неполной качественной матрицы корреспонденции;
- 60% с применением перерасчета качественных матриц корреспонденции при условии построения полной качественной матрицы корреспонденции;

3) разработан принцип перерасчета качественных матриц корреспонденции, позволяющий снизить требования к их минимальной точности, который позволяет исключить возможность влияния ошибки I рода и понизить требования к точности качественных матриц корреспонденции:

- на 21% при условии построения неполной качественной матрицы корреспонденции;
- на 30% при условии построения полной качественной матрицы корреспонденции;

4) выведена зависимость точности качественных матриц корреспонденции от точности используемого оборудования и его расположения на сети дорог;

5) разработана методика построения качественных матриц корреспонденции, применение которой возможно на любой конфигурации дорожной сети при различных уровнях внедрения элементов интеллектуальных транспортных систем (дорожной инфраструктуры).

Также на основании полученных результатов диссертационного исследования сформированы:

1) практические рекомендации по применению разработанной математической модели расчета точности качественных матриц корреспонденции в зависимости от точности используемого оборудования и его расстановки на улично-дорожной сети;

2) практические рекомендации по применению по применению идентификационного оборудования и его расстановки на улично-дорожной сети;

3) практические рекомендации по внесению изменений в ГОСТ Р 56351 «Интеллектуальные транспортные системы. Косвенное управление транспортными потоками. Требования к технологии информирования участников дорожного движения посредством динамических информационных табло» и ОДМ 218.9.011 «Рекомендации по выполнению обоснования интеллектуальных транспортных систем».

Дальнейшее развитие темы качественных матриц корреспонденций целесообразно проводить в области определения коэффициентов, влияющих на точность систем распознавания государственных регистрационных знаков, разработки принципов корректировки точности качественных матриц корреспонденций на основе статистических данных, формирования облика качественных матриц корреспонденций как базы данных, разработки средств управления базами данных для работы с данными качественных матриц корреспонденций. Кроме того, целесообразно провести исследования, направленные на изучение достоверности алгоритмов распределения транспортных потоков по дорожной сети различных средств имитационного

моделирования, что позволит уточнить минимальные требования к количеству и качеству оборудования и его размещения по сети дорог.

Стоит отметить, что для большинства дальнейших задач необходимо создание пилотного проекта на реальном участке улично-дорожной сети.

**СПИСОК СОКРАЩЕНИЙ И УСЛОВНЫХ ОБОЗНАЧЕНИЙ**

БСС	– банк стандартных сообщений;
ГНСС	– глобальная спутниковая навигационная система;
ГРЗ	– государственный регистрационный знак;
ДИТ	– динамическое информационное табло;
ДУТП	– директивное управление транспортных потоков;
ИБ	– идентификационный блок;
КМК	– качественная матрица корреспонденции;
КУТП	– косвенное управление транспортных потоков;
МК	– матрица корреспонденции;
МОП	– матрица объектов притяжений;
ОП	– объект притяжения;
ОДД	– организация дорожного движения;
ПДД	– правила дорожного движения;
ПО	– программное обеспечение;
ТС	– транспортное средство;
ТП	– транспортный поток;
УДД	– участник дорожного движения;
УДС	– улично-дорожная сеть;
УТП	– управление транспортными потоками;
ЦОД	– центр обработки данных.

## СЛОВАРЬ ТЕРМИНОВ

1) **интеллектуальная транспортная система:** Система управления, интегрирующая современные информационные и телематические технологии и предназначенная для автоматизированного поиска и принятия к реализации максимально эффективных сценариев управления транспортно-дорожным комплексом региона, конкретным транспортным средством или группой транспортных средств с целью обеспечения заданной мобильности населения, максимизации показателей использования дорожной сети, повышения безопасности и эффективности транспортного процесса, комфортности для водителей и пользователей транспорта [57].

2) **косвенное управление транспортными потоками:** Принцип управления транспортным потоком через управление мотивацией участников дорожного движения посредством предоставления информации [56].

3) **банк стандартных сообщений:** Иерархический список шаблонов стандартных сообщений, актуализированный для области распространения (зоны) системы косвенного управления транспортными потоками [56].

4) **время жизни объекта притяжения:** Перечень временных интервалов, в течение которых существуют списки доминантных объектов притяжения, в которые входит данный объект притяжения [56].

5) **динамическое информационное табло:** Устройство визуального отображения информации, являющееся элементом дорожной инфраструктуры и предназначенное для отображения неизменной и изменяющейся во времени информации в системах косвенного управления транспортными потоками [56].

6) **доминантный объект притяжения:** Объект уличной дорожной сети, к которому стремится значительная часть транспортного потока [56].

7) **индикатор эффективности:** Мера или характеристика для оценки эффективности системы или технологии [56].

8) **идентификация транспортного средства:** Комплекс мер, направленных на установление идентификатора транспортного средства (например, распознавание государственного регистрационного знака).

9) **лоцирование оборудования интеллектуальной транспортной системы:** Совокупность опирающихся на специальные методики технологий, определяющих оптимальные зоны установки оборудования [ГОСТ Р 56829].

10) **матрица объектов притяжения:** Список доминантных объектов притяжения, расположенных в пределах принятой области распространения (зоны) локального проекта системы косвенного управления транспортными потоками, с указанием их времени жизни, интенсивности транспортного потока и характера доминантных объектов притяжения [56].

11) **объект притяжения транспортного потока:** Объект уличной дорожной сети, к которому стремится часть транспортного потока и который может быть ориентиром в системе информирования [56].

12) **стандартное сообщение:** Совокупность данных об организации дорожного движения, условиях дорожной обстановки, погодных условиях, оптимальных режимах, маршрутах движения транспорта, имеющая формализованную структуру, предназначенная для вывода на динамическое информационное табло в рамках решения задачи косвенного управления транспортными потоками и состоящая из информационных предложений [56].

13) **интенсивность движения:** Количество транспортных средств, проходящие в единицу времени через определенное сечение дороги [82].

14) **плотность движения:** Число автомобилей на 1 км дороги [82].

15) **состав движения (состав транспортного потока):** Качественный показатель транспортного потока, характеризующий наличие в нем различных типов транспортных средств [82].

16) **пропускная способность:** Максимальное число автомобилей, которое может пропустить участок дороги в единицу времени в одном или двух направлениях в рассматриваемых дорожных и погодно-климатических условиях [82].



17) **теоретическая пропускная способность:** Пропускная способность участка дороги при транспортном потоке, состоящем только из легковых автомобилей и движущемся с одинаковыми интервалами по горизонтальному участку дороги [82].

18) **фактическая пропускная способность:** Пропускная способность участка дороги в реальных условиях движения [82].

19) **уровень обслуживания:** Комплексный показатель экономичности, удобства и безопасности движения, характеризующий состояние транспортного потока [82].

20) **коэффициент загрузки движения:** Отношение фактической интенсивности движения по автомобильной дороге, приведенной к легкому автомобилю, к пропускной способности за заданный промежуток времени [82].

21) **коэффициент скорости движения:** Отношение средней скорости движения транспортного потока при рассматриваемом уровне обслуживания к средней скорости свободного движения [82].

22) **коэффициент насыщенности движения:** Отношение средней плотности движения при рассматриваемом уровне обслуживания к максимальной плотности движения [82].

23) **общее время в пути:** Время, затраченное одним транспортным средством на преодоление рассматриваемого участка улично-дорожной сети.

24) **матрица корреспонденции транспортного потока:** Массив данных, содержащий информацию об истоках и объектах притяжения транспортных потоков и величине соответствующим им транспортным потокам [ГОСТ Р 56829].

25) **качественная матрица корреспонденции транспортного потока:** Таблица, отражающая результат определения спроса, ориентированного относительно лимита пропускной способности в пределах принятой области распространения локального проекта ИТС, определяемая методом анализа треков транспортных средств и состоящая из истоков, целей и маршрутов следования [ГОСТ Р 56829].

**26) вариант косвенного управления транспортных потоков:**

Определенное сочетание параметров перераспределения транспортных потоков на перекрестках улично-дорожной сети.

**27) идентификационный блок:** Комплекс оборудования, предназначенный для идентификации транспортных средств на определенном участке дороги.

**28) остаточная пропускная способность:** Разность между максимальной пропускной способностью дороги и текущей интенсивностью движения.

**29) банк стандартных сообщений:** Набор определенных сообщений, предназначенных для вывода на экраны средств информирования участников дорожного движения.

**30) сценарий информирования:** Набор стандартных сообщений, одновременно отображаемых на экранах средств информирования при определенной дорожной обстановке.

**31) расчетная (минимально гарантированная) точность маршрутов:** Точность маршрутов движения транспортных средств, рассчитанная согласно математической модели.

**32) цифровая модель дороги:** Банк данных о параметрах дорог, дорожных объектах, организации дорожного движения и транспортных потоках.

**СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ**

1 Жанказиев С.В. Современное представление о маршрутном ориентировании участников дорожного движения в Интеллектуальных транспортных системах / С.В. Жанказиев, А.И. Воробьев, А.В. Багно // Средства и технологии телематики на автомобильном транспорте: сб. науч. тр. МАДИ (ГТУ) - М.: Изд-во МАДИ (ГТУ), 2008. - С. 220-232.

2 Жанказиев С.В. Формирование принципов определения оптимального расстояния от информационных дорожных знаков до сегментов улично-дорожной сети / С.В. Жанказиев, А.И. Воробьев, А.В. Багно // Средства и технологии телематики на автомобильном транспорте: сб. науч. тр. МАДИ (ГТУ) - М.: Изд-во МАДИ (ГТУ), 2008. - С. 233-241.

3 Пржибыл П. Телематика на транспорте / П. Пржибыл, М. Свитек; перевод О. Бузека и В. Бузковой.; под ред. В. В. Сильянова. - М.: МАДИ (ГТУ), 2003. - 540 с.

4 Воробьев А.И. Формирование методики оптимизации телематического комплекса технических средств интеллектуальной системы маршрутного ориентирования: дис. ... канд. техн. наук: 05.22.01 / Воробьев Андрей Игоревич. - М., 2010. - 196с.

5 Жанказиев С.В. Научные основы и методология формирования интеллектуальных транспортных систем в автомобильно-дорожных комплексах городов и регионов: дис. ... д-ра техн. наук: 05.22.01 / Жанказиев Султан Владимирович. - М., 2012. - 451с.

6 Бабков В.Ф. Дорожные условия и организация движения: Учебник для вузов / В.Ф. Бабков. - М.: Транспорт, 1993. - 271с.

7 Методические указания по учёту интенсивности движения кратковременными наблюдениями на автомобильных дорогах Сибири.- Омск: СИБАДИ, 1984. - 40с.

8 Yonghong Y. A traffic-flow parameters evaluation approach based on urban road video /Y. Yonghong // International Joutnal of Intelligent Engineering and Systems/ - 2009. - Vol. 2. - №.1. - pp. 33-39.

9 Vargas M. An Enhanced Background Estimation Algorithm for Vehicle Detection in Urban Traffic Video / M. Vargas, S. L. Toral, F. Barrero // Proc. of 11<sup>th</sup> International IEEE Conference on Intelligent Transportation Systems, 2008. - pp.784-790.

10 Belle L. T. Real-time Video Surveillance for Traffic Monitoring using Virtual Line Analysis / L.T. Belle, Ching-Yung Lin, J. R. Smith // Proc. Of 2002. IEEE International Conference on Multimedia and Expo. - 2002. - Vol.2. - pp.541 - 544.

11 Комплексные обследования ТС и ДД [Электронный ресурс] // Центр исследований транспортной инфраструктуры (ЦИТИ). - М. – 2017. - Режим доступа: [http://www.infra-trans.ru/odd/predproekt/obsledovanie/complex/.](http://www.infra-trans.ru/odd/predproekt/obsledovanie/complex/), свободный (дата обращения: 20.09.2015).

12 Клинковштейн Г.И. Организация дорожного движения / Г.И. Клинковштейн, М.Б. Афанасьев. - М.: Транспорт, 2001. - 247с.

13 Пугачев, И.Н. Организация и безопасность движения / И.Н. Пугачев. - Хабаровск: ХГТУ, 2004 г. - 232с.

14 Свиринов И.С. Некоторые аспекты автоматического распознавания автомобильных номеров / И.С. Свиринов, А. Ханин. // Алгоритм безопасности. - 2010. - №3. - С. 26-29.

15 Ивлев В.П. Распознавание государственных регистрационных знаков автотранспортных средств / В.П. Ивлев, Я.Я. Петричкович, С.Т. Иваненко // Мир измерений. - 2008. - №6. - С. 6-9.

16 Востриков М.С., Тассов К.Л. Метод поиска автомобильных номеров с использованием модификации алгоритма распознавания государственных регистрационных знаков / М.С. Востриков, К.Л. Тассов // Режим доступа: <http://masters.donntu.org/2015/fknt/sosenkov/library/article6.htm>, свободный (дата обращения 21.09.2016).

17 Трапезников И.Н. Разработка и анализ системы распознавания автомобильных регистрационных знаков: дис. ... канд. технич. наук: 05.12.04 / Трапезников Илья Николаевич. - Ярославль, 2014. - 136 с.

18 Martinsky O. Algorithmic and mathematical principles of automatic number plate recognition systems: B. Sc. Thesis / O. Martinsky. – Brno University of Technology, 2007. - p.76

19 Adaptive license plate image extraction / V. Shapiro, D. Dimov, V. Velichkov, G. Gluhche // Computer Systems and Technologies. - 2003. - pp. III.A.3-1 – III.A.3-6.

20 Hung K.M. A Real-Time Mobile Vehicle License Plate Detection and Recognition / K.M. Hung, C. T. Hsieh // Tamkang Journal of Science and Engineering, 2010. -Vol. 13. - № 4. - pp. 433-442.

21 Anishiya P. Number Plate Recognition for Indian Cars Using Morphological Dilation and Erosion with the Aid Of Ocrs / P. Anishiya, S. M. Joans // International Conference on Information and Network Technology IACSIT Press, Singapore 115 IPCSIT. - 2011. - vol.4. - pp. 36-69.

22 Anuja P. Nagare. License Plate Character Recognition System using Neural Network / Nagare P. Anuja, Shalini Bhatia // International Journal of Computer Applications. - 2011. - Vol.25. - №.10. - pp. 36-39.

23 LI X. Vegicle license plate detection and recognition: In partial fulfillment of the requirements for the degree Master of Science / Xin Li. - University of Missouri, 2010. - 61p.

24 L. Jilin, M. Hongqing, L. Peihong, A High Performance License Plate Recognition System Based On The Web Technique / L. Jilin, M. Hongqing, L. Peihong // IEEE Conf. On Intelligent Transportation Systems, Oakland, CA. - 2001. - pp. 14-18.

25 Кременец Ю.А. Технические средства организации дорожного движения: Учебник для вузов. / Ю.А. Кременец, М.П. Печерский, М.Б. Афанасьев. - М.: Академкнига, 2005. - 279 с.

26 Кожевников В.И. Автоматизированная система управления дорожным движением / В.И. Кожевников, Д.В. Вытяжков, В.В. Толначев, В.В. Луговенко, А.А. Гриценко // Вестник СевКав ГТУ. Серия «Естественнонаучная». - 2003. №1(6). - С. 19-22.

27 Иносэ Х. Управление дорожным движением / Х. Иносэ, Т. Хамада Под. ред. М.Я. Блинкина. - М.: Транспорт, 1983. - 248 с.

28 Зырянов В.В. Совершенствование критериев оценки условий движения на городских магистралях. дис. ... канд. техн. наук : 05.22.10 / Зырянов Владимир Васильевич. М., 1982. - 154 с.

29 Кочерга В.Г. Интеллектуальные транспортные системы в дорожном движении: Уч. Пособие / В.Г. Кочерга, В.В. Зырянов, В.И. Конопляно. - Р. н/Д., РГСУ, 2001. - 108 с.

30 Булатов А.И. Изучение режима движения с помощью аэрофотосъемки / А.И. Булатов, В.В. Сильянов, А.П. Шевяков, Ю.М. Ситников // Автомобильные дороги. - 1970. - №4. - С. 22-23.

31 Постановление Правительства Российской Федерации от 25 августа 2008 г. N 641 г. Москва «Об оснащении транспортных, технических средств и систем аппаратурой спутниковой навигации ГЛОНАСС или ГЛОНАСС/GPS» [Электронный ресурс] // СПС КонсультантПлюс. - Режим доступа: [http://www.consultant.ru/document/cons\\_doc\\_LAW\\_79591/](http://www.consultant.ru/document/cons_doc_LAW_79591/), открытый (Дата обращения: 20.09.2015).

32 Власов В.М. Телематика на автомобильном транспорте / В.М. Власов, С.В. Жанказиев, А.Б. Николаев, В.М. Приходько. -М.: МАДИ (ГТУ), 2003. - 173 с.

33 Власов В.М. Методические подходы к созданию и развитию региональных навигационно-информационных систем диспетчерского управления, безопасности и информирования на наземном транспорте / В.М. Власов // Автотранспортное предприятие. - 2014. - № 6. - С. 6-8.

34 Власов В.М. Информационные технологии на автомобильном транспорте / В.М. Власов, А.Б. Николаев, А.В. Посполит, В.М. Приходько под общ. ред. В.М. Приходько. М.: Наука, 2006.- 288с.

35 Ефименко Д.Б. Методологические основы построения навигационных систем диспетчерского управления перевозочным процессом на автомобильном транспорте (на примере городского пассажирского транспорта): дисс. ... д-ра техн. наук: 05.22.08 / Ефименко Дмитрий Борисович. М., 2012. - 479 с.

36 Богумил В.Н. Оценка основных параметров транспортных потоков на улично-дорожной сети города на основе обработки навигационных данных

городского пассажирского транспорта: дисс. ... канд. техн. наук: 05.22.01 / Богумил Вениамин Николаевич. - М., 2011. - 212с.

37 Бабков В.Ф. Дорожные условия и режимы движения автомобилей / В.Ф. Бабков, М.Б. Афанасьев, А.П. Васильев. М., Транспорт, 1967.- 224 с.

38 Лобанов Е.М. Пропускная способность автомобильных дорог / Е.М. Лобанов, В.В. Сильянов, Ю.М. Ситников, Л.Н. Сапегин. М., Автотрансиздат, 1960.- 463 с.

39 Сильянов В.В. Оценка вариантов автомобильных дорог с учетом движения потоков автомобилей методами математического моделирования на ЭЦВМ / В.В. Сильянов, Т.В. Кочарян // Проектирование и строительство автомобильных дорог. - М.: изд-во МАДИ, 1972. - С. 4-10.

40 Применение теории массового обслуживания в проектировании автомобильных дорог / Я.А. Калужский, И.В. Бегма, В.М. Кисляков, В.В. Филиппов. - М.: Транспорт, 1969. - 136 с.

41 Сильянов В.В. Теория транспортных потоков в проектировании дорог и организации движения/ В.В. Сильянов. - М.: Транспорт, 1977. - 303с.

42 Рыжков И.П. Моделирование транспортных потоков в городах при сетевых воздействиях: дисс. ... канд. техн. наук: 05.13.13 / Рыжков Игорь Петрович. М., 2004. - 130с.

43 Сильянов В.В. Теоретические основы повышения пропускной способности автомобильных дорог: дисс. ... докт. техн. наук: 05.22.03 / Сильянов Валентин Васильевич. М., 1978. - 449 с.

44 Gipps, P.G. A behavioural car-following model for computer simulation / P.G. Gipps // Transportation Research-B. - 1981. - 15(B). - pp. 105-111.

45 Дрю Д. Теория транспортных потоков и управление ими /Д. Дрю. - М.: Транспорт, 1972. - 424с.

46 Хейт Ф. Математическая теория транспортных потоков / Ф. Хейт. М.: Мир, 1966. - 286 с.

47 Лобанов Е.М. Требования к дорожным знакам и указателям с позиции зрительного восприятия / Е.М. Лобанов // Безопасность движения на дорогах. М.: МАДИ. - 1972. - с. 50-69.

48 Лобанов Е.М. Проектирование дорог и организация движения с учетом психофизиологии водителя / Е.М. Лобанов. - М.: Транспорт, 1980. - 311с.

49 Бегма И.В. Учет психофизиологии водителей при проектировании автомобильных дорог / И.В. Бегма, Э.В., Гаврилов, Я.А. Калужский. - М.: Транспорт, 1976. - 87 с.

50 Генкин А.А., Медведев В.И. Прогнозирование психофизиологических состояний / А.А. Генкин, В.И. Медведев. - Л.: Наука, 1973. - 143 с.

51 Иванов В.Н. Вопросы психофизиологии человека на автомобильном транспорте / В.Н. Иванов, Н.В. Борисюк, В.Н. Сытник // Высшая школа. - 1973. №52. - С. 30-41.

52 Романов А.Н. Автотранспортная психология / А.Н. Романов. - М.: Академия, 2002. - 224 с.

53 Forbs T.W. Human Factors in Highway Traffic Research / T.W. Forbs // Willey-Interscience New-York. London Sydney Toronto. - 1972. - pp. 23-44.

54 Helanter M. Drivers Reactions to Road Conditions Psychophysiological Approach / M. Helanter. - Goteborg: Institutionen fur Vagbyggnal, 1976. - 177 p.

55 K.A. Brookhius. The use of psychophysiology to assess driver status / Brookhius K.A., D. De Waard // Ergonomics. - 1993. - vol. 36. - №9. - pp. 1099-1100.

56 ГОСТ Р 56351-2015 Интеллектуальные транспортные системы. Косвенное управление транспортными потоками. Требования к технологии информирования участников дорожного движения посредством динамических информационных табло. - М.: Стандартинформ, 2015. - 8 с.

57 ГОСТ Р 56294-2014 Интеллектуальные транспортные системы. Требования к функциональной и физической архитектурам интеллектуальных транспортных систем. - М.: Стандартинформ. 2015. - 7 с.

58 Тур, А.А. Разработка методики обоснования технического и телематического обеспечения динамических информационных табло как



комплексного средства организации дорожного движения: диссертация ... канд. техн. наук: 05.22.01 / Тур Антон Александрович. - М., 2013.- 201 с.

59 Феофилова, А.А. Определение цикла расчета альтернативных маршрутов при динамическом перераспределении транспортных потоков [Электронный ресурс] / А. А. Феофилова // Инженерный вестник Дона. - 2013. - №2. - Режим доступа: <http://ivdon.ru/magazine/archive/n2y2013/1712>.

60 Зырянов В.В. Моделирование динамической маршрутизации транспортных потоков на улично-дорожной сети городов [Электронный ресурс] / В.В. Зырянов, Х. Барсело, А.А. Феофилова // V Юбилейный Московский международный Конгресс по интеллектуальным транспортным системам. - М., 2013. - Режим доступа: <http://pibd.ru/its5-2013-doklady-5> (дата обращения: 13.02.2017).

61 Ghosh B. Multivariate short-term traffic flow forecasting using time-series analysis / B. Ghosh, B. Basu, M. O'Mahony // IEEE Trans. Intell. Transportation Syst. - 2009. - №10 (2). - С.246-254.

62 Liang Z. City traffic prediction based on real-time traffic information for intelligent transportation systems / Z. Liang, Y. Wakahara // Proceedings of 13th International Conference on ITS Telecommunications. - 2013г. - pp. 378-383.

63 ГОСТ Р 56350-2015 Интеллектуальные транспортные системы. Косвенное управление транспортными потоками. Требования к динамическим информационным табло. - М.: Стандартинформ. 2015. - 17 с.

64 Якимов М.Р. Транспортное планирование / М.Р. Якимов. - М.: Логос, 2013. - 187 с.

65 Николаев Г.Б. Разработка комплексной методики оценки эффективности функционирования региональной транспортной сети: дис. ... канд. техн. наук: 05.22.01 / Николаев Герман Борисович. - СПб, 2003. - 181 с.

66 Михайлов А.Ю. Научные основы проектирования улично-дорожных сетей: дис. ... д-ра техн. наук: 18.00.04 / Михайлов Александр Юрьевич. - Иркутск, 2004. - 378 с.

67 Белов А.В. Повышение эффективности использования улично-дорожных сетей на основе управления формированием транспортных потоков: дис. ... канд. техн. наук: 05.22.01 / Белов Александр Владимирович. - М., 2014. - 134 с.

68 Лагереv Р. Ю. Методика оценки матриц корреспонденций транспортных потоков по данным интенсивности движения: дис. ... канд. техн. наук 05.22.10 / Лагереv Роман Юрьевич. - Иркутск, 2006. - 183 с.

69 Симеу А. Повышение эффективности работы транспортных узлов в городах на основе моделирования характеристик транспортных потоков (на примере г. Киева и городов Кипра): дис. ... канд. техн. наук: 18.00.04 / Симеу Андреас. - Киев, 1984. - 181 с.

70 Ярошенко А. М. Исследование транспортных потоков на улично-дорожной сети мегаполиса с использованием современных моделей потоков на графах: дис. ... канд. техн. наук: 05.22.01 / Ярошенко Андрей Михайлович. - Москва, 2015. - 188 с.

71 Баламирзоев Р. А. Математическое моделирование процессов регулирования движения транспортных потоков в мегаполисах: дис. ... канд. технических наук: 05.13.18 / Баламирзоев Радик Абдулович. - Махачкала, 2011. - 164 с.

72 Султанахмедов М. А. Повышение эффективности управления городскими транспортными потоками: автореферат дис. ... канд. техн. наук: 05.13.10 / Султанахмедов Магомедганапи Ахмедович. - Махачкала, 2012. - 18 с.

73 Тебеньков С.Е. Развитие методов мониторинга транспортных потоков для оперативного управления дорожным движением на магистралях: дис. ... канд. техн. наук: 05.22.10 / Тебеньков Сергей Евгеньевич. - Иркутск, 2013. - 231 с.

74 Кущенко С.В. Повышение эффективности организации движения на основе моделирования транспортных потоков: дис. ... канд. техн. наук: 05.22.10 / Кущенко Сергей Викторович. - Белгород, 2012. - 134 с.

75 Appelqvist I. Rerouting of road traffic. A comparison of different rerouting alternatives at unplanned disruptions in road traffic / I. Appelqvist, S. Örngren. - Sweden: Chalmers University of technology, 2014. - 102 p.

76 Ghalenoei M.R. Traffic modeling, estimation and control for large-scale congested urban networks / M.R. Ghalenoei. - Swiss: Federal institute of technology in Lausanne, 2014. - 196 p.

77 Monache M.L.D. Conservation laws for road traffic modeling / M.L.D. Monache. - France: Monache Université Nice Sophia Antipolis, 2014. - 142 p.

78 Wang C. Urban transportation networks: analytical modeling of spatial dependencies and calibration techniques for stochastic traffic simulators / Wang C. - USA: Massachusetts institute of technology, 2013. - 82 p.

79 Bernhardsson V. Real time highway traffic prediction based on dynamic demand modeling / V. Bernhardsson. - Sweden: Linköping University, 2014. - 124 p.

80 Hostettler R. Traffic Monitoring using Road Side Sensors: Modeling and Estimation / R. Hostettler. - Sweden: Lule  University of Technology, 2014. - 202 p.

81 Yang L. Stochastic Traffic Flow Modeling and Optimal Congestion Pricing / L. Yang. - USA: The University of Michigan, 2012. - 129 p.

82 ОДМ 218.2.020-2012 Методические рекомендации по оценке пропускной способности автомобильных дорог. - М.: Росавтодор, 2012. - 143 с.

83 Орлов А.И. Организационно-экономическое моделирование: учебник в 3 ч.. / А.И. Орлов. - М.: МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2009. - 2 ч.

84 Тюрин Ю.Н. Теория вероятностей и статистика: учебное пособие / Ю.Н. Тюрин. - М.: МЦНМО, 2004. - 256 с.

85 Королюк В.С. Справочник по теории вероятностей и матстатистике. 2-е изд. перераб. доп. / В.С. Королюк, Н.И. Портенко, А.В. Скороход, А.Ф. Турбин. - М.: Наука, 1985. - 640 с.

86 Андронов А.М. Теория вероятностей и математическая статистика / А.М. Андронов, Е.А. Копытов, Л.Я. Гринглаз. - СПб., 2004. - 460 с.

87 Интеллектуальные системы безопасности [Электронный ресурс]. - Режим доступа: <http://www.iss.ru> (Дата обращения: 18.02.2013).

88 Cooper L.P. Status of advanced for space-based orbital transfer vehicle / L.P. Cooper. - Chicago: University of Chicago Press, 1988. - 245 p.

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

90 Тебеньков С.Е. Активное управление дорожным движением. Перспективы применения в Российской Федерации / С.Е. Тебеньков, А.Ю. Михайлов // Организация и безопасность дорожного движения в крупных городах: Сборник докладов X международной конференции. - 2012. - С. 138-142.

91 Guillaume L. Road Traffic Data: Collection Methods and Applications / L. Guillaume. - Spain: European Commission Joint Research Centre, 2008. - 55 p.

92 Traffic Detector Handbook, Third Edition. - USA: Virginia, 2006. - 291 p. - vol. 1.

93 Traffic Detector Handbook, Third Edition. - USA: Virginia, 2006. - 396 p. - vol. 2.

94 Рудневский А. Определение местоположения по базовым станциям в сетях GSM [Электронный ресурс] / А. Рудневский // Беспроводные технологии. - 2010. - №3. - Режим доступа: [http://wireless-e.ru/assets/files/pdf/2010\\_03\\_16.pdf](http://wireless-e.ru/assets/files/pdf/2010_03_16.pdf).

95 Зырянов В.В. Критерии оценки условий движения и моделей транспортных потоков / В.В. Зырянов. - Кемерово: Кузбасвузиздат, 1993. - 164 с.

96 Михеева Т.И. Модели транспортных потоков в интеллектуальных транспортных системах / Т.И. Михеева, С.В. Михеев, И.Г. Богданова // Научное обозрение. Технические науки. - 2014. - № 2. - С. 63-64.

97 Algers S. Is it time to use activity-based urban transport models? A discussion of planning needs and modelling possibilities / S. Algers, J. Eliasson, L. Mattsson // Ann Reg Sci. - 2005. - №39. - pp. 767-789.

98 Донченко В.В. Транспортное моделирование: методологические основы, программные средства и практические рекомендации / В.В. Донченко и др. - М.: Автополис-плюс, 2008. - 112 с.

99 Зырянов В.В., Барсело Х., Феофилова А.А. Моделирование динамической маршрутизации транспортных потоков на улично-дорожной сети городов [Электронный ресурс] / В.В. Зырянов, Х. Барсело, А.А. Феофилова // V Юбилейный Московский международный Конгресс по интеллектуальным транспортным системам. - М. - 2013. - Режим доступа: <http://pibd.ru/its5-2013-doklady-5> (дата обращения: 13.02.2017)

100 Кущенко Л.Е. Повышение эффективности организации движения в городе на основе минимизации заторов: дис. ... канд. техн. наук: 05.22.10 / Кущенко Лилия Евгеньевна. - Орел, 2016. - 121 с.

101 Семенов В.В. Математическое моделирование динамики транспортных потоков мегаполиса / В.В. Семенов. - М.: ИПМ им. М.В. Келдыша РАН, 2004. - 38 с.

102 Гай Л.Е. Заторы как следствие роста автомобилизации. Возможность снижения заторовых явлений / Л.Е. Гай, А.И. Шутов, С.В. Кущенко // М.: Автотранспортное предприятие. - 2013. - №4. - С.25-27.

103 Рушминский Л. З. Математическая обработка результатов эксперимента / Л. З. Рушминский. М.: Наука, 1971. - 352 с.

104. Морозов Д.Ю. Разработка инструмента оценки точности качественных матриц корреспонденций для систем косвенного управления транспортными потоками / Д.Ю. Морозов, С.В. Жанказиев, А.И. Воробьев // Вестник московского автомобильно-дорожного государственного технического университета (МАДИ). - 2017. - №4(51). - С.23-32.

105. Государственная система экстренного реагирования на аварии «ЭРА-ГЛОНАСС» // М.: Транспортная стратегия XXI век. - 2014. - №25. - С. 8-9.

106. Мобильное позиционирование в GSM-сетях [Электронный ресурс] // Компьютерная газета. - Режим доступа: <http://www.nestor.minsk.by/kg/2004/06/kg40611.html> (Дата обращения: 20.05.2019.).

107. Швецов В.И. Математическое моделирование транспортных потоков / В.И. Швецов // Автоматика и телемеханика. - 2003. - №11.- С.3-46.

108. Бекмагамбетов М.М. Анализ современных программных средств транспортного моделирования / М.М. Бекмагамбетов, А.В. Кочетков // Журнал автомобильных инженеров. - 2012. - №6(77). - С.25-34.

109. Бекмагамбетов, М. М. Анализ современных программных средств транспортного моделирования / М.М. Бекмагамбетов, А.В. Кочетков // Журнал автомобильных инженеров. - 2012. - №6(77). - С. 25-34.

110. Лебедева О.А. Моделирование грузовых матриц корреспонденций гравитационным и энтропийным методами / О.А. Лебедева, Д.В. Антонов // Вестник иркутского государственного технического университета. - 2015. - №5 (100). - С.118-122.

111. Морозов Д.Ю. Проектирование систем косвенного управления транспортными потоками на основе качественных матриц корреспонденции / Д. Ю. Морозов // Вестник МАДИ. - 2012. - № 4(31). - С.62-65.

112. Морозов Д.Ю. Проектирование интеллектуальных транспортных систем [Электронный ресурс] / Д.Ю. Морозов, Р.Ф. Халилев // Науковедение. - 2014. - №4(23). - С.51. - Режим доступа: [https://elibrary.ru/download/elibrary\\_22675647\\_12490823.pdf](https://elibrary.ru/download/elibrary_22675647_12490823.pdf).

113. Морозов Д.Ю. Исследование зависимости точности качественных матриц корреспонденции от точности оборудования и его размещения на дорожной сети / Д.Ю. Морозов, С.В. Жанказиев, А.И. Воробьев // Транспорт Российской Федерации. - 2015. - № 8. - С.44-47.

114. Морозов Д.Ю. Тенденции развития автономных интеллектуальных транспортных систем в России / Д.Ю. Морозов, С.В. Жанказиев, А.И. Воробьев // Транспорт Российской Федерации. - 2016. - №5. - С. 26-28.

115. Морозов Д.Ю. Определение величины минимальной допустимой точности качественных матриц корреспонденций с помощью имитационного моделирования. / Д.Ю. Морозов, С.В. Жанказиев, А.И. Воробьев // Транспорт Российской Федерации. - 2016. - № 2-3(63-64). - С. 54-58.

116. Морозов Д.Ю. Опыт разработки кооперативных и автономных транспортных систем в российской федерации. / Д.Ю. Морозов С.В. Жанказиев, А.Ю. Забудский // Транспорт России: проблемы и перспективы – 2016. Материалы Международной научно-практической конференции. - 2016. - С 63-67.

117. Морозов Д.Ю. Роль качественных матриц корреспонденций в перспективных интеллектуальных транспортных системах / Д.Ю. Морозов // Мир транспорта и технологических машин. - 2019. - №4 (67). - С. 82-87.

118. Morozov D.Yu. Efficiency of Operation and Functioning of the System of an Indirect Transport Flow Regulation and Control / D.Yu. Morozov, S.V. Zhankaziev, A.N. Novikov, A.I. Vorobyev, A.V. Kulev // International Journal of Applied Engineering Research. - 2017. - vol.12, №13. - pp. 3645-3652.

119. Morozov D. Definition of Accuracy of Qualitative Correspondence Matrixes for Indirect Traffic Flow Control and Regulation / D. Morozov, S. Zhankaziev, A. Novikov, A. Vorobyev, A. Kulev // International Journal of Applied Engineering Research. - 2017. - vol.12, №13. - pp. 3653-3658.

120. Morozov D. Scientific and methodological approaches to the development of a feasibility study for intelligent transportation systems / Morozov D., Zhankaziev, S., Gavriilyuk, M., Zabudsky, A. // Transportation Research Procedia. - 2018. - vol.36. - pp. 841-847.

## ПРИЛОЖЕНИЕ А

Перечень изученных научных работ в области управления транспортными потоками, формированию корреспонденций транспортных потоков

Таблица А.1 – перечень изученных научных работ в области управления транспортными потоками, формированию корреспонденций транспортных потоков

№	Информация об исполнителях	Описание работы	Основные положения
1	Якимов Михаил Ростиславович	Монография: «Транспортное планирование» [64]	Научная работа посвящена особенностям создания имитационных моделей различных аспектов дорожного движения, транспортного спроса и предложения, а также отражена информация о необходимых исходных данных для построения моделей.
2	Жанказиев Султан Владимирович	Диссертация доктора технических наук: «Научные основы и методология формирования интеллектуальных транспортных систем в автомобильно-дорожных комплексах городов и регионов» [5]	Работа посвящена теоретической проработке методов формирования и реализации жизненного цикла проектов ИТС, определяемую принципом построения архитектуры индикаторов эффективности. В качестве примера рассматривалось применение разработанных методов для систем косвенного управления транспортными потоками с подробным описанием методологии обоснования эффективных технических решений, основанные на связи параметров психо-модели поведения УДД и КУТП, теоретических основ и научно-методических подходов к комплексному проектированию КУТП, теоретических основ и научно-методических подходов к разработке принципов выбора и апробации моделей физической архитектуры КУТП с применением аппаратно-программных комплексов психологического моделирования и микро-моделирования.
3	Николаев Герман Борисович	Диссертация доктора технических наук: «Разработка комплексной методики оценки эффективности	Определение роли транспортной сети в развитии региона, разработка модели и комплексной методики оценки эффективности функционирования транспортной сети региона, разработка



		функционирования региональной транспортной сети» [65]	методики оценки эффективности функционирования транспортной сети региона.
4	Михайлов Александр Юрьевич	Диссертация доктора технических наук: «Научные основы проектирования улично-дорожных сетей» [66]	Разработка метода оценки пропускной способности УДС, разработка метода робастной оценки существующих матриц корреспонденций с использованием данных обследований интенсивности движения, исследования свойств этого метода, разработка рекомендаций по его использованию, разработка методики оценки точности исходных данных для восстановления существующих матриц корреспонденций ТП.
5	Воробьев Андрей Игоревич	Дисс. канд. техн. наук «Формирование методики оптимизации телематического комплекса технических средств интеллектуальной системы маршрутного ориентирования» [4]	Детерминация основной элементной базы систем КУТП за счет анализа зарубежного опыта внедрения систем КУТП, разработка математической модели определения минимального расстояния от транспортного узла до места установки ДИТ. Разработка нейронной модели, определяющей возможность установки ДИТ по условию наличия возможности отвлечения внимания водителей от дорожной обстановки.
6	Рыжков Игорь Петрович	Дисс. канд. техн. наук «Моделирование транспортных потоков в городах при сетевых воздействиях» [42]	Разработка и создание комплекса моделей и алгоритмов, которые в совокупности представляют собой методологию расчета сетевых воздействий на транспортные потоки.
7	Белов Александр Владимирович	Дисс. канд. техн. наук «Повышение эффективности и использования улично-дорожных сетей на основе активного управления формированием транспортных потоков» [67]	Разработка нового способа организации системы управления дорожным движением, отличающийся регулированием доступа к УДС и передачей управляющих воздействий непосредственно каждому водителю. Разработка нового критерия эффективности работы УДС, позволяющий оптимизировать производительность при регулировании доступа. Разработана математическая модель оценки эффекта от управления доступом у УДС, учитывающая закономерности изменения спроса и затрат времени. Разработка алгоритмов работы системы управления дорожным движением на основе директивного

			управления формированием транспортных потоков.
8	Лагерев Роман Юрьевич	Дисс. канд. техн. наук «Методика оценки матриц корреспонденции транспортных потоков по данным интенсивности движения» [68]	Разработан принципиально новый подход к оценке существующего распределения транспортных потоков по УДС с использованием только данных обследований интенсивности движения. Разработаны методы робастного оценивания матриц корреспонденций ТП, сводящиеся к задачам линейного и квадратичного программирования со смешанными ограничениями. Исследование свойств ошибок, возникающих при сведении данных обследований интенсивности движения в единую выборку, предложена методика выявления в этих данных выбросов.
9	Симеу Андреас	Дисс. канд. техн. наук Повышение эффективности работы транспортных узлов в городах на основе моделирования характеристик транспортных потоков (на примере г. Киева и городов Кипра) [69]	Исследование вероятностного характера транспортного потока и разработка частных теоретических моделей, отражающих вероятностный характер исследованных характеристик на основе анализа данных, полученных в ходе натурных экспериментов. Построение обобщенной модели транспортного процесса на транспортном узле, которая имеет практическое значение для оценки эффективности его работы при различных схемах организации движения.
10	Ярошенко Андрей Михайлович	Дисс. канд. техн. наук Исследование транспортных потоков на улично-дорожной сети мегаполиса с использованием современных моделей потоков на графах [70]	Решение задачи редукции движения на УДС городов к движению на регулярных сетях с конечным набором параметров. Установка закономерностей влияния поведения участников движения на характеристики потока на сетях с использованием методов математической статистики на основе экспериментальных результатах. Получение численных оценок средних значений характеристик движения ТП в зависимости от действующих правил управления ТП.
11	Баламирзоев Радик Абдулович	Дисс. канд. техн. наук Математическое моделирование процессов регулирования	Разработан способ моделирования движения автомобильных потоков для двухполосных дорог, основанный на использовании процессов Маркова. Сформирована математическая модель

		движения транспортных потоков в мегаполисах [71]	ТП, которая позволяет оценить транспортно-эксплуатационные качества различных участков дорог для различных режимов эксплуатации. Разработана имитационная модель, позволяющая адекватно, имитировать движения различных потоков автомобилей и прогнозировать основные транспортно-эксплуатационные характеристики дорог. Разработан пакет прикладных программ, позволяющий моделировать процессы и условия эксплуатации дороги, учитывая с максимальной полнотой показателей дорожного движения.
12	Султанахмедов Магомедганапи Ахмедович	Дисс. Канд. Техн. наук Повышение эффективности управления городскими транспортными потоками [72]	Разработка имитационная модель, которая позволяет с определенным приближением, имитировать движение потоков автомобилей и прогнозировать основные транспортно-эксплуатационные показатели. Модель может быть использована для сравнения различных вариантов развития транспортной системы и выбора наиболее приемлемых из них.
13	Тебеньков Сергей Евгеньевич	Дисс. Канд. Техн. наук Развитие методов мониторинга транспортных потоков для оперативного управления дорожным движением на магистралях [73]	Установлены свойства и величины ошибок, возникающих при сведении данных единовременных замеров интенсивности движения на магистрали в единую выборку. Выявлена оптимальная модель расчета матрицы корреспонденций на магистрали в случаях использования данных, поступающих с детекторов транспорта. Установлены факторы, влияющие на точность оценки матрицы корреспонденции и зависимости, характеризующие влияние этих факторов на оценки распределения потоков ТС.
14	Кущенко Сергей Викторович	Дисс. Канд. Техн. наук «Повышение эффективности организации движения на основе моделирования транспортных потоков» [74]	Развитие теоретических подходов по ОДД и устройству автомобильных стоянок, влияющих на загрузку УДД, экологическую обстановку, экономическую составляющую дорожного движения в целом.
15	Isa Appelqvist Sofia Örngren	Магистерская диссертация:	Исследование возможности решение проблем транспортных заторов с

		Rerouting of road traffic. A comparison of different rerouting alternatives at unplanned disruptions in road traffic (Перераспределение транспортных потоков Сравнение различных вариантов перераспределения в нештатных ситуациях) [75]	помощью перемаршрутизации транспортных потоков методом сравнения различных альтернатив перемаршрутизации в программах имитационного моделирования транспортных потоков при незапланированных сбоях в дорожном движении (ДТП, ЧС и т.п.). В качестве моделей УДС и ТП выступают три реально существующих района Западной части Швеции.
16	Mohsen Ramezani Ghalenoei	Магистерская диссертация: Traffic modeling, estimation and control for large-scale congested urban networks (Транспортное моделирование, оценка и контроль трафика в условиях перегруженности городской дорожной сети) [76]	Исследование новых методов оценки параметров транспортных потоков с применением «плавающих ТС», разработка метода интеграции данных с плавающих ТС с кинематической волновой теорией транспортных потоков и методами интеллектуального анализа данных для моделирования пространственной и временной динамики формирования транспортных заторов на основных маршрутах движения, разработка модели расчета времени проезда участка сети дорог для оценки распределения времени прохождения УДС с учетом пространственных и временных корреляций между состояниями ТП.
17	Maria Laura Delle Monache	Докторская диссертация: Lois de conservation pour la modélisation du trafic routier (Законы сохранения в рамках моделирования дорожного движения) [77]	Проводится исследование гибридной модели, состоящей из следующих моделей: модель движения транспортных потоков в условиях сужения проезжей части и модель распределения транспортных потоков на автомагистральных развязках. Первая модель используется для моделирования движения автобуса, который движется со скоростью ниже, чем скорость ТП, что снижает пропускную способность дороги. Вторая макроскопическая модель создана для моделирования развязок автомагистралей на основе модели движения Лайтхилля-Уизема-Ричардса.
18	Carter (Carter Robert Ren-Deh) Wang	Магистерская диссертация: Urban transportation networks : analytical	В данной диссертации разрабатывается метод разделения улично-дорожной сети на перекрывающиеся участки (подсети) с целью анализа Марковских

		<p>modeling of spatial dependencies and calibration techniques for stochastic traffic simulators (Городские транспортные сети: аналитическое моделирование пространственных зависимостей и методов калибровки для стохастических симуляторов транспортных потоков) [78]</p>	<p>тандемных сетей с конечной пропускной способностью. Метод разработан для решения проблемы управления транспортными потоками в городских условиях. Также работа посвящена изучению калибровки параметров выбора маршрута движения транспортных средств в микроскопических имитационных моделях транспортных потоков.</p>
19	Viktor Bernhardsson	<p>Магистерская диссертация: Real time highway traffic prediction based on dynamic demand modeling (Прогнозирование транспортных потоков в режиме реального времени на основе моделирования динамического спроса) [79]</p>	<p>В диссертации основное внимание уделяется внедрению и оценке прогнозирования транспортных потоков путем запуска модели клеточных автоматов с опережением на 5 минут. В целях улучшения результатов прогнозирования транспортных потоков в системе «Mobile Millennium Stockholm» была внедрена структура динамических ресурсов спроса и пропускной способности. Также была разработана модель, которая корректирует коэффициенты разделения в макроскопической модели транспортных потоков.</p>
20	Roland Hostettler	<p>Докторская диссертация; Traffic Monitoring using Road Side Sensors: Modeling and Estimation (Мониторинг параметров транспортных потоков с помощью транспортных детекторов: моделирование и оценка) [80]</p>	<p>Предлагаются алгоритмы мониторинга параметров транспортных потоков с использованием датчиков дорожного покрытия. Рассматриваемые датчики представляют собой комбинацию акселерометра, измеряющего дорожные поверхностные колебания (волны) и магнитометр, измеряющий магнитные возмущения, вызываемые автомобилями, проходящими через датчики. Задачи исследования: (1) возможность использования колебания дорожной поверхности для мониторинга движения, (2) Моделирование дорожных поверхностных колебаний и (3) объединение измерений акселерометра и магнитометра.</p>
21	Li Yang	<p>Докторская диссертация:</p>	<p>Предлагается инновационная стохастическая модель транспортных</p>

	<p>Stochastic Traffic Flow Modeling and Optimal Congestion Pricing (Стохастическое моделирование транспортных потоков и оптимальное ценообразование) [81]</p>	<p>потоков для повышения качества прогнозирования загрузки УДС. Также проводится разработка алгоритмов калибровки параметров модели в режиме реального времени и алгоритмов оценки состояния трафика для предлагаемой модели.</p>
--	---	---

## ПРИЛОЖЕНИЕ Б

Данные, полученные в ходе эксперимента при недооценке КМК в  
идеальной модели

Таблица Б.1 – Расчетные КМК

$P_{\text{КМК}}, \%$	Исток	КМК		«Сторонние ТП»	
		ОП №1	ОП №2	ОП №1	ОП №2
100, 95	1	570	–	30	–
	2	1900	1900	100	100
	3	1900	1710	100	90
	4	–	950	–	50
	$\Sigma$	8930		470	
90	1	540	–	60	–
	2	1800	1800	200	200
	3	1800	1620	200	180
	4	–	900	–	100
	$\Sigma$	8460		940	
85	1	510	–	90	–
	2	1700	1700	300	300
	3	1700	1530	300	270
	4	–	850	–	150
	$\Sigma$	7990		1410	
80	1	480	–	120	–
	2	1600	1600	400	400
	3	1600	1440	400	360
	4	–	800	–	200
	$\Sigma$	7520		1880	
70	1	420	–	180	–
	2	1400	1400	600	600
	3	1400	1260	600	540
	4	–	700	–	300
	$\Sigma$	6580		2820	
60	1	360	–	240	–
	2	1200	1200	800	800
	3	1200	1080	800	720
	4	–	600	–	400
	$\Sigma$	5640		3760	
50	1	300	–	300	–
	2	1000	1000	1000	1000
	3	1000	900	1000	900
	4	–	500	–	500
	$\Sigma$	4700		4700	

Таблица Б.2 – Наиболее оптимальные варианты КУТП

$P_{\text{КМК}}, \%$	Исток	Объект притяжения						
		ОП1	ОП2	ОП1	ОП2	ОП1	ОП2	
		Осн/ альт	Осн/ альт	Осн/ альт	Осн/ альт	Осн/а льт	Осн/ альт	
100, 95		Вариант КУТП 1		Вариант КУТП 2		Вариант КУТП 3		
	1	100/-	-	100/-	-	100/-	-	
	2	70/30	65/35	60/40	70/30	50/50	60/40	
	3	45/55	100/-	50/50	40/60	50/50	90/10	
	4	-	100/-	-	100/-	-	30/70	
		Вариант КУТП 4		Вариант КУТП 5		Вариант КУТП 6		
	1	100/-	-	100/-	-	100/-	-	
	2	50/50	60/40	60/40	50/50	50/50	45/55	
	3	50/50	70/30	50/50	60/40	50/50	60/40	
	4	-	30/70	-	50/50	-	60/40	
	90		Вариант КУТП 1		Вариант КУТП 2		Вариант КУТП 3	
		1	100/-	-	100/-	-	100/-	-
2		60/40	70/30	50/50	45/55	50/50	60/40	
3		50/50	40/60	50/50	60/40	50/50	90/10	
4		-	100/-	-	60/40	-	30/70	
		Вариант КУТП 4		Вариант КУТП 5		Вариант КУТП 6		
1		100/-	-	100/-	-	100/-	-	
2		70/30	70/30	50/50	60/40	60/40	50/50	
3		50/50	60/40	50/50	70/30	50/50	60/40	
4		-	100/-	-	30/70	-	50/50	
85			Вариант КУТП 1		Вариант КУТП 2		Вариант КУТП 3	
		1	100/-	-	100/-	-	100/-	-
	2	30/70	40/60	50/50	70/30	40/60	70/30	
	3	30/70	60/40	40/60	40/60	40/60	40/60	
	4	-	100/-	-	100/-	-	100/-	
		Вариант КУТП 4		Вариант КУТП 5		Вариант КУТП 6		
	1	100/-	-	100/-	-	100/-	-	
	2	50/50	70/30	60/40	70/30	70/30	70/30	
	3	65/35	30/70	50/50	40/60	50/50	100/-	
	4	-	100/-	-	100/-	-	100/-	
	80		Вариант КУТП 1		Вариант КУТП 2		Вариант КУТП 3	
		1	100/-	-	100/-	-	100/-	-
2		30/70	40/60	50/50	70/30	40/60	70/30	
3		30/70	60/40	40/6	40/60	40/60	40/60	
4		-	100/-	-	100/-	-	100/-	
		Вариант КУТП 4		Вариант КУТП 5		Вариант КУТП 6		
1		100/-	-	100/-	-	100/-	-	
2		50/50	70/30	70/30	70/30	70/30	75/25	
3		65/35	30/70	50/50	100/-	60/40	85/15	
4		-	100/-	-	100/-	-	100/-	



Продолжение таблицы Б.2

$P_{\text{КМК}}, \%$	Исток	Объект притяжения						
		ОП1	ОП2	ОП1	ОП2	ОП1	ОП2	
		Осн/ альт	Осн/ альт	Осн/ альт	Осн/ альт	Осн/а льт	Осн/ альт	
70		Вариант КУТП 1		Вариант КУТП 2		Вариант КУТП 3		
	1	100/-	-	100/-	-	100/-	-	
	2	30/70	30/70	30/70	40/60	30/70	40/60	
	3	30/70	30/70	30/70	40/60	30/70	60/40	
	4	-	30/70	-	30/70	-	30/70	
		Вариант КУТП 4		Вариант КУТП 5		Вариант КУТП 6		
	1	100/-	-	100/-	-	100/-	-	
	2	30/70	80/20	50/50	70/30	30/70	50/50	
	3	40/60	30/70	65/35	30/70	30/70	30/70	
	4	-	50/50	-	100/-	-	100/-	
	60		Вариант КУТП 1		Вариант КУТП 2		Вариант КУТП 3	
		1	100/-	-	100/-	-	100/-	-
2		30/70	30/70	30/70	40/60	30/70	40/60	
3		30/70	30/70	30/70	40/60	30/70	60/40	
4		-	30/70	-	30/70	-	100/-	
		Вариант КУТП 4		Вариант КУТП 5		Вариант КУТП 6		
1		100/-	-	100/-	-	100/-	-	
2		30/70	80/20	30/70	80/20	30/70	30/70	
3		40/60	30/70	30/70	30/70	30/70	70/30	
4		-	50/50	-	100/-	-	30/70	
50			Вариант КУТП 1		Вариант КУТП 2		Вариант КУТП 3	
		1	100/-	- / -	100/-	-	100/-	-
	2	30/70	30/70	30/70	30/70	30/70	30/70	
	3	30/70	70/30	30/70	70/30	30/70	50/50	
	4	- / -	50/50	-	30/70	-	30/70	
		Вариант КУТП 4		Вариант КУТП 5		Вариант КУТП 6		
	1	100/-	-	100/-	-	100/-	-	
	2	30/70	30/70	30/70	80/20	30/70	80/20	
	3	30/70	30/70	40/60	30/70	30/70	30/70	
	4	-	30/70	-	50/50	-	100/-	

Таблица Б.3 – Общие выходные данные модели УДС с учетом КУТП

$P_{\text{КМК}}, \%$	Параметр	Вариант КУТП					
		1	2	3	4	5	6
100, 95	$N$ , авт/ч	9411,4	9405,7	9308,6	9380,5	9271,4	9117,1
	$t_{\text{общ}}$ , сек	60042	62904	55596	58854	56694	57396
	$t_{\text{в}}$ , МИН	60					
90	$N$ , авт/ч	9405,7	9117,1	9308,6	9294,3	9380,5	9271,4
	$t_{\text{общ}}$ , сек	62904	57396	55596	61202	58854	56694
	$t_{\text{в}}$ , МИН	60					
85	$N$ , авт/ч	7865,7	8457,1	8051,4	8800,0	9405,7	9191,4
	$t_{\text{общ}}$ , сек	85542	80538	84318	85176	62904	82224

	$t_b$ , МИН	70	72	75	71	60	
80	$N$ , АВТ/Ч	7865,7	8457,1	8051,4	8800	9191,4	9150,1
	$t_{общ}$ , СЕК	85542	80538	84318	85200	82224	83891
	$t_b$ , МИН	70	72	75	71	60	
70	$N$ , АВТ/Ч	7965,7	7660,0	7865,7	7400,0	8800	7708,6
	$t_{общ}$ , СЕК	108174	92424	85542	102960	85200	96378
	$t_b$ , МИН	79	77	70	76	71	75
60	$N$ , АВТ/Ч	7965,7	7660	7865,7	7400	7391,4	8308,6
	$t_{общ}$ , СЕК	108174	92400	85542	102960	109086	99426
	$t_b$ , МИН	79	77	70	76	73	75
50	$N$ , АВТ/Ч	7797,0	8308,6	7608,6	7965,7	7400	7391,4
	$t_{общ}$ , СЕК	90420	99426	112728	108174	102960	109086
	$t_b$ , МИН	75	75	85	79	76	73

Таблица Б.4 – Выходные данные основных дорог модели УДС с учетом КУТП

$P_{ккмк}$ , %	Вариант КУТП	$N$ , авт/ч			$V$ , км/ч			$q$ , авт/км		
		Дорога			Дорога			Дорога		
		1	2	3	1	2	3	1	2	3
100, 95	1	2845,0	3285,7	3348,6	48,8	44,6	38,9	25,7	27,7	37,3
	2	3300,0	2800,0	3374,3	45,9	44,5	50,1	28,4	18,5	22,8
	3	3091,4	3320,0	2934,3	47,4	48,5	51,0	20,9	24,6	19,2
	4	3280,1	3098,4	2864,2	47,4	48,4	49,8	27,7	21,8	18,6
	5	3325,7	3142,9	2794,3	42,5	47,8	52,1	26,1	22,9	17,8
	6	3357,1	2991,4	2742,9	45,3	50,6	52,7	27,1	20	16,2
90	1	3300,0	2800,0	3374,3	45,9	44,5	50,1	28,4	18,5	22,8
	2	2488,6	3140,0	3622,9	49,5	40,6	40,0	23,7	36,0	35,3
	3	3091,4	3320,0	2934,3	47,4	48,5	51,0	20,9	24,6	19,2
	4	3154,3	2751,4	3437,1	48,5	39,8	48,5	30,7	28,0	24,8
	5	3280,1	3098,4	2864,2	47,4	48,4	49,8	27,7	21,8	18,6
	6	3325,7	3142,9	2794,3	42,5	47,8	52,1	26,1	22,9	18,7
85	1	3037,1	2802,9	2231,4	21,0	52,4	30,1	73,2	18,0	43,8
	2	3565,7	1877,1	3040,0	29,5	53,4	32,4	60,0	11,9	46,7
	3	3440,0	1794,3	2845,7	26,9	53,0	25,9	62,9	11,3	60,7
	4	3474,3	2074,3	3297,1	46,4	38,5	49,7	35,0	52,0	49,7
	5	3714,3	2100,6	3374,3	45,9	44,5	50,1	38,4	18,5	22,8
	6	2500,0	3125,7	3628,6	49,5	39,8	40,2	23,7	48,0	34,8
80	1	3037,1	2802,9	2231,4	21,0	52,4	30,1	73,2	18,0	43,8
	2	3565,7	1877,1	3040,0	29,5	53,4	32,4	60,0	11,9	46,7
	3	3440,0	1794,3	2845,7	26,9	53,0	25,9	62,9	11,3	60,7
	4	3474,3	2074,3	3297,1	46,4	38,5	49,7	35,0	52,0	49,7
	5	2500,0	3125,7	3628,6	49,5	39,8	40,2	23,7	48,0	34,8
	6	2475,2	3085,1	3495,8	48,7	40,5	39,8	24,1	49,2	35,7
70	1	3340,0	2168,6	2417,1	25,6	53,1	51,7	65,9	13,6	15,8
	2	3165,7	1997,1	2517,1	23,2	53,4	51,6	70,9	12,5	16,4
	3	3037,1	2802,9	2231,4	21,0	52,4	30,1	73,2	18,0	43,8
	4	3308,6	1471,4	2628,6	25,6	48,0	9,9	66,4	9,2	109,7
70	5	3474,3	2074,3	3297,1	46,4	35,5	49,7	35,0	52,0	49,7
	6	3322,9	1634,3	2717,1	26,1	53,2	26,1	64,6	10,3	52,1

60	1	3340	2168,6	2417,1	25,6	53,1	51,7	65,9	13,6	15,8
	2	3165,7	1997,1	2517,1	23,2	53,4	51,6	70,9	12,5	16,4
	3	3234,3	1751,5	2508,6	24,6	53,3	17,8	67,5	11,1	78,3
	4	3291,4	1477,14	2640	26	53,9	10,15	66,1	9,3	109
	5	3440	1245,7	2711,4	26,8	54	10,1	63,4	7,6	107,4
	6	3322,9	1634,3	2717,1	26,1	53,2	26,1	64,6	10,3	52,1
50	1	2951,4	2577,1	2282,9	21,4	52,7	44,7	75,1	16,4	19,2
	2	3100	3017,1	2182,9	22	52,6	42,5	72,7	19,3	19,6
	3	3140	2520	2271,4	22,5	52,5	50,4	71,1	16,1	15,7
	4	3340	2168,6	2417,1	25,6	53,1	51,7	65,9	13,6	15,8
	5	3291,4	1477,14	2640	26	53,9	10,15	66,1	9,3	109,0
	6	3440	1245,7	2711,4	26,8	54	10,1	63,4	7,6	107,4

## ПРИЛОЖЕНИЕ В

Данные, полученные в ходе эксперимента при переоценке КМК в идеальной модели

Таблица В.1 – Расчетные базовые КМК

$P_{\text{КМК}}, \%$	Исток	КМК		$P_{\text{КМК}}, \%$	Исток	КМК	
		ОП №1	ОП №2			ОП №1	ОП №2
85	1	565	–	50	1	756	–
	2	2012	1969		2	2448	3024
	3	2012	1753		3	3528	2398
	4	–	953		4	–	1440
	$\Sigma$	9264			$\Sigma$	13594	
80	1	680	–	60	1	819	–
	2	1868	2048		2	2400	2640
	3	2093	1904		3	2040	1809
	4	–	1125		4	–	1245
	$\Sigma$	9718			$\Sigma$	10953	
70	1	756	–				
	2	1980	2288				
	3	1800	2291				
	4	–	939				
	$\Sigma$	10054					

Таблица В.2 – Характеристики базовых моделей без учета КУТП

$P_{\text{КМК}}, \%$	Параметр	№ дороги			УДС
		1	2	3	
85	$N$ , авт/ч	235,4	1480	3750	5968,6
	$V$ , км/ч	53,5	3,9	17,8	21,8
	$q$ , авт/км	1,3	130	89,4	27,3
	$t_{\text{в}}$ , мин	–			94
	$t_{\text{общ}}$ , сек	–			107049,8
80	$N$ , авт/ч	268,4	1774,3	3750,6	6211,4
	$V$ , км/ч	53,6	4,6	17,0	15,3
	$q$ , авт/км	2,1	130	89,3	29,9
	$t_{\text{в}}$ , мин	–			96
	$t_{\text{общ}}$ , сек	–			132326,5
70	$N$ , авт/ч	417,1	2151,4	3571,4	6248,6
	$V$ , км/ч	54,1	6,7	15,7	13,8
	$q$ , авт/км	3,6	123,1	92,9	28,8
	$t_{\text{в}}$ , мин	–			98
	$t_{\text{общ}}$ , сек	–			141312,2
60	$N$ , авт/ч	311,4	1837,1	3750	6377,1
	$V$ , км/ч	53,9	5,0	17,7	14,0
	$q$ , авт/км	2,7	130	89,5	29,9
	$t_{\text{в}}$ , мин	–			104
	$t_{\text{общ}}$ , сек	–			142396,6

## Продолжение таблицы В.2

$P_{\text{кнк}}, \%$	Параметр	№ дороги			УДС
		1	2	3	
50	$N, \text{ авт/ч}$	293,7	1620	3750	6391,4
	$V, \text{ км/ч}$	53,4	4,2	18,3	13,3
	$q, \text{ авт/км}$	2,4	130	86,6	30,6
	$t_{\text{в}}, \text{ мин}$	–			110
	$t_{\text{общ}}, \text{ сек}$	–			151875,7

Таблица В.3 – Наиболее оптимальные варианты КУТП

$P_{\text{кнк}}, \%$	Исток	Объект притяжения								
		ОП1		ОП2		ОП1		ОП2		
		Осн/ альт	Осн/ альт	Осн/ альт	Осн/ альт	Осн/ альт	Осн/ альт	Осн/ альт	Осн/ альт	
85		Вариант КУТП 1		Вариант КУТП 2		Вариант КУТП 3				
	1	100/-	-	100/-	-	100/-	-			
	2	70/30	65/35	50/50	60/40	60/40	60/40			
	3	40/55	100/-	50/50	90/10	50/50	60/40			
	4	-	100/-	-	30/70	-	70/30			
		Вариант КУТП 4		Вариант КУТП 5		Вариант КУТП 6				
	1	100/-	-	100/-	-	100/-	-			
	2	50/50	50/50	40/60	50/50	50/50	50/50			
	3	50/50	50/50	50/50	80/20	50/50	60/40			
	4	-	70/30	-	30/70	-	60/40			
	80		Вариант КУТП 1		Вариант КУТП 2		Вариант КУТП 3			
		1	100/-	-	100/-	-	100/-	-		
2		70/30	65/35	50/50	60/40	60/40	70/30			
3		40/55	100/-	50/50	90/10	50/50	40/60			
4		-	100/-	-	30/70	-	100/-			
		Вариант КУТП 4		Вариант КУТП 5		Вариант КУТП 6				
1		100/-	-	100/-	-	100/-	-			
2		60/40	60/40	40/60	50/50	50/50	50/50			
3		50/50	60/40	50/50	80/20	50/50	60/40			
4		-	70/30	-	30/70	-	60/40			
70			Вариант КУТП 1		Вариант КУТП 2		Вариант КУТП 3			
		1	100/-	-	100/-	-	100/-	-		
	2	50/50	60/90	40/60	50/50	50/50	50/50			
	3	50/50	90/10	50/50	80/20	50/50	60/40			
	4	-	30/70	-	30/70	-	60/40			
		Вариант КУТП 4		Вариант КУТП 5		Вариант КУТП 6				
	1	100/-	-	100/-	-	100/-	-			
	2	45/55	45/55	60/40	60/40	50/50	50/50			
	3	50/50	60/40	50/50	60/40	50/50	50/50			
	4	-	60/40	-	70/30	-	70/30			
	60		Вариант КУТП 1		Вариант КУТП 2		Вариант КУТП 3			
		1	100/-	-	100/-	-	100/-	-		
2		50/50	50/50	50/50	50/50	50/50	50/50			
3		50/50	80/20	50/50	50/50	50/50	60/40			

Продолжение таблицы В.3

$P_{\text{КМК}}, \%$	Исток	Объект притяжения					
		ОП1	ОП2	ОП1	ОП2	ОП1	ОП2
		Осн/ альт	Осн/ альт	Осн/ альт	Осн/ альт	Осн/ альт	Осн/ альт
60		Вариант КУТП 1		Вариант КУТП 2		Вариант КУТП 3	
	4	-	30/70	-	50/50	-	60/40
		Вариант КУТП 4		Вариант КУТП 5		Вариант КУТП 6	
	1	100/-	-	100/-	-	100/-	-
	2	50/50	45/55	40/60	45/55	45/55	45/55
	3	50/50	60/40	50/50	60/40	50/50	60/40
	4	-	60/40	-	60/40	-	60/40
50		Вариант КУТП 1		Вариант КУТП 2		Вариант КУТП 3	
	1	100/-	-	100/-	-	100/-	-
	2	60/40	85/15	50/50	80/20	55/45	90/10
	3	50/50	70/30	60/40	75/25	55/45	80/20
	4	-	100/-	-	90/10	-	80/20

Таблица В.4 – Общие выходные данные модели УДС с учетом КУТП

$P_{\text{КМК}}, \%$	Параметр	Вариант КУТП					
		1	2	3	4	5	6
85	$N$ , авт/ч	9411,4	9308,6	9525,7	9208,6	9400	9271,4
	$t_{\text{общ}}$ , сек	60042	55596	60420	61218	60258	56694
	$t_{\text{в}}$ , мин	60					
80	$N$ , авт/ч	9411,4	9308,6	9405,7	9525,7	9400	9271,4
	$t_{\text{общ}}$ , сек	60042	55596	62904	60420	60258	56694
	$t_{\text{в}}$ , мин	60					
70	$N$ , авт/ч	9308,6	9400	9271,4	9020	9525,7	9208,6
	$t_{\text{общ}}$ , сек	55596	60258	56694	70260	60414	61218
	$t_{\text{в}}$ , мин	60					
60	$N$ , авт/ч	9400	9177,1	9271,4	9117,1	9020	9384
	$t_{\text{общ}}$ , сек	60258	74868	56694	57396	70260	61854
	$t_{\text{в}}$ , мин	60					
50	$N$ , авт/ч	9142,9	8914,3	8894,3			
	$t_{\text{общ}}$ , сек	77813,3	78627,0	78944,0			
	$t_{\text{в}}$ , мин	60					

Таблица В.5 – Выходные данные основных дорог модели УДС с учетом КУТП

$P_{\text{КМК}}, \%$	Вариант КУТП	$N$ , авт/ч			$V$ , км/ч			$q$ , авт/км		
		Дорога			Дорога			Дорога		
		1	2	3	1	2	3	1	2	3
85	1	2645,7	3485,7	3348,6	48,8	44,7	38,9	25,7	27,7	37,3
	2	3091,4	3320	2934,3	47,4	48,4	51,01	20,9	24,6	19,2
	3	3405,7	3002,9	3137,1	45,1	39,3	51,5	26,7	28,1	20,4
	4	3614,3	2845,7	2668,6	39,1	49,3	52,3	35,7	19,9	17,2
	5	3345,7	3448,6	2588,6	34,9	49	51,4	42,2	24,4	17,1

	6	3525,7	3142,9	2594,3	42,5	47,8	52,06	30,6	22,9	16,7
80	1	2645,7	3485,7	3348,6	48,8	44,7	38,9	25,7	27,7	37,3
	2	3091,4	3320	2934,3	47,4	48,4	51,01	20,9	24,6	19,2
	3	3714,3	2328,6	3374,3	45,9	44,5	50,1	26,7	18,5	22,8
	4	3405,7	3002,9	3137,1	45,1	39,3	51,5	35,7	28,1	20,4
	5	3345,7	3448,6	2588,6	34,9	49	51,4	42,2	24,4	17,1
	6	3525,7	3142,9	2594,3	42,5	47,8	52,06	30,6	22,9	16,7
70	1	3091,4	3320	2934,3	47,4	48,4	51,01	30,9	24,6	19,2
	2	3342,9	3317,1	2837,1	43,9	47,7	51,7	37	24,8	18,4
	3	3525,7	3142,9	2594,3	42,5	47,8	52,06	40,6	22,9	16,7
	4	3640	3111,4	2642,9	37,8	48,9	50,3	46,2	22	18,3
	5	3405,7	3002,9	3137,1	45,1	39,3	51,5	36,7	28,1	20,4
	6	3628,6	2857,1	2674,3	39,4	49,4	52,4	45	20	17,1
60	1	3342,9	3317,1	2837,1	43,9	47,7	51,7	37	24,8	18,4
	2	3488,6	2942,9	2754,3	42,2	48,5	21,6	39,8	51,6	18,2
	3	3525,7	3142,9	2594,3	42,5	47,8	52,06	40,6	22,9	16,7
	4	3557,1	2991,4	2542,9	45,3	50,6	52,7	37,1	20	16,2
	5	3497,1	3122,9	2345,7	27,8	50,8	52,7	61,9	20,8	15
	6	3640	3111,4	2642,9	37,8	48,9	50,3	46,2	22	18,3
50	1	3265,7	2414,3	3468,6	46,1	18,2	27,3	33,6	108,2	88,4
	2	3251,4	2231,4	3405,7	45,8	16,9	31,9	33,6	121,5	49
	3	3100	2534,3	3265,7	46,8	18,2	23,2	31,7	116,3	99

## ПРИЛОЖЕНИЕ Г

## Справки о внедрении результатов диссертационного исследования

В данном приложении приводятся копии документов, подтверждающих внедрение и применение результатов настоящего диссертационного исследования в рамках научной деятельности таких организаций как ООО «НИИ ИТС» (рисунок Г.1 и рисунок Г.2) и ФГБОУ ВО «Московский автомобильно-дорожный государственный технический университет (МАДИ)» (рисунок Г.3 и рисунок Г.4), а также подтверждающих внедрение результатов диссертационного исследования в образовательный процесс (рисунок Г.5).





ОБЩЕСТВО С ОГРАНИЧЕННОЙ ОТВЕТСТВЕННОСТЬЮ  
**НАУЧНО-ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ ИНСТИТУТ  
 ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНЫХ ТРАНСПОРТНЫХ СИСТЕМ**  
 NII ITS LTD

105005, Москва, ул. Армянский переулок, д.9, стр.1.  
 Тел./факс: (499)155-0417, (499)155-0435 E-mail: nii-its@yandex.ru

28.11.2019 № 11/02

### АКТ

О внедрении материалов диссертационного исследования Морозова Д.Ю. на тему «Разработка методики построения качественных матриц корреспонденций для решения задач управления транспортными потоками» в научно-исследовательскую деятельность

Материалы и результаты диссертационного исследования Морозова Д.Ю. на тему «Разработка методики построения качественных матриц корреспонденций для решения задач управления транспортными потоками» используются в научно-исследовательской деятельности ООО «НИИ ИТС», в частности, результаты рассматриваемого исследования были использованы при выполнении научно-исследовательских работ в рамках следующих контрактов:

– Государственный контракт № УД 47/186 от 14.10.2011 г. «Разработка проекта национального стандарта ГОСТ Р «Интеллектуальные транспортные системы. Системы организации дорожного движения. Косвенное управление транспортными потоками. Требования к техническим элементам информирования участников дорожного движения» (В результате выполнения данного контракта введен в действие ГОСТ Р 56350);

– Государственный контракт № УД 47/187 от 14.10.2011 г. «Разработка проекта национального стандарта ГОСТ Р «Интеллектуальные транспортные системы. Системы организации дорожного движения. Косвенное управление

транспортными потоками. Требования к технологии информирования участников дорожного движения» (В результате выполнения данного контракта введен в действие ГОСТ Р 56351);

– Государственный контракт № УД 47/30 от 19 февраля 2013 г. «Разработка ОДМ «Рекомендации по выполнению системного анализа в рамках обоснования проектов Интеллектуальных транспортных систем на федеральных автомобильных дорогах» (Результаты выполнения данного контракта вошли в содержание ОДМ 218.9.011).

Генеральный директор  
ООО «НИИ ИТС», д.т.н., проф.



С.В. Жанказиев



МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ  
федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение  
высшего образования  
**«МОСКОВСКИЙ АВТОМОБИЛЬНО-ДОРОЖНЫЙ  
ГОСУДАРСТВЕННЫЙ ТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ (МАДИ)»**

Россия, 125319, Москва, Ленинградский просп., 64.  
Тел. (499) 155-03-71, факс (499) 151-89-65. Интернет: <http://www.madi.ru>. E-mail: [info@madi.ru](mailto:info@madi.ru)



УТВЕРЖДАЮ

Проректор по научной работе,

В.В. Ушаков

2019 г.

### СПРАВКА

**О внедрении материалов диссертационного исследования соискателя  
ученой степени кандидата технических наук Морозова Д.Ю.,  
выполненного на тему: «Разработка методики построения качественных  
матриц корреспонденций для решения задач управления транспортными  
потоками», в научно-исследовательскую деятельность**

Материалы и результаты диссертационного исследования соискателя  
ученой степени кандидата технических наук Морозова Д.Ю. на тему  
«Разработка методики построения качественных матриц корреспонденций для  
решения задач управления транспортными потоками» были использованы при  
выполнении научно-исследовательских работ в рамках следующих контрактов:

– Соглашение № 14.В37.21.0120 между Министерством образования и  
науки Российской Федерации и ФГБОУ ВПО «Московский автомобильно-  
дорожный государственный технический университет (МАДИ)»  
«Формирование концепции жизненного цикла локальных проектов  
Интеллектуальных транспортных систем»;

– Государственный контракт № П1272 от 27 августа 2009 г. «Создание  
интеллектуальной системы косвенного управления транспортными потоками и  
обеспечения безопасности на автомобильных дорогах» в рамках ФЦП  
«Научные и научно-педагогические кадры инновационной России» на 2009-  
2013 гг.;

Рисунок Г.3 – Справка о внедрении результатов диссертационного  
исследования 1

– Государственному контракту № 02.740.11.0671 от 29 марта 2010 г. «Разработка принципов проектирования интеллектуальных транспортных систем, как систем технологического и информационного взаимодействия транспортных средств, инфраструктуры управления и технических комплексов на дороге с целью достижения максимальных показателей эффективности функционирования дорожно-транспортного комплекса регионов (городов)» в рамках ФЦП «Научные и научно-педагогические кадры инновационной России» на 2009-2013 гг.

Руководитель УНИР



Субботин Б.С.





МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ  
федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение  
высшего образования

**«МОСКОВСКИЙ АВТОМОБИЛЬНО-ДОРОЖНЫЙ  
ГОСУДАРСТВЕННЫЙ ТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ (МАДИ)»**

Россия, 125319, Москва, Ленинградский просп., 64.  
Тел. (499) 155-03-71, факс (499) 151-89-65. Интернет: <http://www.madi.ru>. E-mail: [info@madi.ru](mailto:info@madi.ru)



УТВЕРЖДАЮ  
Проректор по научной работе

В.В. Ушаков

«                    » 2019 г.

### СПРАВКА

**О внедрении в учебный процесс результатов диссертационного исследования соискателя ученой степени кандидата технических наук Морозова Д.Ю., выполненного на тему: «Разработка методики построения качественных матриц корреспонденций для решения задач управления транспортными потоками»**

Материалы и результаты диссертационного исследования соискателя ученой степени кандидата технических наук Морозова Д.Ю. внедрены в учебный процесс и используются при чтении лекций и проведении практических занятий по дисциплине: «Интеллектуальные транспортные системы» при подготовке бакалавров по направлению подготовки 23.03.01 «Технология транспортных процессов» по профилю подготовки «Организация и безопасность движения».

Декан факультета Управления  
д.п.н., доц.

Вражнова М.Н.

Заведующий кафедрой ОБД  
д.т.н., проф.

Жанказиев С.В.

Рисунок Г.5 – Справка о внедрении в образовательный процесс