

ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ БЮДЖЕТНОЕ  
ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ  
«САМАРСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ МЕДИЦИНСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ»  
МИНИСТЕРСТВА ЗДРАВООХРАНЕНИЯ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ



На правах рукописи

**Чекина Елена Владимировна**

**МЕТОДЫ И АЛГОРИТМЫ ЦИФРОВЫХ СТРУКТУРНЫХ СХЕМ  
ДЛЯ СИСТЕМНОГО АНАЛИЗА И УПРАВЛЕНИЯ  
ДОРОЖНЫМ ДВИЖЕНИЕМ**

2.3.1. Системный анализ, управление и обработка информации, статистика

Диссертация на соискание ученой степени  
кандидата технических наук

Научный руководитель:  
**Головнин Олег Константинович,**  
доктор технических наук, доцент

Самара, 2026

**ОГЛАВЛЕНИЕ**

Введение .....	4
1. Анализ актуальных задач и современных научно-технических решений в области информационной поддержки при разработке схем организации дорожного движения .....	13
1.1. Разработка проектных решений по управлению дорожным движением...13	
1.1.1. Схемы организации дорожного движения .....	14
1.1.2. Условия и факторы принятия проектных решений.....	22
1.2. Системы обследования дорожной инфраструктуры .....	25
1.3. Системы разработки схем организации дорожного движения .....	31
1.4. Поддержка принятия проектных решений.....	38
1.5. Критерии оценки эффективности организации дорожного движения .....	44
Выводы по главе.....	54
2. Системный анализ организации дорожного движения на основе цифровых структурных схем .....	55
2.1. Система сбора и обработки дорожной информации .....	55
2.2. Модель цифровых структурных схем для системного анализа организации дорожного движения.....	60
2.3. Метод поддержки принятия проектных решений по управлению дорожным движением .....	71
Выводы и результаты по главе .....	85
3. Обработка информации цифровых структурных схем в процессе принятия проектных решений.....	86
3.1. Алгоритм обработки текстовой информации в процессе информационной поддержки принятия проектных решений.....	86
3.2. Алгоритм трансформации информации для оценки эффективности схем организации дорожного движения .....	91
3.3. Методика разработки цифрового проекта управления движением .....	96
Выводы и результаты по главе .....	105

4. Реализация системы поддержки принятия решений по управлению дорожным движением .....	106
4.1. Программное обеспечение системы поддержки принятия решений.....	106
4.2. Оценка эффективности разработанных решений .....	115
Выводы и результаты по главе .....	123
Заключение.....	124
Список сокращений и условных обозначений .....	126
Список литературы.....	127
Приложение А Условные обозначения .....	140
Приложение Б Типовые проектные решения .....	142
Приложение В Акты о реализации и внедрении результатов диссертации .....	146

## ВВЕДЕНИЕ

**Актуальность темы исследования.** В настоящее время информационные технологии играют одну из главных ролей в развитии дорожно-транспортной инфраструктуры Российской Федерации. Активная цифровизация дорожного хозяйства позволяет значительно повысить эффективность управления дорожным движением и транспортными потоками, снизить аварийность и обеспечить устойчивое экономическое развитие, при этом увеличивая сложность самой дорожно-транспортной инфраструктуры. Однако вместе с ростом сложности дорожно-транспортной инфраструктуры возникают новые задачи – проектирование эффективной организации дорожного движения, учитывающей особенности улично-дорожной сети, транспортной обстановки, характеристик транспортных потоков, используемых средств управления, а также требований нормативной правовой и технической документации, что становится сложной проблемой, требующей комплексного подхода и анализа больших объемов разнородных данных.

Решение проблемы видится в создании систем поддержки принятия решений (СППР), которые позволят обрабатывать разнородные данные из множества различных источников, включая данные дорожных лабораторий, картографических сервисов, систем мониторинга транспорта, интеллектуальных транспортных систем, систем управления дорожным движением и других, формируя адекватную модель обстановки и помогая разрабатывать верифицируемые схемы организации движения, реализующие проектные решения.

Таким образом, решаемая в диссертации научная задача состоит в разработке методов и алгоритмов формирования и использования структурных схем, предназначенных для системного анализа и управления дорожным движением в системах поддержки принятия проектных решений.

Актуальность диссертации подтверждается соответствием развиваемой тематики приоритетным направлениям научно-технологического развития, утвержден-

ным Указом Президента Российской Федерации от 18 июня 2024 г. № 529: «5. Интеллектуальные транспортные и телекоммуникационные системы, включая автономные транспортные средства». Научно-технические решения, представленные в диссертации, соответствуют Перечню важнейших наукоемких технологий, утвержденных тем же Указом: «14. Транспортные технологии для различных сфер применения (море, земля, воздух), в том числе беспилотные и автономные системы». Кроме этого, развиваемые в диссертации научно-технические решения соответствуют направлению Стратегии научно-технологического развития Российской Федерации, утвержденной указом Президента Российской Федерации от 28 февраля 2024 г. № 145: «е) повышение уровня связанности территории Российской Федерации путем создания интеллектуальных транспортных, энергетических и телекоммуникационных систем, а также занятия и удержания лидерских позиций в создании международных транспортно-логистических систем, освоении и использовании космического и воздушного пространства, Мирового океана, Арктики и Антарктики».

**Степень разработанности темы исследований.** В последние годы важной стала задача создания средств информационной поддержки принятия решений в составе интеллектуальных транспортных систем. Выполненные в диссертации исследования в области управления дорожным движением и транспортной инфраструктурой базируются на трудах ученых и практиков Зырянова В.В., Капитанова В.Т., Сильянова В.В. Значительный опыт накоплен в области интеллектуальных транспортных систем, связанный с работами Жанказиева С.В., Минниханова Р.Н., Михеевой Т.И., Elassy M., Farooq M., Liu C. Информационные и геоинформационные технологии на транспорте развиваются в работах ученых: Сметаниной О.Н., Христодуло О.И., Цветкова В.Я., Jabeur N., Lai J., Syed M.A. В теорию и практику разработки интеллектуальных технологий для СППР значительный вклад внесли Охтилев М.Ю., Соколов Б.В., Чечнев В.Б., Consilvio A., Katanalp B.Y., Xu T.

Однако, главная трудность разработки СППР при управлении транспортом заключается в сложности выработки и проверки возможных решений по организации

дорожного движения. При этом в процессе выработки решений необходимо объединить информацию из разных источников, имеющих свою специфику представления данных, форматы хранения и методы обработки, что дополнительно создает значительные технические трудности. Кроме того, важным аспектом является необходимость учета особенностей конкретной местности и транспортной обстановки. Для верификации итоговых проектных решений необходимо интегрировать и поддерживать множественные представления и требования различных заинтересованных сторон, вовлеченных в процесс управления дорожным движением. Все эти факторы влияют на необходимость разработки методов, алгоритмов и средств, обеспечивающих принятие решений по организации дорожного движения в условиях растущей сложности дорожно-транспортной обстановки.

**Объектом исследования** является система организации и управления дорожным движением.

**Предметом исследования** являются модели, методы и средства, предназначенные для разработки систем поддержки принятия проектных решений по управлению дорожным движением.

**Целью** диссертационной работы является разработка СППР по управлению дорожным движением, обеспечивающей подготовку и верификацию схем организации дорожного движения в условиях сложной дорожно-транспортной обстановки.

**Научные и научно-технические задачи:**

1. Провести анализ актуальных задач и современных научно-технических решений в области информационной поддержки при разработке проектов и схем организации дорожного движения;
2. Разработать модель цифровых структурных схем для системного анализа организации дорожного движения в условиях сложной дорожно-транспортной обстановки;
3. Разработать метод поддержки принятия проектных решений по управлению дорожным движением, позволяющий интегрировать доступную информацию и

поддерживать множественные представления и требования различных заинтересованных сторон к схемам организации дорожного движения;

4. Разработать алгоритмы обработки и трансформации разнородной информации в процессе информационной поддержки принятия проектных решений, реализуемых в схемах организации дорожного движения;

5. Разработать систему поддержки принятия решений по управлению дорожным движением посредством формирования схем организации дорожного движения.

**Научная новизна.** В диссертации получены следующие результаты, характеризующиеся научной новизной:

1. Модель цифровых структурных схем для системного анализа организации дорожного движения, *отличающаяся* формализацией описания схем и *позволяющая* осуществлять инфраструктурное упорядочивание элементов улично-дорожной сети и технических средств организации дорожного движения в условиях сложной дорожно-транспортной обстановки (п. 4 паспорта специальности);

2. Метод поддержки принятия проектных решений по управлению дорожным движением, *отличающийся* применением пространственно-функциональной декомпозиции к дорожно-транспортной обстановке и *позволяющий* интегрировать доступную информацию и поддерживать множественные представления и требования различных заинтересованных сторон к схемам организации дорожного движения (п. 4 паспорта специальности);

3. Алгоритмы обработки и трансформации разнородной информации в процессе информационной поддержки принятия проектных решений по управлению дорожным движением, *отличающиеся* совместным применением цифровых структурных схем организации дорожного движения и методов искусственного интеллекта и *позволяющие* использовать правила применения технических средств организации дорожного движения и проверять возможные решения в процессе проектирования схем организации дорожного движения (п. 12 паспорта специальности);

4. Система поддержки принятия решений по управлению дорожным движением, реализующая предложенные модели, методы и алгоритмы (п. 9 паспорта специальности).

**Соответствие диссертации паспорту научной специальности.** Научные положения диссертации соответствуют паспорту научной специальности 2.3.1. Системный анализ, управление и обработка информации, статистика по следующим направлениям исследований специальности: 4. Разработка методов и алгоритмов решения задач системного анализа, оптимизации, управления, принятия решений, обработки информации и искусственного интеллекта, 9. Разработка проблемно-ориентированных систем управления, принятия решений и оптимизации технических объектов, 12. Визуализация, трансформация и анализ информации на основе компьютерных методов обработки информации.

**Теоретическая значимость результатов,** полученных в диссертации, состоит в обосновании моделей, методов и алгоритмов цифровых структурных схем для системного анализа и управления дорожным движением. Предложенные модели, методы и алгоритмы вносят вклад в развитие теории поддержки принятия решений и закладывают научно-технические основы для цифровой трансформации процессов разработки, согласования и эксплуатации проектов и схем организации дорожного движения.

**Практическая значимость работы.** Основной практический результат исследования – внедрение разработанных моделей, методов и алгоритмов, инструментальных и программных средств в практику при разработке проектов организации дорожного движения и СППР по управлению транспортом. Результаты исследований использовались при разработке следующих программ для ЭВМ, на которые получены свидетельства: «Геоинформационная система интеграции и анализа неструктурированных данных на основе искусственного интеллекта»; «Система поддержки принятия проектных решений в процессе разработки цифровых проектов организации дорожного движения», «Программное обеспечение передвижной дорожной лаборатории для обследования транспортной инфраструктуры «AnchorLab».

**Реализация и внедрение результатов работы.** Теоретические и практические результаты работы внедрены и используются в повседневной деятельности отдела организации дорожного движения в ООО «ИнфраТрансПроект» при разработке проектов и схем организации дорожного движения. Результаты работы, связанные с поддержкой принятия проектных решений, реализованы в Департаменте транспорта Администрации г.о. Самара в ходе разработки проектов организации дорожного движения на улично-дорожной сети г.о. Самара и апробированы на 68 улицах суммарной протяженностью 156,3 км, что подтверждается Госавтоинспекцией Управления МВД России по г. Самаре. Разработанная СППР использована в МКУ «Дирекция благоустройства города Кирова» и апробирована на улично-дорожной сети г. Киров суммарной протяженностью 147,14 км. Результаты работы используются в подразделениях ГИБДД Управления МВД России по г. Кирову в повседневной деятельности по обеспечению безопасности дорожного движения. Результаты работы внедрены в учебный процесс Самарского государственного медицинского университета при подготовке обучающихся по специальности 30.05.03 Медицинская кибернетика по дисциплинам «Системный анализ и организация здравоохранения» и «Теория принятия решений».

**Методология и методы исследования.** Теоретической и методологической основой исследования послужили методы системного анализа, геоинформационного моделирования, теории принятия решений, теории множеств и объектно-ориентированного программирования.

**Положения, выносимые на защиту:**

1. Модель цифровых структурных схем для системного анализа организации дорожного движения, предназначенная для инфраструктурного упорядочивания элементов улично-дорожной сети и технических средств организации дорожного движения в условиях сложной дорожно-транспортной обстановки;

2. Метод поддержки принятия проектных решений по управлению дорожным движением, позволяющий интегрировать доступную информацию и поддерживать множественные представления и требования различных заинтересованных сторон к схемам организации дорожного движения;

3. Алгоритмы обработки и трансформации разнородной информации в процессе информационной поддержки принятия проектных решений по управлению дорожным движением, позволяющие использовать правила применения технических средств организации дорожного движения и проверять возможные решения в процессе проектирования схем организации дорожного движения;

4. Система поддержки принятия решений по управлению дорожным движением, реализующая предложенные методы и алгоритмы.

**Достоверность и обоснованность результатов работы** подтверждается корректным использованием теоретических и экспериментальных методов, базированием на фундаментальных трудах отечественных и зарубежных ученых, апробацией основных положений, полученных в диссертации, в печатных трудах, статьях и докладах на научно-технических конференциях и семинарах, применением результатов диссертации на практике, внедрением в работу предприятий при решении спектра научно-технических и практических задач, в учебные процессы Самарского государственного медицинского университета.

**Апробация результатов работы.** Основные результаты работы докладывались и обсуждались на следующих международных, всероссийских и региональных конференциях, выставках, конгрессах: 25-я международная конференция «Математика. Компьютер. Образование» (2018 г., г. Дубна); VIII Всероссийская научная конференция «Информационные технологии интеллектуальной поддержки принятия решений (с приглашением зарубежных ученых)» (2020 г., г. Уфа); XXIX Всероссийская научно-техническая конференция студентов, молодых ученых и специалистов «Новые информационные технологии в научных исследованиях» (2024 г., г. Рязань); Международная мультидисциплинарная конференция по промышленному инжинирингу и современным технологиям FarEastCon-2024 (2024 г., г. Владивосток); IV Международная научно-практическая конференция «Цифровые технологии, оптика и материаловедение» (2025 г., г. Бухара, Узбекистан); XXV Международная научно-техническая конференция, посвященная 100-летию со дня рождения ректора ППИ Николая Петровича Сергеева и 80-летию Победы в Великой отечественной войне «Проблемы информатики в образовании, управлении,

экономике и технике» (2025 г., г. Пенза); 7-я Международная конференция по системам управления, математическому моделированию, автоматизации и энергоэффективности (2025 г., г. Липецк).

**Публикации.** Основные положения и результаты работы изложены в 18 публикациях, включающих: 7 статей в изданиях, рекомендованных ВАК при Минобрнауки России по специальности; 3 свидетельства о регистрации программ для ЭВМ; остальные 8 публикаций – в научно-технических журналах и сборниках научных статей и трудов.

**Личный вклад.** Все основные результаты работы получены автором лично. Программы для ЭВМ созданы на основе моделей, методов, алгоритмов и концепций автора, изложенных в диссертации, под его руководством и при непосредственном участии. Работы, выполненные в соавторстве, посвящены решению конкретных научно-технических и практических задач на основе концепций, предложенных автором.

**Структура и объем диссертации.** Диссертация состоит из введения, четырех глав основного материала, заключения, списка литературы из 115 наименований и трех приложений. Общий объем работы составляет 152 страницы.

Во введении обоснована актуальность темы, сформулированы основная цель, задачи и методы исследований, изложены основные положения, выносимые на защиту. Приведены научная новизна и практическая ценность работы.

Первая глава посвящена анализу актуальных задач и современных научно-технических решений в области информационной поддержки при проектировании организации дорожного движения. Рассмотрены условия и факторы принятия проектных решений, проведен аналитический обзор технических систем обследования дорожно-транспортной инфраструктуры и систем, используемых для проектирования и разработки схем организации дорожного движения. Рассмотрены современные методы и технологии поддержки принятия проектных решений. Приведены критерии оценки эффективности схем организации дорожного движения.

Во второй главе рассматриваются структура и параметры системы сбора и обработки дорожной информации на основе передвижной автомобильной лаборатории. Предложена модель цифровых структурных схем для системного анализа организации дорожного движения в условиях сложной дорожно-транспортной обстановки. Предложен метод поддержки принятия проектных решений по управлению дорожным движением, позволяющий интегрировать доступную информацию и поддерживать множественные представления и требования различных заинтересованных сторон, вовлеченных в процесс управления дорожным движением.

В третьей главе предложены алгоритмы обработки и трансформации разнородной информации цифровых структурных схем в процессе информационной поддержки принятия проектных решений по управлению дорожным движением. Приведено описание алгоритма, предназначенного для обработки текстовой информации в процессе информационной поддержки принятия решений, позволяющего извлечь и формализовать правила применения технических средств организации дорожного движения. Приведено описание алгоритма трансформации дорожной информации для оценки эффективности проектных решений непосредственно в процессе проектирования. Приведены результаты вычислительных экспериментов. Представлена методика цифровизации процессов разработки, рассмотрения, согласования и утверждения проектов организации движения.

В четвертой главе описаны назначение и возможности разработанной системы поддержки принятия проектных решений по управлению дорожным движением, использующая предложенные во второй и третьей главах диссертации модели, методы и алгоритмы. Рассматривается применение системы для разработки проектов организации дорожного движения в г. Киров и г. Самара. Приведены результаты проведенных имитационных и натурных экспериментов.

В заключении приведены полученные в работе выводы и результаты.

В приложениях приведены используемые условные обозначения, применяемые на схемах организации дорожного движения, приведены разработанные типовые проектные решения, приложены акты о внедрении результатов диссертации.

# **1. АНАЛИЗ АКТУАЛЬНЫХ ЗАДАЧ И СОВРЕМЕННЫХ НАУЧНО-ТЕХНИЧЕСКИХ РЕШЕНИЙ В ОБЛАСТИ ИНФОРМАЦИОННОЙ ПОДДЕРЖКИ ПРИ РАЗРАБОТКЕ СХЕМ ОРГАНИЗАЦИИ ДОРОЖНОГО ДВИЖЕНИЯ**

Глава посвящена анализу актуальных задач и современных научно-технических решений в области информационной поддержки при проектировании организации дорожного движения. Рассмотрены условия и факторы принятия проектных решений, проведен аналитический обзор технических систем обследования дорожно-транспортной инфраструктуры и систем, используемых для проектирования и разработки схем организации дорожного движения. Рассмотрены современные эффективные методы и технологии поддержки принятия проектных решений. Приведены критерии оценки эффективности схем организации дорожного движения.

## **1.1. Разработка проектных решений по управлению дорожным движением**

Транспортные системы играют важнейшую роль в социально-экономическом развитии общества, обеспечивая мобильность населения и грузовые перевозки. Однако быстрый рост автомобилизации, особенно в городах, приводит к серьезным вызовам для устойчивости транспортной инфраструктуры [110]. Анализ современной ситуации показывает, что увеличение интенсивности дорожного движения вызывает экономические потери из-за заторов и дорожно-транспортных происшествий (ДТП), экологические издержки (рост выбросов, потребление топлива), а также социальные проблемы – ухудшение здоровья населения и снижение качества жизни из-за пробок и аварий [106].

Особенно остро эти проблемы проявляются в России, где за последнее десятилетие автопарк вырос на 35%, превысив 62 миллиона транспортных средств [36]. Такая динамика создает повышенную нагрузку на дорожную сеть, которая зачастую не способна отвечать новым требованиям по пропускной способности. Это

обуславливает необходимость внедрения новых методов анализа, прогнозирования и контроля транспортных потоков, а также совершенствования организации дорожного движения (ОДД).

Согласно метаанализу публикаций в области контроля дорожного движения с 2014 по 2023 год, приведенному в [100], в период с 2018 по 2021 год наблюдается увеличение количества опубликованных документов, что подтверждает возросший интерес к теме безопасности дорожного движения и оптимизации городского движения со стороны научного мира за последние 6 лет, при этом Китай является ведущей страной с точки зрения анализа безопасности дорожного движения, за которым следуют Италия, Иран и Польша.

В исследовании [105] проведен анализ оценки дорожной инфраструктуры с точки зрения рациональности мест установки дорожных знаков, проведены дорожные испытания. Исследование показало, что экологичные методы вождения способствуют снижению энергопотребления в транспортном секторе и повышению устойчивости транспортной инфраструктуры только при рационально спроектированной дорожной инфраструктуре.

### **1.1.1. Схемы организации дорожного движения**

ОДД – это комплекс мер, направленных на обеспечение безопасности, удобства и эффективности перемещения транспортных средств и пешеходов на дорогах [53]. Проект организации дорожного движения (ПОДД) – это основной организационно-технический документ, необходимый для эффективного и безопасного управления движением на любой территории, где осуществляется дорожное движение: улицы, дороги, парковки, внутриквартальные проезды и другие объекты. ПОДД разрабатывается в целях оптимизации методов движения на автомобильной дороге или отдельных её участках для повышения пропускной способности и безопасности движения транспортных средств и пешеходов [40].

Основные задачи, решаемые разработкой ПОДД [18, 22, 44, 53]:

- обеспечение безопасности дорожного движения: снижение аварийности и травматизма среди всех участников движения – водителей, пешеходов, велосипедистов [20, 97, 98, 99];
- повышение пропускной способности дорог и перекрёстков: оптимизация транспортных потоков, предотвращение заторов и обеспечение рационального использования инфраструктуры [76];
- упорядочение размещения технических средств: определение мест установки дорожных знаков, разметки, светофоров, ограждений и других средств организации движения [87, 88];
- соблюдение нормативных требований: соответствие действующим стандартам и правилам безопасности при проектировании, строительстве, ремонте и эксплуатации дорог [82, 91];
- документальное сопровождение работ: ПОДД является рабочим документом для служб, занимающихся обслуживанием дорог, а также необходим при согласовании с Госавтоинспекцией (ГИБДД) и в судебных разбирательствах по ДТП;
- разработка мероприятий по улучшению организации движения: анализ текущей ситуации, выявление проблемных зон, предложение решений по изменению схем движения, установке новых технических средств, организации новых маршрутов и зон для пешеходов и транспорта [49, 92].

Рассматривая место ПОДД в иерархической структуре ключевых документов и нормативов в системе градостроительного проектирования и планирования территории поселения (населенного пункта) (рисунок 1.1), можно увидеть, что общие принципы и стратегические планы развития территории в отношении транспортной инфраструктуры находят свое отражение в программе комплексного развития транспортной инфраструктуры, далее – основные принципы на более детальном уровне закладываются в комплексной схеме организации дорожного движения и, уже в качестве рабочего проекта для конкретных участков улично-дорожной сети (УДС) выступает ПОДД.

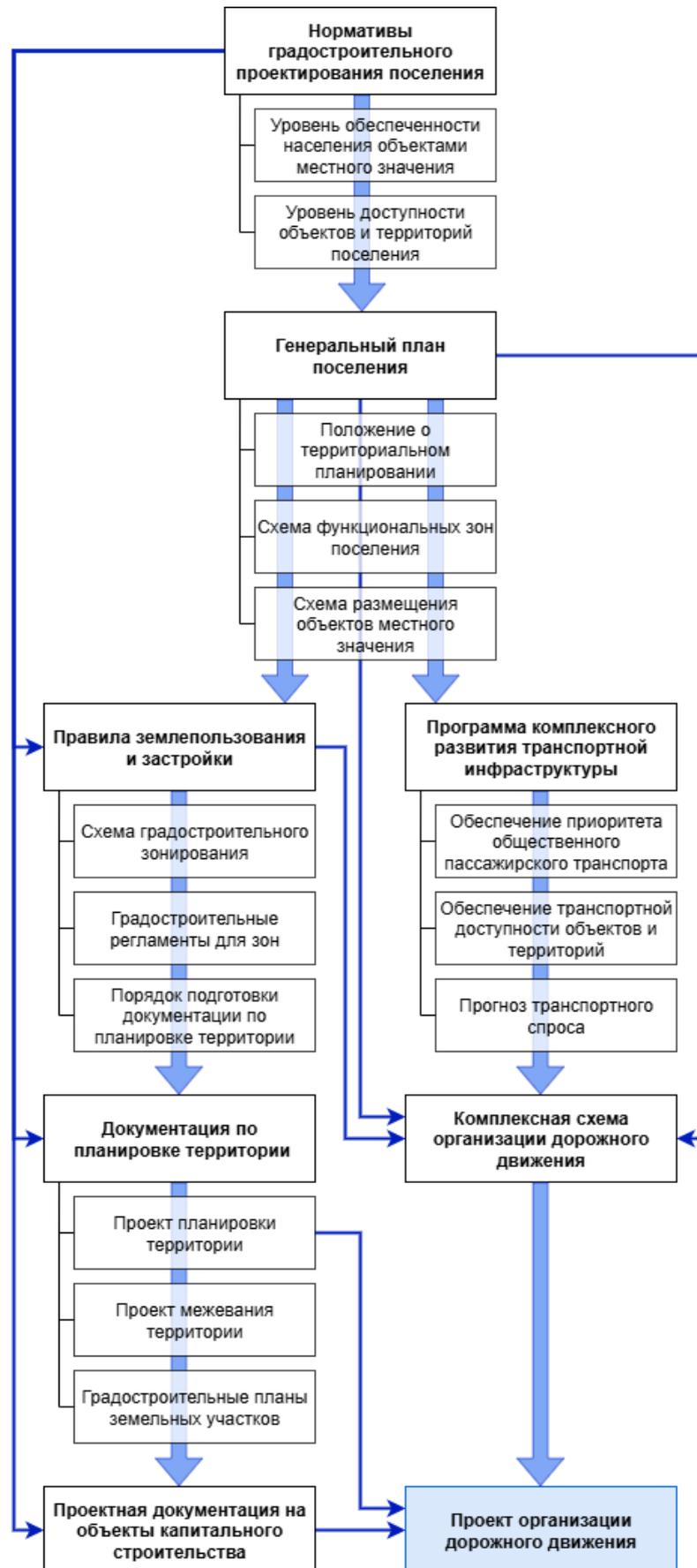


Рисунок 1.1 – Место ПОДД в системе проектных и плановых документов в сфере ОДД и градостроительной деятельности

ПОДД по видам работ, которые они регламентируют, можно классифицировать следующим образом [39, 40, 41]:

- разрабатываемые на период эксплуатации дорог или их участков;
- разрабатываемые на период введения временных ограничений или прекращения движения транспортных средств по дорогам:
  - при строительстве, реконструкции, капитальном ремонте и ремонте дорог и объектов инженерной инфраструктуры или объектов капитального строительства различного функционального назначения;
  - при проведении публичных и массовых мероприятий;
  - при повышенной интенсивности дорожного движения накануне выходных и нерабочих праздничных дней, в выходные и нерабочие праздничные дни, а также в часы максимальной загрузки дорог;
  - при проведении аварийно-восстановительных работ на срок менее двух суток;
  - по организации работы светофорных объектов.

Требования к составу и содержанию проектов организации дорожного движения, а также порядок подготовки, согласования и утверждения регламентируются [39]. В зависимости от вида ПОДД набор обязательных разделов может различаться, но в общем виде содержит следующие разделы:

1. Анализ существующей дорожной ситуации;
2. Проектные решения для организации дорожного движения;
3. Расчет объемов строительно-монтажных работ, спецификаций и перечней используемых технических средств организации дорожного движения;
4. Оценка эффективности решений по управлению дорожным движением.

Разрабатываемый ПОДД должен соответствовать требованиям действующих нормативных документов, а в части графических обозначений – вводятся условные обозначения для технических средств организации дорожного движения (ТСОДД) согласно их статусам: установлен, требуется установить, требуется демонтировать. Пример графических материалов, демонстрирующих выбранное проектное решение, приведен на рисунке 1.2 (схема расстановки ТСОДД).

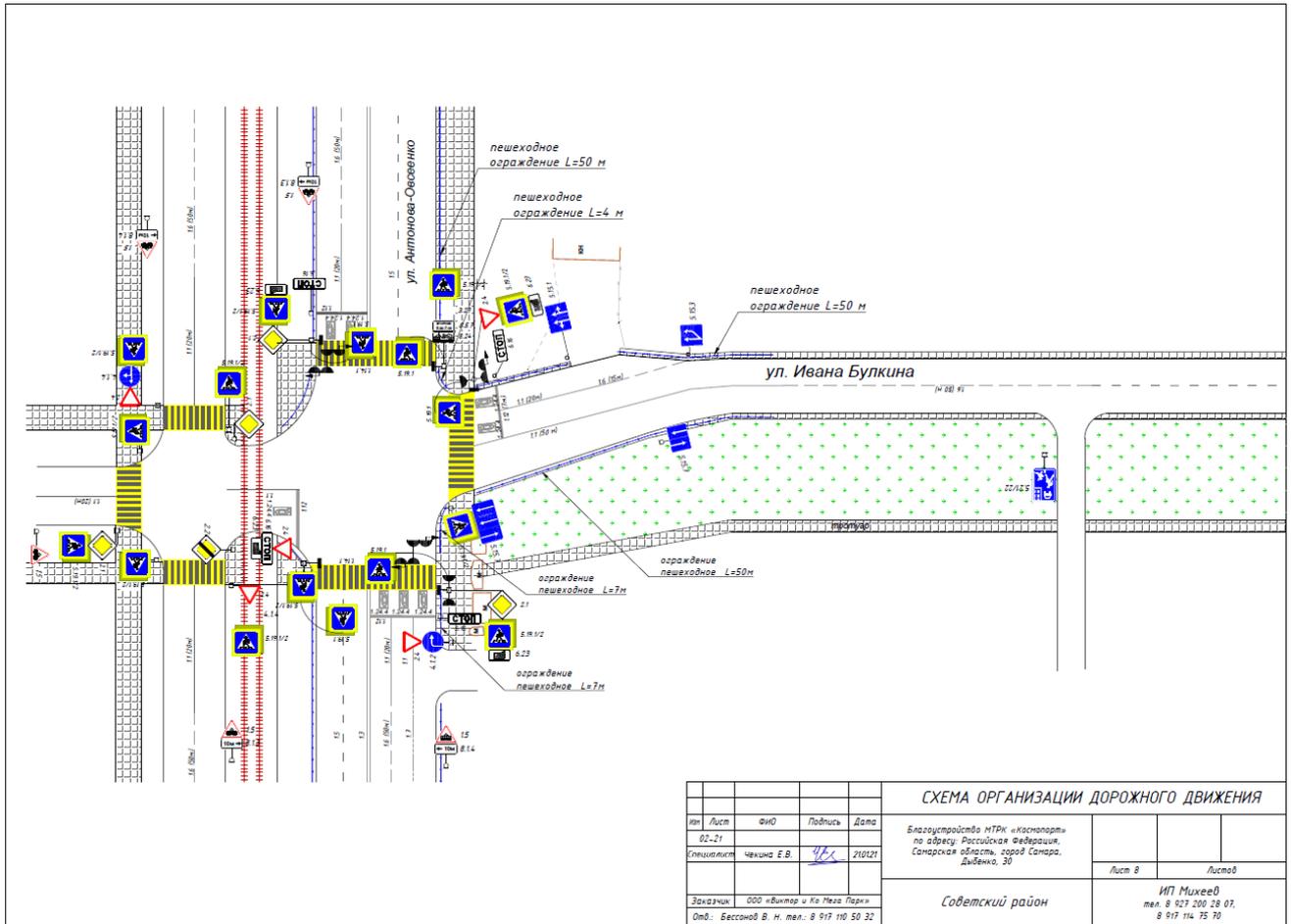


Рисунок 1.2 – Графические материалы ПОДД, демонстрирующие выбранное проектное решение

Процесс разработки ПОДД в общем виде может быть представлен моделью процесса формирования проектной документации (рисунок 1.3) и может стать циклическим при недостаточном опыте и квалификации специалистов-проектировщиков, выборе неверного программного обеспечения и других причинах.



Рисунок 1.3 – Процесс формирования проектной документации по организации дорожного движения

Подробно процесс подготовки ПОДД для автомобильных дорог местного значения представлен на диаграмме в нотации BPMN 2.0 (рисунок 1.4). При разработке ПОДД происходит взаимодействие между проектировщиком (подрядчиком), органами местного самоуправления (в части утверждения ПОДД), территориальными подразделениями госавтоинспекции (в части рассмотрения ПОДД) и другими заинтересованными организациями (в части согласования ПОДД), например, примыканий местных автодорог к региональным автодорогам. Взаимодействие между организациями (пулами) реализовано через потоки сообщений. Взаимодействие между организациями (пулами) реализовано через потоки сообщений [59].

Процесс начинается с момента, когда подрядчик получает от заказчика техническое задание на разработку проекта. Техническое задание анализируется командой проектировщиков, производится анализ открытой исходной информации (карты, генеральные планы, документация о планировании территории), с опорой на сайты администрации, геопорталы. Производится рекогносцировка местности разработки проекта. Фиксируется разрыв в имеющейся информации и недостающей для разработки проекта.

Производится обследование улично-дорожной сети с использованием передвижной дорожной лаборатории. В зависимости от требований технического задания, дорожная лаборатория может иметь различный набор оборудования, например, камеры или средства панорамной съемки, лидары, датчики. Производятся замеры интенсивности транспортных потоков, оцениваются пешеходные потоки, либо происходит подключение к системам мониторинга транспорта и пешеходов, например, к интеллектуальным транспортным системам [3] или системам умного города [2]. По результатам проведенного обследования проектировщик формирует проект организации дорожного движения в формате «как есть» и производит анализ существующей дорожно-транспортной ситуации. Выявляет проблемы в организации дорожного движения в части комфорта использования автодороги всеми пользователями транспортной сети (личный транспорт, общественный транспорт, пешеходы, велосипедисты), а также в части соответствия требованиям государственных стандартов в области безопасности дорожного движения.

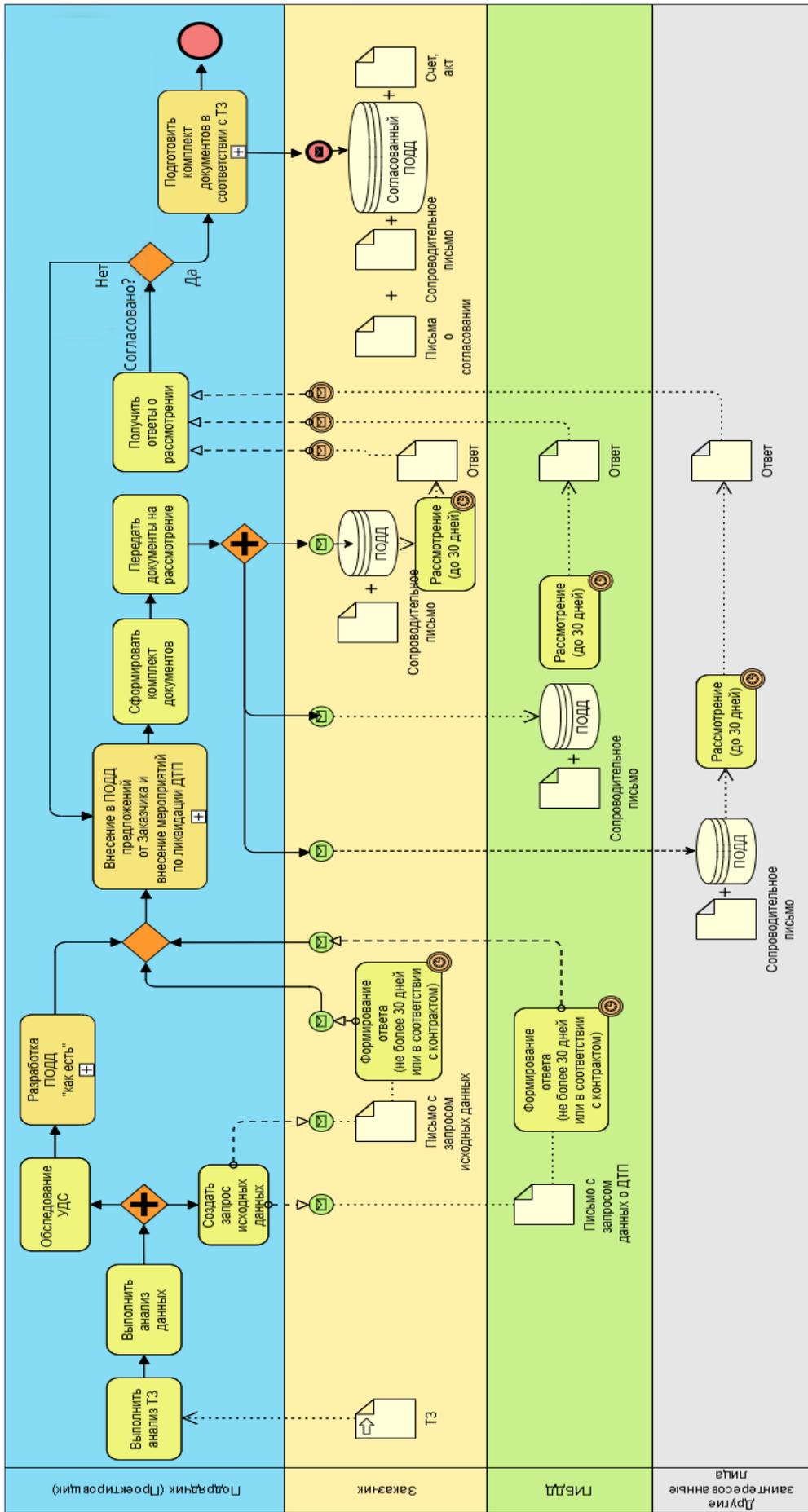


Рисунок 1.4 – BPMN-диаграмма процесса разработки ПОДД

Проектировщик формирует запрос в адрес заказчика с запросом недостающих исходных данных. В числе такой информации указываются:

- комплексная схема организации дорожного движения;
- паспорта автомобильных дорог;
- информация о действующих организациях социального назначения вблизи рассматриваемых автомобильных дорог (образовательные учреждения, организации здравоохранения, организации экстренных служб, наличие парковок);
- информация по результатам мониторинга транспортных потоков (интенсивность, транспортная задержка, индекс обслуживания и др.);
- пожелания и предложения в части разработки проекта, например, учет произошедших аварий, обращения граждан;
- дополнительная информация в зависимости от технического задания на разработку ПОДД.

Проектировщик формирует запрос в адрес территориального подразделения автоинспекции (или иной аналогичной организации) с запросом подтвержденной информации об авариях и очагах аварийности за три предшествующих года.

Используя данные проведенного анализа существующей дорожно-транспортной ситуации и опираясь на предоставленную информацию, основываясь на государственные стандарты в области безопасности дорожного движения, проектировщик вырабатывает проектные решения по организации дорожного движения.

Для проверки эффективности выработанных решений может использоваться имитационное моделирование, позволяющее сравнить текущую схему и разработанные варианты проектирования по оптимальности времени в пути и оценить возможные риски [102].

Формируется пакет документов для передачи заинтересованным сторонам для согласования и утверждения. При наличии замечаний вносятся корректировки в проектные решения. После согласования проектных решений и сдачи полного комплекта документов заказчику работы по разработке проекта считаются выполненными и на этом процесс заканчивается.

### 1.1.2. Условия и факторы принятия проектных решений

Принятие обоснованных решений в области организации дорожного движения и развития транспортной инфраструктуры требует всестороннего анализа множества внешних факторов (рисунок 1.5), четкого понимания существующих ограничений и определения критериев для сравнения альтернатив.

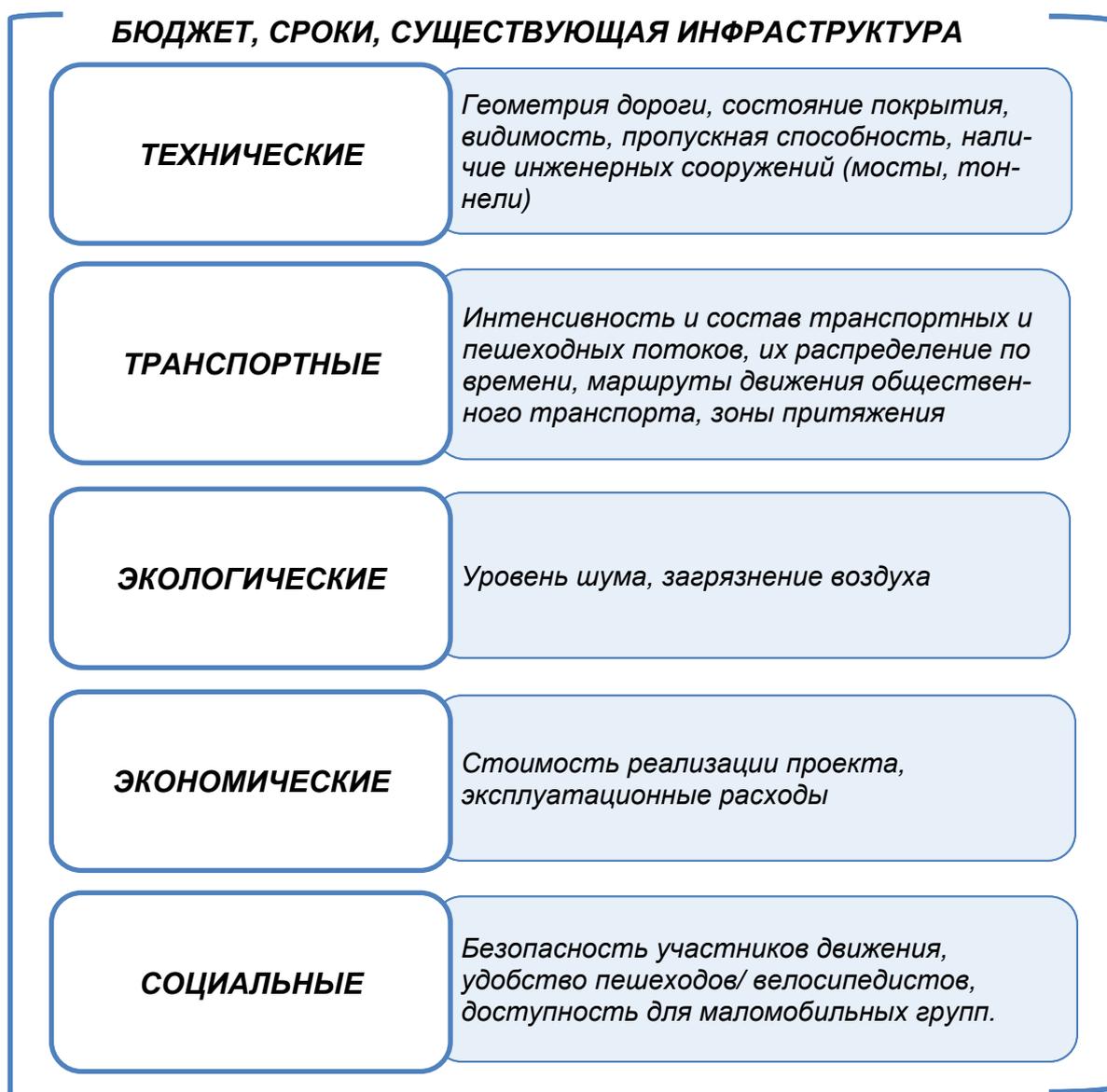


Рисунок 1.5 – Факторы, влияющие на выбор проектных решений

Проектные решения должны соответствовать стандартам проектирования, действующим на уровне страны, субъекта РФ, муниципалитета, а также учитывать местные практики проектирования. Однако, многочисленные нормативные акты,

издаваемые различными уровнями государственной власти (федеральные, региональные, местные), зачастую содержат противоречия. Требования нормативных документов могут дополнять друг друга, при этом часть из них носит обязательный характер, а другие – рекомендательный, предлагая удачные решения и уточнения. Поэтому проектировщику критически важно разбираться, какие документы имеют приоритет при проектировании дорог в конкретной местности. Необходимо также учитывать позиции различных администраций и ведомств, участвующих в обеспечении безопасности дорожного движения и согласовании проектов.

Существуют и устоявшиеся местные практики применения технических средств организации дорожного движения. Например, устройство дублирующих знаков 3.27 «Остановка запрещена» на четырехполосных полосах на встречной полосе движения (в том же направлении), для дополнительного информирования водителей о правилах парковки, в отсутствие такого требования действующих ГОСТ. Другой пример – устройство шумовых полос в населенном пункте для предупреждения водителей о приближении к опасному участку дороги. Подобные местные особенности варьируются от региона к региону и даже внутри городов, но их также необходимо учитывать при разработке схемы организации дорожного движения.

Знание проектировщиком широко используемых типовых схем управления дорожным движением, шаблонов [103] значительно упрощает процесс проектирования, но даже в этом случае необходимо учитывать возникающие на местах противоречия, связанные как с геометрическими параметрами, так и с благоустройством территории. Наличие коммуникаций, люков, памятников архитектуры также могут накладывать свои ограничения на принятие решений, заставляя отступать от стандартов или искать альтернативные проектные решения.

Как правило, проектировщик использует набор программ в качестве инструментов, включая систему автоматизированного проектирования, текстовый редактор для создания пояснительной документации и редактор электронных таблиц для подготовки сметы. В качестве исходной информации для разработки схем движения используются следующие данные:

- видеобанк дорожных данных, включающий видеоряд изображений дороги

с географической привязкой, снятый с мобильной дорожной лаборатории или беспилотного летательного аппарата, с учетом уклонов дороги, радиусов кривизны и т.д.;

- карты местности, на которых отражены координаты проектируемой дороги и дополнительная пространственная информация [107], например, об авариях, поворотах, видимости и т.д.;
- аналитическая информация о местности с учетом организаций и предприятий, характера их деятельности, особенностей культурно-развлекательной жизни города.

Вся информация анализируется проектировщиком для создания оптимальной схемы управления дорожным движением [56], при этом условия оптимальности могут быть разными: снижение аварийности, увеличение пропускной способности, увеличение средней скорости и т.д. Таким образом, схема процесса поддержки принятия решений при проектировании трафика примет форму, показанную на рисунке 1.6. При этом сбор информации о транспортной инфраструктуре выполняется с использованием систем обследования транспортной инфраструктуры на основе передвижных дорожных лабораторий [62, 101].

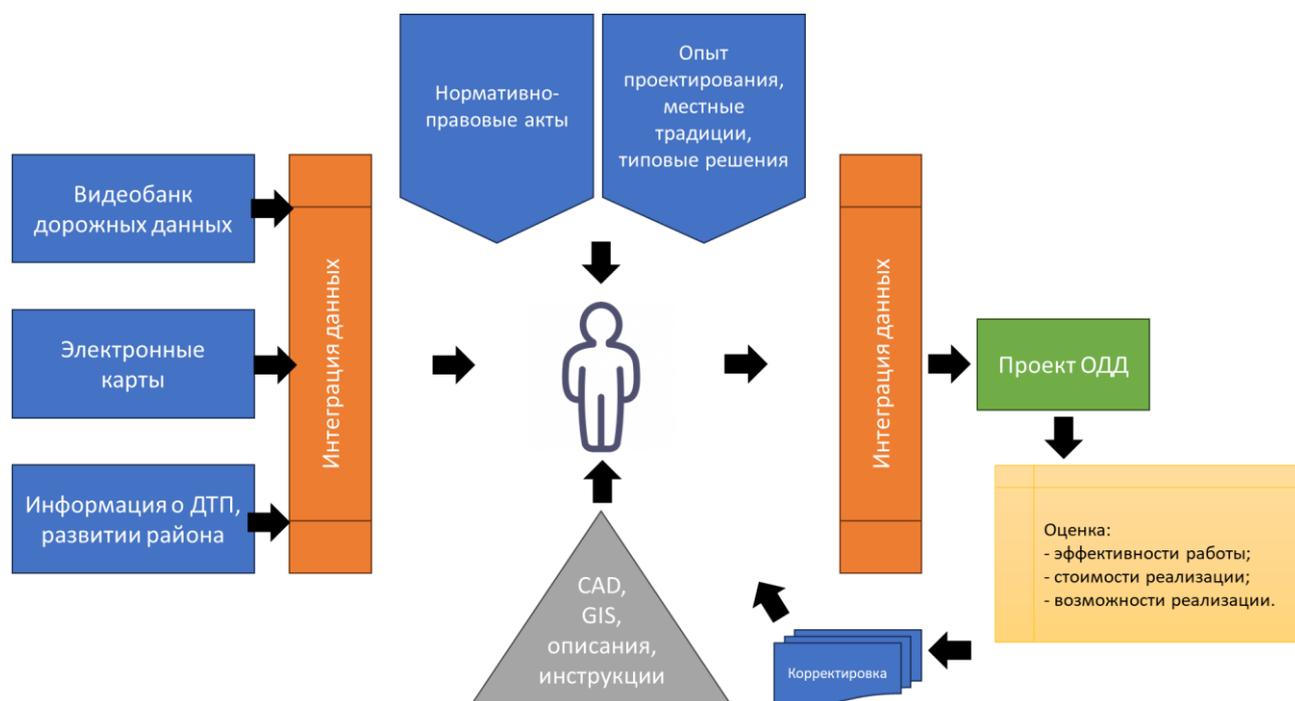


Рисунок 1.6 – Условия и факторы принятия решений при разработке проектов организации дорожного движения

Таким образом, создание эффективной транспортной инфраструктуры требует комплексного подхода, включающего рациональное проектирование с использованием всех доступных данных [94], в том числе неструктурированных [45, 95], в режиме онлайн для учета интересов всех заинтересованных участников. В контексте анализа неструктурированных текстовых данных рассматривается применение языковых моделей и моделей искусственного интеллекта [111, 115].

## **1.2. Системы обследования дорожной инфраструктуры**

Для эффективного и быстрого обследования дорожной инфраструктуры применяются специализированные системы обследования, которые обеспечивают сбор, обработку и анализ данных о состоянии дорожного полотна, конструктивных элементов и средств организации дорожного движения. В последние годы наблюдается активное внедрение автоматизированных и интеллектуальных технологий в процессы обследования дорог [5, 38]. Передвижные дорожные лаборатории, мобильные комплексы и программные платформы с применением искусственного интеллекта позволяют значительно повысить точность, скорость и объективность сбора данных и повсеместно используются проектными организациями. Такие системы не только обеспечивают комплексную оценку состояния дорожной инфраструктуры, но и формируют цифровую основу для принятия управленческих решений, планирования ремонтов и повышения безопасности дорожного движения [6].

Передвижная дорожная лаборатория (ПДЛ) представляет собой измерительный комплекс, установленный на шасси автомобиля и производящий необходимые вычисления для измерения транспортно-эксплуатационных показателей автодороги.

Возможности применения ПДЛ заключаются в следующем:

- измерение длины пройденного пути;
- определение географических координат;

- получение информации о геометрических параметрах дорог;
- панорамная видеосъёмка автомобильных дорог;
- определение амплитуды колебаний подвески автомобиля;
- фиксация параметров инженерного обустройства;
- получение детальной ведомости дефектов покрытия;
- измерение высотных отметок поперечного профиля и оценка колеяности покрытия;
- непрерывное измерение неровностей продольного профиля покрытий;
- определение толщины конструктивных слоёв дорожной одежды, выявление просадок, разуплотнённых и обводнённых участков, получение данных о местонахождении подземных коммуникаций;
- учёт интенсивности транспортного потока;
- контроль уровня искусственного освещения автомобильных дорог;
- определение коэффициента сцепления дорожного покрытия;
- определение несущей способности (прочности) нежестких дорожных одежд автомобильных дорог.

Выделим основные параметры, получаемые при диагностике автомобильной дороги, и соотнесем их с требуемой точностью определения (таблица 1.1) [8].

Таблица 1.1 – Оцениваемые параметры и точность их определения

Оцениваемый параметр	Требования к точности
Ширина проезжей части	0,1 м [17]
Ось дороги	Точность измерений должна соответствовать точности, предъявляемой к топографическим планам масштаба 1:2000 [17]
Координаты километровых столбов	1 м в плане [33]
Угол поворота трассы	0,4° [17]
Продольный и поперечный уклоны проезжей части	2 ‰ [17]
Пройденный путь	0,05 ‰ [33]
Расстояние видимости	5 % [15, 16]
Координаты инженерного обустройства	1 м [33]

Среди имеющихся на отечественном рынке ПДЛ в рамках настоящего исследования выделены такие лаборатории, как «Трасса», «Эскандор», «Росдортех-Индор», «Магистраль». Их сравнение приведено в таблице 1.2.

Таблица 1.2 – Сравнительные характеристики ПДЛ

Характеристика	Трасса	Эскандор	Росдортех-Индор	Магистраль
Организация-разработчик	СДТ (Саратов)	СпецДорМаш (СПб)	РДТ-ИНДОР (Саратов)	БетонТест (Москва)
Автомобиль-основа	Универсальная	КАМАЗ	Универсальная	ГАЗель
Производительность, км/сут.	300	400	300	250
Шаг съемки, м	1-20	10	1-20	1-20
Макс. скорость, км/ч	70	70	70	70
Видеосъемка	1-6 камер (180°/360°)	3D-камера	1-6 камер (180°/360°)	1-6 камер (180°/360°)
Геометрия дороги	ГНСС/GPS+МИНС	14 лазерных сканеров	ГНСС/GPS+МИНС	ГНСС/GPS+МИНС
Распознавание ТСОДД	-	+	-	-
Фиксация объектов	Ручной ввод	Авто-распознавание	Ручной ввод	Ручной ввод
Карточки объектов	Моб. приложение	-	Моб. приложение	-
Анализ трафика	+(отдел. модуль)	-	-	-
Доступ к данным	Локальный диск	Онлайн-доступ	Локальный диск	Локальный диск
Построение цифрового двойника	-	+	-	-
Поперечная ровность	Лазерный профилометр	Лазерный сканер	Лазерный профилометр	Лазерный профилометр
Определение прочности дорожной одежды	FWD	Лазерный анализ	FWD	-
Оценка транспортно-эксплуатационного состояния	Полуавтомат.	Автомат.	Полуавтомат.	Полуавтомат.
Стоимость, млн руб.	от 3	от 100	от 3,5	от 4

ПДЛ «Трасса» предназначена для диагностики, паспортизации, контроля транспортно-эксплуатационного состояния автомобильных дорог. Утверждена как тип средства измерения. Базовая комплектация оборудуется [27]:

- малогабаритной интегрированной навигационной системой – предназначена для измерения геометрических параметров автомобильных дорог;
- системой компенсации перемещений кузова – предназначена для устранения погрешности, вносимой колебанием кузова, в процессе измерений;
- высокоточным ГЛОНАСС/GPS приемником – для фиксации координат и соотношения данных сканирования и видеоанализатора.

Дополнительные модули, устанавливаемые на ПДЛ, позволяют осуществлять 2-D-сканирование покрытия дороги на основе лазерных высокоскоростных профилометров с шириной захвата до 4 м и точностью измерения глубины колеи  $\pm 1$  мм. Шаг получения поперечных профилей  $< 1$  м. Количество измерительных точек в каждом профиле не менее 5000. Такие измерения дают возможность проводить измерение международного индекса продольной ровности (IRI), расчет амплитуд по методу «Boeing», вести запись микропрофиля поверхности дорог с шагом  $0,125 \div 0,25$  м. Использование георадара позволяет осуществлять зондирование дорожной одежды на глубину от 0,5 м до 5 м. Возможен монтаж на кузове ПДЛ видеоанализатора транспортных и пешеходных потоков на выдвижной пневмомачте [37]. Лаборатория КП 514 СМП «Трасса» популярна за счёт возможности установки средств измерения на любую автомобильную базу. Имеет высокую мобильность, может быть использована для труднопроходимых автодорог в частом секторе, в горной местности, небольших улиц малой протяженности. Однако, для проведения полного комплекса обследований требуется множество специальных отдельных модулей, что неудобно при обследовании автодорог населенных пунктов, удаленных от места базирования лаборатории.

ПДЛ «Эскандор», выполненная на базе КАМАЗ, имеет место оператора и используется для сплошной безостановочной диагностики, паспортизации и оценки транспортно-эксплуатационного состояния автомобильных дорог методом синхро-

низированного измерения и контроля основных параметров: прочности, продольной и поперечной ровности, шероховатости, колеяности, геометрических параметров, распознавания дорожных знаков и разметки. В состав системы входит лазерный двумерный сканер, работающий с частотой сканирования 400 Гц и программное обеспечение по сбору и обработке данных. Ширина измеряемого поперечного профиля 3,5 м. Точность измерений 1 мм. С помощью лазерных сканеров алгоритм производит сравнение высотных отметок в месте приложения нагрузки от колеса полуприцепа с отметками в ненагруженной зоне. Алгоритм обеспечивает вычисление чаши прогиба по данным лазерных сканеров с точностью до 0,04 мм. Измерения производятся при помощи сбора сигналов с пяти лазерных триангуляционных датчиков, работающих с частотой 3800 Гц и последующей их обработке на специальном программном комплексе. Георадар с распределенными приемными и передающими высокочастотными антеннами широкого диапазона формирует отчет в виде радиографического изображения с пространственной локализацией объектов и неоднородностей, скрытых в различных слоях дорожной конструкции.

Лаборатория наилучшим образом показывает себя для обследования протяжённых магистралей федерального и регионального значения, где критически важны скорость сбора данных и синхронность измерений.

ПДЛ «Росдортех-Индор» [25], представляет собой комплекс высокоточных измерительных систем, установленных на специализированном транспортном средстве. Оборудование включает систему 2D-сканирования дорожного покрытия посредством лазерных высокоскоростных профилометров, прицепную установку «Прогибомер FWD-РДТ» с девятью датчиками (геофонами) для оценки упругого прогиба дорожного полотна по всей зоне измерений, а также систему контроля состояния поверхности дороги с использованием лазерных сенсоров, расположенных под днищем лабораторного автомобиля.

Комплекс предназначен для оперативного мониторинга текущего технического состояния автодорог, обеспечивая сбор объективных и точных данных прямо на месте обследования с последующей передачей результатов в геоинформацион-

ную систему автомобильной инфраструктуры «IndorRoad» [34]. Это позволяет повысить эффективность и производительность работ по диагностике дорожных покрытий.

ПДЛ «Магистраль» предназначена для комплексной оценки состояния автомобильных дорог. Лаборатория оснащена оборудованием, позволяющим проводить паспортизацию и видеосъёмку обследуемых участков. Все установленные системы сертифицированы и внесены в государственный реестр. Основные возможности ПДЛ:

- измерение геометрических характеристик дорог (продольная и поперечная планировка);
- оценка прочности и ровности дорожного покрытия;
- определение коэффициента сцепления колес с покрытием;
- анализ интенсивности и структуры транспортного потока;
- контроль наличия и состояния конструктивных элементов автодороги.

Для анализа состояния дорожного покрытия применяется система 2D-сканирования на основе лазерных высокоскоростных профилометров [29].

Кроме универсальных комплексов ПДЛ, имеются узконаправленные решения для специализированных задач. Например, система «Control ODX» ориентирована на автоматический мониторинг состояния объектов городской среды с применением технологий искусственного интеллекта. Установленная на автомобиль мобильная система видеофиксации фиксирует окружающую обстановку, а интеллектуальные алгоритмы компьютерного зрения мгновенно выявляют дорожные знаки, разметку, светофоры, барьерные конструкции и возможные нарушения их исправности (деформации, загрязненность, изношенность), точно определяя местоположение дефектов. Система формирует детализированные отчёты с фотодоказательствами нарушений и проверкой соответствия ГОСТ, совместима с картографическими системами и управленческими платформами.

Цифровизация процессов обследования и диагностики автодорог приводит к появлению больших объемов разнородных данных о дорожной инфраструк-

туре [61], которые представляются с использованием геоинформационных моделей и геоинформационных систем (ГИС) для дальнейшего анализа и структурирования [13]. Геоинформационные модели в составе цифровых двойников дорожной инфраструктуры [84, 112] способствуют принятию решений относительно транспортного планирования и проектирования [71, 72], так как в едином цифровом поле сводится информация об интенсивности транспортных потоков, ДТП и аварийности на участках УДС, параметрах УДС, собранных с ПДЛ, и доступные данные открытых источников информации в сети Интернет. Использование современных интеллектуальных средств цифрового документооборота [26] и проектирования [31] позволяет избежать проблем, связанных с многочисленными изменениями проектов.

### **1.3. Системы разработки схем организации дорожного движения**

Для снижения временных и финансовых затрат на разработку ПОДД проектные организации используют специализированное программное обеспечение, способное автоматизировать решение отраслевых задач, таких как проектирование схем размещения технических средств организации дорожного движения, генерацию ведомостей, подсчёт объёмов работ.

Эффективность использования систем автоматизированного проектирования в сфере планирования безопасной дорожной среды неоднократно доказана на практике [93]. К наиболее распространённым системам этого класса в России относят Autodesk Civil3D (Autodesk, США) и ее отечественный аналог NanoCAD (ООО «Нанософт разработка», Россия, г. Москва) IndorRoad (IndorSoft, Россия, г. Томск), ROBUR (Тороматик, Россия, г. Санкт-Петербург), Титул-2005 (СДТ, Россия, г. Саратов), CREDO (Кредо-Диалог, Беларусь) [78]. Каждая из них покрывает потребности специалистов в узкой сфере дорожного проектирования и планирования и выступает в качестве общего ресурса информационного знания об объектах транспортной инфраструктуры.

Использование указанных программ облегчает работу инженеров, сократив количество лишних действий с созданием чертежей дороги вручную, однако не позволяет обеспечить комплексную разработку разделов организации дорожного движения, оперируя моделью проектируемой или существующей автомобильной дороги. Эти задачи частично закрывают программы IndorTrafficPlan [34] и ITSGIS [21, 30], поскольку в их основе заложено применение геоинформационных технологий, что дает возможность организовать оперативное формирование отчетных документов и возможность работы в едином геоинформационном пространстве.

Система IndorTrafficPlan (интерфейс представлен на рисунке 1.7) имеет в себе широкий функционал для разработки проекта ОДД для автодорог в и вне населенных пунктов: имеется возможность импорта данных с ПДД, совместно с другими продуктами Indor закрывает широкий спектр потребностей проектировщиков; имеется встроенный банк ТСОДД [34] и экспертная система помощи проектировщику по расстановке ТСОДД (однако данная система не эффективна при расстановке ТСОДД в населенном пункте, адаптирована на протяженные автодороги вне населенного пункта); обеспечивает автоматический вывод ведомостей объемов работ, позволяет быстро переходить от текущей дорожной ситуации к проектному решению.

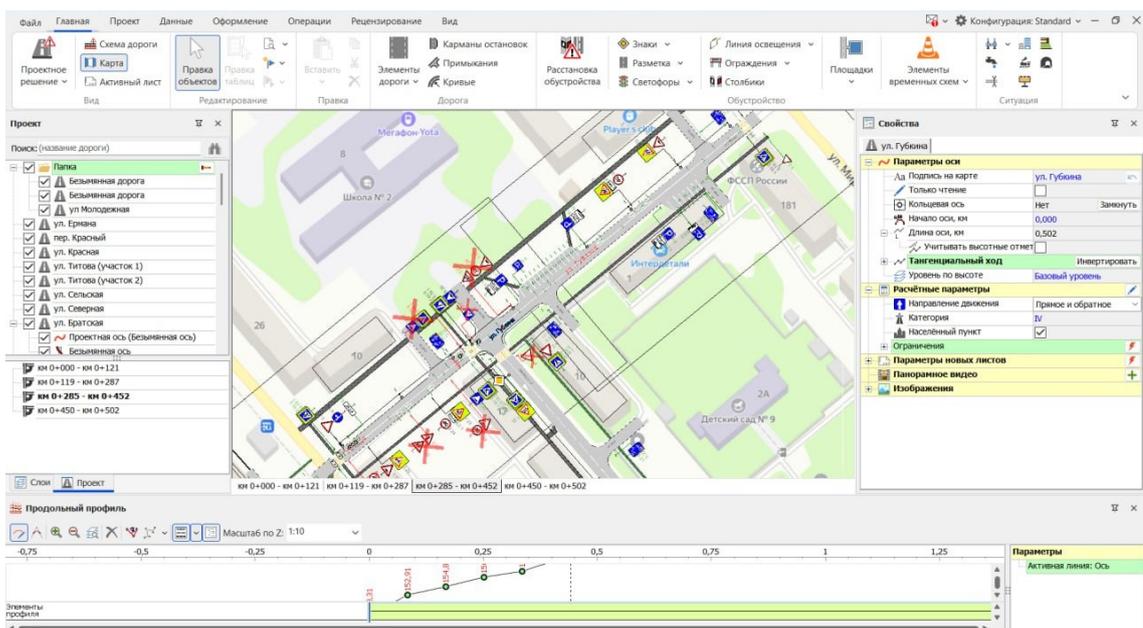


Рисунок 1.7 – Интерфейс программы IndorTrafficPlan

Система ITSGIS (интерфейс представлен на рисунке 1.8) представляет собой цифровую модель местности на основе геоинформационной системы [21, 30], выводит информацию о населенных пунктах, районах. В этой системе эффективно вести разработку схем ОДД для автомобильных дорог местного значения. Ненаполненный банк данных системы имеет карту и информацию о сооружениях, включает в себя встроенный банк ТСОДД, обеспечивает вывод ведомостей объемов работ. Позволяет внести информацию об интенсивности транспортных потоков, посмотреть карту интенсивностей и уже исходя из этого формировать проектные решения.

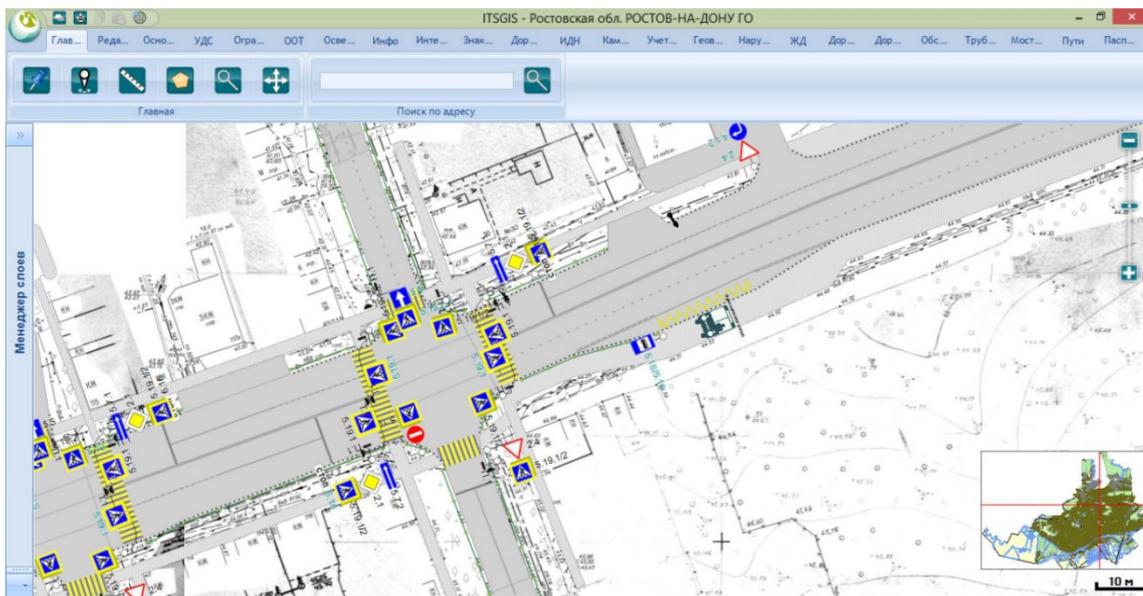


Рисунок 1.8 – Интерфейс программы ITSGIS

Результаты аналитического сравнения распространенных программ для разработки ПОДД приведены в таблице 1.3.

Таблица 1.3 – Сравнение популярных программ для разработки ПОДД

Сравнительная характеристика	Популярные программы для разработки ПОДД			
	IndorTrafficPlan	ITSGIS	AutoCAD	Corel Draw
<b>Интеграция с ПДЛ</b>				
Возможность загрузки данных о дороге с ПДЛ	+	-	-	-
<b>Работа с картой</b>				
Возможность использования картографической подосновы	+	+	-	-

Сравнительная характеристика	Популярные программы для разработки ПОДД			
	IndorTrafficPlan	ITSGIS	AutoCAD	Corel Draw
Возможность использования в качестве подложки растровых изображений (ортофотопланов или топо съемки)	+	+	+	+, возможно перевести в векторный вид
Возможность использования подосновы (топо съемки) в векторном формате	-	-	+	+
Формирование улично-дорожной сети	Вручную	Автоматически, требуется корректировка	Вручную	Вручную
Возможность загрузки информации о высотах автодороги	Интеграция с ПДД / автоматически из открытых источников	Интеграция с ПДД	Вручную или по топо съемке	Вручную
Возможность нанесения размеров	+, с ограничениями	+	+	+
<b>Работа с ТСОДД</b>				
Наличие банка ТСОДД	+	+	+	+
Разнообразие ТСОДД в соответствии с ГОСТ РФ	Большое	Малое	Задается вручную	Задается вручную
Возможность создания знаков индивидуального проектирования	Автоматизированно, ограничено возможностями системы	Автоматизированно, ограничено возможностями системы	Есть, вручную	Есть, вручную
Адресные привязки	Автоматически	Автоматически	Автоматически	Автоматизированно
Формирование адресных ведомостей расстановки ТСОДД	Автоматически	Автоматизированно	Автоматически	Автоматизированно
Выбор ведомостей для экспорта	+	+	+	+
<b>Формирование пакета документов</b>				
Возможность разработки спрямленного ПОДД	+	-	-	-
Создание нарезки на листы	Автоматически	Автоматически	Автоматизированно	Автоматизированно
Формирование томов	+	-	-	-

Сравнительная характеристика	Популярные программы для разработки ПОДД			
	IndorTrafficPlan	ITSGIS	AutoCAD	Corel Draw
Работа с несколькими улицами	+	+	-	-
Импорт файлов сторонних приложений	.dxf,	-	.dxf, .dwg, .pdf	.dxf, .dwg
Экспорт файлов в форматы	.pdf, .xls, .dxf	.dxf, .rtf	.dxf, .dwg, .pdf	.cdr, .dxf, .pdf
Возможность совместной работы	-	+	-	-

Использование вышеперечисленных программ позволяет разработать проектировщику графические материалы, сформировать ведомости расстановки ТСОДД и спецификации по объёмам работ, оформить ситуационные планы. Однако, за проектировщиком остается непосредственное принятие проектных решений и их осуществление на схемах ОДД и оформление пояснительных записок с описанием результата анализа дорожно-транспортной ситуации, описанием проектных решений и обоснованием утверждаемого варианта проектных решений, включающим в себя оценку эффективности мероприятий по организации дорожного движения.

Оценка эффективности мероприятий по организации дорожного движения, в свою очередь, выполняется при помощи специализированных средств транспортного моделирования [73], таких как PTV Vision Vissim и Visum, SUMO, MATSim [89, 109]. В качестве показателей оценки эффективности принятых проектных решений, получаемых с помощью средств моделирования, специалистами используются такие параметры, как время проезда участка сети, плотность трафика, длина очереди, задержки на перекрестках, средняя скорость потока, число конфликтных точек, коэффициент загрузки дорог движением.

Программное средство Visum предназначено для проведения макро моделирования, необходимого для проведения стратегического планирования и разработки комплексных транспортных решений, а Vissim, SUMO и MATSim используются для микро моделирования, необходимого при разработке узконаправленных проектных решений. Кроме этого, SUMO и MATSim поддерживают транспортные сети макроуровня – в рамках одного города или агломерации.

Для идентификации и валидации транспортной модели требуется определенный объем исходных данных, включающий топологию транспортной сети, условия проезда, данные по интенсивности и скорости транспортных потоков, сведения о пропускной способности сети и показателях перегруженности дорог. Передача необходимых данных в средства моделирования возможна с помощью внешних и встроенных вспомогательных инструментов – утилит. Например, в SUMO присутствует утилита `netconvert` [35], позволяющая импортировать транспортную сеть из OpenStreetMap, Visum, Vissim и MATsim, однако полученная транспортная сеть требует доработки, в частности, корректировки программ светофорных циклов, задания условий движения и параметров транспортных потоков.

Это предполагает объемную рутинную работу, которая связана с интеграцией на основе файлового обмена, т.е. информация систем проектирования вспомогательными программами-трансляторами переводится в формат среды моделирования, доводится проектировщиками до проектного решения вручную. Обратная передача результатов моделирования также выполняется вручную, поскольку системы проектирования не поддерживают автоматизированную интеграцию.

В самих же системах проектирования возможность автоматизированной передачи данных в среды моделирования не поддерживается, то есть возникает необходимость интеграции данных, представленных в различных структурах и форматах. Современные решения для интеграции мультиструктурных и мультимодальных данных часто базируются на облачных технологиях, программируемых роботах и распределенных системах хранения данных [104]. Альтернативный подход – использование семантических технологий, обеспечивающих связывание и сопоставление данных, представленных в различных структурах, через общие понятия и отношения между ними [63, 77]. Применяются и графовые базы данных, которые позволяют унифицировать структуры данных и обеспечивать их совместимость [64, 90]. Другим распространенным методом является применение машинного обучения для извлечения и объединения признаков из мультимодальных данных [79, 114]. Однако, использование семантических технологий, технологий ма-

шинного обучения и нейросетевых моделей затруднено на практике ввиду ресурсоемкости, поскольку поступающие данные следует отфильтровать и оценивать в соответствии с их семантикой, текущим контекстом, а также требованиями лиц, принимающих решения в области организации дорожного движения.

По результатам проведенного анализа, можно сделать следующие выводы:

1. Стандартные графические векторные редакторы открывают широкий функционал для различных представлений ПОДД и разработки макетов индивидуальных знаков, однако не имеют в себе функционала автоматизации процесса проектирования, что сильно замедляет работу в таких системах.

2. Оптимальными инструментами для проектирования организации дорожного движения являются специализированные системы. Однако при значительном увеличении количества объектов в проекте эффективность работы данных систем существенно снижается, что приводит к замедлению процесса проектирования.

3. Для создания ПОДД в составе строительной документации целесообразно применять системы, поддерживающие загрузку топографической съемки в векторном формате, что способствует более детальной проработке всех элементов дорожной инфраструктуры и повышения качества разработанного ПОДД, однако требует от проектировщика высоких знаний действующих норм.

4. Необходима разработка единого обменного формата документации по ОДД для обеспечения совместимости различных систем и – в долгосрочной перспективе – интеграции созданных проектов ОДД в цифровой двойник транспортной модели города [1], что может способствовать оптимизации процессов разработки ПОДД, упрощения взаимодействия между согласующими органами, формирования статистики и других задач.

5. На рынке продуктов, предназначенных для подготовки и реализации мероприятий по организации дорожного движения, все еще нет полномасштабных решений, способных довести до автоматизма решение специфичных проектных задач по ОДД, таких как расстановка технических средств, при учете множества факторов, влияющих на показатели безопасности и эффективности транспортной сети.

6. С точки зрения использования средств моделирования системы проектирования выступают главным источником данных, в то же время результаты моделирования должны быть использованы в системах проектирования для принятия проектных решений, т.е. являются входными для них, таким образом, целесообразно объединить функциональные возможности в одной среде, т.е. выполнить интеграцию на основе общей базы данных.

7. Необходимо применение технологий искусственного интеллекта для мониторинга и анализа работ (затрат) по проектированию, строительству, ремонту и содержанию объектов транспортной инфраструктуры для всех видов транспорта; создание цифрового двойника единой опорной сети и внедрение систем анализа и моделирования пропускной способности объектов транспортной инфраструктуры, статического и динамического моделирования транспортных потоков.

#### **1.4. Поддержка принятия проектных решений**

Заторы на дорогах большинства крупных мировых городов обусловлены рядом факторов, включающих ограничения пропускной способности дорожной сети и случайные инциденты на маршрутах. Заторы вызывают серьёзные социально-экономические проблемы, начиная от значительных финансовых издержек и заканчивая угрозой человеческим жизням. Для минимизации последствий этих явлений в современных условиях успешно внедряются автоматизированные системы мониторинга и управления дорожным движением, применяемые в крупных городских агломерациях. Тем не менее, ввиду роста интенсивности транспортных потоков и усложнения динамичных пространственно-временных условий актуальной задачей остаётся разработка дополнительных проактивных мер предупреждения заторов.

Поскольку информация о дорожном движении преимущественно имеет пространственную природу (местоположение, траектория перемещения и др.), пространственные СППР выступают наиболее перспективными средствами, специально разработанными для облегчения деятельности специалистов, принимающих

решения в ситуациях сложной пространственной взаимосвязанности [4, 83]. Широкая практика применения таких систем охватывает ряд областей, включая городское планирование, рациональное использование природных ресурсов и организацию транспорта, демонстрируя устойчивый тренд развития.

Вместе с тем существующие стандартные инструментальные средства ГИС зачастую обладают недостаточной эффективностью для адекватного анализа пространственных данных, осложняя принятие обоснованного решения [54]. Для эффективной работы с большими объёмами пространственной информации СППР традиционно используют хранилище пространственных данных, позволяющее осуществлять быстрый доступ и аналитику накопленных сведений.

Все эти подходы базируются на применении специализированных пространственных многомерных моделей, отражающих внутреннюю структуру хранимых данных и регламентирующих порядок взаимодействия пользователей с соответствующими аналитическими инструментами для детальной оценки состояния дорожной обстановки.

Основой успешного функционирования СППР стало развитие в методах сбора пространственных данных, связанное с внедрением пространственно-распределённых беспроводных сенсорных сетей, позволяющих получать актуальные сведения о происходящих событиях (например, ДТП) и объектах интереса (например, магазинах) в режиме онлайн. Дополнительным фактором прогресса стало увеличение распространённости мобильных устройств, поддерживающих технологии навигации, а также внедрение вспомогательных электронных средств (камеры слежения, устройства радиочастотной идентификации, радары, спутники), предоставляющих возможность полноценного контроля над состоянием дорожной сети.

Процесс принятия пространственных решений отличается повышенной сложностью и вовлечением большого количества заинтересованных сторон, что обуславливает необходимость применения итеративных, интерактивных подходов к принятию решений. Использование соответствующих методов позволяет накапливать значительные массивы данных, относящихся к состоянию дорожного движе-

ния, однако одновременно создает ряд серьезных технологических проблем, касающихся их организации, хранения и обработки. Среди ключевых задач выделяются следующие аспекты: обеспечение своевременного поступления необходимой информации, интеграция разрозненных пространственных данных из различных источников в единую платформу для последующей визуализации и анализа, а также разработка эффективных интерфейсов для персональной навигации и углубленного исследования данных о дорожном потоке.

Современные подходы ориентированы главным образом на обработку информации в виртуальной среде, тогда как физический аспект сбора и мониторинга данных с помощью наземных устройств остается недооцененным и практически игнорируется действующими технологиями.

В пространственных хранилищах данных обычно осуществляется хранение и предоставление доступа к исторической, атрибутивной и пространственно-привязанной информацией. Фактически, подобные хранилища возникают путем объединения двух основных направлений технологий: пространственной обработки данных и многомерного анализа данных. Подход к обработке пространственных данных реализован в виде двух типов систем: пространственных систем управления базами данных (СУБД) и ГИС.

Многомерный анализ данных зарекомендовал себя как ведущая методика поддержки принятия решений в бизнес-сфере. В рамках него данные представлены в форме  $n$ -мерного пространственного куба данных, отображающего многомерную структуру и влияющего на процессы дальнейшей обработки информации. Структура пространственного куба данных основана на совокупности фактов, определённых показателями и измерениями. Показатели формируют оси анализа, каждое измерение представляет собой набор одной или нескольких иерархий, содержащих уровни различной степени детализации. Элемент иерархии обозначается как экземпляр уровня. Меры, представляющие собой количественные характеристики, анализируются применительно к соответствующим элементам иерархий. Комбинации элементов различных уровней совместно с ассоциированными мерами именуется фактами.

Эффективность анализа данных в таком случае обусловлена наличием развитых многомерных моделей, сохраняющих пользователя в роли центрального элемента и достигающих ясной абстракции данных для всех субъектов системы.

Современные СППР для управления дорожным движением пока не достигают должного уровня эффективности, особенно в части удовлетворения потребностей множественных групп заинтересованных сторон. Дело в том, что существующие решения неспособны полноценно объединять разнородные источники данных и поддерживать разные представления одного и того же объекта согласно различным масштабам восприятия и семантическим интерпретациям [67]. Причина данной недостаточности заключается в ориентации существующих пространственных многомерных моделей на конкретные предметные области, исключаящей необходимую степень гибкости для учета индивидуальных предпочтений и особенностей восприятия множества заинтересованных сторон.

Процесс принятия решений при разработке ПОДД всегда связан с оценкой большого количества факторов и рассмотрения возможных альтернатив, поэтому его можно определить, как сложный интеллектуальный процесс, целью которого является выбор оптимального решения на основе различных критериев, определяемых лицом, принимающим решение (ЛПР) [60]. Основной сложностью в выборе одной из альтернатив является то, что критерии оценки зачастую конфликтуют между собой, что в большинстве случаев делает невозможным выбор решения, превосходящего все остальные по каждому из критериев [113]. Поэтому для принятия решений ЛПР используют один или комбинацию из нескольких многокритериальных методов [50]. Системный анализ, как фундаментальная научная дисциплина, предоставляет методологическую основу для организации решения проблем поддержки принятия решений в различных областях человеческой деятельности [6].

Принятие решений в области транспортного планирования предполагает сопоставление выгод от внедрения мероприятий по организации дорожного движения с соответствующими затратами, рисками и воздействием на окружающую среду в связи с чем обосновано применение методов анализа затрат и выгод и многокритериальный анализ, как, например, метода анализа иерархий [24].

Декомпозиция выявленных проблем при создании СППР в задачах управления дорожным движением приведена на рисунке 1.9.

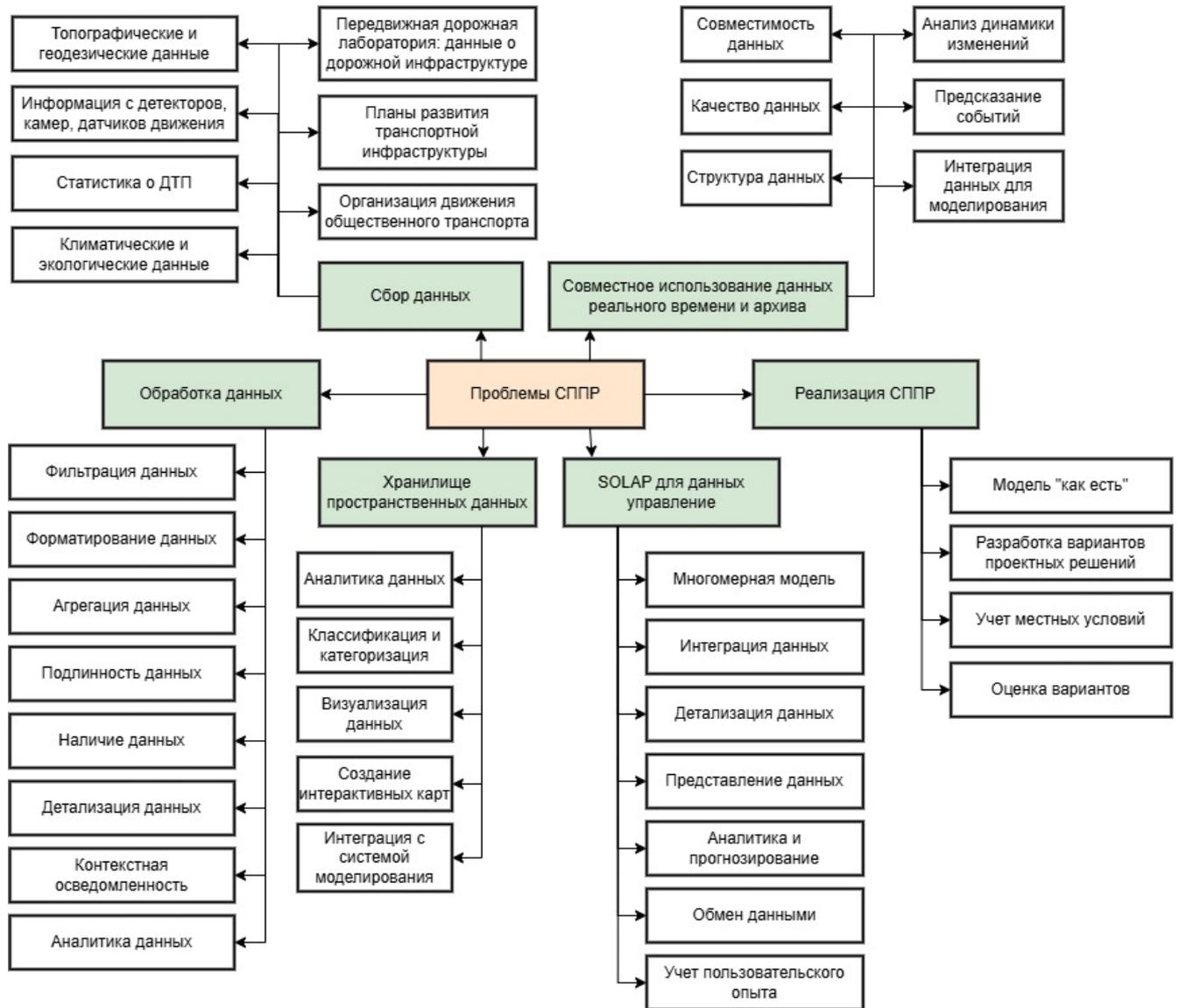


Рисунок 1.9 – Декомпозиция выявленных проблем при создании СППР в задачах управления дорожным движением

Методы и модели, описанные в [14, 23, 32] могут быть использованы для выявления значимых факторов, связанных с дорожно-транспортной аварийностью, ее моделированием, анализом и прогнозированием. Из-за неоднозначности и неопределенности процесса оценки рисков и безопасности дорожного движения возникает необходимость использования многокритериального метода принятия решений для работы со сложными системами, который предполагает выбор одного из многих вариантов проектирования.

В [80] рассматривается комплексный пошаговый анализ весовых коэффициентов оценки с измерением альтернатив и ранжированием в соответствии с подходом к принятию компромиссного решения в рамках сферического нечеткого множества. В [85] представлена адаптивная двухэтапная модель, которая использует многоцелевую оптимизацию с интеллектуальным анализом ассоциативных правил. Результаты исследования тяжести ДТП [96], основанного на алгоритме дерева решений с параметрами, показывают, что можно спрогнозировать тяжесть ДТП и предоставить указание на критические значения, которые необходимо отслеживать для снижения их количества.

В [81] представлен подход к обсуждению потенциала реконструкции дорог, основанный на оценке исторических записей инцидентов на уровне сети из-за дорожно-транспортных происшествий в Греции. На основании общего числа аварий и данных о смертельных исходах следующие аспекты, связанные с инфраструктурой, были оценены как критические для обсуждения потенциальных потребностей в реконструкции дорог: состояние дорожного покрытия, проблема улучшения условий движения вблизи перекрестков с нормальным движением, наличие и пригодность знаков и освещения, а также учет конкретных геометрических особенностей дороги.

В [86] факторы, влияющие на тяжесть наездов на пешеходов, были проанализированы с использованием моделей машинного обучения. Результаты показали, что большое влияние оказывают землепользование, парковка и интенсивность движения в часы пик, в то время как факторы общественного транспорта, скорости и типа дороги оказывают наибольшее влияние на безопасность пешеходов. Поэтому для повышения безопасности пешеходов необходим тщательный контроль за плотностью движения общественного транспорта на основных магистралях, сокращение заторов и контроль скорости движения транспортных средств, особенно в часы пик. В [65] оцениваются различные подходы, такие как логистическая регрессия, дерево решений, случайный лес, глубокая нейронная сеть, метод опорных векторов, К-ближайших соседей, байесовские методы геопространственного анализа и другие алгоритмы. Использование передовых алгоритмов оптимизации и методов

машинного обучения в сочетании с интеграцией пространственных и временных данных на основе географической информационной системы позволяет разрабатывать точные прогностические модели, которые могут помочь выявить очаги аварийности, снизить тяжесть аварий, уменьшить заторы и повысить общую безопасность дорожного движения.

### 1.5. Критерии оценки эффективности организации дорожного движения

Оценка эффективности мероприятий ОДД на этапе проектирования дорожного движения осуществляется с применением математических расчетов, использованием методов математического и имитационного моделирования [68, 74, 75].

На рисунке 1.10 представлена иерархическая структура интегральных, целевых и функциональных индикаторов, используемых для оценки эффективности решений в области ОДД при внедрении интеллектуальных транспортных систем (ИТС) [28, 51]. Уровень интегральных индикаторов определяют индикаторы, отнесенные к группам «Бизнес», «Государство», «Социум». Эти группы формируются из целевых индикаторов, которые, в свою очередь, связаны с уровнем функциональных индикаторов.

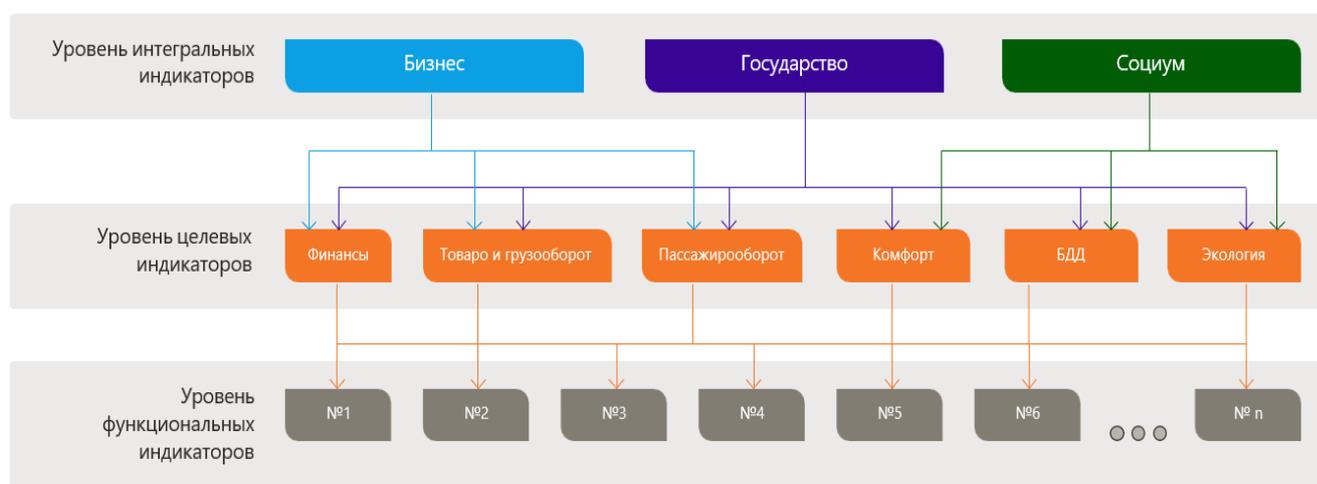


Рисунок 1.10 – Архитектура индикаторов эффективности ОДД

Содержание и структура функциональных индикаторов эффективности ОДД приведены на рисунке 1.11. При расчете целевых показателей должны учитываться индикаторы, связанные с обеспечением безопасности дорожного движения, такие как количество ДТП, число раненых и погибших в ДТП, социальный и транспортный риски, а также суммарный ущерб транспортным средствам, объектам инфраструктуры и грузу. При реализации передовых средств управления дорожным движением, например, ИТС, учитываются индикаторы, связанные с обеспечением экологической безопасности, включая выбросы загрязняющих веществ, а также выбросы частиц при износе шин и уровень зашумленности. Для транспортно-логистических систем учитываются индикаторы, влияющие на грузооборот, например, объем (количество) груза, эксплуатационные расходы на перевозку и средняя скорость движения. Для систем городского транспорта используются индикаторы, связанные с повышением пассажирооборота, такие как количество пассажиров, эксплуатационные расходы на перевозку и средняя скорость движения. Немаловажно учитывать и финансовые аспекты схем ОДД, связанные с экономическим эффектом от их реализации, а также эксплуатационные расходы. В свете развития человекоцентричных парадигм в современных городах, учитываются индикаторы, связанные с повышением комфорта пользователей, такие как уровень обслуживания, уровень загрузки движения, время в пути, надежность предоставляемой информации, стоимость поездки, увеличение мобильности пользователей и др.



Рисунок 1.11 – Содержание и структура функциональных индикаторов эффективности ОДД

Таким образом, единый подход к оценке эффективности проектных решений по ОДД отсутствует. Нормативно-технические документы делают попытки формализовать те или иные показатели, например, вводят весовые характеристики вклада типовых решений в общий эффект снижения вероятности ДТП, однако эти показатели не характеризуют сложную дорожно-транспортную ситуацию в полной мере.

В последние годы в отечественной практике обосновывается необходимость применения методов и программных продуктов математического моделирования транспортных потоков при оценке эффективности проектных решений в сфере ОДД [46, 48].

Для оценки проектных решений с точки зрения безопасности используются метод коэффициентов аварийности, основанный на анализе и обобщении данных статистики ДТП, методы коэффициентов безопасности и конфликтных ситуаций, основанные на анализе графиков изменения скоростей движения по дороге.

Коэффициент аварийности определяется путем перемножения частных значений коэффициентов аварийности  $K_i$ , учитывающих совместное влияние различных дорожных условий (геометрические параметры УДС и транспортный поток):

$$K_A = \prod K_i. \quad (1.1)$$

Значения частных коэффициентов аварийности  $K_i$  принимают согласно ОДМ 218.4.005-2010 «Рекомендации по обеспечению безопасности движения на автомобильных дорогах» в зависимости от объема транспорта в единицу времени (интенсивность на участке)  $K_1$ , состава транспортного потока  $K_2$ , ширины проезжей части  $K_3$ , безопасной скорости потока  $K_4$ , полосности  $K_5$ , наличия одностороннего движения  $K_6$ , наличия освещения  $K_7$ , типов пересечения  $K_8$ , оборудованности перекрестков  $K_9$ , видимости  $K_{10}$ , наличия и расположения остановочных карманов  $K_{11}$ , наличия и расположения пешеходных переходов  $K_{12}$ , тротуаров  $K_{13}$ , продольных уклонов  $K_{14}$ , радиусов кривых в плане  $K_{15}$ , расположения трамвайных путей  $K_{16}$ , покрытия дороги  $K_{17}$ .

При значениях коэффициента аварийности более 15, необходимо предложить мероприятия по его снижению.

Коэффициентами безопасности называют отношение максимальной скорости движения на участке к максимальной скорости въезда автомобилей на этот участок (начальная скорость движения). Расчет указанных скоростей производится с использованием программ для ЭВМ. Коэффициент безопасности зависит от начальной скорости движения и величины отрицательного ускорения. Дорога считается опасной, если коэффициент безопасности превышает значение 0,45 для отрицательных ускорений в интервале 0,5–1,5 м/с<sup>2</sup> и 0,55 – в интервале 1,5–2,5 м/с<sup>2</sup> при начальной скорости 60–80 км/ч; и в случае превышения значения 0,55 при начальной скорости 85–100 км/ч.

Метод конфликтных ситуаций используется при разработке проектов организации дорожного движения для сложных участков дорог. Под конфликтной понимается дорожно-транспортная ситуация, возникающая между участниками дорожного движения или движущимся автомобилем и обстановкой дороги, при которой существует опасность ДТП, но в действиях участников движения не происходит изменений и они могут продолжать движение.

Показателем наличия конфликтной ситуации является изменение скорости или траектории движения автомобиля. Степень опасности этой ситуации характеризуется отрицательными продольными и поперечными ускорениями, возникающими при маневрах автомобилей. Конфликтные ситуации по степени опасности делятся на три типа: легкие, средние, критические.

Количество конфликтных ситуаций каждого типа может определяться как с использованием метода наблюдений, так и с применением метода математического моделирования. Количество конфликтных ситуаций  $K_{\text{пр.крит.}}$  разной опасности приводят к критическим по формуле

$$K_{\text{пр.крит.}} = \alpha K_1 + \beta K_2 + \gamma K_3, \quad (1.2)$$

где  $K_1, K_2, K_3$  – количество легких, средних и критических конфликтных ситуаций за время  $t$  соответственно;

$\alpha, \beta, \gamma$  – коэффициенты,  $\alpha = 0,44, \beta = 0,83, \gamma = 1,0$ .

Относительная аварийность  $q$  (ДТП на 1 млн. авт.-км) на участках дорог с возможными конфликтными ситуациями показывает число ДТП по отношению к протяженности участка УДС и рассчитывается по формуле:

$$q = \frac{K_{\text{пр.крит.}} \cdot 10^6}{TLN}, \quad (1.3)$$

где  $T$  – период времени, сут.;

$N$  – среднегодовая интенсивность движения за период времени  $T$ , авт/сут;

$L$  – длина участка УДС, км.

Мероприятия по организации дорожного движения необходимы для участков улично-дорожной сети, для которых значения коэффициента относительной аварийности превышает значения: 0,9 – в населенном пункте, 0,7 – вне населенных пунктов.

В зарубежной научной литературе широко применяются методы имитационного моделирования для оценки уровня безопасности. В частности, методика *Safety System Assessment Methodology (SSAM)* обеспечивает комплексный анализ уровня безопасности на основе данных микроскопических симуляций. *SSAM* реализует специальные алгоритмы идентификации потенциально опасных ситуаций («конфликтов»), возникающих в симуляциях передвижения автотранспорта, выполненных с помощью программных средств вроде *VISSIM, SUMO* и др. Результаты анализа содержат детальные данные о количестве, характере, тяжести и месте возникновения выявленных конфликтов.

*SSAM* задействует пять ключевых метрик для расчета серьезности риска столкновений:

- время до столкновения (*Time-to-Collision, TTC*);
- время после нарушений ПДД (*Post-Encroachment Time, PET*);

- скорость торможения (*Deceleration Rate, DR*);
- максимальная скорость (*MaxS*) перед возникновением конфликта;
- разница скоростей (*DeltaS*) двух приближающихся машин.

Регистрация конфликта происходит тогда, когда минимальное значение *TTC* и *PET* превышает установленные пределы. При  $PET > 5$  с конфликт детектируется. Серьезность конфликтов определяется в зависимости от интервалов значений *TTC*:  $TTC \leq 0,5$  с (критический),  $TTC \leq 1,0$  с (средний) и  $TTC \leq 1,5$  с (легкий). Тип конфликта (столкновения сзади, перестроения, пересечения полос движения) определяется исходя из сведений о расположении транспортных средств на трассе и угле сближения.

Эффективность предлагаемых проектных решений по организации дорожного движения оценивают по параметрам эффективности организации дорожного движения, характеризующим потерю времени (задержку) в движении транспортных средств и (или) пешеходов.

К таким параметрам относятся:

1. Средняя задержка транспортных средств в движении на *i*-ом участке УДС ( $d_i$ , час) определяется формулой:

$$d_i = \bar{T} - \bar{T}_{\text{св}}, \quad (1.4)$$

где  $\bar{T}$  – среднее время движения транспортных средств по участку дороги, час;

$\bar{T}_{\text{св}}$  – среднее время движения транспортных средств по участку дороги в условиях свободного движения (временной интервал между последовательными транспортными средствами превышает 10 с), час.

Средняя задержка транспортных средств в движении на километр УДС ( $d_s$ , час/км) рассчитывается как:

$$d_s = \frac{\sum m_i \cdot d_i}{\sum m_i \cdot l_i}, \quad (1.5)$$

где  $m_i$  – число полос движения в одном направлении для  $i$ -го участка дороги;

$l_i$  – протяженность  $i$ -го участка дороги, км.

2. Временной индекс на участке УДС ( $I_{Ti}$ ) выражает удельные потери времени транспортного средства на единицу времени его движения:

$$I_{Ti} = \frac{\bar{T}}{\bar{T}_{св}}. \quad (1.6)$$

Временной индекс на УДС ( $I_{Ts}$ ) рассчитывается по формуле:

$$I_{Ts} = \frac{\sum m_i \cdot l_i \cdot I_{Ti}}{\sum m_i \cdot l_i}. \quad (1.7)$$

3. Уровень обслуживания дорожного движения оценивается по шестиуровневой шкале (таблица 1.4) как отношение средней скорости движения транспортных средств к скорости транспортных средств в условиях свободного движения.

Таблица 1.4 – Характеристика уровней обслуживания участков УДС

Уровень обслуживания	Коэффициент загрузки	Коэффициент скорости движения	Коэффициент насыщения движением
A	< 0,2	> 0,9	< 0,1
B	0,2 – 0,45	0,7 – 0,9	0,1 – 0,3
C	0,45 – 0,7	0,55 – 0,7	0,3 – 0,7
D	0,7 – 0,9	0,4– 0,55	0,7 - 1
E	0,9 – 1,0	< 0,4	1
F	> 1,0	0,3	1

Уровень обслуживания участка УДС определяется набором показателей:

1) коэффициент (уровень) загрузки дороги движением  $k_z$  – характеризует экономичность работы автомобильного транспорта, удобство и безопасность движения. Рассчитывается по формуле:

$$k_z = \frac{N}{P}, \quad (1.8)$$

где  $N$  – фактическая интенсивность дорожного движения (количество транспортных средств и (или) пешеходов, проходящих за единицу времени в одном направлении на определенном участке УДС);

$P$  – пропускная способность дороги (максимальная интенсивность движения транспортных средств в одном направлении на определенном участке дороги при условии обеспечения безопасности дорожного движения, определяемая на этапе строительства автомобильной дороги).

2) коэффициент скорости движения  $k_v$  – характеризует зависимость скорости движения от уровня загрузки дороги и рассчитывается по формуле:

$$k_v = \frac{\bar{V}}{\bar{V}_{св}}, \quad (1.9)$$

где  $\bar{V}$  – средняя скорость движения транспортных средств при текущем уровне обслуживания, определяемая как  $\bar{V} = \frac{l}{\bar{T}}$  (отношение протяженности участка  $l$  (км) к среднему времени его прохождения  $\bar{T}$ , ч);

$\bar{V}_{св}$  – скорость движения в условиях свободного движения при уровне обслуживания А.

3) коэффициент насыщения движением  $k_p$  – характеризует плотность транспортных потоков и рассчитывается по формуле:

$$k_p = \frac{\bar{\rho}}{\rho_{max}}, \quad (1.10)$$

где  $\bar{\rho}$  – средняя плотность движения на участке (приведенных легковых автомобилей / км), определяемая как:

$$\rho = \frac{N}{m \cdot \bar{V}}, \quad (1.11)$$

где  $m$  – число полос движения в одном направлении;

$\rho_{max}$  – максимальная плотность движения на участке (при критической интенсивности движения транспортных средств).

К участкам УДС, обеспечивающим движение в режиме перегрузки, относятся участки с уровнем обслуживания  $D$ ,  $E$  или  $F$ .

Уровень обслуживания дорожного движения на УДС определяется по результатам наблюдений за движением. Классификационным критерием диапазона скоростей (таблица 1.5) при действующем уровне обслуживания служит отношение средней скорости движения транспортных средств  $\bar{V}_i$  к скорости свободного хода  $\bar{V}_{i\text{св}}$ , выраженное в процентах:

$$\varepsilon = \frac{\sum \bar{V}_i}{\sum \bar{V}_{i\text{св}}} \cdot 100 \% \quad (1.12)$$

Таблица 1.5 – Значения уровней обслуживания УДС

Уровень обслуживания	$\varepsilon$ , средняя скорость движения ТС на сети дорог (доля скорости свободного движения, %)
A	$\geq 90$
B	70 – 90
C	50 – 70
D	40 – 50
E	33 – 40
F	$\leq 33$

4. Показатель перегруженности  $i$ -го участка УДС выражает долю времени с неудовлетворительным уровнем обслуживания и рассчитывается по формуле:

$$k_{\Pi i} = \frac{t^{EF}}{t_H}, \quad (1.13)$$

где  $t^{EF}$  – суммарная продолжительность сохранения условий движения, соответствующих неудовлетворительным уровням обслуживания дорожного движения  $E$  -  $F$  на участке дороги, час;

$t_n$  – продолжительность наблюдения, час.

Показатель перегруженности улично-дорожной сети в целом:

$$\bar{k}_{\Pi S} = \frac{\sum m_i \cdot l_i \cdot k_{\Pi i}}{\sum m_i \cdot l_i}, \quad (1.14)$$

5. Буферный индекс отражает удельные дополнительные затраты времени движения транспортного средства, возникающие в связи с непредсказуемостью условий движения, и определяется как:

$$I_{bi} = \frac{T_{85\%} - \bar{T}}{\bar{T}}, \quad (1.15)$$

где  $T_{85\%}$  – время движения по участку дороги, которое равно или которое превышает время, зафиксированное у 85% транспортных средств, проехавших по данному участку дороги, (час).

Среднее значение буферного индекса для сети дорог ( $\bar{I}_{bs}$ ) рассчитывается по формуле:

$$\bar{I}_{bs} = \frac{\sum m_i \cdot l_i \cdot I_{bi}}{\sum m_i \cdot l_i}, \quad (1.16)$$

Необходимо предпринимать решения по организации дорожного движения для повышения надежности функционирования улично-дорожной сети при  $I_b > 0,3$ .

В системах имитационного моделирования транспортных потоков агрегированные статистические показатели о параметрах транспортного потока рассчитываются на основе данных, собранных во время симуляции.

## Выводы по главе

1. Сегодня информационные технологии играют важную роль в развитии транспортной инфраструктуры Российской Федерации. Цифровая трансформация дорожной отрасли существенно повышает эффективность организации движения транспорта и снижает количество ДТП, способствуя стабильному экономическому росту, однако одновременно усложняя саму транспортную систему.

2. Увеличение сложности транспортной системы порождает новые вызовы: необходимость разработки эффективных схем ОДД, учитывающих специфику УДС, ситуацию на дорогах, характеристики транспортных потоков, применяемые ТСОДД и требования нормативных документов, что превращается в сложную проблему, решение которой требует комплексного подхода и обработки значительных массивов разнообразной информации, в том числе из-за необходимости поддерживать множественные представления и требования различных заинтересованных сторон, вовлеченных в процесс управления дорожным движением.

3. Подготовка и проверка проектных решений по ОДД может осуществляться с использованием систем поддержки принятия решений, способных интегрировать и анализировать разнообразные данные из разных источников, таких как лаборатории диагностики дорог, карты местности, мониторинговые системы транспорта, ИТС, АСУДД и др.

## **2. СИСТЕМНЫЙ АНАЛИЗ ОРГАНИЗАЦИИ ДОРОЖНОГО ДВИЖЕНИЯ НА ОСНОВЕ ЦИФРОВЫХ СТРУКТУРНЫХ СХЕМ**

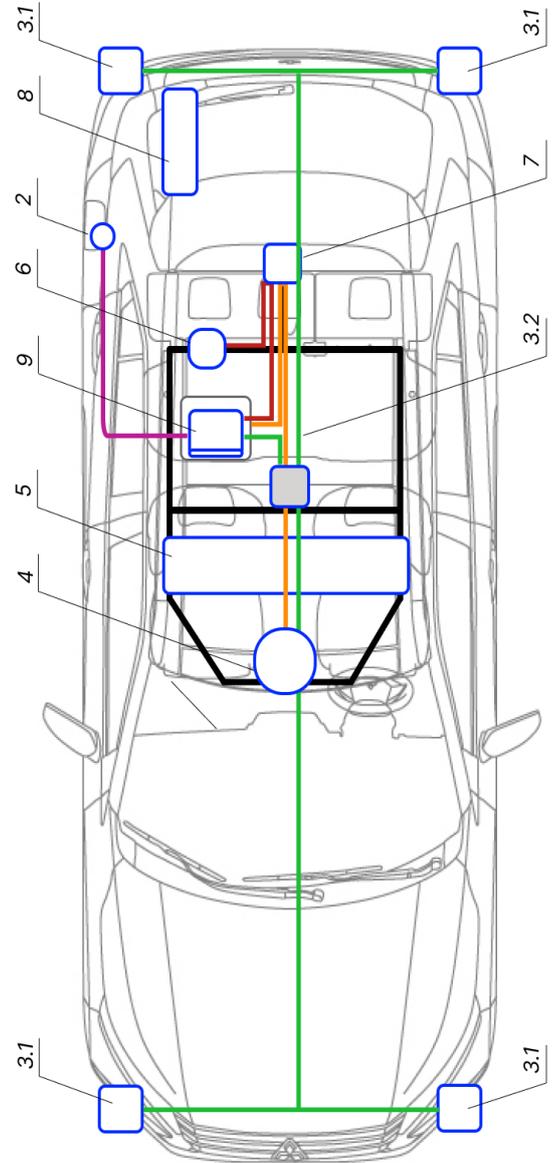
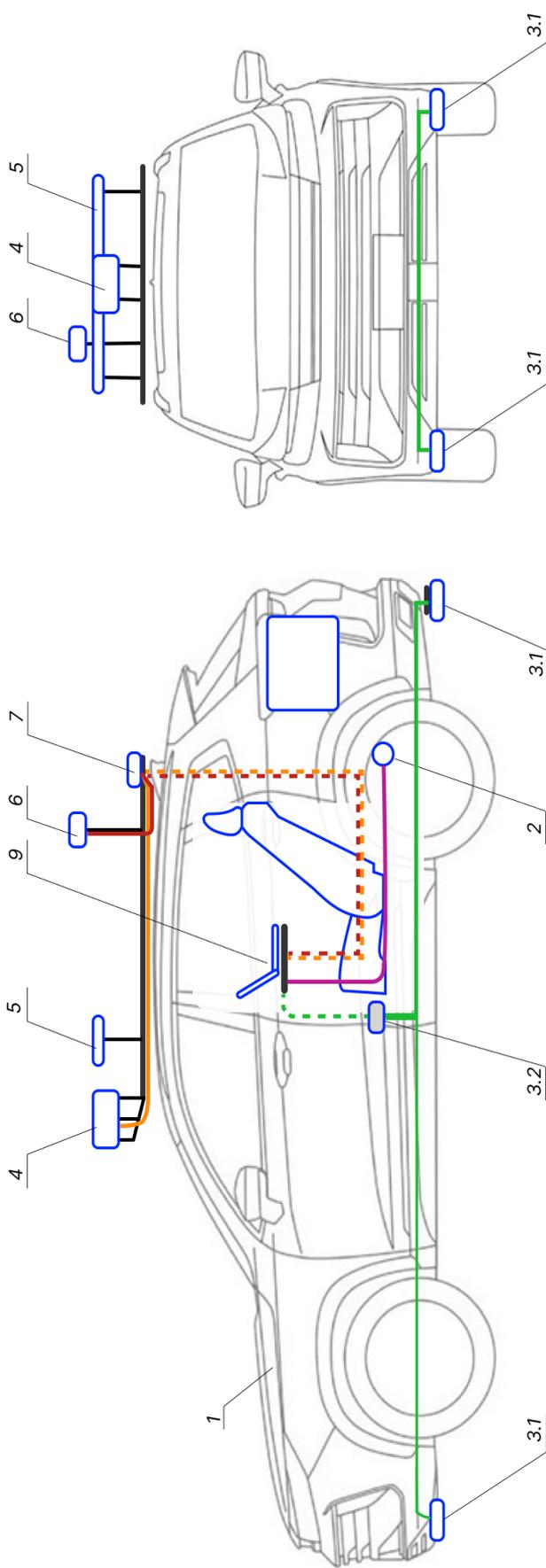
В главе рассматриваются структура и параметры системы сбора и обработки дорожной информации на основе передвижной автомобильной лаборатории. Предложена модель цифровых структурных схем для системного анализа организации дорожного движения в условиях сложной дорожно-транспортной обстановки. Предложен метод поддержки принятия проектных решений по управлению дорожным движением, позволяющий интегрировать доступную информацию и поддерживать множественные представления и требования различных заинтересованных сторон, вовлеченных в процесс управления дорожным движением. Приведены результаты натурных испытаний.

### **2.1. Система сбора и обработки дорожной информации**

Система сбора и обработки дорожной информации построена на основе передвижной автомобильной лаборатории, которая оснащена следующим аппаратным обеспечением:

1. Транспортное средство;
2. Датчик пройденного пути;
3. Комплект устройств для определения геометрических параметров;
4. Датчики устройства компенсации перемещений кузова;
5. Мобильная инерциальная навигационная система (МИНС);
6. Камеры для панорамной видеосъемки;
7. Устройство для определения географических координат;
8. Блок сбора данных.

Схема взаимодействия оборудования, устанавливаемого на лабораторию, представлена на рисунке 2.1.



СПЕЦИФИКАЦИЯ:

1. Транспортное средство
2. Датчик пройденного пути
3. Комплект устройств для определения геометрических параметров
  - 3.1. Датчики устройства компенсации перемещений кузова
  - 3.2. МИНС (малогабаритная интегрированная система)
4. Камеры для панорамной видеосъемки
5. Проблесковый маячок
6. Устройство для определения географических координат
7. Блок сбора данных
8. Сервер
9. Место оператора (стол + ноутбук)

Рисунок 2.1 – Структурная схема передвижной дорожной лаборатории

Сбор дорожных данных осуществляется посредством различных устройств передвижной дорожной лаборатории, данные с которых обрабатываются аппаратными и программными блоками, а затем сохраняются в банке данных для дальнейшего использования. Структурно-параметрическая схема системы сбора и обработки дорожной информации показана на рисунке 2.2.

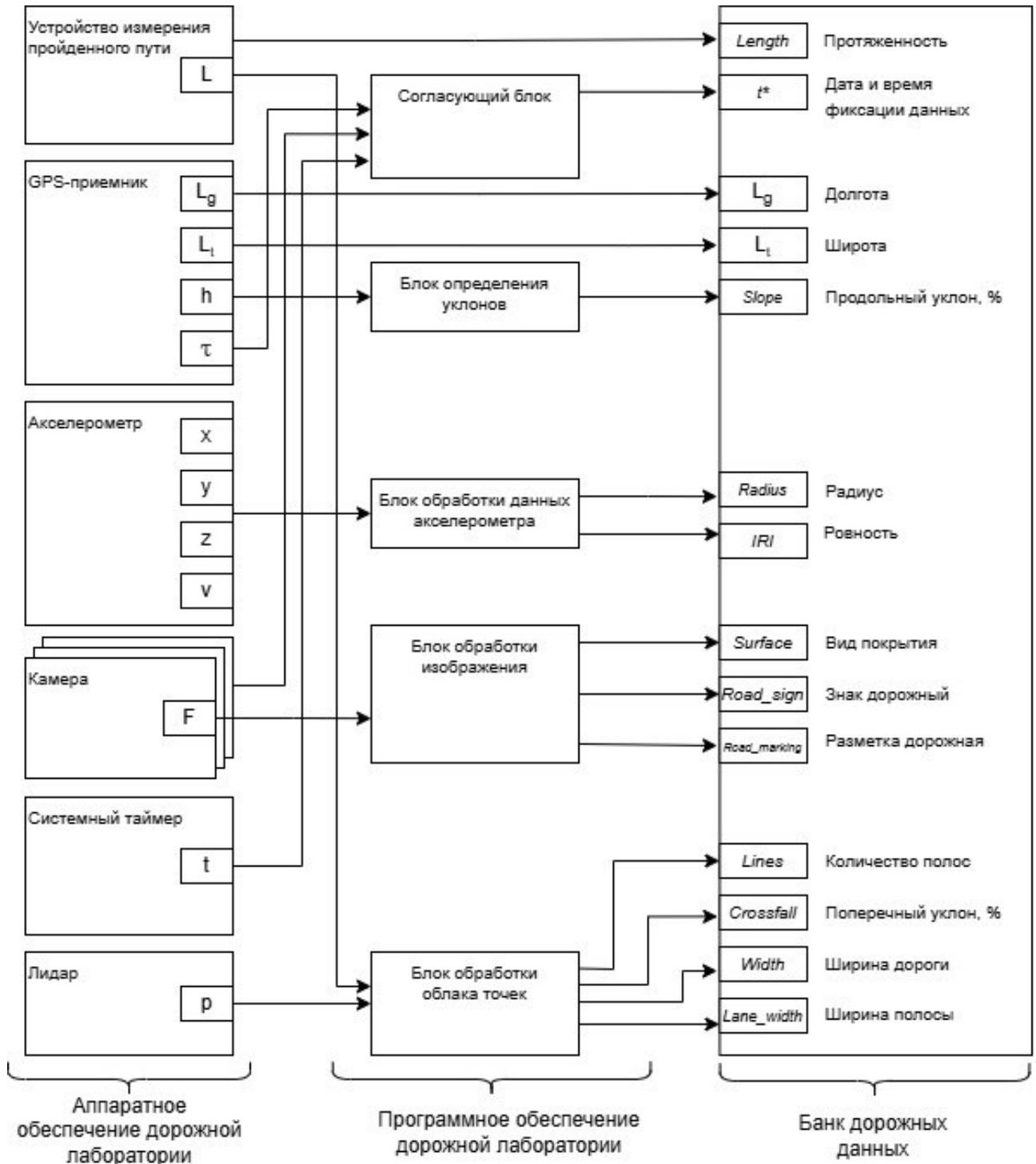


Рисунок 2.2 – Структурно-параметрическая схема системы сбора и обработки дорожной информации

Аппаратное обеспечение дорожной лаборатории представлено устройством измерения пройденного пути, GPS-приемником, акселерометром, камерой, системным таймером и лидаром.

Устройство измерения пройденного пути без изменений передает информацию о пройденном пути, что позволяет определять протяженность участков автодороги *Length*.

Согласующий блок формирует результирующую метку даты и времени фиксации параметров  $t^*$  в формате времени UTC:

$$t^* = \tau_i - f_{shift}(t_i) \quad (2.1)$$

где  $\tau_i$  – временная метка GPS/ГЛОНАСС-приемника в формате GPST;

$t_i$  – временная метка системного таймера;

$f_{shift}(t_i)$  – функция, определяющая сдвиг времени GPST от UTC в указанный момент времени  $t_i$ .

Необходимость наличия согласующего блока обусловлена особенностями временной метки GPS/ГЛОНАСС-приемника, фиксирующей время в формате GPST, определяемое по шкале непрерывного времени с игнорированием скачков секунд, т.е. время GPST отличается от UTC на целое число секунд.

Блок определения уклонов преобразует данные высот  $h$ , полученные GPS/ГЛОНАСС-приемником, для определения продольных уклонов *Slope* на участках автомобильной дороги.

GPS/ГЛОНАСС-приемник транслирует долготу  $L_g$  и широту  $L_l$  координат автодороги и ТСОДД, поступающих от GPS/ГЛОНАСС-приемника, без изменений.

Акселерометр обеспечивает измерение сигналов ускорения по трем каналам (обозначены  $x_i \in X$ ,  $y_i \in Y$ ,  $z_i \in Z$ ) с частотой опроса  $\Delta t$  в дискретный момент времени  $i$ . Кроме этого, акселерометр преобразует сигналы ускорения в мгновенную скорость  $v_i$ . В общем случае  $\Delta t = const$ . В связи с нестабильностью работы датчиков возможны случаи, в которых происходит сбой проведения измерения, т.е. интервал между измерениями

$$t_{i+1} - t_i = k\Delta t \quad (2.2)$$

где  $k \in N = \{1, 2, \dots\}$ .

Блок обработки данных акселерометра обрабатывает поступающий сигнал и определяет радиусы кривых *Radius* в плане автомобильной дороги и значения показателей ровности по международному индексу ровности (*IRI*).

Набор изображений в видеобанке дорожных данных *F* обрабатывается блоком обработки изображений на основе искусственной нейросети, определяется вид и тип технического средства организации дорожного движения (дорожный знак, разметка, ограждение, остановка и т.д.), покрытие автомобильной дороги, т.е. режим работы нейросети – классификация. Распознаваемые объекты наносятся на электронную карту геоинформационной системы согласно их координатам и вычисленной согласующим блоком протяженностью.

Блок обработки облака точек позволяет строить 3D-модель дорожного покрытия и в автоматизированном режиме определять ширину дороги *Width*, количество полос *Lines*, ширину полос *Lane\_width*, данные о поперечном уклоне дороги *Crossfall*.

Банк дорожных данных имеет координатную привязку на основе пространственной модели *M* электронной карты:

$$M = \langle N^M, C, L \rangle, \quad (2.3)$$

где  $N^M$  – уникальное имя электронной карты;

$C$  – задача (цель) и условия применения электронной карты;

$L$  – упорядоченное множество из  $m$  слоев, составляющих карту  $M$ :  $L = \langle l_i, q_i \rangle$ , где  $i = 1, \dots, m$ .

Целью и условиями применения электронной карты могут являться задачи типа: минимизация заторов на перекрестке, снижение аварийности на участке дороги или городе в целом, повышение пропускной способности. Электронная карта

$L$  представлена упорядоченным множеством из  $m$  слоев, составляющих карту  $M$ :  $L = \langle l_i, q_i \rangle$ , где  $i = 1, \dots, m$ ,  $l_i$  – данные  $i$ -го слоя,  $q_i$  – метаданные  $i$ -го слоя. В качестве слоев электронной карты выступает: геометрия дорожной сети (точечные объекты, линейные объекты, полигоны), здания, объекты ТСОДД, зоны ограничений (школьные зоны, зоны платной парковки, железнодорожные переезды), данные об аварийности (точки ДТП), данные о трафике (интенсивность, скорость). Метаданные  $i$ -го слоя включают информацию о стиле отображения объектах, источнике данных, дате актуальности и др.

## **2.2. Модель цифровых структурных схем для системного анализа организации дорожного движения**

Модель цифровых структурных схем для системного анализа организации дорожного движения выступает в качестве основы для представления схем ОДД и, по сути, обеспечивает цифровое представление улично-дорожной сети, позволяющее проводить анализ, моделирование сценариев развития и оценивать эффективность решений на основе схем до их реализации на местности [57, 59].

При описании проектируемого участка УДС с помощью цифровых структурных схем важно принять во внимание наименование участка, его длину (точки начала и конца проектирования), его геометрические характеристики (радиусы кривых в плане, параметры продольного и поперечного профиля). Величина и протяженность уклонов влияют на скорость транспортных средств (особенно грузовых), тормозной путь, видимость в зоне перелома профиля и потребность в установке знаков 1.13 «Крутой спуск» или 1.14 «Крутой подъем». Взаимосвязь геометрических параметров позволяет оценить расстояние видимости, что напрямую связано с безопасностью обгонов, ограничением скоростного режима и размещением пешеходных переходов или предупреждающих знаков.

Немаловажным фактором является покрытие автомобильной дороги, задающее ограничение, например, на возможность нанесения дорожной разметки.

При проектировании схемы также важно учитывать ширину дороги, например, для определения количества полос для движения в ситуациях, когда отсутствует дорожная разметка, и количество полос для движения в прямом и встречном направлении, наличие реверсивных полос.

Таким образом, участок улично-дорожной сети описывается следующим образом:

$$District = (l_B, l_E, slope, radius, surface, l_{lines}, r_{lines}, reverse_{lines}, width), \quad (2.4)$$

где *District* – участок УДС;

$l_B$  – км+м начала участка УДС, м;

$l_E$  – км+м конца участка УДС, м;

*slope* – уклон, ‰

*radius* – радиус кривых в плане, м;

*surface* – вид покрытия дорожного полотна,  $surface \in \{\text{асфальтобетон, бетон, щебень, гравий, грунт}\}$ ;

*width* – ширина дороги на участке УДС, м;

$l_{lines}$  – количество полос для движения слева от осевой;

$r_{lines}$  – количество полос для движения справа от осевой;

*reverse\_lines* – количество реверсивных полос.

Продольный уклон участка улично-дорожной сети определяется как набор уклонов на разных участках:

$$slope = (slope_B, slope_{B+1}, \dots, slope_E), \quad (2.5)$$

где  $slope_B$  – уклон на начале участка УДС, м;

$slope_E$  – уклон на конце участка УДС, м;

Аналогично определяются другие характеристики автомобильной дороги, координаты изменения которых важно фиксировать:

$$radius = (radius_E, radius_{B+1}, \dots, radius_B), \quad (2.6)$$

$$surface = (surface_E, surface_{B+1}, \dots, surface_B), \quad (2.7)$$

$$width = (width_E, width_{B+1}, \dots, width_B), \quad (2.8)$$

$$l\_lines = (l\_lines_E, l\_lines_{B+1}, \dots, l\_lines_B), \quad (2.9)$$

$$r\_lines = (r\_lines_E, r\_lines_{B+1}, \dots, r\_lines_B), \quad (2.10)$$

$$reverse\_lines = (reverse\_lines_E, reverse\_lines_{B+1}, \dots, reverse\_lines_B). \quad (2.11)$$

Схема организации дорожного движения представляет собой набор дислоцированных ТСОДД  $s_i$  на участке УДС  $District_{B,E}$ :

$$S = (s_1, s_2, \dots, s_n). \quad (2.12)$$

Пространственное размещение ТСОДД описывается следующим образом:

$$s_i = (e_j, l_k, act, side), \quad (2.13)$$

где  $i = \overline{1, n}$ ,  $n$  – количество ТСОДД в схеме ОДД;

$e_j$  – ТСОДД типа  $j$ ,  $j = \overline{1, m}$ ,  $m$  – общее количество типов ТСОДД: дорожных знаков ( $j = 1$ ), светофорных объектов ( $j = 2$ ), линий дорожной разметки ( $j = 3$ ), искусственных дорожных неровностей ( $j = 4$ ), пешеходных ( $j = 5$ ) и дорожных ограждений ( $j = 6$ );

$l_k$  – место дислокации ТСОДД, при этом  $l_k$  связано со способом дислокации  $l_k = (l_g, l_t, p, g)$ , где  $p = (p_t, p_n)$  – опора с типом  $p_t \in \{\text{независимая, световая, консольная, растяжка, рамная}, \emptyset\}$  и допустимым числом группировок  $p_n$ ,  $g \in \{0, \dots, p_n\}$  – номер группировки, при этом 0 используется в случае, если установка осуществляется без опоры (на другом объекте);

$k = \overline{1, K}$ ,  $K$  – количество мест возможной дислокации ТСОДД на участке УДС;  
 $act$  – статус ТСОДД,  $act \in \{\text{установлен, требуется установить, требуется де-монтировать, требуется замена}\}$ ;

$side$  – место размещения ТСОДД относительно проезжей части,  $side \in \{\text{слева, справа, на разделительной полосе, над проезжей частью}\}$ .

Каждое ТСОДД в зависимости от типа  $j$  специфицируется  $A$ -дополнительными параметрами  $a_1, a_2, \dots, a_A$ , в случае их применимости, тогда:

$$e_j = (a_1, a_2, \dots, a_A), \forall a \in \{\mathbb{N}, \mathbb{R}, \{0, 1\}\}, \quad (2.14)$$

где  $\mathbb{N}$  – множество натуральных чисел,

$\mathbb{R}$  – множество вещественных чисел,

$\{0, 1\}$  – булева переменная.

Так, например, ТСОДД, которые являются дорожными знаками, дополняются следующими параметрами: тип ( $a_1 \in \mathbb{N}$ ), определяемый ГОСТ, номинал ( $a_2 \in \mathbb{R}$ ), типоразмер ( $a_3 \in \mathbb{N}$ ), наличие флуоресцентной подложки ( $a_4 \in \{0, 1\}$ , где 1 – означает наличие флуоресцентной пленки, а 0 – её отсутствие).

Для светофорных объектов дополнительно указываются: тип, определённый ГОСТ ( $a_1 \in \mathbb{N}$ ), и признак наличия пешеходной фазы ( $a_2 \in \{0, 1\}$ , где 1 – означает наличие пешеходной фазы, а 0 – её отсутствие).

Для линий дорожной разметки определяются параметры: тип по ГОСТ ( $a_1 \in \mathbb{N}$ ), цвет линии ( $a_2 \in \mathbb{N}$ ), материал ( $a_3 \in \mathbb{N}$ ).

Для искусственных дорожных неровностей указывается: тип, определённый ГОСТ ( $a_1 \in \mathbb{N}$ ), ширина ( $a_2 \in \mathbb{R}$ ) и высота ( $a_3 \in \mathbb{R}$ ).

Ограждения определяются типом функционального назначения согласно ГОСТ ( $a_3 \in \mathbb{R}$ ) и уровнем удерживающей способности ( $a_3 \in \mathbb{R}$ ).

Для привязки ТСОДД к координатам электронной карты используется функции дислокации, которые преобразуют координаты из (км+м  $l_b$ ) в долготу  $l_g$  и широту  $l_t$ , и наоборот:

$$\text{LocateLocal}(l_b) \rightarrow (l_g, l_t), \quad (2.15)$$

$$\text{LocateGlobal}(l_g, l_t) \rightarrow (l_b). \quad (2.16)$$

Таким образом, требуется сформировать схему ОДД  $S$ , которая оптимизирует безопасность при соблюдении ключевых требований. В качестве целевой функции выступает задача минимизации функции оценки рисков возникновения ДТП

$$\theta = \text{Accident}(S) \rightarrow \min, \theta \in [0; 1]. \quad (2.17)$$

Результат оценки представляется как относительная аварийность или нормированный показатель аварийности.

Оптимальная схема  $S$  должна удовлетворять обязательным условиям:

1) Пропускная способность  $\text{Capacity}(S)$  должна превышать требуемую (планируемую) интенсивность движения на участке дорожной сети. Функция, оценивающая пропускную способность участка дороги при реализации схемы  $S$  учитывает количество полос ( $l\_lines, r\_lines, reverse\_lines$ ), тип ТСОДД, геометрию, ограничения скорости, возможность остановки/стоянки:

$$\text{Capacity}(S) \geq I_c, \quad (2.18)$$

где  $I_c$  – требуемая (планируемая) интенсивность движения, ТС/час.

2) В проектируемой схеме ОДД должны отсутствовать нарушения требований нормативных документов (ПДД, ГОСТы на применение ТСОДД, правила их размещения). Функция проверяет корректность типов знаков, расстояния видимости, зоны действия, совместимость сигналов:

$$\text{Violations}(S) = 0. \quad (2.19)$$

3) В каждой возможной локации размещения  $l_k$  (из  $k$  существующих) должно находиться не более заданного количества ТСОДД для снижения нагрузки на водителя и снижения визуального шума:

$$\forall k \in \overline{1, K} : ECount(l_k) \leq N \quad (2.20)$$

где  $ECount(l_k)$  – функция подсчета числа ТСОДД в месте дислокации  $l_k$ ;

$N$  – максимальное количество ТСОДД в месте дислокации  $l_k$ .

Предложенная модель служит концептуальной основой для всего последующего процесса: от описания характеристик участков дороги *District* и конфигурации схем ОДД  $S$  до формализации целевой функции минимизации аварийности  $\theta = Accident(S) \rightarrow min$  и наложения критических ограничений (пропускная способность, нормативное соответствие). Модель учитывает необходимую пространственную привязку всех элементов системы управления дорожным движением и позволяет СППР оперировать реальными объектами в их географическом контексте, при этом для визуализации могут быть использованы обозначения, приведенные в приложении А.

Таким образом, цифровая структурная схема ОДД представляет собой формализованную модель, представляющую структурированное цифровое описание элементов УДС и ТСОДД на участке УДС, их взаимосвязей и параметров, предназначенная для системного анализа, моделирования, автоматизации проектирования и управления дорожным движением в различных условиях. Цифровая схема реализуется как набор формализованных объектов с однозначно заданной структурой. Цифровая структурная схема полагается на отдельные ТСОДД  $s_i$  (2.13), входящие в схему  $S$  (2.12) на участке УДС *District* (2.4), т.е. отдельные ТСОДД выступают в качестве базовых элементов, а правила их применения описывают требования формирования структурных схем.

Цифровая структурная схема ОДД однозначно задаёт состав, структуру, взаимное расположение и режим функционирования всех ключевых объектов УДС и

ОДД с помощью формальных правил и машиночитаемых описаний, что обеспечивает корректную детализацию, гибкую модификацию и применение автоматизированных методов анализа.

Формализуем основные операции над цифровыми структурными схемами ОДД.

Объединение двух цифровых структурных схем  $S_1$  и  $S_2$  – это новая схема  $S_{union}$ , содержащая все элементы, входящие хотя бы в одну из схем:

$$S_1 \cup S_2 = \{s \mid s \in S_1 \text{ или } s \in S_2\}. \quad (2.21)$$

В объединении содержатся все уникальные элементы, которые присутствуют хотя бы в одной из схем. Если элемент встречается в обеих схемах одинаково – он включается только один раз.

Пересечение двух схем  $S_1$  и  $S_2$  – это схема  $S_{inter}$ , содержащая только те элементы, которые есть одновременно и в  $S_1$ , и в  $S_2$ :

$$S_1 \cap S_2 = \{s \mid s \in S_1 \text{ и } s \in S_2\}. \quad (2.22)$$

В пересечении содержатся только те объекты, которые есть в обеих схемах, полностью совпадая по параметрам.

Разность схем  $S_1$  и  $S_2$  – это схема  $S_{diff}$ , содержащая только те элементы  $S_1$ , которые не входят в  $S_2$ :

$$S_1 \setminus S_2 = \{s \mid s \in S_1 \text{ и } s \notin S_2\}. \quad (2.23)$$

В этом множестве останутся только те элементы, которые есть в первой схеме и полностью отсутствуют во второй.

Дополнение схемы  $S$  относительно универсального множества всех возможных элементов  $S_u$  – это схема  $S_{comp}$ , состоящая из элементов, которых нет в  $S$ :

$$S_u \setminus S = \{s \mid s \in S_u \text{ и } s \notin S\}. \quad (2.24)$$

Симметричная разность двух схем – это схема  $S_{simmdiff}$ , содержащая элементы, которые входят только в каждую из схем, но не в обе сразу:

$$S_1 \Delta S_2 = (S_1 \setminus S_2) \cup (S_2 \setminus S_1). \quad (2.25)$$

Рассмотрим применение этих операций для двух смежных участков УДС, для каждого из которых построены отдельные цифровые структурные схемы организации дорожного движения:

Схема  $S_1$  (для участка 1):

- Знак 2.4 «Уступите дорогу» на 100 м, установлен справа;
- Светофор (тип Т.1) на 120 м, установлен справа;
- Знак 1.11 «Опасный поворот» на 140 м, установлен справа;

Схема  $S_2$  (для участка 2):

- Знак 2.4 «Уступите дорогу» на 100 м, установлен справа (участки стыкуются);
- Знак 3.20 «Обгон запрещён» на 180 м, установлен справа;
- Светофор (тип Т.1) на 120 м, установлен справа;

Объединение  $S_1 \cup S_2$ :

- Знак 2.4 «Уступите дорогу», 100 м, справа;
- Светофор, 120 м, справа;
- Знак 1.11 «Опасный поворот», 140 м, справа;
- Знак 3.20 «Обгон запрещён», 180 м, справа.

Пересечение  $S_1 \cap S_2$ :

- Знак 2.4 «Уступите дорогу», 100 м, справа;
- Светофор (тип Т.1), 120 м, слева.

Разность  $S_1 \setminus S_2$ :

- Знак 1.11 «Опасный поворот», 140 м, справа.

Симметричная разность  $S_1 \Delta S_2$ :

- Знак 1.11 «Опасный поворот», 140 м, справа (только в  $S_1$ );
- Знак 3.20 «Обгон запрещён», 180 м, справа (только в  $S_2$ ).

Т.е. объединение дает совокупную схему обоих участков УДС, пересечение – их общее пространство (например, общее пересечение дорог или дублирующиеся знаки), разность – элементы, которые присутствуют только в первой (или только во второй) схеме, дополнение – всё, что теоретически возможно, но не реализовано в текущей схеме, а симметричная разность – всё, что есть в каждой из схем, но не в обоих сразу.

Такие операции позволяют, например, находить объекты, требующие согласования (поиск разности), выявлять дублирующиеся элементы на стыках схем (пересечение), или формировать сводную схему для всего района по данным с разных участков УДС (объединение).

Введем следующие аксиомы и леммы, позволяющие далее применять модель цифровых структурных схем для анализа ОДД.

*Аксиома 1 (существование схемы).* Для любого допустимого множества элементов  $s_i$ , существует единственная структурная схема  $S$ , включающая все  $s_i$  как элементы:  $\forall \{s_1, \dots, s_n\}, \exists! S: \{s_1, \dots, s_n\} \subseteq S$ .

*Аксиома 2 (разрешимость операций).* Операции объединения, пересечения, разности, симметричной разности всегда приводят к корректным схемам при выполнении их на корректных схемах:  $\forall S_1, S_2, S_1 \cup S_2, S_1 \cap S_2, S_1 \setminus S_2, S_1 \Delta S_2$  – являются корректными схемами.

*Аксиома 3 (равенство элементов схемы).* Элементы схемы считаются равными тогда и только тогда, когда равны все их соответствующие параметры:  $s_i = s_j \Leftrightarrow e_j = e'_j, l_k = l'_k, act = act', side = side'$ .

*Лемма 1 (коммутативность объединения):*  $S_1 \cup S_2 = S_2 \cup S_1$ . Доказательство: по определению объединения:  $S_1 \cup S_2 = \{s \mid s \in S_1 \text{ или } s \in S_2\}$ ,  $S_2 \cup S_1 = \{s \mid s \in S_2 \text{ или } s \in S_1\}$ , оператор «или» симметричен; множества равны по определению. Лемма доказана.

*Лемма 2 (коммутативность пересечения):*  $S_1 \cap S_2 = S_2 \cap S_1$ . Доказательство: по определению пересечения:  $S_1 \cap S_2 = \{s \mid s \in S_1 \text{ и } s \in S_2\}$ ,  $S_2 \cap S_1 = \{s \mid s \in S_2 \text{ и } s \in S_1\}$ , оператор «и» симметричен; множества равны. Лемма доказана.

*Лемма 3 (ассоциативность объединения):*  $(S_1 \cup S_2) \cup S_3 = S_1 \cup (S_2 \cup S_3)$ . Доказательство: рассмотрим любой  $s$ ,  $s$  принадлежит  $(S_1 \cup S_2) \cup S_3$  тогда и только тогда, когда  $s$  есть либо в  $S_1 \cup S_2$ , либо в  $S_3$ , а потому – в  $S_1, S_2$ , либо  $S_3$ . Аналогично для  $S_1 \cup (S_2 \cup S_3)$ . Следовательно, оба множества эквивалентны по определению объединения. Лемма доказана.

*Лемма 4 (идемпотентность объединения и пересечения):*  $S \cup S = S; S \cap S = S$ . Доказательство:  $S \cup S = \{s \mid s \in S \text{ или } s \in S\} = \{s \mid s \in S\} = S$ ,  $S \cap S = \{s \mid s \in S \text{ и } s \in S\} = \{s \mid s \in S\} = S$ . Лемма доказана.

Введём теоремы, направленных на системный анализ организации дорожного движения в условиях сложной дорожно-транспортной обстановки с помощью цифровых структурных схемам.

*Теорема 1 (минимальность покрытия схемы с учётом дублирования):* если схема  $S = S_1 \cup S_2 \cup \dots \cup S_n$  включает дублирующиеся элементы, то  $S_{opt} = \text{set}(S)$  минимально по мощности при сохранении покрытия, где  $\text{set}$  – операция получения множества уникальных элементов:  $|S_{opt}| = |\bigcup_k S_k|$ .

Доказательство:  $\text{set}(S)$  содержит по определению все и только уникальные элементы из  $S$ , тогда любой элемент  $s$ , присутствующий в любом из  $S_k$ , включён в  $S$ , и, следовательно, в  $S_{opt}$ . Дублирование не влияет на покрытие (множество объектов), а только на количество повторов. После превращения в множество, ни один элемент не теряется, но каждый остаётся единственным, т.к. в множестве отсутствуют дубликаты. Таким образом,  $S_{opt}$  минимально по размеру и содержит ровно столько элементов, сколько уникальных объектов (никакой другой набор меньшего размера тот же объём не покроет). Теорема доказана.

*Теорема 2 (корректность схемы по ограничениям допустимых атрибутов):* схема  $S$  корректна относительно множества допустимых атрибутов  $A$ , если  $\forall s_i = ((a_1, \dots, a_A), l_k, act, side) \in S: (a_1, \dots, a_A, l_k, act, side) \in A$ .

Доказательство: по определению, схема корректна только если все её элементы разрешены, если хотя бы один  $s_i$  из  $S$  нарушает это условие, схема становится некорректной. Если все элементы  $s_i \in S$  содержат множество атрибутов, входящих в  $A$ , то ни одно требование не нарушено. Таким образом, условие полностью охватывает понятие корректности схемы (2.19). Теорема доказана.

*Теорема 3 (недостижимость конфликта при строгой изоляции областей схем):* пусть  $S_1$  и  $S_2$  – цифровые структурные схемы, причём для любых элементов  $s_1 = ((a_1, \dots, a_A), l_{k1}, act_1, side_1) \in S_1$  и  $s_2 = ((b_1, \dots, b_B), l_{k2}, act_2, side_2) \in S_2$  выполнено  $l_{k1} \neq l_{k2}$ . Пусть функция конфликта  $\text{Conflict}(s_1, s_2)$  определена только для пар, где  $l_{k1} = l_{k2}$  (то есть элементы относятся к одной и той же локации). Тогда ни одна пара элементов  $s_1 \in S_1$  и  $s_2 \in S_2$  не может находиться в конфликте.

Доказательство: по условию, для любых  $s_1 \in S_1, s_2 \in S_2, l_{k1} \neq l_{k2}$ , по определению функции конфликта  $\text{Conflict}(s_1, s_2)$  определена и (потенциально) возвращает наличие конфликта только если  $l_{k1} = l_{k2}$ , но для всех пар  $(s_1, s_2)$  из  $S_1 \times S_2$  всегда выполняется  $l_{k1} \neq l_{k2}$ , следовательно, ни для одной пары не выполняется  $l_{k1} = l_{k2}$ . Следовательно, функция  $\text{Conflict}(s_1, s_2)$  не определена ни для одной пары элементов из  $S_1$  и  $S_2$ . Значит, ни одна пара элементов из  $S_1$  и  $S_2$  не может конфликтовать. Теорема доказана.

Приведенные аксиомы, леммы и теоремы в модели цифровых структурных схем применяются для того, чтобы гарантировать однозначность построения схем ОДД, обеспечить правильность выполнения операций (таких как объединение, пересечение, разность), минимизировать избыточность элементов при обработке данных, формально подтверждать корректность и непротиворечивость получаемых решений, а также автоматизировать процесс анализа сложных ситуаций на основе строгих и доказанных правил без необходимости повторной ручной проверки на каждом этапе построения или модификации схемы.

Таким образом, изложенная модель цифровых структурных схем позволяет выстроить последовательную и логически завершённую формализацию системы организации дорожного движения, охватив ключевые параметры элементов УДС,

ТСОДД и их взаимосвязей, а также закладывает математические основы для последующего теоретического и аналитического рассмотрения ОДД.

### 2.3. Метод поддержки принятия проектных решений по управлению дорожным движением

Используем продукционную модель представления знаний для формализации правил и алгоритмов установки ТСОДД:

$$(i); Q; P; A \rightarrow B; N. \quad (2.26)$$

где  $i$  – имя продукции;

$Q$  – сфера применения: населенные пункты, вне населенных пунктов;

$P$  – условие – предикат, показывающий возможность применения продукции в заданных текущих условия в текущий или заданный момент времени;

$A \rightarrow B$  – ядро продукции;

$\rightarrow$  – импликация;

$N$  – постусловия – предикат, истинный после инициации ядра продукции.

Под инициализацией ядра будем понимать проверку на истинность  $A$  и выполнение действия  $B$ . Все составляющие продукции, за исключением его ядра, являются необязательными.

Для обозначения особенностей улично-дорожной сети, вычисляемых с помощью пространственных, топологических или атрибутивных операций, используем следующие булевы функции:

$Crossroad(l_B, l_E)$  – функция возвращает признак наличия перекрестка на указанном участке УДС;

$Urban(l_B, l_E)$  – функция возвращает признак прохождения указанного участка УДС в населенном пункте;

$Visibility\_distance(l_B, l_E)$  – функция возвращает числовое значение, соответствующее расстоянию видимости в рассматриваемой точке  $l_B$ ;

$First\_traffic\_light(l_B, l_E)$  – булева функция проверки того, что светофор первый на въезде.

Состав функций может дополняться в зависимости от набора правил, которые будут записаны с использованием (2.26).

Рассмотрим запись правила установки ТСОДД на следующем примере установки предупреждающего знака 1.8 «Светофорное регулирование», в таком случае, необходимо удовлетворять требованиям технических стандартов в части:

*п. 5.2.2 Предупреждающие знаки ... устанавливаются вне населенных пунктов на расстоянии от 150 до 300 м, а в населенных пунктах – на расстоянии от 50 до 100 м до начала опасного участка в зависимости от разрешенной максимальной скорости движения, условий видимости и возможности размещения.*

*п. 5.2.11 ГОСТ 52289-2019 «Знак 1.8 «Светофорное регулирование» устанавливаются вне населенных пунктов перед каждым перекрестком, пешеходным переходом или участком дороги, кроме железнодорожных переездов, движение на которых регулируется светофорами, в населенных пунктах – при расстоянии видимости светофора менее 100 м, а также перед первым после въезда в населенный пункт перекрестком или пешеходным переходом со светофорным регулированием».*

Данная формулировка будет описана несколькими продукциями:

1. В условиях нахождения светофорного объекта (кроме железнодорожного переезда) вне населенного пункта.
2. При въезде в населенный пункт – перед первым по ходу движения светофорным объектом.
3. В населенном пункте – при расстоянии видимости светофора менее 100 м.

### **Условие 1**

(i): (Установка ДЗ 1.8 вне нас пункта); Q: «Знаки дорожные»;  
 P:  $Urban(l_B, l_E) = 0$ ; A:  $(2, (L, 1, 1), \text{существует, справа}) \rightarrow$  B:  $(1, 1, (L - 150 \dots 300, 1, 1), \text{требуется установить, справа}); \emptyset$ .

где  $(i)$ : (*Установка ДЗ 1.8 вне нас пункта*) – имя продукции;

$Q$ : «Знаки дорожные» – отметка о правилах использования дорожных знаков;

$P$ :  $Urban(l_B, l_E) = \{0\}$  – указание об использовании продукции для дорог вне населенных пунктов;

$A$ :  $(2, (L, 1, 1), \text{существует, справа})$  – условие применения продукции. Для рассматриваемого примера продукция применяется при установке существующего ТСОДД типа  $j=2$  (светофорный объект) при дислокации на расстоянии  $L$  от начала оси на независимой опоре, в группировке 1, справа от оси дороги;

$B$ :  $(1.17, 1, 1, (L-150...300, 1, 1), \text{требуется установить, справа})$  – следствие применения продукции. При текущих условиях необходимо установить дорожный знак 1.18 «Светофорное регулирование», ТСОДД типа  $j=1$  (дорожный знак) на расстоянии  $L = 150...300$  м от начала оси на независимой опоре, в группировке 1, справа от оси дороги. Расстояние  $L = 150...300$  м задается интервалом для выполнения требования п.5.2.2 ГОСТ 52289, применяемого для всех предупреждающих знаков.

### **Условие 2**

$(i)$ : (*Установка ДЗ 1.8 на въезде*);  $Q$ : «Знаки дорожные»;  $P$ :  $Urban(l_B, l_E) = 1$ ;  $A$ :  $(2, (L, 1, 1), \text{существует, справа}) \wedge First\_traffic\_light(l_B, l_E) = \{1\}$  →

$B$ :  $(1, 1, (L-50...100, 1, 1), \text{требуется установить, справа})$ ;  $\emptyset$ .

### **Условие 3**

$(i)$ : (*Установка ДЗ 1.8 в нас пункте*);  $Q$ : «Знаки дорожные»;  $P$ :  $Urban(l_B, l_E) = 1$ ;  $A$ :  $(2, (L, 1, 1), \text{существует, справа}) \wedge Visibility\_distance(l_B, l_E) < 100$  м →

$B$ :  $(1, 1, (L-50...100, 1, 1), \text{требуется установить, справа})$ ;  $\emptyset$ .

Таким образом, формализуются правила установки ТСОДД и базовые шаги алгоритмов, согласно которым осуществляет свою деятельность проектировщик. Например, рассмотрим последовательность действий (алгоритм), которые выполняет проектировщик – ЛПР для установки ТСОДД на пешеходном переходе. Первоначально проверяется выполнение следующих предусловий:

1. Если пешеходный переход уже установлен, то осуществляются проверки всех последующих условий на предмет того, в достаточном ли степени обеспечена безопасность на выбранном переходе по нормативно-правовым актам;
2. Если производится устройство нового пешеходного перехода – анализируется наличие подходов и потенциальная необходимость его обустройства в конкретном месте.

Далее проводится инициация алгоритма, представленного на рисунке 2.3.

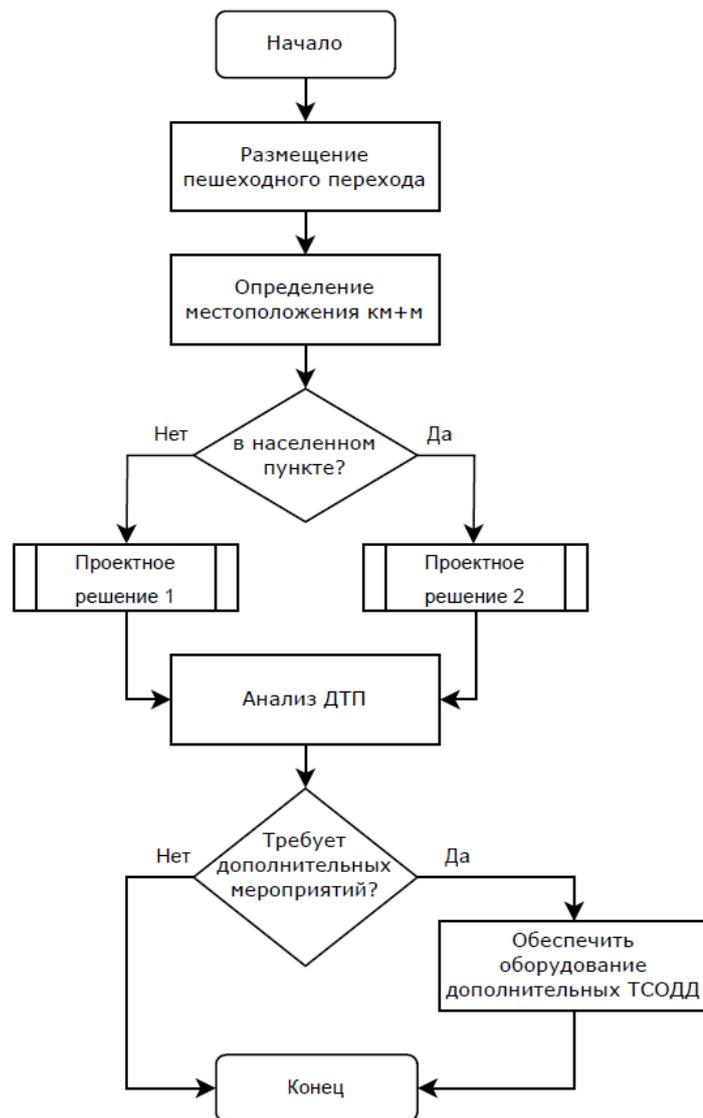


Рисунок 2.3 – Схема алгоритма выбора проектного решения по проектированию пешеходного перехода

Определяется местоположение пешеходного перехода относительно оси автомобильной дороги в формате (км+м). Относительно выбранной пикетажной отметки оценивается, находится ли этот пешеходный переход в населенном пункте.

Если он находится в населенном пункте, проектирование осуществляется по проектному решению 1, в противном случае – по проектному решению 2.

После окончания установки формальных знаков, предусмотренных действующим законодательством, проводится анализ ДТП на участке УДС с целью выявления необходимости проведения дополнительных мероприятий по ОДД.

В части таких мероприятий могут быть:

- устройство дополнительного освещения, в том числе, на солнечных батареях;
- устройство искусственных дорожных неровностей, в том числе, совмещенных;
- введение запрета остановки и стоянки перед пешеходным переходом;
- введение ограничения скорости перед пешеходным переходом;
- устройство шумовых полос;
- устройство островков безопасности.

Далее при проектировании пешеходного перехода на участках автомобильных дорог вне населенного пункта («Проектное решение 1», рисунок 2.4) необходимо:

1. Установить дорожные знаки 5.19.1 / 2 «Пешеходный переход» на желто-зеленой флюоресцентной плёнке на расстоянии  $L$  от  $км+м$  слева и справа по оси дороги:

$$L = \pm \left( \frac{S_{п.п.}}{2} + \Delta \right) \quad (2.27)$$

где  $S_{п.п.}$  – ширина пешеходного перехода, для дорог вне населенного пункта принимается равным 4 м;

$\Delta$  – разбег по расстоянию на установку дорожных знаков, не должен превышать 1 м.

Знак выбирается по правилу: «–» – при установке опоры справа, «+» – слева.

2. Продублировать дорожный знак 5.19.1 «Пешеходный переход» на желто-зеленой флюоресцентной плёнке над проезжей частью;

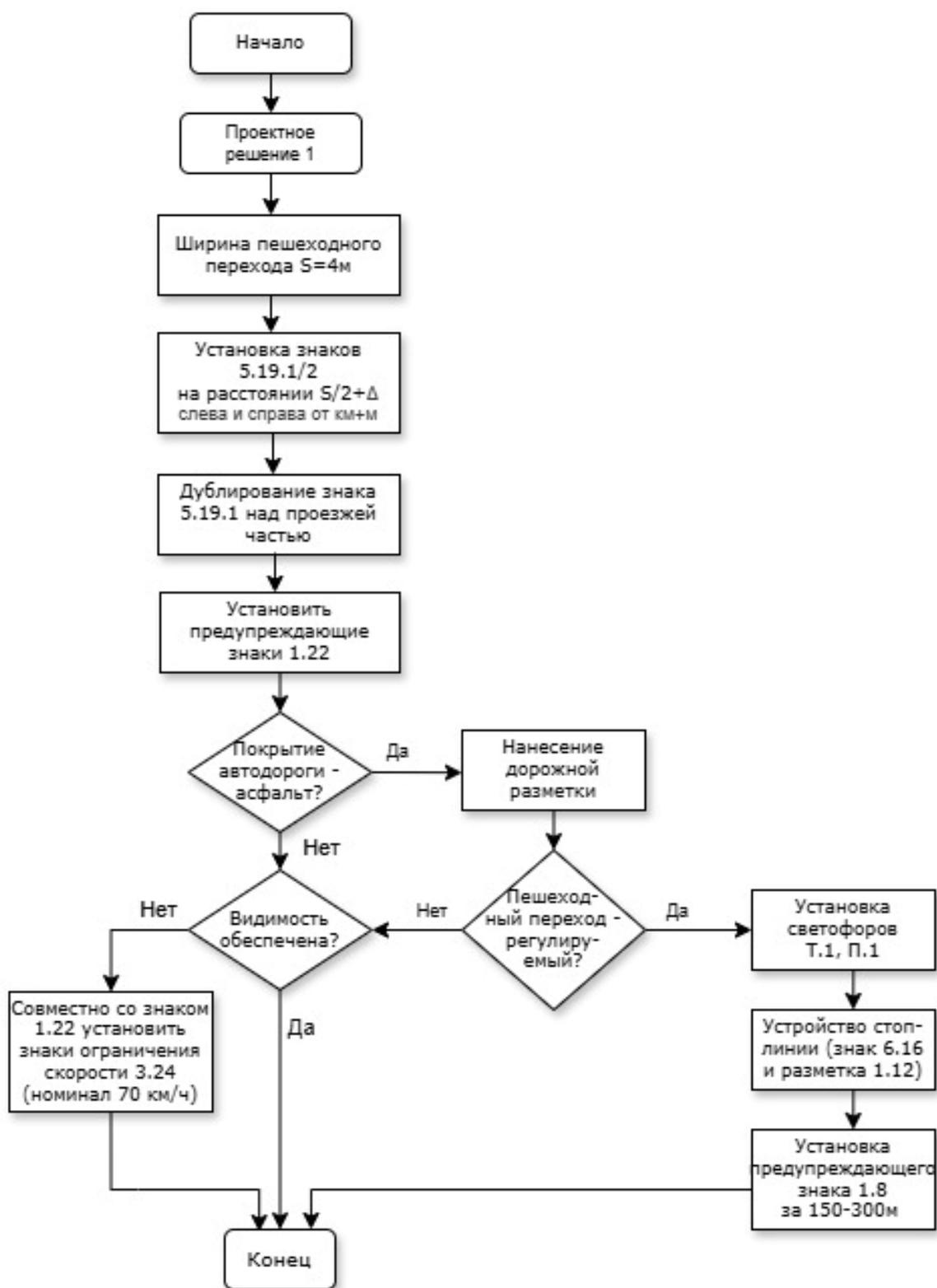


Рисунок 2.4 – Схема алгоритма выбора проектного решения по проектированию пешеходного перехода вне населенного пункта

3. Установить предупреждающие дорожные знаки 1.22 «Пешеходный переход» на желто-зеленой флюоресцентной плёнке на расстоянии  $\pm L_{пред}$ .

4. Проверить обеспеченность видимости пешеходного перехода (рассчитывается математически по радиусам и уклонам), при необеспеченной видимости – установить предварительно совместно с дорожными знаками 1.22 «Пешеходный переход» дорожные знаки 3.24 «Ограничение максимальной скорости» (номинал 70 км/ч) и дорожные знаки 3.25 «Конец ограничения максимальной скорости на расстоянии  $\pm L_{\text{пред}}$  после пешеходного перехода.

5. Если автодорога имеет асфальтобетонное покрытие, то нанести дорожную разметку 1.14.1 с желтой заливкой шириной  $S_{\text{п.п.}}$  на отметке  $км+м$ .

6. Если проектируемый пешеходный переход является / планируется организовывать как регулируемый, то:

6.1. Установить транспортные светофоры типа Т.1, Т1.л, Т1.п, Т1пл;

6.2. Установить пешеходные светофоры типа П1 или П2;

6.3. Обустроить стоп-линию нанесением дорожной разметки типа 1.12 и обозначением знаком 6.16;

6.4. Установить предупреждающие знаки 1.8 «Светофорное регулирование» на расстоянии  $L_{\text{пред}}$  от  $км+м$ .

При проектировании пешеходного перехода на участках автомобильных дорог в населенном пункте («Проектное решение 2», рисунок 2.5) необходимо:

1. Убедиться в отсутствии в непосредственной близости образовательного учреждения. При наличии образовательного учреждения вести проектирование по типовой схеме, разработанной для образовательного учреждения.

2. При отсутствии асфальтобетонного покрытия на участке ограничиться установкой дорожных знаков 5.19.1 / 2 «Пешеходный переход» на желто-зеленой флюоресцентной плёнке на расстоянии  $L$  по формуле (2.27),  $S_{\text{п.п.}}$  принять равным 4 м.

3. При наличии асфальтобетонного покрытия провести анализ интенсивности пешеходных потоков  $J_{\text{пеш.}}$ :

3.1. Если  $J_{\text{пеш.}} \leq 2000$  чел/ч, то считать  $S_{\text{п.п.}} = 4$ м, применять разметку 1.14.1;

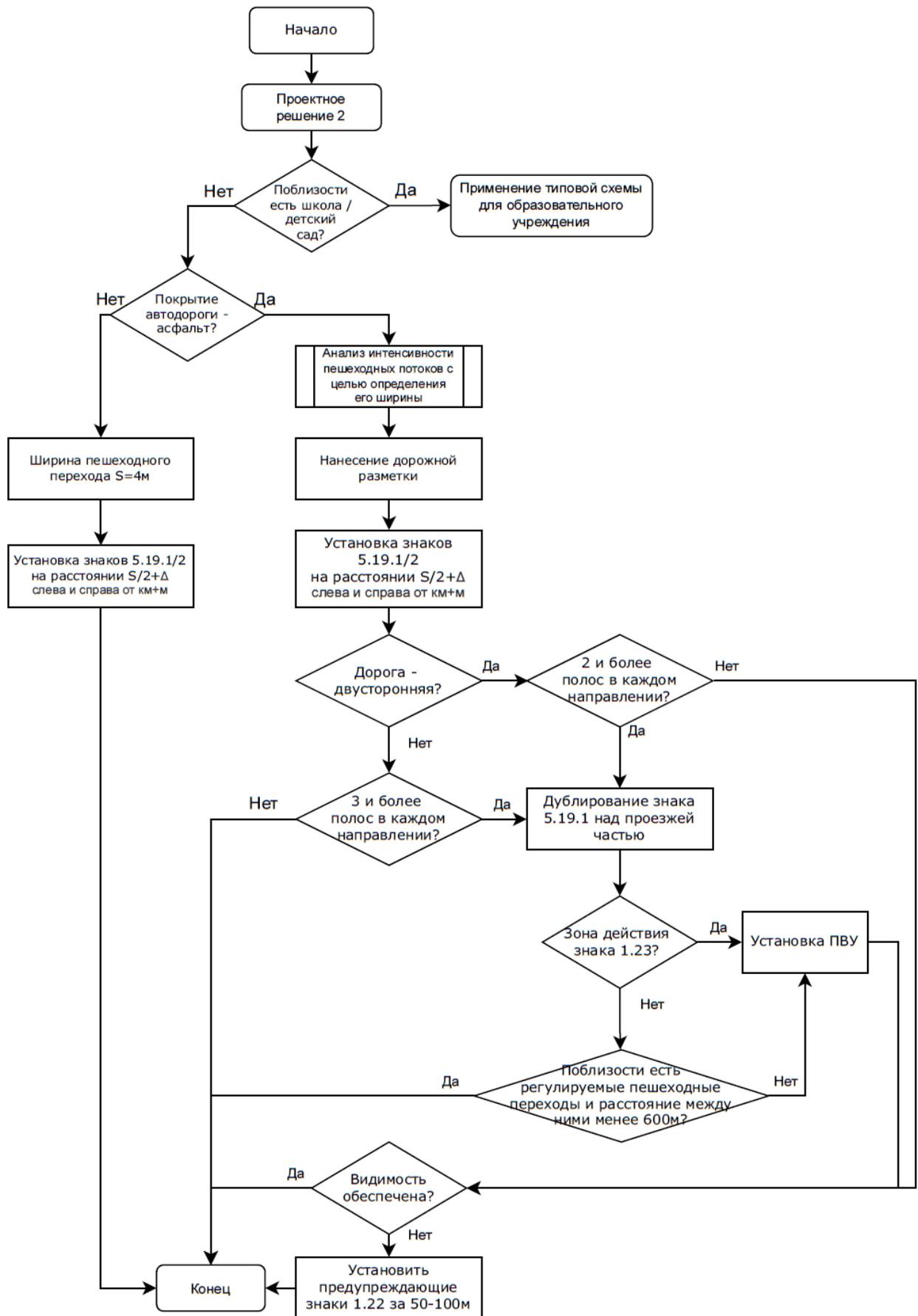


Рисунок 2.5 – Схема алгоритма выбора проектного решения по проектированию пешеходного перехода в населенном пункте

- 3.2. Если  $2000 < J_{\text{пеш.}} \leq 2500$  чел/ч, то  $S_{\text{п.п.}} = 5$  м, применять разметку 1.14.1;
- 3.3. Если  $2500 < J_{\text{пеш.}} \leq 3000$  чел/ч, то  $S_{\text{п.п.}} = 6$  м, применять разметку 1.14.1;
- 3.4. Если  $J_{\text{пеш.}} > 3000$  чел/ч, то  $S_{\text{п.п.}} = 8$  м, применять разметку 1.14.2;
4. Исходя из анализа интенсивности пешеходных потоков на перекрестке нанести дорожную разметку с желтой заливкой шириной  $S_{\text{п.п.}}$  на отметке  $км+м$ .
5. Установить дорожные знаки 5.19.1 / 2 «Пешеходный переход» на желто-зеленой флюоресцентной плёнке на расстоянии  $L$  по формуле (2.27).
6. На дорогах с двухсторонним движением с двумя и более полосами для движения в данном направлении, а также на дорогах с односторонним движением с тремя и более полосами, знак 5.19.1 продублировать над проезжей частью.
7. При расположении пешеходного перехода в зоне действия знака 1.23 «Дети» ввести светофорное регулирование с применением вызывной фазы для движения пешеходов на пешеходном переходе, если этот пешеходный переход не находится между соседними регулируемыми пешеходными переходами, расположенными между собой на расстоянии 600 м и менее:
- 7.1. Установить транспортные светофоры типа Т.1;
  - 7.2. Установить пешеходные светофоры типа П1 или П2;
  - 7.3. Обустроить стоп-линию нанесением дорожной разметки типа 1.12 и обозначением дорожным знаком 6.16;
8. Проверить обеспеченность видимости пешеходного перехода (по радиусам кривых в плане и уклонам), при необеспеченной видимости – установить предупреждающие дорожные знаки 1.22 «Пешеходный переход» на желто-зеленой флюоресцентной плёнке на расстоянии  $\pm L_{\text{пред}}$ .

Расстояние установки предупреждающих знаков до опасной зоны  $L_{\text{пред}}$  принимается равным 50...100 м в населенном пункте и 150...300 м вне населенного пункта.

Поскольку продукционная модель при накоплении достаточно большого числа продукций может стать противоречивой, продукции описывают атомарные

операции, от которых можно отказаться при принятии окончательного решения о размещении того или иного ТСОДД. Так, при разработке проектов должны соблюдаться многочисленные законодательные и технические нормы, действующие на федеральном уровне, уровне региона и муниципального образования. Помимо официальных требований, существует практика учета местных традиций проектирования, сформировавшихся исторически или исходя из особенностей конкретной территории. Различные уровни власти выпускают значительное количество нормативных документов, которые дополняют друг друга, предлагая стандартные подходы и рекомендуемые типовые решения, включая типовые схемы ОДД, которые значительно упрощают процесс проектирования, позволяя применять проверенные решения. Тем не менее даже при таком подходе нередко возникают противоречия, обусловленные особенностями УДС или ее сложностью. Поэтому в ряде случаев приходится отступать от рекомендованных норм либо находить нестандартные проектные решения, позволяющие учесть специфику конкретных условий местности.

Примеры разработанных типовых схем ОДД  $S_{template} = (\hat{s}_1, \hat{s}_2, \dots, \hat{s}_n)$ , учитывающие возможность представления знаний в виде (2.26) и предназначенные для поддержки принятия проектных решений на пешеходных переходах, приведены в приложении Б.

Таким образом, предлагаемый метод поддержки принятия проектных решений по управлению дорожным движением должен обеспечивать информационную поддержку в условиях сложной дорожно-транспортной обстановки. Для этого предлагается применить пространственно-функциональную декомпозицию к дорожной обстановке, рекурсивно разделяя рассматриваемый участок УДС в его границах  $(l_B, l_E)$  на анализируемые подучастки, формируемые на основе общности свойств и выполняемых функций для транспортного процесса на заданном пространстве подучастка.

Тогда целевая схема ОДД  $S_{B,E}^*$  на участке УДС  $District_{B,E}$  с существующей ОДД  $S_{B,E}$  для целевой функции  $\theta$  будет формироваться с помощью рекурсивной функции:

$$S_{B,E}^* = Solve(District_{B,E}, S_{B,E}, \theta), \quad (2.28)$$

где  $Solve()$  – функция нахождения решения. Определим функцию нахождения решения следующим образом. В случае, если текущий рассматриваемый участок  $District_{B,E}$  соответствует одной из типовых схем, то типовая схема  $\hat{s}_i \in S_{template}$  с наилучшим результатом целевой функции  $\theta(\hat{s}_i)$  применяется как опорное решение  $S_{B,E}^P$ :

$$(S_{B,E} \subset S_{template}) \rightarrow S_{B,E}^P = Merge(S_{B,E}^P, \operatorname{argmin}_{\hat{s}_i \in S_{template}} (\theta(\hat{s}_i))), \quad (2.29)$$

где  $Merge()$  – функция объединения двух схем ОДД. При этом опорное решение для новых участков УДС может быть инициализировано пустым множеством  $S_{B,E}^P = \emptyset$  или принимать значение текущей схемы ОДД для существующих участков УДС  $S_{B,E}^P = S_{B,E}$ .

В случае, если текущий рассматриваемый участок  $District_{B,E}$  не соответствует ни одной из типовых схем, осуществляется разделение участка на множество подучастков с помощью функции  $Split()$  и выполняется рекурсивный вызов функции  $Solve()$ :

$$(S_{B,E} \not\subset S_{template}) \rightarrow S_{B,E}^P = Merge(S_{B,E}^P, Solve(Split(District_{B,E}), S_{B,E}, \theta)). \quad (2.30)$$

Условие остановки рекурсии – текущий рассматриваемый участок  $District_{B,E}$  соответствует пустому множеству:

$$(District_{B,E} \in \emptyset) \rightarrow S_{B,E} = \emptyset. \quad (2.31)$$

Функция  $Merge(S_1, S_2)$  выполняется с учетом составляющих схемы ОДД отдельных ТСОДД  $s_i$ , составляющих каждую из схем ОДД. При этом для ТСОДД, присутствующих в  $S_2$ , но отсутствующих в  $S_1$ , устанавливается состояние  $act =$

"требуется установить", для отсутствующих в схеме ОДД  $S_2$  ТСОДД устанавливается  $act =$  "требуется демонтировать", для присутствующих в обеих схемах ОДД устанавливается статус  $act =$  "установлен". После этого исключаются дублирующие друг друга ТСОДД, установленные в рамках одной пространственной локации  $l_k$  на одной стороне  $side$ . Функция  $Merge()$  базируется на операциях цифровых структурных схем, приведенных в п. 2.2.

Функция  $Split(S_{B,E})$  применяется к участку  $District_{B,E}$  в рамках его границ  $(l_B, l_E)$  и формирует множество подучастков, каждый из которых на данном уровне декомпозиции отличается общностью свойств и выполняемых функций для транспортного процесса на заданном пространстве подучастка. Иницируется рассмотрение участка УДС, определенного в рамках (2.4) наиболее существенными особенностями участка УДС ( $slope, radius, surface, l_{lines}, r_{lines}, revers_{lines}, width$ ), т.е. выделяются участки УДС, отличающиеся свойствами (2.5-2.11). Для каждого такого участка УДС выделяются участки по их функциональному типу: перегон, перекресток, пешеходный переход, железнодорожный переезд, путепровод, тоннель. Функциональность участка УДС определяется на основе его атрибутов, уже существующих на участке ТСОДД или данных, полученных с помощью электронной карты (2.3). На следующем уровне декомпозиции выделяются участки УДС, обладающие общими для ТСОДД атрибутами согласно (2.14), при этом учитывается, что, например, линии горизонтальной дорожной разметки имеют то же функциональное назначение, что и дорожные знаки. Декомпозиция продолжается до момента, когда в качестве участка УДС выступит место дислокации одного ТСОДД  $l_k$ .

Полученная в результате целевая схема ОДД  $S_{B,E}^*$  должна пройти проверку по базе знаний требований (2.26) для удовлетворения условиям (2.19) и (2.20). Для каждого предлагаемых проектных решений необходимо обеспечить проверку ограничения пропускной способности (2.18) с помощью средств транспортного моделирования.

Для проверки эффективности предложенного метода проведены вычислительные эксперименты. Для этого выполнено построение схем ОДД для участков УДС

различного размера и сложности (различия в количестве полос движения и участке прохождения автодороги). Программная реализация метода выполнена на языке Python. Использовалась рабочая станция со следующими техническими характеристиками: процессор Intel Core i5-12450H с частотой 2,0 ГГц, 16 ГБ оперативной памяти, 64-разрядная операционная система.

Время формирования схемы и количество ТСОДД в сформированных схемах ОДД приведено в таблице 2.1.

Таблица 2.1 – Результаты оценки эффективности метода

№	Наименование участка УДС	Длина участка УДС, м	Число полос движения	Участок прохождения УДС	Время формирования схемы ОДД, с	Количество ТСОДД, шт.
1.	ул. Высоцкого, г. Самара	322	2	в нас. пункте	14	188
2.	пер. Чкаловский, г. Самара	392	2	в нас. пункте	16	283
3.	ул. Кутякова, г. Самара	525	2	в нас. пункте	15	175
4.	ул. Пушкина, г. Самара	862	2	в нас. пункте	23	263
5.	ул. Чкалова, г. Самара	1 110	2	в нас. пункте	45	662
6.	ул. Масленникова, г. Самара	1 660	4	в нас. пункте	74	1031
7.	ул. Буянова, г. Самара	1 900	2	в нас. пункте	85	1137
8.	ш. Зубчаниновское, г. Самара	2 448	4-6	в нас. пункте	73	736
9.	ул. Арена 2018, г. Самара	2 462	4	в нас. пункте	88	841
10.	ул. Галактионовская, г. Самара	3 468	4	в нас. пункте	134	2456
11.	«Бестужевка - Барыш - Николаевка - Павловка - граница области» – Топорнино, Ульяновская область	10 700	2	вне нас. пункта	91	767
12.	Тереньга - Гладчиха - Сосновка, Ульяновская область	19 700	2	вне нас. пункта	116	973
13.	А/д Киров-Русское, г. Киров	26 300	2	вне нас. пункта	237	2360

№	Наименование участка УДС	Длина участка УДС, м	Число полос движения	Участок прохождения УДС	Время формирования схемы ОДД, с	Количество ТСОДД, шт.
14.	Тереньга - Старая Ерыкла, Ульяновская область	32 800	2	вне нас. пункта	521	1114
15.	Чердаклы - Новый Белый Яр - Вислая Дубрава, Ульяновская область	56 650	2	вне нас. пункта	-	-

Таким образом, реализация метода обеспечивает формирование схемы ОДД менее чем за 10 мин. для дорог протяженностью до 50 км. Время формирования схемы ОДД напрямую зависит от длины участка УДС и насыщенности инфраструктуры этого участка пересечениями, примыканиями, остановками общественного транспорта, парковками; формирование схемы для небольшой улицы занимает меньше времени, тогда как крупные магистрали требуют значительного времени для проектирования.

## Выводы и результаты по главе

1. Построена структурно-параметрическая схема системы сбора и обработки дорожной информации на основе передвижной автомобильной лаборатории. Дорожная информация, получаемая с помощью системы, выступает в качестве основы для разработки проектов ОДД.

2. Предложена модель цифровых структурных схем для системного анализа организации дорожного движения в условиях сложной дорожно-транспортной обстановки. Модель обеспечивает инфраструктурное упорядочивание элементов улично-дорожной сети и технических средств организации дорожного движения.

3. Предложен метод поддержки принятия проектных решений по управлению дорожным движением, который отличается от известных применением пространственно-функциональной декомпозиции к дорожной обстановке, что позволяет интегрировать доступную информацию и поддерживать множественные представления и требования различных заинтересованных сторон, вовлеченных в процесс управления дорожным движением. Реализация метода обеспечивает возможность формировать схемы ОДД для УДС протяженностью до 50 км.

4. В процессе принятия проектных решений, помимо дорожной информации, требуется обрабатывать текстовую информацию нормативно-правовых и нормативно-технических актов, описывающих правила и типовые схемы применения ТСОДД в схеме ОДД. Кроме этого, необходимо обеспечить возможность проверки проектных решений в схеме ОДД по различным критериям оценки эффективности непосредственно в процессе проектирования.

### **3. ОБРАБОТКА ИНФОРМАЦИИ ЦИФРОВЫХ СТРУКТУРНЫХ СХЕМ В ПРОЦЕССЕ ПРИНЯТИЯ ПРОЕКТНЫХ РЕШЕНИЙ**

В главе предложены алгоритмы обработки и трансформации разнородной информации цифровых структурных схем в процессе информационной поддержки принятия проектных решений по управлению дорожным движением. Приведено описание алгоритма, предназначенного для обработки текстовой информации в процессе информационной поддержки принятия решений, позволяющего извлечь и формализовать правила применения технических средств организации дорожного движения. Приведено описание алгоритма трансформации дорожной информации для оценки эффективности проектных решений непосредственно в процессе проектирования. Приведены результаты вычислительных экспериментов, подтверждающие эффективность предложенных алгоритмов. Представлена методика цифровизации процессов разработки, рассмотрения, согласования и утверждения проектов организации дорожного движения.

#### **3.1. Алгоритм обработки текстовой информации в процессе информационной поддержки принятия проектных решений**

Цифровизация сферы транспортной инфраструктуры требует эффективной обработки и анализа большого объема нормативной технической документации. Национальные и отраслевые стандарты определяют правила применения дорожных знаков, разметки, светофоров и других ТСОДД. Предлагаемый алгоритм обработки текстовой информации в процессе информационной поддержки принятия решений базируется на методах обработки естественного языка, методах на основе искусственного интеллекта, больших языковых моделях (LLM) и продукционных моделях для автоматизации построения базы знаний и дальнейшего семантического анализа текстов стандартов, при этом на всех этапах обработки используется

граф опроса, который включает в себя набор концепций, отношений и ограничений, определяющих структуру и взаимосвязи между атрибутами и их значениями в текстах стандартов [11].

При создании базы знаний из текста технического стандарта, регулирующего применение ТСОДД, важно извлечь ключевые атрибуты  $D = \{d_j\}$ ,  $j = \overline{1..M}$ , характеризующие конкретные ТСОДД и конкретные условия и правила их применения. Используем продукции для формализации правил применения технических средств организации дорожного движения, записав их в формате согласно (2.20):  $(i); Q; P; A \rightarrow B; N$ , где  $i$  – имя продукции,  $Q$  – сфера применения (улица, автодорога, внутренние территории, парковки и т.п.),  $P$  – продукционное условие – предикат, обозначающий возможность применения продукции в заданных текущих условиях в текущий или заданный момент времени,  $A \rightarrow B$  – ядро продукции (следствие), где «если» соответствует  $A$ , а «то» соответствует  $B$ ,  $N$  – постусловия, т.е. предикат, который становится истинным после инициации ядра продукции, и символом  $\rightarrow$  обозначена импликация. Кроме этого, будем использовать определенные в параграфе 2.3 булевы функции, которые будут использованы в процессе составления правил: *Crossroad()*, *Urban()*, *Visibility\_distance()*, *First\_traffic\_light()* и др. Набор функций может расширяться в зависимости от рассматриваемых сфер применения.

Набор извлекаемых атрибутов определяется решаемой задачей, в него могут включаться технические и эксплуатационные характеристики, правила установки, требования к применяемым обозначениям, условия эксплуатации и др.

Алгоритм извлечения правил применения технических средств организации дорожного движения из текстов технических стандартов предполагает выполнение следующих шагов:

**Шаг 1.** На вход поступает машиночитаемый текст  $T$  технического стандарта общим объемом  $N$  символов.

**Шаг 2.** Машиночитаемый текст  $T$  разбивается на  $K$  частей по  $n$  символов в каждой, т.е.  $K = \lceil N/n \rceil$ , при этом размер блоков текста  $n$  выбирается исходя из вычислительных возможностей аппаратного обеспечения.

**Шаг 3.** Для каждой  $t_k$  из  $K$  частей текста  $T$  осуществляется следующая последовательность шагов.

**Шаг 3.1.** Для каждого атрибута  $d_j$  из множества  $D$  выполняется следующая последовательность шагов.

**Шаг 3.1.1.** Часть текста  $t_k$  и атрибут  $d_j$  встраиваются в prompt-запрос.

**Шаг 3.1.2.** Prompt-запрос поступает на вход LLM.

**Шаг 3.1.3.** LLM генерирует ответ по найденному атрибуту на каждую  $t_k$  часть текста документа.

**Шаг 3.2.** Объединение полученных ответов в один массив  $\{d_j\}_{\forall(d_j \in D), t_k}$ .

**Шаг 4.** Объединение полученных ответов в единый массив ответов  $\{d_j\}_{\forall(d_j \in D), t_k \in T}$ .

**Шаг 5.** По каждому ответу осуществляется поиск ответа в исходном тексте, что позволяет верифицировать полученные результаты, для этого последовательно выполняются:

**Шаг 5.1.** Поиск по точному совпадению.

**Шаг 5.2.** Поиск на основе регулярных выражений.

**Шаг 5.3.** Поиск с учетом неточностей (нечеткий поиск).

**Шаг 6.** По набору верифицированных атрибутов  $\hat{D}$  осуществляется формирование правил, для чего на вход LLM подаются наборы верифицированных атрибутов  $\hat{D} = \{\hat{d}_j\}$  и prompt для формирования правила в формате  $(i); Q; P; A \rightarrow B; N$ .

**Шаг 7.** Набор правил сохраняется в виде базы знаний и алгоритм завершается.

Обработка текстов технических стандартов подразумевает, что на вход алгоритма поступают именно текстовые данные  $T$ , в связи с чем на подготовительном этапе требуется преобразовать документ в текстовую форму. Для этого могут использоваться стандартные средства оптического распознавания символов. Работа с графическими элементами осуществляется как с текстовыми – каждому графическому элементу ставится в соответствие текстовое представление (токен).

Набор prompt-запросов формирует граф опроса, в котором вершины – prompt-запросы, сформулированные по отношению к заданному атрибуту, а дуги – возможные взаимосвязи между атрибутами, что позволяет представить набор концепций, отношений и ограничений, определенных в текстах технических стандартов.

Используемый prompt-запрос для извлечения атрибутов имеет следующий вид: *«Ты – ИИ-анализатор текстов документов технических стандартов. Твоя задача – точно извлечь атрибут из текста документа технического стандарта. Извлеки из текста {t\_k} атрибут {d\_j} и используй следующую инструкцию:*

*1. Ищи строго в следующих местах:*

*- В разделе, который начинается со слов "Правила применения"*

*2. Критерии корректного атрибута:*

*- Атрибут должен указывать на техническое средство организации дорожного движения*

*- Атрибут должен соответствовать стилю технического стандарта*

*3. Обязательные проверки:*

*- Если атрибут встречается в разных формах, то выбирай наиболее полную*

*- Игнорируй технические названия*

*- Отбрасывай уточнения в скобках, кроме самых важных*

*Используй следующий формат вывода:*

*- Только строка в кавычках*

*- Без точек в конце*

*- Сохраняй оригинальные формулировки*

*- Если атрибут не соответствует критериям, то в вывод записывать строго "- "».*

Запрос (prompt) для преобразования множества атрибутов (A) в набор правил в требуемом формате сформирован следующим образом: *«Вам дано множество атрибутов  $A = \{a_1, a_2, \dots\}$ , представляющих характеристики условий применения технических средств организации дорожного движения. Каждый атрибут описывает определенное свойство ситуации или среды, влияющее на применение конкретного средства. Необходимо сформировать правило в формате (i); Q; P;*

$A \rightarrow B$ ;  $N$ , где:  $i$ : уникальное название продукции,  $Q$ : сфера применения (например, улица в населенном пункте, парковка),  $P$ : предикаты, определяющие возможности применения продукции,  $A \rightarrow B$ : ядро продукции, связывающее начальные условия ( $A$ ) и следствия ( $B$ ),  $N$ : постусловия, проверяемые после инициирования продукции. Правила формируются следующим образом: Условие ( $P$ ) включает проверку всех необходимых атрибутов из множества  $A$ . Ядром продукции является утверждение вида "если"  $A$  "то"  $B$ . Постусловием ( $N$ ) служит утверждение о применимости или результате после активации продукции. В процессе формирования правил можно использовать следующие функции: *Crossroad()*: признак наличия перекрестка на указанном участке транспортной сети; *Urban()*: признак прохождения указанного участка транспортной сети в населенном пункте; *Visibility\_distance()*: числовое значение, соответствующее расстоянию видимости в рассматриваемой точке, .... Формализуйте каждое правило для каждого уникального имени продукции, соблюдая порядок атрибутов и формируя полные конструкции правил в указанном формате».

Таким образом, предложенный алгоритм позволяет преобразовать текст технического стандарта в формализованный набор правил, которые могут быть использованы в машине логического вывода (прямого или обратного) для реализации поддержки принятия решений в процессе разработки или проверки схем ОДД.

Проведены вычислительные эксперименты для проверки эффективности предложенного алгоритма. Алгоритм применен для формализации правил применения ТСОДД для наиболее объемных технических стандартов в области ОДД, среди них [18, 19, 44]. Экспериментальная среда выполнена на языке программирования Python 3.11 на основе веб-фреймворка Django 3.2.6 с библиотеками transformers 4.55.0 и torch 2.8.0. В качестве LLM использована G-Pro 2.0, выбор которой обусловлен ее показателями при выполнении инструктированных запросов на русском языке на бенчмарках Arena Hard Ru и др. [108], размером модели, скоростью инференса и требуемыми вычислительными мощностями. Нечеткий поиск осуществляется на основе библиотеки RapidFuzz 3.13.0.

Исходя из имеющегося аппаратного обеспечения (CPU Intel Xeon Gold 6426Y/64 ядра, RAM 256 GB, SSD 14 TB, GPU 2x NVidia H100 80 GB nmlink, операционная система Ubuntu 24.04) был выбран размер одного блока текста в 25000 символов. В ходе экспериментов оценивалось время обработки документа и фиксировалось количество извлеченных правил и метрики оценки качества. Результаты эксперимента приведены в таблице 3.1.

Таблица 3.1 – Результаты вычислительных экспериментов

Документ	Объем текста документа, символов	Количество извлеченных правил	Время извлечения, с	Точность (precision)	Полнота (recall)	F1-мера
[18]	232 943	547	4 397	0,952	0,843	0,894
[19]	43 451	62	3 412	0,934	0,882	0,907
[44]	308 697	669	5 115	0,961	0,833	0,892

Таким образом, проведенные вычислительные эксперименты показывают, что с помощью предложенного алгоритма с высокими показателями точности и полноты могут быть обработаны документы, содержащие до 300 000 символов, что позволяет использовать алгоритм для первоначального наполнения и поддержания базы знаний СППР в актуальном состоянии.

### **3.2. Алгоритм трансформации информации для оценки эффективности схем организации дорожного движения**

Как показал обзор, выполненный в параграфах 1.2 и 1.3, развитые системы проектирования ОДД и средства моделирования транспорта исторически развивались как отдельные решения и имеют множество функций, которые не согласуются друг с другом. В связи с этим предложен алгоритм бесшовной интеграции «на лету», позволяющий специалистам-проектировщикам оценивать проектные решения по целому ряду параметров в режиме «онлайн», не погружаясь в процессы со-



Алгоритм предполагает последовательное выполнение следующих восьми шагов, рассматриваемых в формализме жизненного цикла проектов организации дорожного движения [59, 70].

### ***Шаг 1. Получение характеристик улично-дорожной сети***

Из цифрового ПОДД извлекаются следующие атрибуты: длина участков УДС, информация о покрытии дороги, радиусы кривых в плане, углы подъемов и спусков, количество полос движения, ширина полос, направление движения по полосам, ограничения максимальной скорости на участках, приоритеты движения, признаки одностороннего движения, информация о наличии и ширине тротуаров, наличие светофорного регулирования, полосы для общественного транспорта, полосы для велосипедистов, информация о наличии и размерах остановочных пунктов. Границы проекта организации дорожного движения определяют точки въездов и выездов.

### ***Шаг 2. Формирование транспортной сети***

Формируется набор правил преобразования информации в формате «если – то». Осуществляется преобразование информации о текущих характеристиках УДС в соответствии с правилами в формат транспортной сети, соединяющий точки въездов и выездов, формируется матрица корреспонденции.

### ***Шаг 3. Идентификация транспортной модели***

Выполняется идентификация параметров используемой транспортной модели по характеристикам транспортных потоков: задание интенсивности транспортных потоков, дополнение матриц корреспонденции и точек интереса (точки притяжения, точки въезда/выезда), уточнение светофорных циклов.

### ***Шаг 4. Валидация транспортной модели***

Выполняется валидация транспортной модели по параметрам: время проезда участка сети, плотность трафика, длина очереди, задержки на перекрестках, средняя скорость потока, число конфликтных точек, коэффициент загрузки дорог движением.

### ***Шаг 5. Калибровка транспортной модели***

Выполняется калибровка транспортной модели идентично п. 3.

### **Шаг 6. Внесение в транспортную модель проектных решений**

Извлечение и внесение в транспортную модель разработанных проектных решений в части изменения количества полос движения, введения ограничений скорости, проектирования дополнительных лево- и правоповоротных полос, смены направления движений по полосам, смены приоритетов движения, введения запрета остановки вдоль УДС, смены количества и продолжительности светофорных циклов, строительства остановочных карманов, введения одностороннего движения и т.д.

### **Шаг 7. Симуляционное моделирование**

Проводится экспериментальное исследование функционирования элементов транспортной модели для разработанных проектных решений при текущих и прогнозируемых параметрах транспортных потоков, выполняется оценка и сравнение работоспособности дорожной сети при принятых вариантах проектирования («до – после»), формируется набор показателей оценки эффективности проверяемого проектного решения согласно критериям, приведенным в параграфе 1.5. В случае возможности установления участков транспортной сети, вызывающих затруднения в движении, формируется их перечень.

### **Шаг 8. Поддержка принятия проектных решений**

Данные по оценке текущего варианта проектных решений представляются проектировщику в контексте цифрового ПОДД. Для этого выполняется обратная трансформация элементов транспортной сети с привязкой к участкам УДС.

Выполнены вычислительные эксперименты для проверки эффективности предложенного алгоритма. Моделирование вариантов проектных решений проводилось на сложных УДС г. Самары (рисунок 3.2): а) пр. Кирова, б) ул. Авроры, в) ул. Ново-Вокзальная, г) ул. 22го Партсъезда; и на улицах исторического центра города: д) ул. М. Горького, е) ул. А. Толстого, ж) ул. Самарская, з) ул. Ярмарочная.

В ходе экспериментов оценивалось время выполнения операций трансформации информации при следующих условиях: запрета остановки транспортных средств вдоль проезжей части, строительства остановок общественного транспорта вне проезжей части, корректировки светофорных циклов.

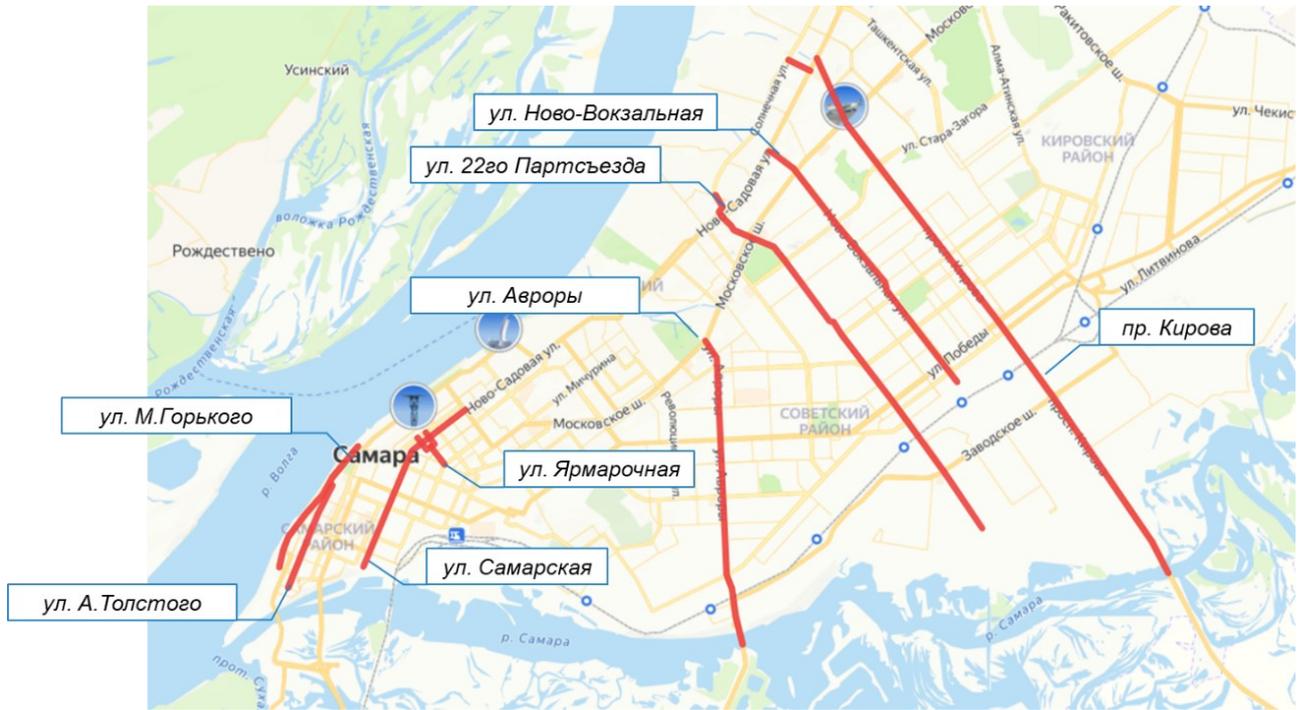


Рисунок 3.2 – Участки УДС для проведения вычислительного эксперимента  
 Результаты вычислительных экспериментов приведены на рисунке 3.3.

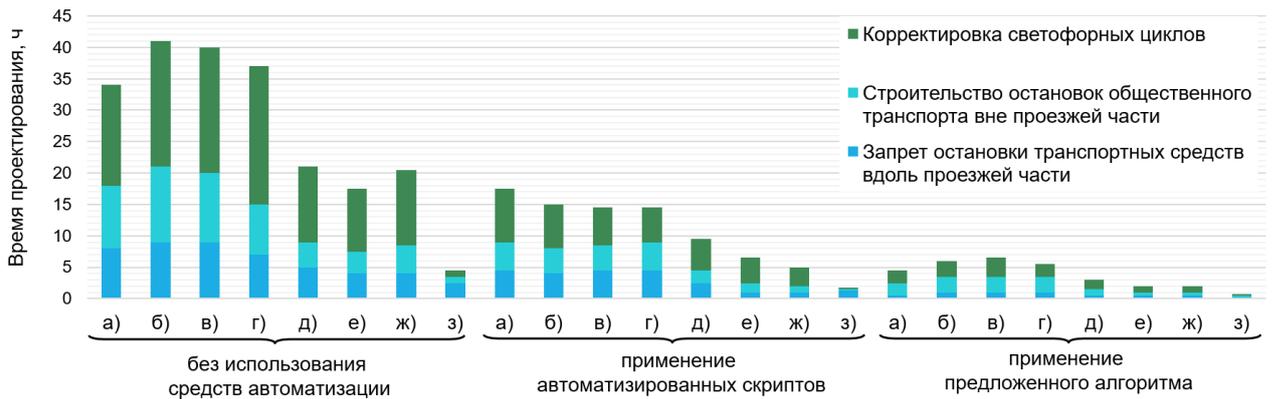


Рисунок 3.3 – Результаты вычислительного эксперимента

Зафиксировано снижение трудоемкости при использовании предложенного алгоритма в среднем на 87% по сравнению с проектированием без использования средств автоматизации, и в среднем на 65% по сравнению с проектированием с использованием скриптов. Таким образом, применение предложенного алгоритма обеспечивает снижение трудозатрат на трансформацию информации, совместно используемой средствами проектирования и моделирования, что, в свою очередь, обеспечит на практике повышение оперативности при оценке проектных решений по ОДД и избавит проектировщика от необходимости выполнять работы по модификации транспортной модели при проверке проектных решений.

### 3.3. Методика разработки цифрового проекта управления движением

Переход к цифровым проектам организации дорожного движения является актуальной задачей, стоящей перед органами государственной власти и местного самоуправления. Цифровая среда обеспечит прозрачность и доступность всех этапов работ, позволяя оперативно вносить изменения и учитывать мнения всех заинтересованных сторон. Использование цифровых платформ и инструментов позволит создать единую информационную систему, объединяющую все этапы жизненного цикла проекта, от идеи до реализации, что обеспечит комплексное решение проблем транспортного планирования. В связи с вышесказанным, предложена методика перехода (цифровой трансформации) к цифровым проектам ОДД [59].

Функционирование современной транспортной системы города описывается множеством параметров: от статистики ДТП и характеристик транспортных потоков до уровня загрязнения воздуха и шумового загрязнения. Каждый из этих аспектов важен и требует учета при проектировании ОДД для обеспечения эффективного и безопасного функционирования городской среды. Таким образом, методика должна решить проблему фрагментации данных при принятии стратегических решений по ОДД.

Методика обеспечивает формирование среды, в которой происходит объединение различных потоков данных, представленных в разных форматах в различных системах, собираемых из множества источников [12]:

- данные о дорожном движении: интенсивность транспортных потоков, средняя скорость движения, показания дорожных датчиков и радаров, а также информация о ДТП;
- данные общественного транспорта: местоположение транспортных средств в реальном времени, пассажиропоток, расписание и данные о пересадках;
- экологические данные: показания стационарных и мобильных датчиков качества воздуха, а также метеорологические данные;

– ситуационные данные: информация о погодных условиях, дорожных работах и городских мероприятиях, влияющих на транспортную ситуацию.

При этом необходимо осуществлять дополнение формально заданных моделей процессов моделями данных (рисунок 3.2).

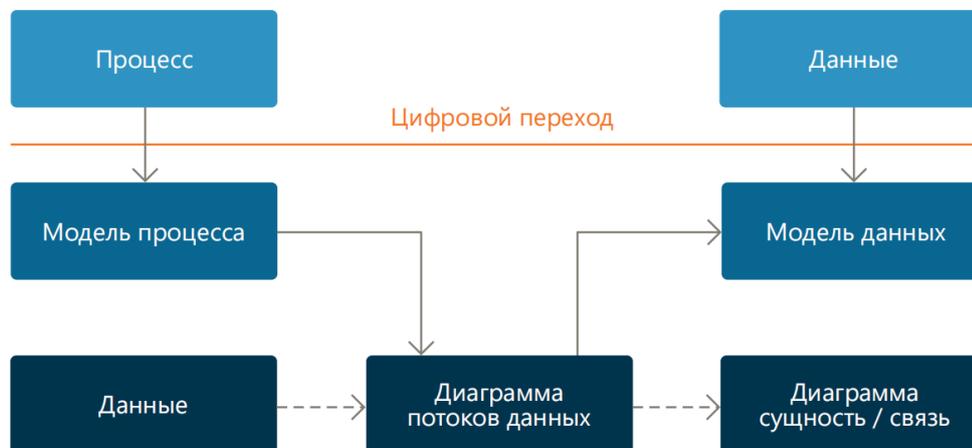


Рисунок 3.2 – Схема цифрового перехода при обработке данных транспортных систем

Такой подход обеспечит единообразие терминологии, стандартизацию типов и форматов данных, а также позволит регламентировать правила обработки, хранения и передачи данных в транспортных системах. В этой связи необходимым видится создание моделей, описывающих стандарт по функционалу, комплексной дислокации и визуализации геообъектов [21].

Методика обеспечивает последовательный переход от структурированного описания процедуры обработки данных к соответствующей ей информационной модели данных. Реализация этапов методики включает проверку полноты перечня используемых и генерируемых данных на каждом этапе процесса, формирование информационной модели и её последующую автоматизированную верификацию на предмет целостности, согласованности и отсутствия противоречий.

Дополнительно методика способствует установлению соответствия наименований и типов данных, взаимодействующих с внешними системами, что облегчает интеграционные процессы без масштабного изменения архитектуры информационного пространства [52].

Диаграмма потоков данных служит инструментом визуализации входных и выходных данных каждого этапа процесса, а также предназначена для анализа и проверки правильности маршрутов движения данных, отражающих информационное взаимодействие с внешними системами, источниками и потребителями данных. На основе представленной диаграммы потоков данных осуществляется генерация информационной модели (схемы данных) сущность/связь. Для целей предлагаемого подхода применяется упрощённая версия указанной нотации, обеспечивающая разделение ключевых элементов данных на сущностные объекты, характеризующиеся набором атрибутов, и объединяемые отношениями. Модель данных представляется в виде диаграммы, содержащей атрибуты, сущности и связи, которые описывают элементы данных, получаемые на основе списка входных/выходных данных транспортной системы (рисунок 3.3).



Рисунок 3.3 – Представление данных транспортных систем в модели процесса

Введем формальное описание предложенной методики. Множество источников данных  $S$  представляется как:

$$S = \{s_1, s_2, \dots, s_i, \dots, s_N\}, \quad i = \overline{1, N}, \quad (3.1)$$

где  $s_i$  – источник данных с номером  $i$ ,

$N$  – общее количество источников данных.

Множество процессов обработки данных  $P$ , которые могут быть применены к данным (например, фильтрация, агрегация, анализ, трансформация), определяется как:

$$P = \{p_1, p_2, \dots, p_j, \dots, p_M\}, \quad j = \overline{1, M}, \quad (3.2)$$

где  $p_j$  – процесс обработки данных с номером  $j$ ,

$M$  – общее количество процессов обработки данных.

Представим процесс  $p_j$  в виде упорядоченной совокупности функций (шагов), выполняемых во времени:

$$p_j = f(S_i, t_k) = \langle f_1(s_i, t_k), f_2(s_i, t_{k+1}), \dots, f_l(s_i, t_{k+l}) \dots, f_L(s_i, t_{k+L}) \rangle \rightarrow c_j, \quad (3.3)$$

где  $f_l$  – функция обработки данных на шаге  $l$ ,

$l$  – общее количество шагов в процессе,  $l = \overline{1, L}$ ,

$t_k$  – метка времени (дискретного) получения данных и выполнения шага,

$c_j$  – набор данных (контент) источника  $j$ , над которым выполняется операция.

С точки зрения хранения и обработки набор данных  $c_j$  описывается как множество из  $B$  кортежей из трех элементов каждый:

$$c_j = \{\langle d, o, v \rangle_1, \langle d, o, v \rangle_2, \dots, \langle d, o, v \rangle_j, \dots, \langle d, o, v \rangle_B\}, \quad (3.4)$$

где  $d$  – домен (тип) данных, определяющий формат данных,

$o$  – структура (организация) данных,

$v$  – значение.

Методика может быть использована для анализа действующих процессов обработки данных, их оптимизации, а также разработки и внедрения новых процессов в рамках цифровой трансформации на транспорте, таким образом, модифицированный процесс обработки данных представляется как:

$$\widehat{p}_j = \widehat{f}(S_i, t_k, \langle E_j, R_j \rangle), \quad (3.5)$$

где  $E_j$  – множество сущностей модели данных,

$R_j$  – множество связей модели данных.

Множество сущностей модели данных представим как

$$E_j = \{e_1, e_2, \dots, e_z, \dots, e_z\}, z = \overline{1, Z}. \quad (3.6)$$

Каждая сущность представляет собой кортеж

$$e_z = \langle name, a_1, a_2, \dots, a_u, \dots, a_U \rangle, \quad (3.7)$$

где  $name$  – имя сущности,  $a_u$  – атрибуты сущности,  $u = \overline{1, U}$ .

Множество связей в модели данных представим как

$$R_j = \langle r_1, r_2, \dots, r_h, \dots, r_H \rangle, h = \overline{1, H}, \quad (3.8)$$

где  $r = \langle e_i, e_j, x \rangle$  – связь между сущностями с номерами  $i$  и  $j$  с типом связи  $x$ .

Функция формирования модели задается как

$$g(p_j) \rightarrow \langle E_j, R_j \rangle \quad (3.9)$$

при следующих ограничениях: обеспечения целостности данных  $integrity(c_j) \in \{0,1\}$ ; обеспечения согласованности данных  $consistency(c_j) \in \{0,1\}$ ; непротиворечивости данных  $coherence(c_j) \in \{0,1\}$ .

Тогда множество источников и модификаций и процессов определит интегральный подход к мониторингу  $\langle S, \widehat{P} \rangle$ , позволяя получить набор данных

$$C(S, \widehat{P}) = \{c_j\}, \quad (3.10)$$

для которых выполняются ограничения:  $integrity(C_j)_{c_j \in C} = 1$ ,  $consistency(C_j)_{c_j \in C} = 1$ ,  $coherence(C_j)_{c_j \in C} = 1$ .

Таким образом, интегральный мониторинг показателей функционирования транспортных систем обеспечивает непрерывный доступ к актуальным данным из различных источников, что повышает эффективность процесса принятия управленческих решений. В данном контексте становится применима расчетная модель повышения качества деятельности систем управления [43]. Транспортно-логистические системы с автономными агентами также могут использовать единое информационное пространство для навигации и актуализации сведений о транспортной инфраструктуре [58].

Таким образом, с применением предложенной методики цифровой процесс начинается с момента, когда подрядчик получает от заказчика техническое задание на разработку ПОДД. Техническое задание анализируется командой проектировщиков, производится анализ исходной информации (карты, генеральные планы, документация о планировании территории, технические паспорта автомобильных дорог), с опорой на сайты администрации и геопорталы в сети Интернет. Осуществляется рекогносцировка местности разработки ПОДД. Фиксируется разрыв в имеющейся информации и недостающей для разработки ПОДД, формируется запрос недостающих исходных данных. Производится обследование УДС с использованием ПДЛ, замеры интенсивности транспортных потоков, оцениваются пешеходные потоки. По результатам проведенного обследования проектировщик формирует схему ОДД в формате «как есть» и производит анализ существующей дорожно-транспортной ситуации.

На следующем этапе определяются недостатки существующей схемы ОДД, при этом учитываются результаты моделирования транспортных потоков, данные анализа аварийности, перспективы развития территории. Основываясь на государственных стандартах, проектировщик формирует предложения (мероприятия) по

оптимизации ОДД с целью повышения безопасности дорожного движения и пропускной способности автомобильных дорог общего пользования местного значения, а также упорядочения и улучшения условий движения транспортных средств и пешеходов, в том числе с введением необходимых режимов движения транспортных средств и пешеходов.

Сформированные предложения содержат различные варианты проектирования и учитывают существующие и прогнозируемые дорожные условия, параметры функционирования объектов транспортной инфраструктуры, требования комфорта со стороны пользователей дорожной инфраструктуры (личный транспорт, общественный транспорт, пешеходы, велосипедисты). Оценивается стоимость предлагаемых мероприятий.

Разработанный цифровой ПОДД в случае необходимости трансформируется в полноценный документ, содержащий пояснительную записку, схемы организации движения и ведомости расстановки ТСОДД. Однако именно цифровой ПОДД направляется на согласование заказчику и в госавтоинспекцию (фрагмент цифрового ПОДД приведен на рисунке 3.4).

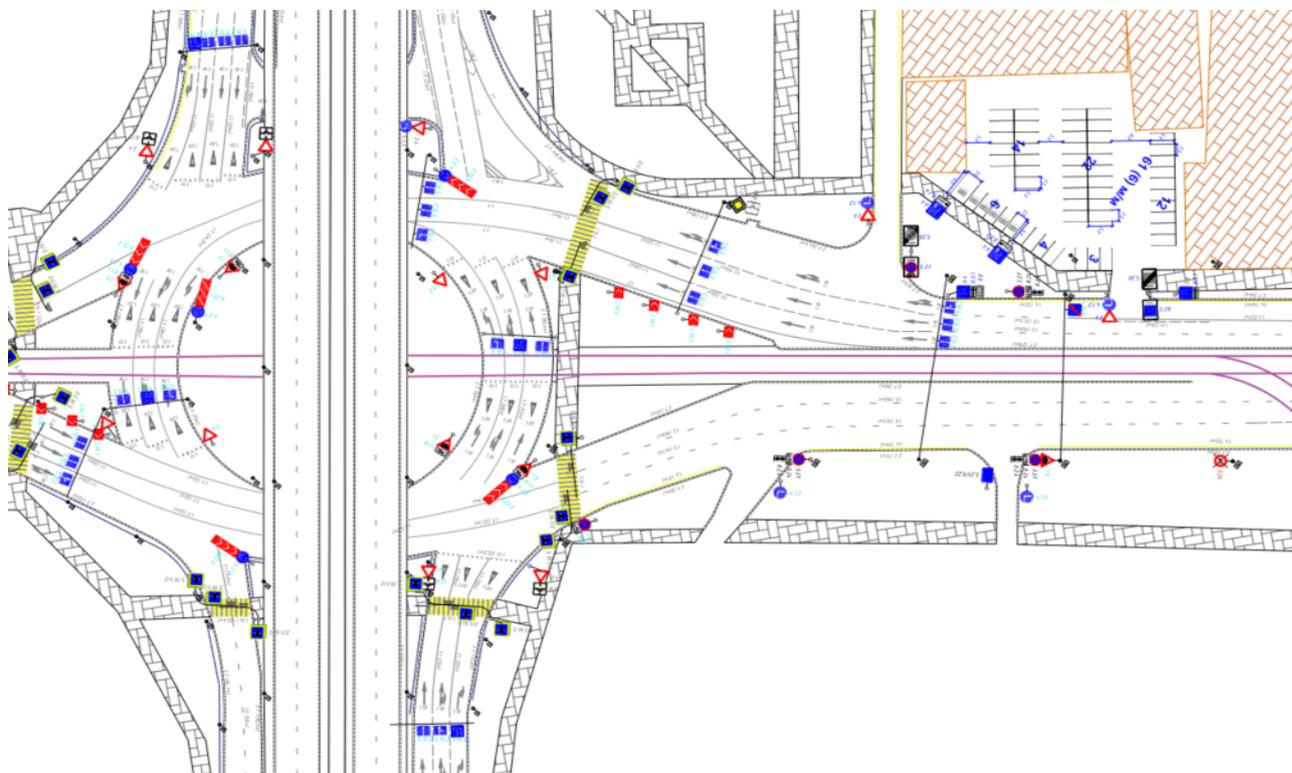


Рисунок 3.4 – Фрагмент цифрового ПОДД

Если каждая из структур принимает разработанные проектные решения и согласовывает ПОДД, то работы по разработке ПОДД считаются выполненными и на этом бизнес-процесс заканчивается. При наличии возражений к ПОДД проектировщик вносит в него изменения в соответствии с указанными замечаниями и снова направляет на согласование, то есть осуществляется возврат к ранее выполняемой задаче.

Предложенные цифровые ПОДД реализуют концепцию управления на основе данных [69], предоставляя инструменты для итеративного сбора и анализа данных, подготовки ПОДД, согласования проектных решений, проведения экспериментов и моделирования, проверки гипотез, а также совместной работы участников для принятия окончательных решений, закладываемых в ПОДД.

При работе с цифровыми ПОДД особое внимание должно уделяться версионированию схем и проектов ОДД. Важно фиксировать временные срезы (страты) состояния дорожной инфраструктуры, поскольку одни и те же участки УДС могут иметь различную ОДД в разное время суток или периоды года, а также ОДД может обновляться в процессе выполнения плановых работ по проектированию ОДД. Так, например, утренняя и вечерняя пиковые нагрузки требуют изменения направлений полос, введения выделенных линий для общественного транспорта или велосипедистов, закрытия отдельных участков для ремонта. Эти различия необходимо учитывать при принятии решений о дальнейшем развитии транспортной сети. Версионирование поможет органам Госавтоинспекции проводить разбор ДТП, выявляя обстоятельства происшествия и текущую актуальную на момент ДТП схему ОДД.

При работе с цифровыми ПОДД важно иметь возможность применять разнообразные схемы визуализации, поскольку различные участники процесса могут пользоваться разными условными обозначениями. Использование понятных и универсальных способов графического представления информации обеспечивает прозрачность и согласованность принимаемых решений (приложение А). Грамотно подобранные схемы позволяют избежать недопонимания и повысить уровень доверия среди заинтересованных сторон, упрощая процесс согласования ПОДД.

Доступ к цифровым ПОДД необходимо обеспечивать с различных типов устройств, включая персональные компьютеры, планшеты и мобильные телефоны, что позволит пользователям оперативно получать актуальную информацию о ситуации на дорогах, изменениях маршрутов, ремонтных работах и ограничениях движения. Возможность быстрого доступа с любого устройства повысит эффективность ОДД. Такой подход будет способствовать активному взаимодействию с органами власти и дорожно-транспортными службами, способствуя повышению уровня транспортной культуры и безопасности на дорогах.

Таким образом, проведение цифровой трансформации процесса разработки ПОДД позволяет повысить оперативность разработки и согласования ПОДД за счет интеграции доступных данных в единой цифровой среде, уменьшить технические ошибки, вызванные человеческим фактором, а также уменьшить прямые затраты проектной организации на изготовление рабочих образцов документации.

## Выводы и результаты по главе

1. Предложен алгоритм, позволяющий извлечь и формализовать правила применения ТСОДД из текстов нормативно-правовой и нормативно-технической документации. Проведенные вычислительные эксперименты показывают, что с помощью предложенного алгоритма могут быть обработаны документы, содержащие до 300 000 символов. Алгоритм применен для формализации правил применения ТСОДД для наиболее объемных технических стандартов в области ОДД, среди них [18, 19, 44], что позволяет использовать алгоритм для первоначального наполнения и поддержания базы знаний СППР в актуальном состоянии.

2. Предложен алгоритм трансформации дорожной информации для оценки эффективности проектных решений непосредственно в процессе проектирования в режиме «онлайн». Проведенные эксперименты показывают, что применение алгоритма снижает трудозатраты, связанные с оценкой эффективности плановых мероприятий по управлению дорожным движением, в среднем на 87% по сравнению с проектированием без использования средств автоматизации.

3. Предложенная методика разработки цифрового ПОДД формирует требования к процедурам итеративного сбора и анализа исходных данных, подготовки проекта, согласования проектных решений, проведения экспериментов и моделирования, проверки гипотез, а также совместной работы участников для принятия окончательных решений, закладываемых в ПОДД.

#### **4. РЕАЛИЗАЦИЯ СИСТЕМЫ ПОДДЕРЖКИ ПРИНЯТИЯ РЕШЕНИЙ ПО УПРАВЛЕНИЮ ДОРОЖНЫМ ДВИЖЕНИЕМ**

В главе описаны назначение и возможности разработанной системы поддержки принятия проектных решений по управлению дорожным движением, использующей предложенные во второй и третьей главах диссертации модели, методы и алгоритмы. Рассматривается применение системы для разработки проектов организации дорожного движения в г. Киров и г. Самара. Приведены результаты проведенных имитационных и натуральных экспериментов.

##### **4.1. Программное обеспечение системы поддержки принятия решений**

Разработанные модели, методы и алгоритмы обработки данных реализованы в составе единого программно-аналитического комплекса СППР для цифрового проектирования ОДД, решающего сквозные задачи сбора, верификации структурированных и неструктурированных данных об улично-дорожной сети с дальнейшей проектной интерпретацией и поддержкой принятия проектных решений в области транспортного проектирования.

В программном обеспечении СППР используются структуры данных, которые предоставляют информацию о цифровом документе, знаках, светофорах, дорожных ограждениях и дорожной разметке в СППР. Фрагмент схемы данных, предложенной в отношении дорожных знаков и светофоров, показан на рисунке 4.1.

Схема данных составлена согласно методике разработки цифровых ПОДД (параграф 3.3), в связи с этим представление данных транспортных систем в модели процесса разработки и согласования ПОДД может осуществляться с учетом модели процесса, представленной на рисунке 1.4 в первой главе диссертации в нотации BPMN 2.0. Построенная диаграмма последовательности для процесса обработки данных приведена на рисунке 4.2.

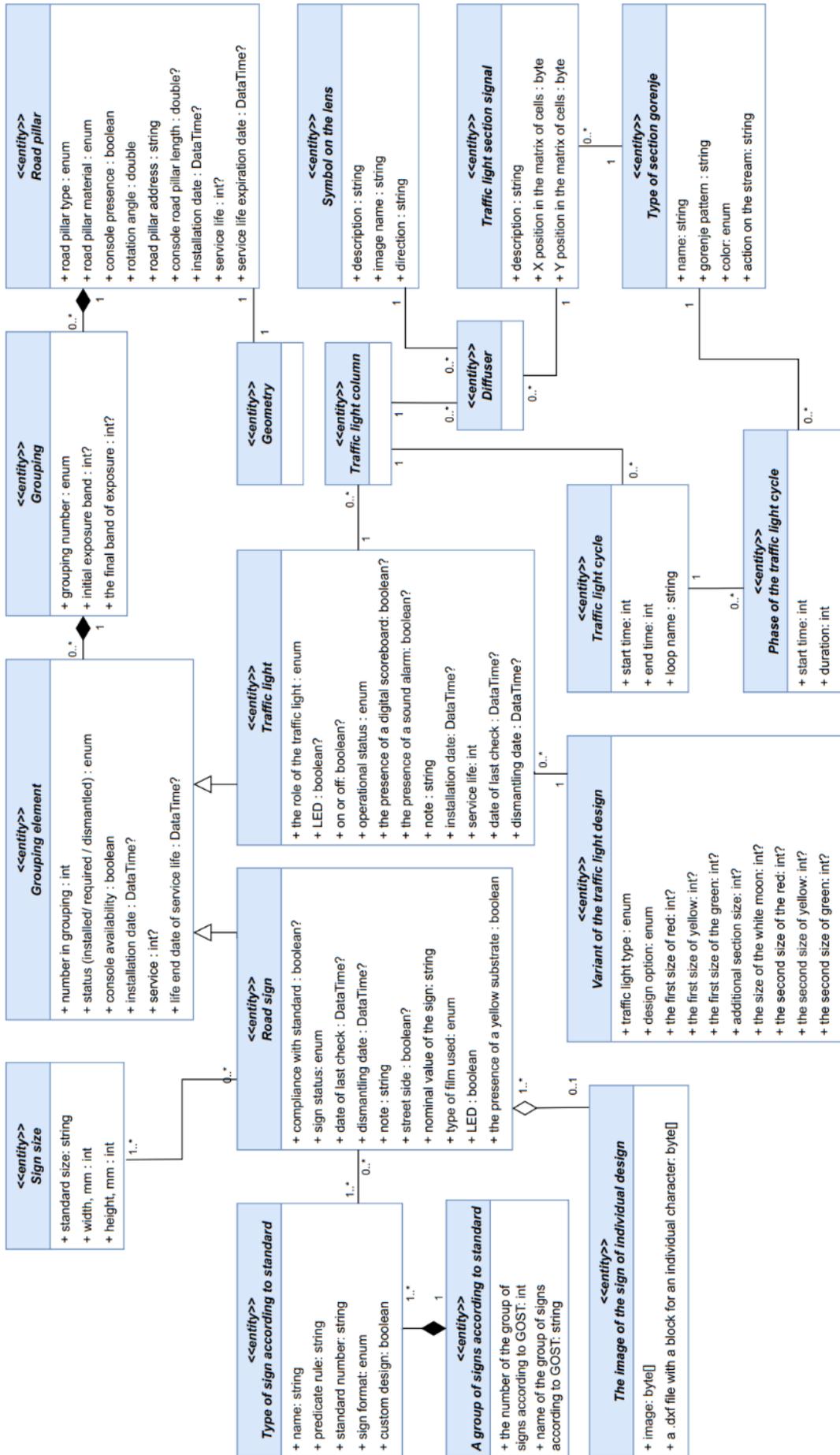


Рисунок 4.1 – Фрагмент модели данных ТСОДД в СППР

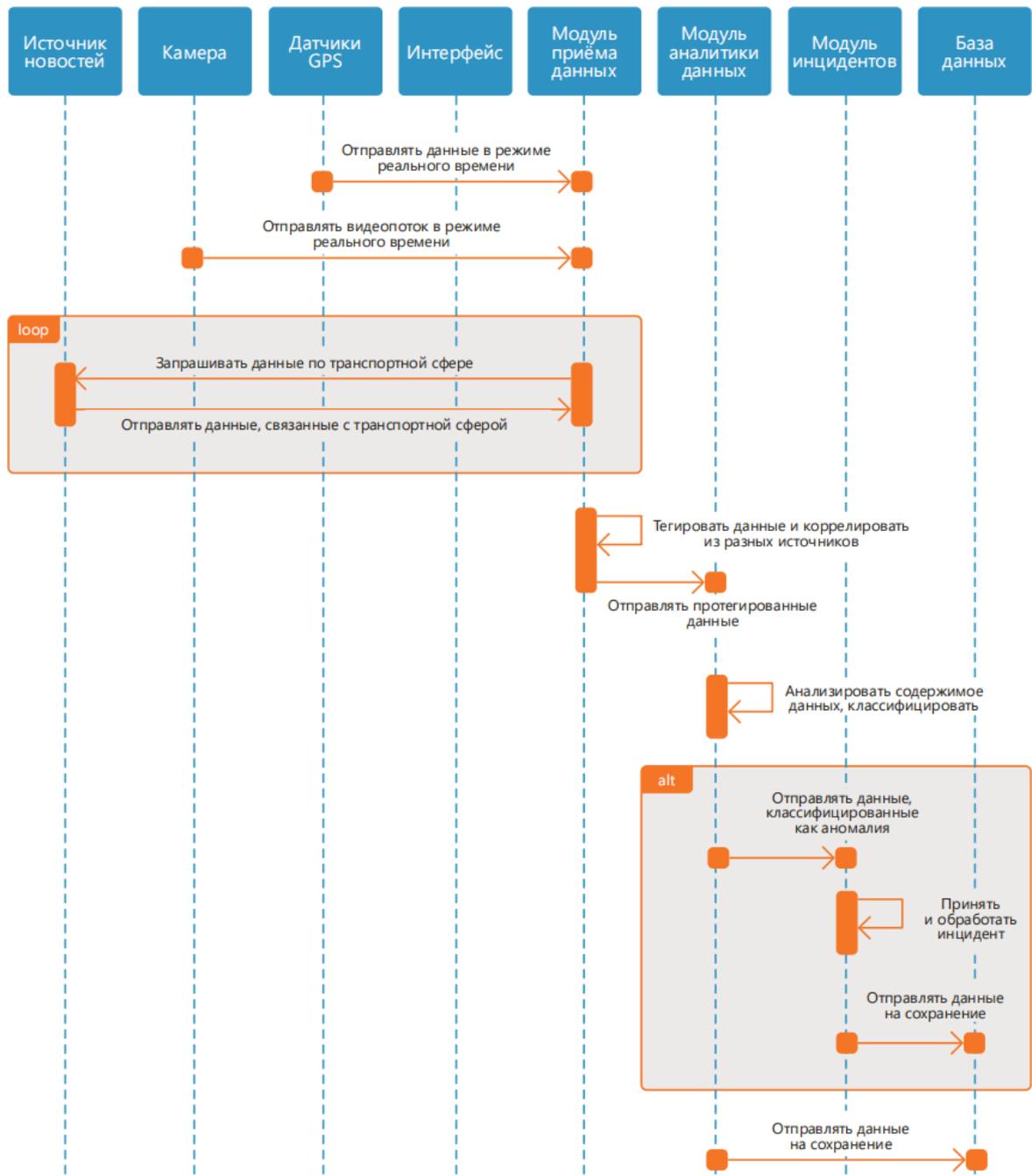


Рисунок 4.2 – Диаграмма последовательности для процесса обработки данных

Реализуемая СППР базируется на трех разработанных программах для ЭВМ:

1. Программное обеспечение передвижной дорожной лаборатории для обследования транспортной инфраструктуры [42] («AnchorLab»);
2. Геоинформационная система интеграции и анализа неструктурированных данных на основе искусственного интеллекта [10] («AnchorGIS»);
3. Система поддержки принятия проектных решений в процессе разработки цифровых проектов организации дорожного движения [47] («AnchorDSS»).

Программное обеспечение передвижной дорожной лаборатории «AnchorLab» предназначено для автоматизации процесса обследования транспортной инфраструктуры. В рамках данной системы реализованы функции сбора данных с датчиков и камер, измерение геометрических параметров по видеоизображению и треку ГНСС-приемника: расстояние, ширина, площадь, характеристики элементов продольного (радиусы поворотов, закруглений) и поперечного профиля (уклоны) в плане, построение диаграмм высот, расчет видимости, автоматизация дислокации технических средств организации дорожного движения.

Программное обеспечение «AnchorLab» базируется на прикладном программном обеспечении ПДЛ «WayMark» и позволяет:

- отображать видеоизображения с одной или нескольких камер, синхронизированных по кадру, согласно их глобальному положению;
- строить диаграммы продольных и поперечных уклонов дороги, радиусов закругления и видимости;
- определять траекторию движения передвижной лаборатории.

На рисунке 4.3 представлен интерфейс программного обеспечения, отображен фрагмент геовидеомаршрута с привязкой к координатам местоположения и информацией об обследуемом участке УДС.

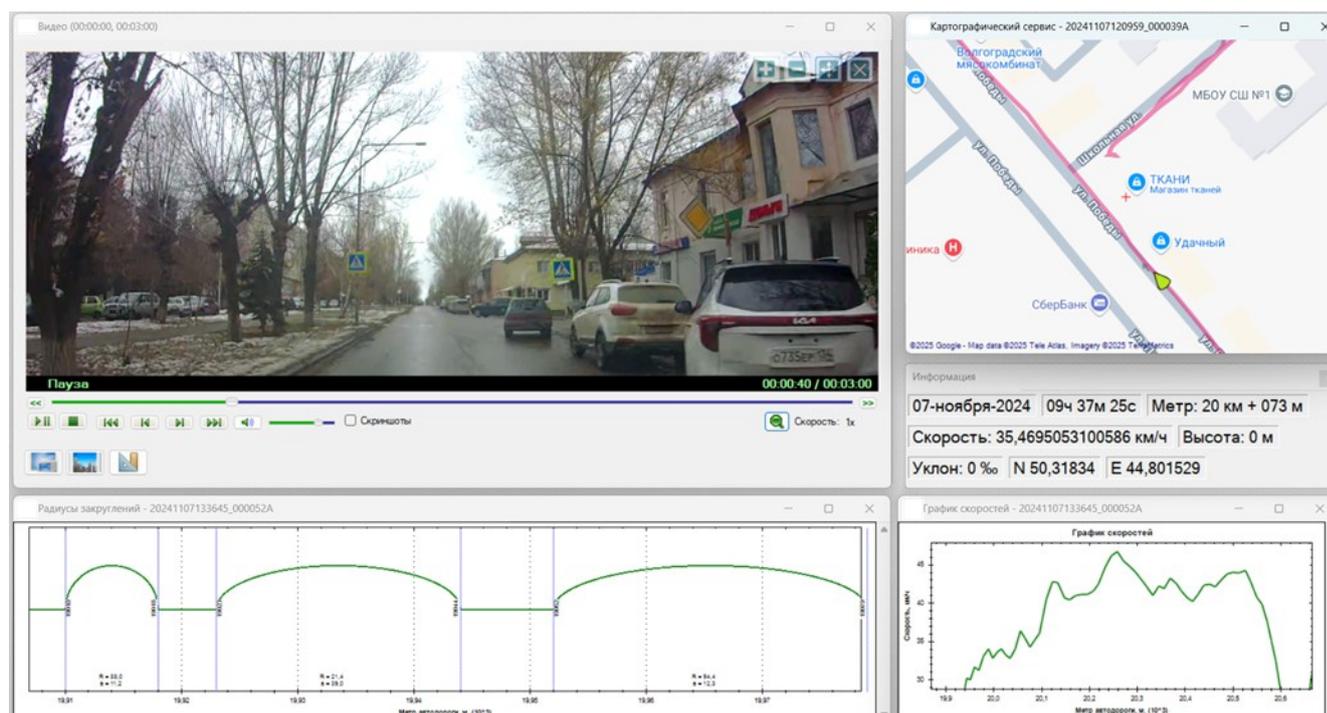


Рисунок 4.3 – Фрагмент дорожных данных в «AnchorLab»

Встроенный инструмент «Радиусы закруглений» (рисунок 4.4) строит диаграмму элементов продольного профиля (радиусы поворотов) в плане дороги.

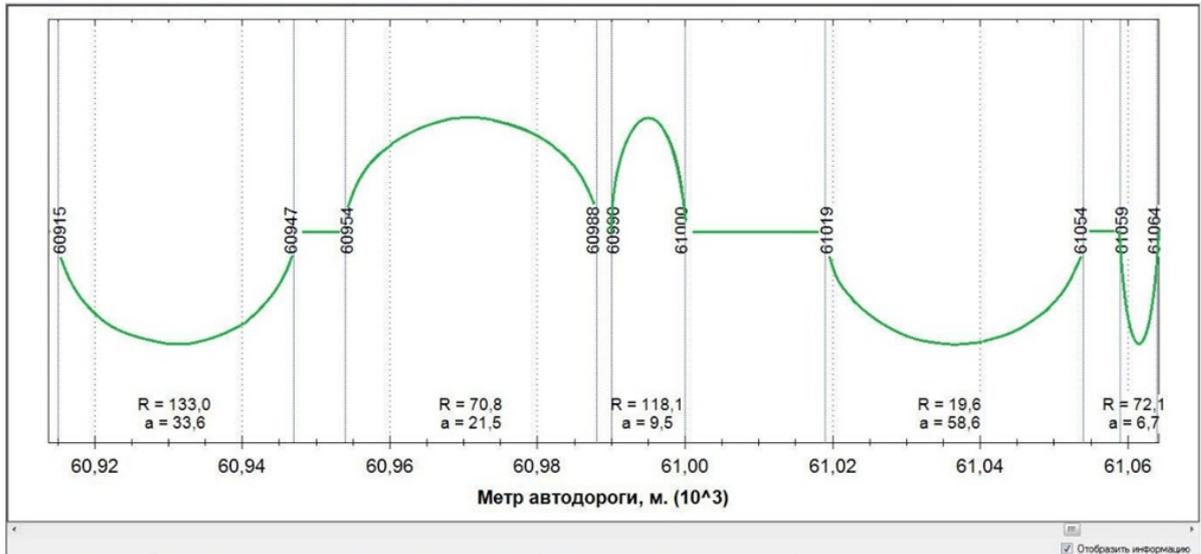


Рисунок 4.4 – Радиусы закруглений

Инструмент «Диаграмма видимости» (рисунок 4.5) строит диаграмму видимости в зависимости от категории дороги, что позволяет определить участки необеспеченной видимости.

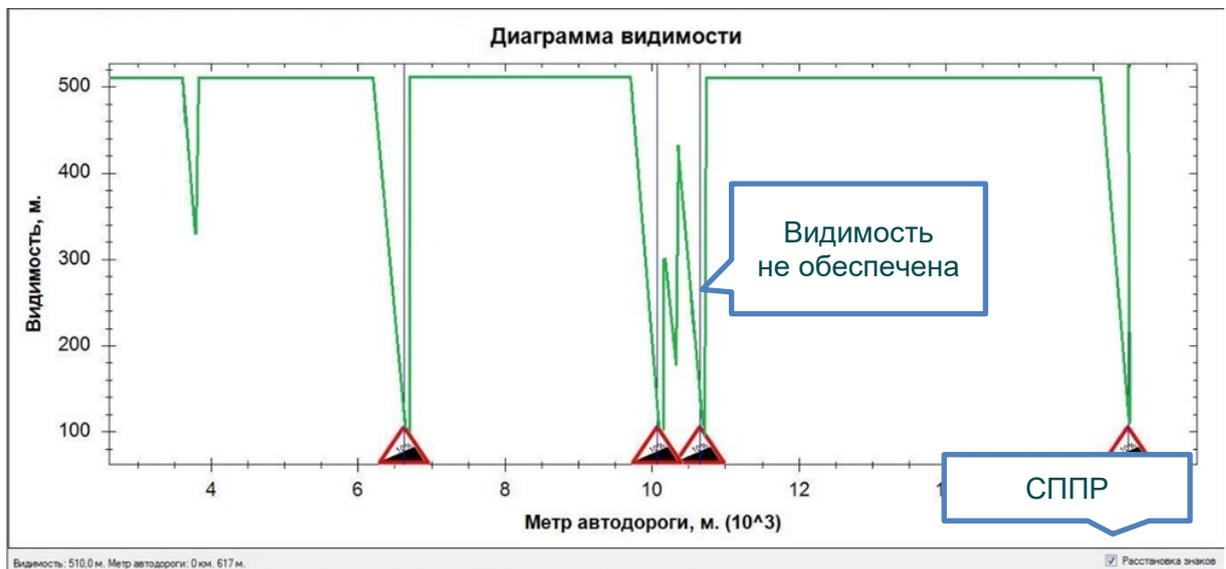


Рисунок 4.5 – Диаграмма видимости

Инструмент «Диаграмма уклонов» (рисунок 4.6) строит диаграмму уклонов дороги, при воспроизведении видеофайла на диаграмме отображается текущее местоположение лаборатории. На основе данных, обработанных инструментами «Диаграмма уклонов» и «Диаграмма видимости», осуществляется поддержка принятия проектных решений.

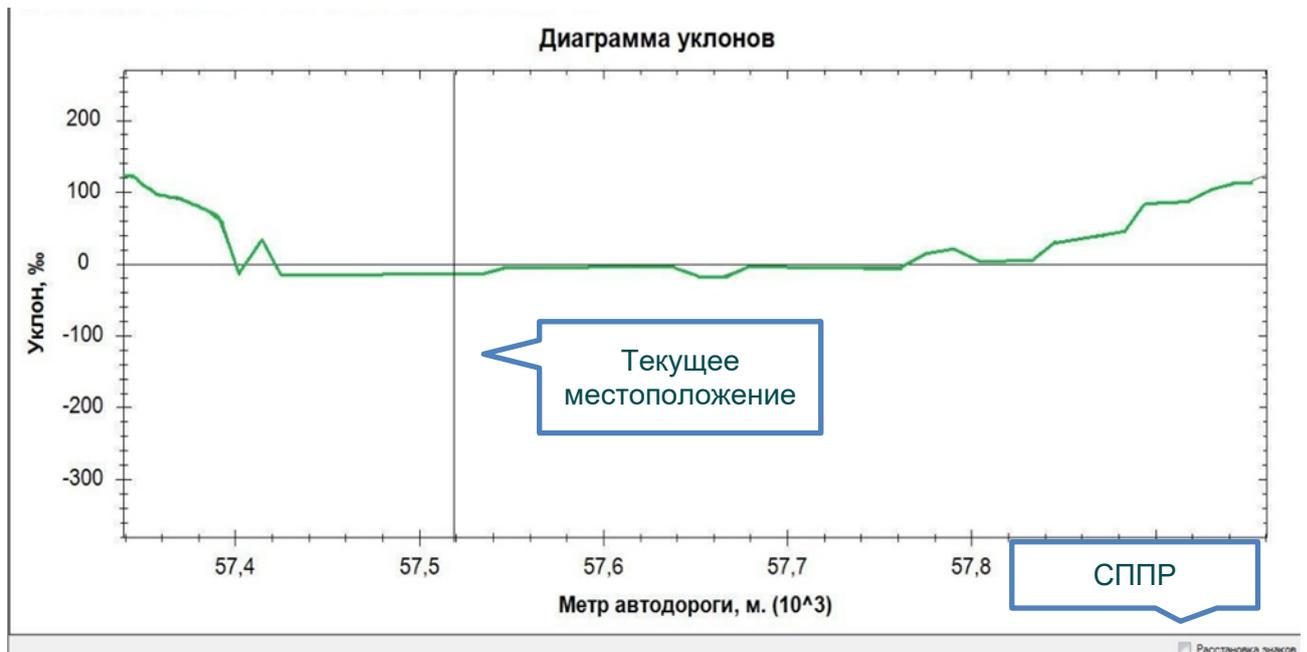


Рисунок 4.6 – Диаграмма уклонов

Первичные данные об объектах дорожной инфраструктуры (дорожные знаки, остановки общественного транспорта, светофорные объекты) и параметрах УДС, собранные и обработанные мобильной измерительной лабораторией «AnchorLab», дислоцируются на электронной карте геоинформационной системы интеграции и анализа неструктурированных данных «AnchorGIS», обеспечивая актуализацию текущего состояния УДС.

Геоинформационная система дополнительно интегрирует гетерогенные источники данных, включая:

- статистику о ДТП через API официальной статистики Госавтоинспекции (<https://dtp-stat.ru/opendata>);
- информацию о размещении социально-значимых объектов (образовательные учреждения, медицинские центры) из общедоступных пространственных баз OpenStreetMap (OSM);
- маршруты движения общественного транспорта;
- ортофотопланы;
- данные о границах застроек в красных линиях (кадастровая карта) и др.

Система «AnchorGIS» предназначена для интеграции и анализа неструктурированных данных об УДС на базе различных ГИС общего назначения (рисунок 4.7). В ней реализована предложенная в параграфе 2.2. модель цифровых структурных схем. Система «AnchorGIS» осуществляет сбор параметров из открытых источников и ПДЛ («AnchorLab»), интеграцию с внешними системами, а также визуализацию данных.

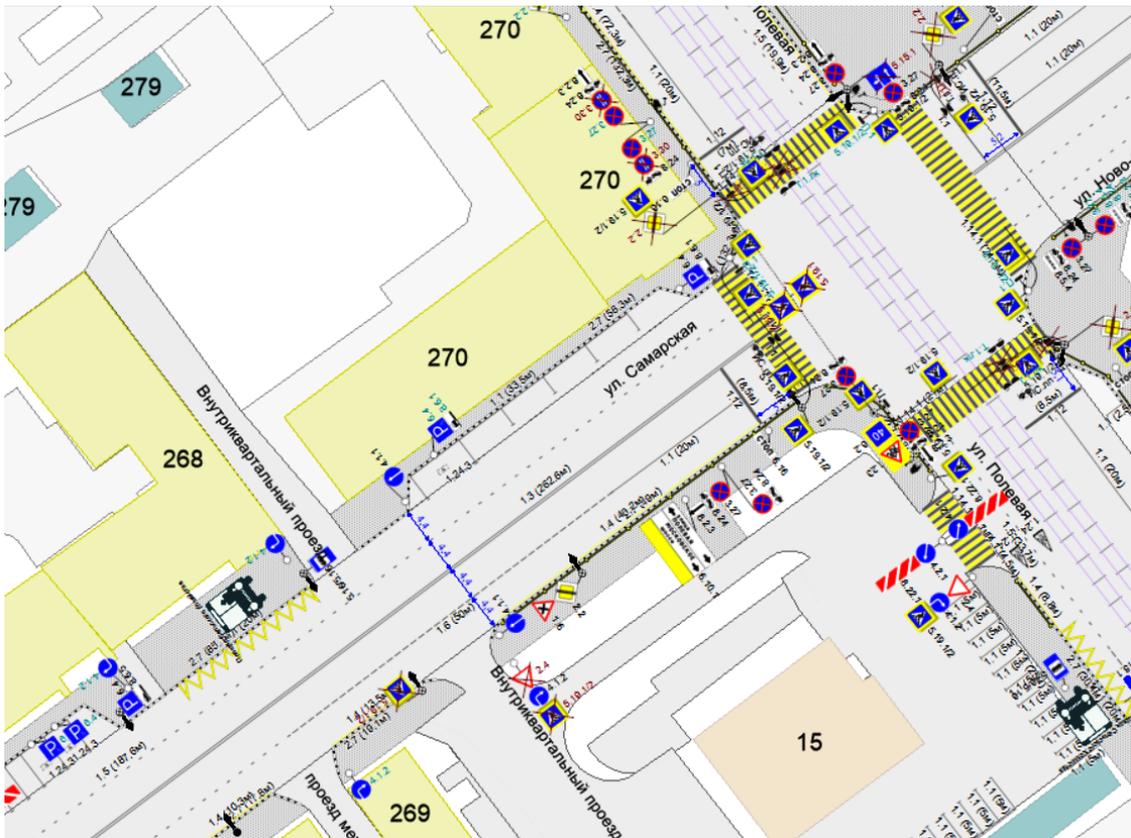


Рисунок 4.7 – Фрагмент данных в «AnchorLab» на основе ГИС

Система «AnchorDSS» в процессе разработки цифровых ПОДД реализована на основе предложенного в параграфе 2.3 метода поддержки принятия проектных решений и функционирует следующим образом: система «AnchorDSS» анализирует текущую дислокацию ТСОДД, сопоставляет её с рельефом и общей ситуацией на УДС, проверяет соответствие нормативам и требованиям безопасности, а также предлагает варианты проектных решений.

Ядро СППР «AnchorDSS» анализирует требования нормативной документации ([18], [44]), извлекает атрибуты и формализует правила (рисунок 4.8) согласно алгоритму обработки текстовой информации в процессе информационной поддержки принятия решений, предложенному в параграфе 3.1.

## Распознавание

ГОСТ Р 52289-2019.pdf

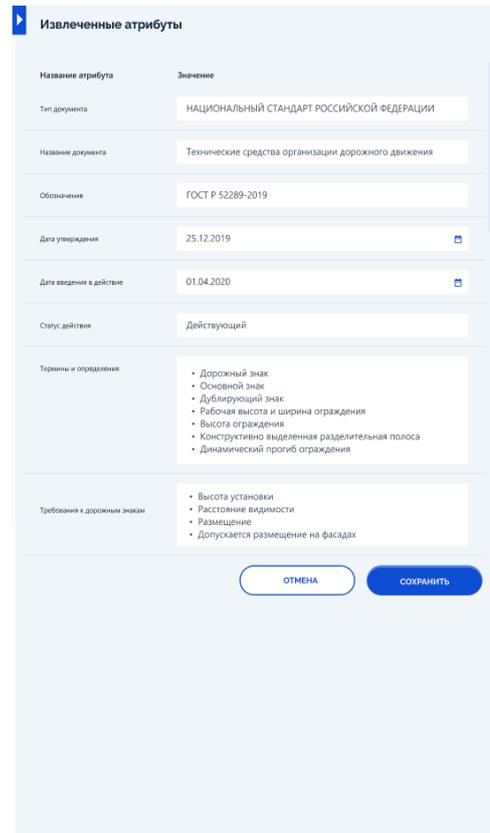
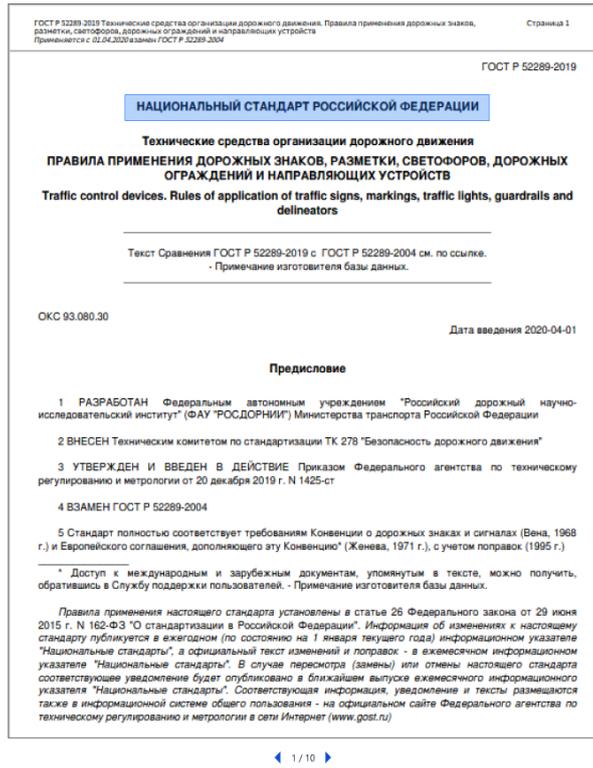


Рисунок 4.8 – Обработка данных нормативной технической документации

После формирования цифрового двойника в формате «как есть» проектировщик инициирует анализ, задавая целевой участок УДС, критерии оценки (проверка соответствия требованиям, анализ ситуационного плана) и параметры (рисунок 4.9).

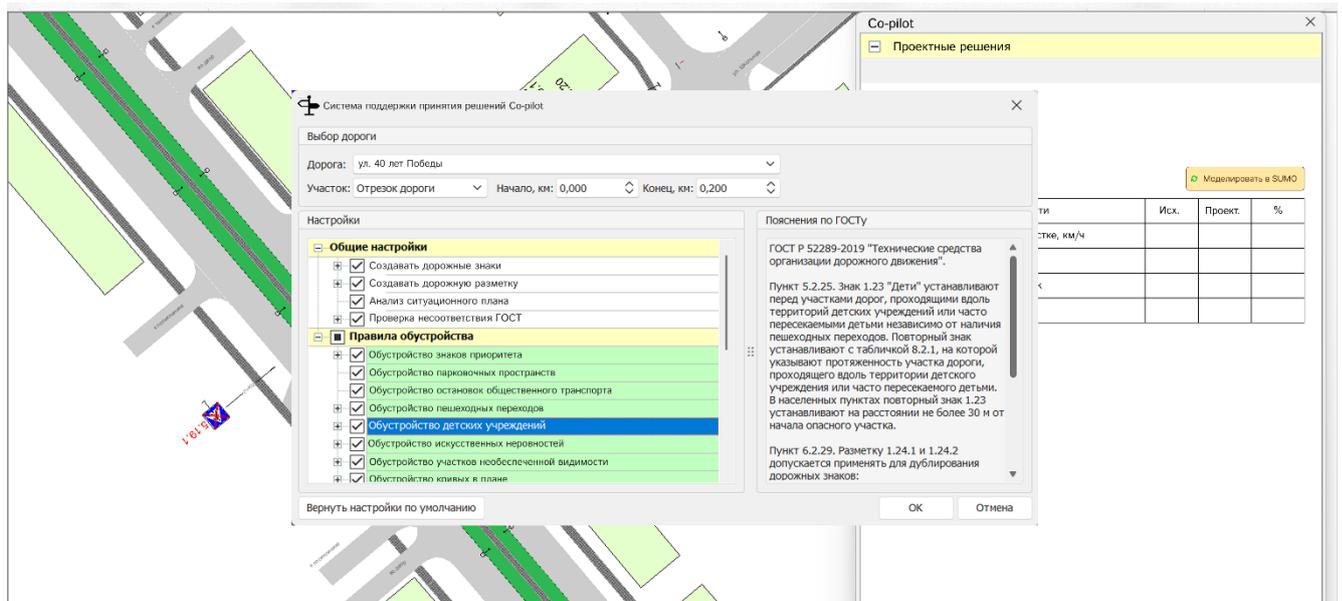


Рисунок 4.9 – Система поддержки принятия проектных решений «AnchorDSS» – выбор зон проектирования

Система генерирует сценарные предложения по модификации ТСОДД, визуализируя рекомендации по изменению схемы движения. Проектировщик верифицирует предложенные мероприятия, после чего СППР передает данные в имитационную среду для оценки эффективности, при этом используется алгоритм трансформации дорожной информации, предложенный в параграфе 3.2. Моделирование выполняется в режиме «исходное состояние» и режиме «проектное решение» с расчетом ключевых показателей: среднего времени поездки, уровня загрузки узлов, коэффициента аварийности (рисунок 4.10).

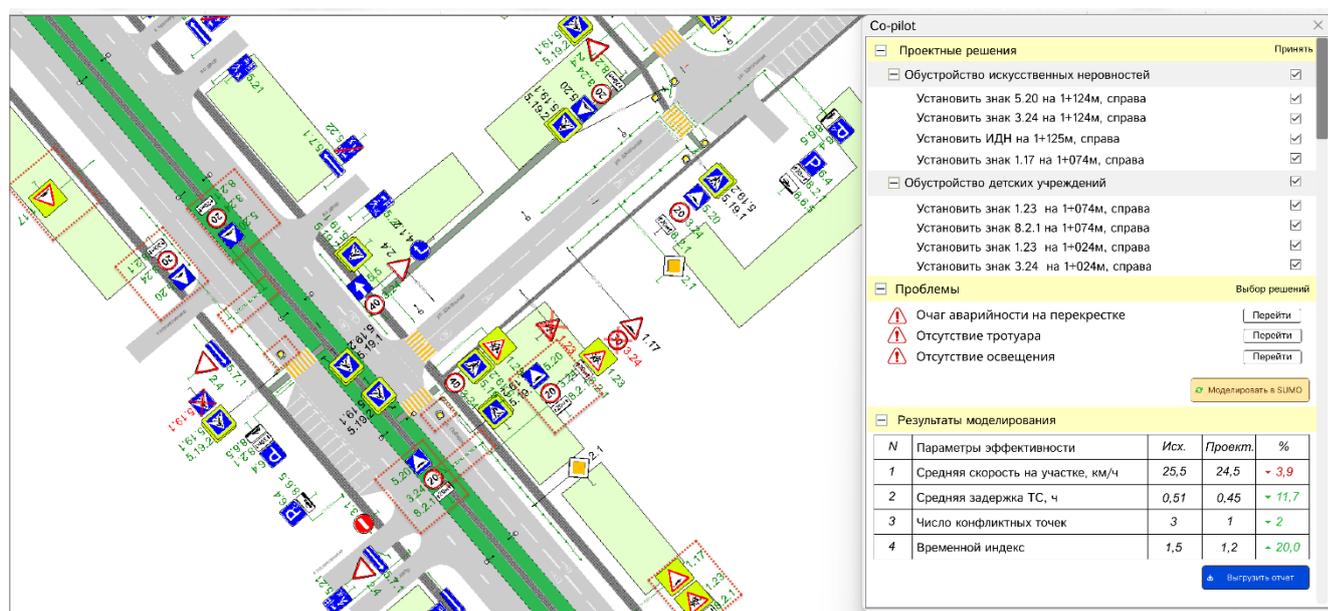


Рисунок 4.10 – Система поддержки принятия проектных решений «AnchorDSS» – моделирование и анализ предлагаемых решений

Результаты сравниваются с базовым сценарием, определяя достижение целевых значений (снижение задержек, снижение числа конфликтных точек). При положительном результате формируется комплект проектной документации, включая генерируемые разделы пояснительной записки с диаграммами эффективности.

В случае недостижения плановых показателей система итеративно корректирует решения через:

- рекомбинацию мероприятий;
- уточнение входных параметров модели;
- актуализацию нормативных ограничений.

Процедура повторяется до достижения параметров, удовлетворяющих критериям безопасности и пропускной способности, что обеспечивает сходимость проектных решений с принципами устойчивой мобильности.

Разработанный проект оформляется в полноценный цифровой документ, содержащий:

- детализированную пояснительную записку с описанием и сравнением проектных решений, обоснованием утверждаемого варианта ПОДД;
- схемы размещения технических средств организации дорожного движения;
- спецификации и перечни используемых ТСОДД, ведомости объемов строительно-монтажных работ.

#### 4.2. Оценка эффективности разработанных решений

Выполнена апробация разработанных методов, алгоритмов и программного обеспечения при разработке проектов (схем) ОДД и оценке их эффективности для участков УДС. Сбор исходных данных осуществлялся с использованием ПДЛ «Трасса» на базе автомобиля Geely Atlas (рисунок 4.11).



Рисунок 4.11 – Дорожная лаборатория «Трасса» на базе автомобиля Geely Atlas

Оборудование, установленное на дорожную лабораторию в ходе исследования, включало в себя: датчик пройденного пути, датчики системы стабилизации положения кузова, малогабаритную инерциальную систему, камеры для панорамной съемки, ГНСС-приемник, акселерометр, блок регистрации и обработки собранных данных, сервер для хранения и анализа полученной информации. Обработка данных ПДЛ осуществлялась с помощью программного обеспечения передвижной дорожной лаборатории для обследования транспортной инфраструктуры «AnchorLab» [42].

В качестве системы автоматизированного проектирования организации дорожного движения использована «IndorTrafficPlan» [34], в качестве средства моделирования – инструмент для моделирования транспортных потоков в городских условиях с открытым кодом «SUMO» [35]. Пространственные дорожные данные обработаны с помощью «AnchorGIS» [10]. В ходе исследования применялась СППР «AnchorDSS» [47].

Исследование проводилось в ходе разработки проектной документации (схем) для организации дорожного движения на 68 улицах города Самара суммарной протяженностью 156,3 км (рисунок 4.12).

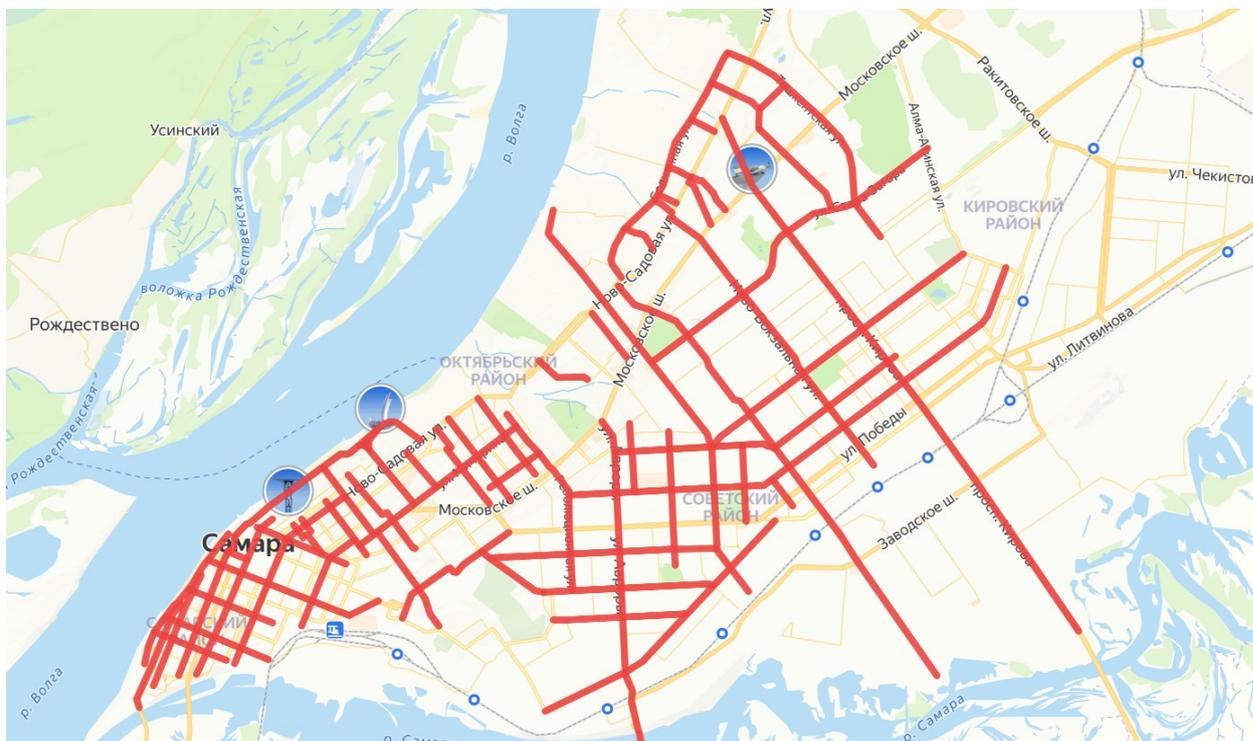


Рисунок 4.12 – Участки УДС г. Самара для проведения исследования

Улицы расположены в разных районах города, отличающихся загруженностью УДС, составом транспортного потока, наличием общественного транспорта, числом точек притяжения, потребностью в парковочных местах. Сформированы проекты организации дорожного движения по указанным участкам УДС и построены транспортные модели. Фрагмент разработанного ПОДД с планируемыми проектными решениями (ул. 22го Партсъезда, г. Самара) представлен на рисунке 4.13.

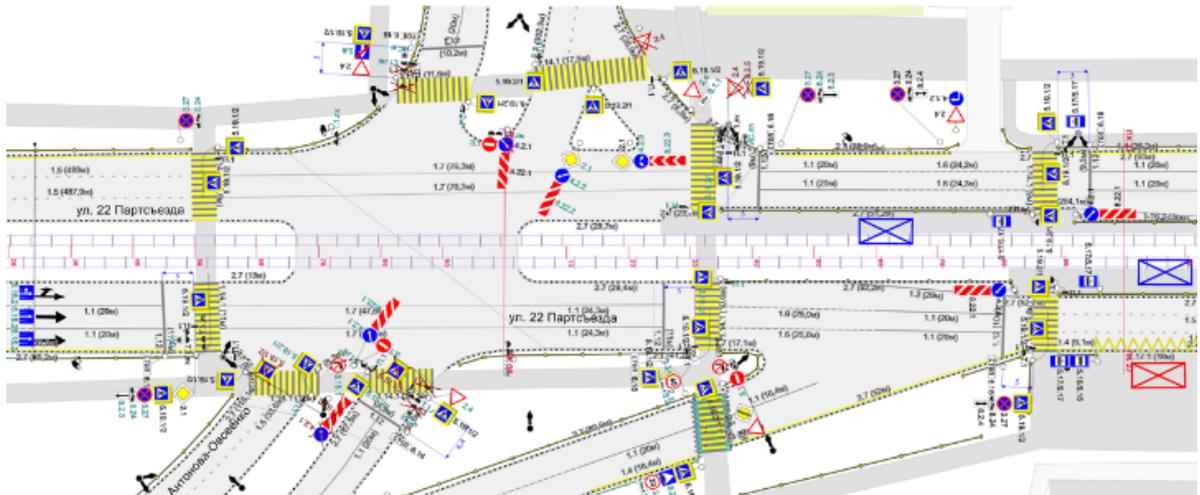


Рисунок 4.13 – Фрагмент цифрового проекта организации дорожного движения с планируемыми проектными решениями (ул. 22го Партсъезда, г. Самара)

Фрагмент транспортной модели, построенной на основе трансформированных данных транспортного планирования по ПОДД представлен на рисунке 4.14.

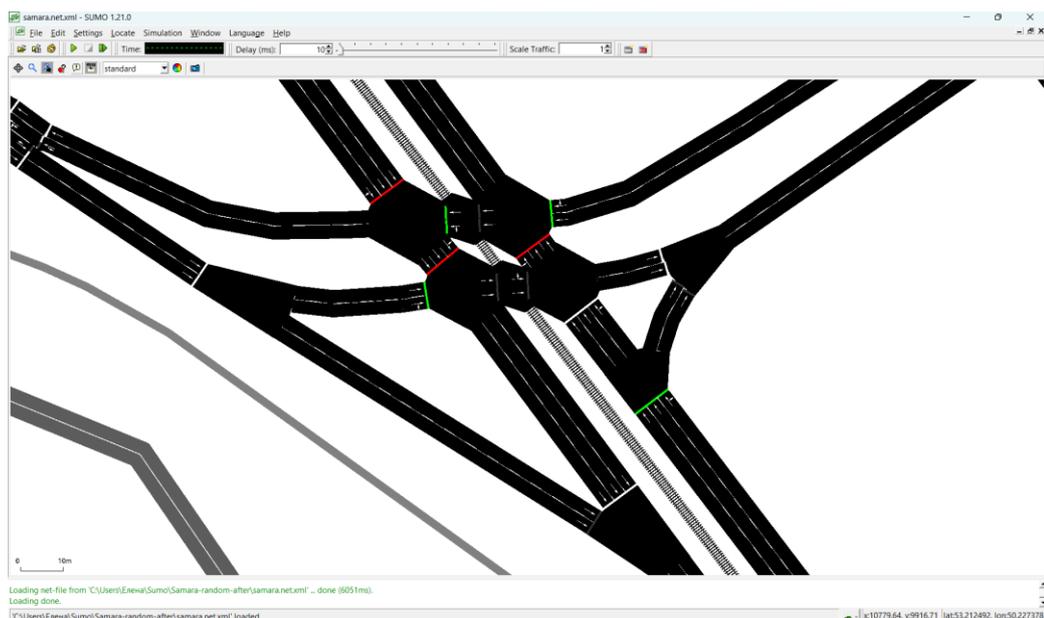


Рисунок 4.14 – Фрагмент транспортной модели, построенной на основе данных транспортного планирования (ул. 22го Партсъезда, г. Самара)

Исследования эффективности проводились следующим образом. Разработан ПОДД по указанным участкам УДС («было», рисунок 4.15.а), далее с помощью предложенных в диссертации решений осуществлялось проектирование ОДД и внедрение разработанных проектных решений («стало», рисунок 4.15.б) в части: 1 – запрета остановки транспортных средств вдоль проезжей части, 2 – строительства остановок общественного транспорта вне проезжей части, 3 – корректировки светофорных циклов. Проанализирована эффективность внедрения проектных решений в следующих условиях: 1 – стабильные условия, 2 – пиковые часы, 3 – выходные дни, 4 – дни проведения культурно-массовых мероприятий.

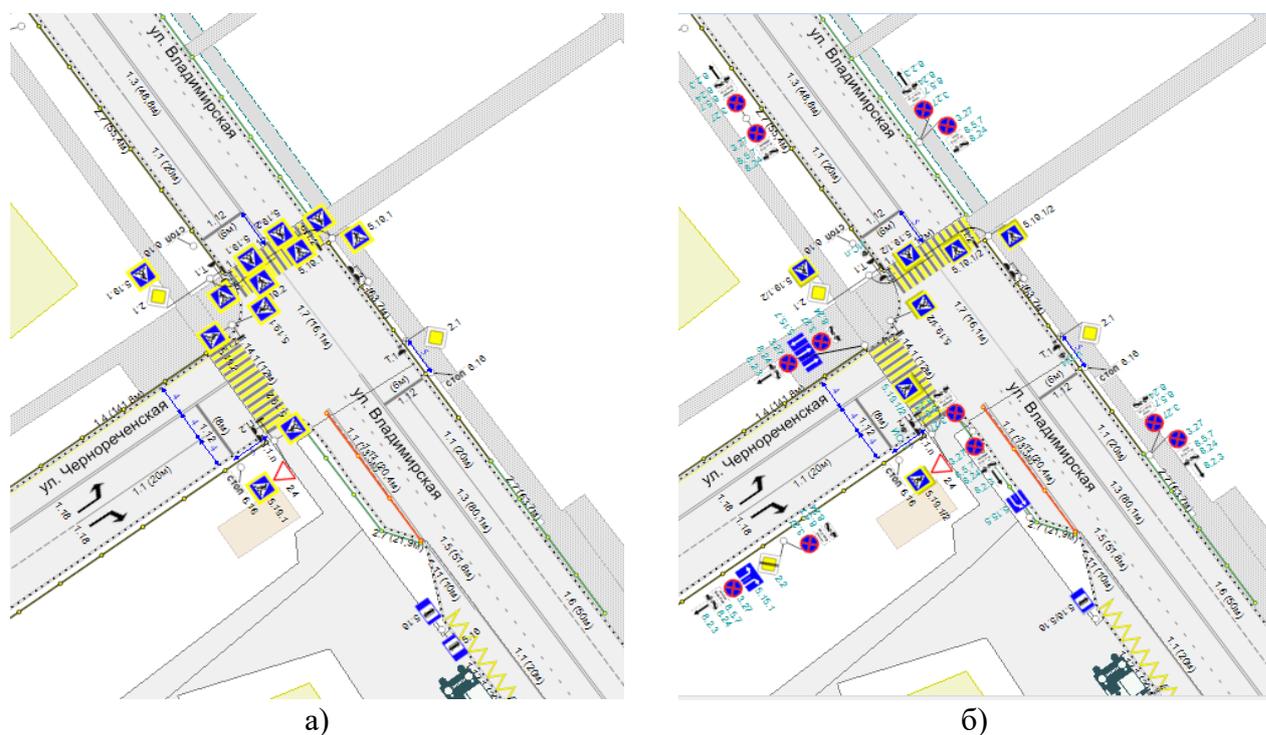


Рисунок 4.15 – Пример ПОДД на перекрестке

а) до проектирования      б) после проектирования

При моделировании оценивалось среднее время движения транспортных средств по участку дороги  $\bar{T}$  на поездку (таблица 4.1) с использованием программы микромоделирования транспорта SUMO (*Average Travel Time*).

Таблица 4.1 – Средние временные затраты на поездку

Метод проектирования	Исходная ситуация (0)				Запрет остановки транспортных средств вдоль проезжей части (1)				Строительство остановок общественного транспорта вне проезжей части (2)				Корректировка светофорных циклов (3)			
	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4
Среднее время проезда, с	1271	1651	1117	1370	1213	1543	1109	1270	1150	1513	1080	1250	1150	1430	1070	1260

Таким образом, внедрение проектных решений эффективно снижает среднее время проезда в пиковые часы. Это прямо указывает на повышение пропускной способности дорог в наиболее критичное время. В стабильных условиях, выходные дни и дни мероприятий значимого улучшения от проектных решений не наблюдается.

Другие показатели для участков УДС г. Самары, на которых проводилось обследование, приведены в таблице 4.2.

Таблица 4.2 – Показатели оценки УДС для г. Самара

№	Показатель	Расчетная формула	Ед. изм.	«До»	«После»	Изменение
1.	Относительная аварийность	(1.3)	ДТП на 1 млн. авт.-км	0,57	0,53	-7,0%
2.	Средняя задержка транспортных средств в движении на километр УДС	(1.5)	ч/км	9,3	7,6	-18,3%
3.	Временной индекс на УДС	(1.6)	Относительная оценка	1,6	1,47	-8,1%
4.	Уровень обслуживания дорожного движения	(1.12)	Относительная оценка	D	C	-
5.	Показатель перегруженности дорог	(1.14)	Относительная оценка	0,19	0,12	-36,8%
6.	Буферный индекс	(1.16)	Относительная оценка	0,42	0,32	-23,8%

Таким образом, разработанные ПОДД обеспечивают повышение безопасности и эффективности дорожного движения.

В ходе выполнения работ отмечено, что использование проектировщиками предложенных в диссертации решений обеспечивает снижение времени, затрачиваемого на проектирование, в среднем в 2 раза. Кроме того, наблюдается снижение количества технических ошибок за счет автоматизации рутинных операций, а также обеспечивается соблюдение требований нормативно-правовой и нормативно-технической документации.

Также с использованием предложенной СППР на основе данных для управления дорожным движением в 2024 г. разработаны цифровые ПОДД для автомобильных дорог общего пользования местного значения на улично-дорожной сети города Киров суммарной протяженностью 147,14 км, в том числе, для магистральных дорог районного значения и дорог, находящихся в историческом центре со сложной транспортной планировкой. Схема улично-дорожной сети города Киров, для которой разработан проект, представлена на рисунке 4.16.

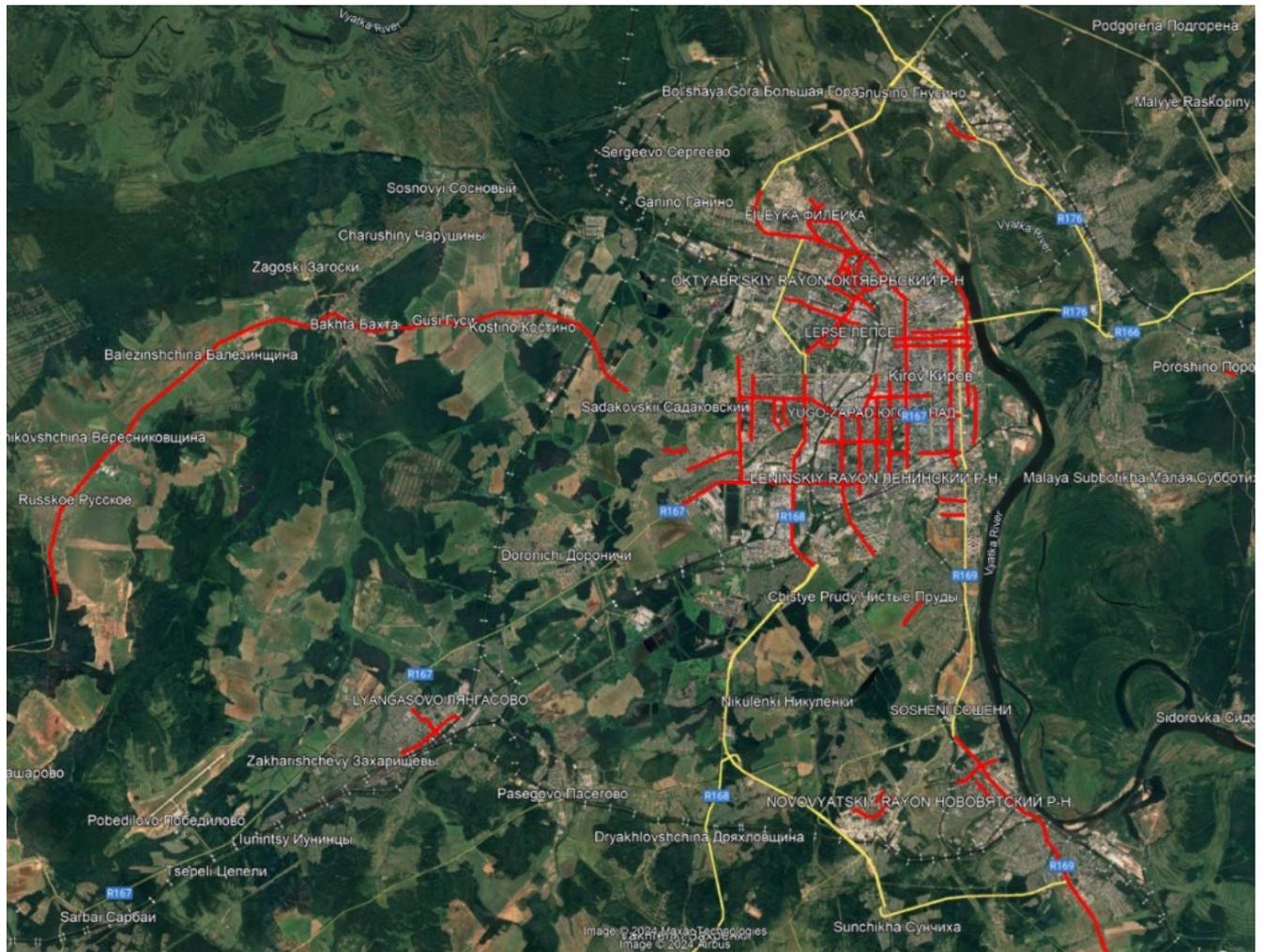


Рисунок 4.16 – Схема участков УДС г. Киров для разработки ПОДД

В ходе исследования выявлено, что трудозатраты на разработку, согласование и утверждение цифрового ПОДД составили 26 человеко-недель. Фрагмент разработанного цифрового ПОДД приведен на рисунке 4.17. В цифровом проекте представлена схема УДС с различными элементами, такими как дороги, перекрестки, дорожные знаки и разметка. На схеме обозначены направления движения,

пешеходные переходы, а также различные дорожные знаки, указывающие на ограничения скорости, направления движения и другие. У всех ТСОДД выполняется пометка о статусе: ТСОДД может уже стоять на дороге (статус: существует), техническое средство может требовать установки (статус: требуется установить) или требовать демонтажа (статус: требуется демонтировать).

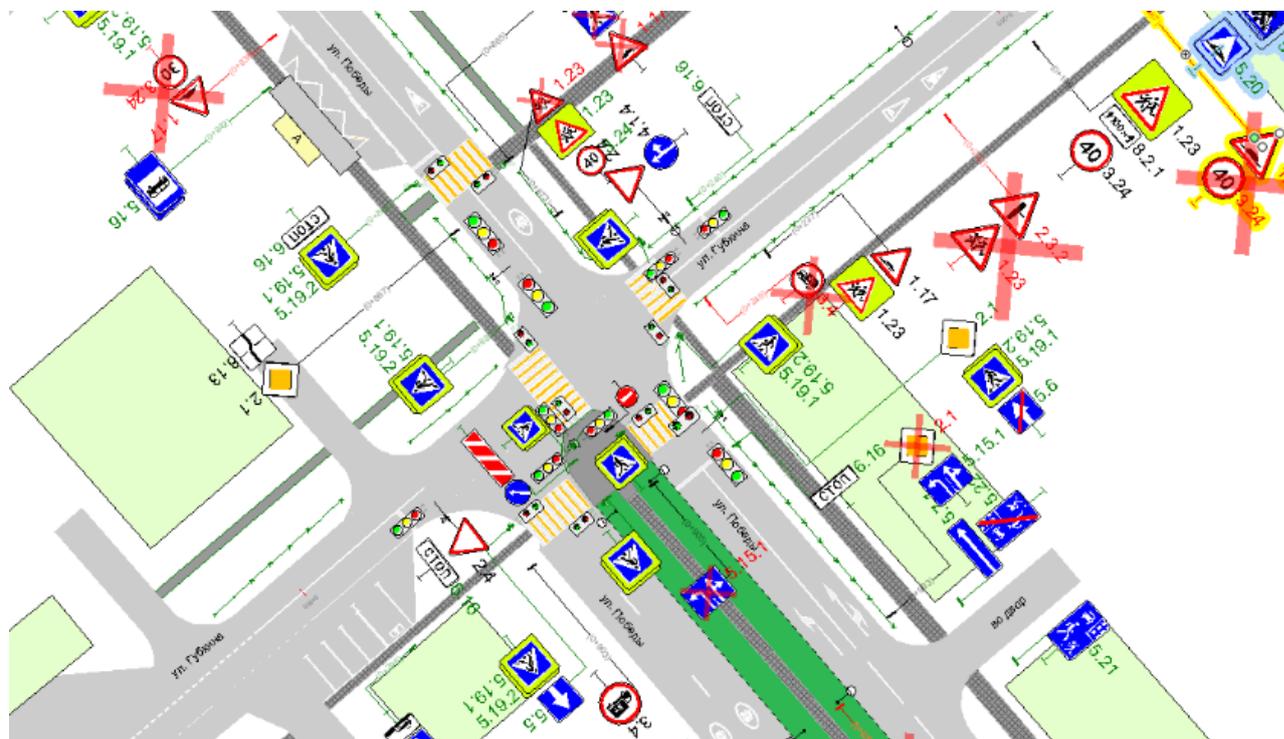


Рисунок 4.17 – Фрагмент разработанного цифрового ПОДД

Количество ТСОДД в цифровом ПОДД приведено в таблице 4.3.

Таблица 4.3 – ТСОДД в цифровом ПОДД г. Киров

Вид ТСОДД	Статус		
	Существует	Требуется установить	Требуется демонтировать
Знаки дорожные, шт.	11218	14689	1663
Светофоры, шт.	1490	706	247
Ограждения дорожные, п.м.	5131	7193	116
Ограждения пешеходные, п.м.	23232	14009	436
Пешеходные переходы, п.м.	5347,2	3102,8	137,5
Остановочные пункты маршрутных транспортных средств, шт.	235	35	8
Дорожная разметка, п.м.:			
- горизонтальная	-	397807,09	-
- вертикальная	-	42174,99	-

Таким образом, по сравнению с проектом, реализованным для этих же участков УДС в 2023 г., когда не использовался предложенный формат взаимодействия, применение результатов диссертации обеспечивает уменьшение времени разработки в два раза – с 52 недель до 26 недель.

Такое повышение оперативности обеспечивается за счет организации единого информационного пространства, в котором действуют участники процесса разработки проекта. При этом, поступление доступных данных, например, существующих схем ОДД, осуществляется в режиме онлайн. Тогда, при выработке совместных решений по размещению того или иного ТСОДД для управления движением, участники процесса находятся в одной информационной обстановке, но рассматривают обстановку каждый со своей точки зрения.

Проведены эксперименты, показывающие преимущества от реализации предлагаемой стратегии, на небольших проектах управления транспортом, например, в случае организации перекрытия улицы или создания въездов и выездов с магистрали. С использованием полученных в диссертации результатов было разработано 137 проектов в течение 2024–2025 гг. в ООО «ИнфраТрансПроект». Аprobация показала, что применение результатов, полученных в диссертации, обеспечивает снижение временных затрат в среднем в 2 раза.

Акты о реализации и внедрении результатов работы на практике приведены в приложении В.

### **Выводы и результаты по главе**

1. Реализована система поддержки принятия проектных решений по управлению дорожным движением на основе комплекса программно-технических решений. Применение системы обеспечивает автоматизацию на всех этапах разработки ПОДД.

2. Выполнена апробация разработанных методов, алгоритмов и программного обеспечения при разработке проектов и схем ОДД для участков УДС в г. Самара (суммарной протяженностью 156,3 км) и г. Киров (суммарной протяженностью 147,14 км).

3. По данным, полученным в ходе симуляционного моделирования, разработанные схемы и проекты ОДД обеспечивают повышение безопасности и эффективности дорожного движения. Использование предложенных в диссертации решений позволяет сократить время, затрачиваемое на проектирование, в среднем в 2 раза.

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В диссертации на основании выполненных исследований разработана СППР по управлению дорожным движением, обеспечивающая подготовку и верификацию схем организации дорожного движения в условиях сложной дорожно-транспортной обстановки.

Таким образом, цель работы достигнута, при этом получены следующие результаты и сделаны выводы:

1. Проведен анализ актуальных задач и современных научно-технических решений в области информационной поддержки при разработке проектов организации дорожного движения. Сегодня информационные технологии оказывают значительное влияние на развитие транспортной инфраструктуры России, повышая эффективность дорожного движения и снижая аварийность, что способствует устойчивому экономическому развитию. Однако увеличение сложности транспортной системы создает новые проблемы, требующие учета множества факторов, включая характеристики УДС, применяемые средства ОДД и нормы законодательства. Для решения этих вопросов необходима интеграция и обработка разнородной информации из различных источников, таких как ПДЛ, картографические сервисы, мониторинговые системы транспорта, ИТС и АСУДД;

2. Предложена модель цифровых структурных схем для системного анализа организации дорожного движения в условиях сложной дорожно-транспортной обстановки. Модель обеспечивает инфраструктурное упорядочивание элементов улично-дорожной сети и технических средств организации дорожного движения. Модель служит концептуальной основой для всего последующего процесса: от описания характеристик участков УДС и конфигурации схем ОДД до формализации целевой функции и наложения ограничений в процессе разработки схем ОДД. Модель учитывает необходимую пространственную привязку всех элементов си-

системы управления дорожным движением и позволяет СППР оперировать реальными объектами в их географическом контексте, при этом для визуализации могут быть использованы различные условные обозначения;

3. Разработан метод поддержки принятия проектных решений по управлению дорожным движением, отличающийся применением пространственно-функциональной декомпозиции к дорожно-транспортной обстановке и позволяющий интегрировать доступную информацию и поддерживать множественные представления и требования различных заинтересованных сторон к схемам организации дорожного движения. Реализация метода обеспечивает возможность формировать схемы ОДД для УДС протяженностью до 50 км;

4. Разработаны алгоритмы обработки и трансформации разнородной информации в процессе информационной поддержки принятия проектных решений по управлению дорожным движением. Проведенные вычислительные эксперименты показывают, что с помощью предложенного алгоритма обработки текстовой информации в процессе информационной поддержки принятия решений могут быть обработаны документы, содержащие до 300 000 символов. Применение предложенного алгоритма трансформации дорожной информации для оценки эффективности проектных решений снижает трудозатраты, связанные с оценкой эффективности плановых мероприятий по управлению дорожным движением, в среднем на 87% по сравнению с проектированием без использования средств автоматизации;

5. Разработана система поддержки принятия решений по управлению дорожным движением, реализующая предложенные методы и алгоритмы. Выполнена апробация разработанных методов, алгоритмов и программного обеспечения при разработке проектов и схем ОДД для участков УДС в г. Самара (суммарной протяженностью 156,3 км) и г. Киров (суммарной протяженностью 147,14 км). По данным, полученным в ходе симуляционного моделирования, разработанные схемы и проекты ОДД обеспечивают повышение безопасности и эффективности дорожного движения. Использование предложенных в диссертации решений позволяет сократить время, затрачиваемое на проектирование, в среднем в 2 раза.

**СПИСОК СОКРАЩЕНИЙ И УСЛОВНЫХ ОБОЗНАЧЕНИЙ**

АСУДД	–	Автоматизированная система управления дорожным движением
ГИБДД	–	Государственная инспекция безопасности дорожного движения
ГИС	–	Геоинформационная система
ГЛОНАСС	–	Глобальная навигационная спутниковая система (название)
ГНСС	–	Глобальная навигационная спутниковая система
ДТП	–	Дорожно-транспортное происшествие
ИТС	–	Интеллектуальная транспортная система
ЛПР	–	Лицо, принимающее решения
МИНС	–	Мобильная инерциальная навигационная система
ОДД	–	Организация дорожного движения
ООО	–	Общество с ограниченной ответственностью
ПДЛ	–	Передвижная дорожная лаборатория
ПОДД	–	Проект организации дорожного движения
СППР	–	Система поддержки принятия решений
СУБД	–	Система управления базами данных
ТСОДД	–	Техническое средство организации дорожного движения
УДС	–	Улично-дорожная сеть
ЭВМ	–	Электронная вычислительная машина
FWD	–	Falling Weight Deflectometer (динамический прогибомер)
GPS	–	Global Positioning System (глобальная система позиционирования)
IRI	–	International Roughness Index (индекс продольной ровности)
LLM	–	Large Language Model (большая языковая модель)
OSM	–	Open Street Map (открытая карта улиц)
RPA	–	Robotic Process Automation (роботизированная автоматизация процессов)
SSAM	–	Safety System Assessment Methodology (методология оценки системы безопасности)

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Акимов, А.Е. К вопросу о создании цифрового двойника для строительства автомобильной дороги / А.Е. Акимов, С.Н. Бондаренко, А.Н. Бодяков, А.В. Курлыкина // Системные технологии. – 2023. – № 4 (49). – С. 25-34.
2. Аламир, Х.С. Интеллектуальная система контроля заторов на дорогах с использованием контролируемого алгоритма машинного обучения на базе адаптивного IoT / Х.С. Аламир, Е.В. Заргарян, Ю.А. Заргарян // Известия ЮФУ. – Сер. Технические науки. – 2023. – № 2(232). – С. 175-186.
3. Андреев, Е.О. Развитие архитектуры интеллектуальных транспортных систем / Е.О. Андреев, С.В. Жанказиев, В.В. Зырянов, А.С. Павлов // Т-Comm: Телекоммуникации и транспорт. – 2024. – Т. 18; № 1. – С. 38-43.
4. Андреева, О.А. Пространственное проектирование с позиций системного анализа / О.А. Андреева // Конструкторское бюро. – 2019. – № 3. – С. 70–77.
5. Андриенко, В.А. Умные дороги: использование интеллектуальных систем и мультиагентных технологий / В.А. Андриенко, В.И. Кияев, С.А. Котова // Интеллектуальные технологии на транспорте. – 2025. – Т. 2(42). – С. 5-19.
6. Астахова, Т.Н. Анализ моделей и принципов системного моделирования для решения многокритериальной задачи принятия решений / Т.Н. Астахова, А.В. Романов, С.В. Кривоногов // International Journal of Open Information Technologies. – 2020. – Т. 8; № 8. – С. 17-25.
7. Басаргин, А.А. Разработка концепции моделирования и симуляции цифровых двойников городской территории для решения практических задач / А.А. Басаргин // Вестник СГУГиТ. – 2024. – Т. 29; № 4. – С. 83-90.
8. Брынь, М.Я. Сравнительная оценка мобильного лазерного сканирования, аэрофотосъемки с беспилотной авиационной системы и съемки с комплексной дорожной лаборатории при выполнении диагностики автомобильных дорог / М.Я. Брынь, Д.Р. Баширова, А.Г. Багишян // Известия Петербургского университета путей сообщения. – 2021. – Т. 18; № 2. – С. 211-221.

9. Габдурахманов, Л.Р. Интеллектуальные транспортные системы – современная концепция обеспечения безопасности дорожного движения / Л.Р. Габдурахманов, Р.Н. Минниханов, Р.Ф. Тинчурин // Научный портал МВД России. – 2022. – № 1(57). – С. 41-50.
10. Геоинформационная система интеграции и анализа неструктурированных данных на основе искусственного интеллекта / О.К. Головнин, Е.В. Чекина // Свид-во о гос. регистр. пр. для ЭВМ № 2024688855 от 02.12.2024. – М. : ФИПС, 2024.
11. Головнин, О.К. Алгоритм извлечения правил применения технических средств организации дорожного движения из текстов технических стандартов / О.К. Головнин, Е.В. Чекина, М.В. Шестакова // XXI век: итоги прошлого и проблемы настоящего плюс. – 2025. – Т. 14; №4(72). – С. 107-113.
12. Головнин, О.К. Интегральный мониторинг показателей функционирования транспортных систем / О.К. Головнин, Е.В. Чекина, Д.М. Иванова // Моделирование, оптимизация и информационные технологии. – 2026. – Т. 14; № 1. – С. 1-11.
13. Головнин, О.К. Системный анализ и геоинформационное моделирование объектов и процессов в распределенных системах управления транспортом / О.К. Головнин. – Самара : Инсома-Пресс, 2022. – 176 с.
14. Головнин, О.К. Технологии адаптивного планирования в системах поддержки принятия решений / О.К. Головнин, А.С. Супрун. – СПб. : Университет ИТМО, 2020. – 88 с.
15. ГОСТ 32963-2014. Дороги автомобильные общего пользования. Расстояние видимости. Методы измерений (переиздание). – М. : Стандартинформ, 2019. – 18 с.
16. ГОСТ 33128-2014. Дороги автомобильные общего пользования. Термины и определения. – М. : Стандартинформ, 2015. – 42 с.
17. ГОСТ 33383-2015. Дороги автомобильные общего пользования. Геометрические элементы. Методы определения параметров. – М. : Стандартинформ, 2016. – 11 с.

18. ГОСТ Р 52289-2019. Технические средства организации дорожного движения. Правила применения дорожных знаков, разметки, светофоров, дорожных ограждений и направляющих устройств. – М. : Стандартинформ, 2020. – 134 с.
19. ГОСТ Р 52290-2024. Технические средства организации дорожного движения. Знаки дорожные. Общие технические требования». – М. : Стандартинформ, 2005. – 129 с.
20. Дэй, Х. Оценка условий движения с целью обеспечения безопасности дорожного движения / Х. Дэй, В.В. Зырянов, О.Ю. Булатова, А.В. Кулев // Мир транспорта и технологических машин. – 2024. – № 4-2(87). – С. 62-73.
21. Елизаров, В.В. Математическая модель стандарта ITSGIS по качеству функционала, комплексной дислокации и визуализации геообъектов / В.В. Елизаров, Н.А. Остроглазов, Е.В. Чекина, А.И. Чугунов // Известия Самарского научного центра Российской академии наук. – 2018. – Т. 20; № 6-2(86). – С. 352-357.
22. Жанказиев, С.В. Концепция разработки ПОДД для возможности допуска высокоавтоматизированных транспортных средств на дороги общего пользования / С.В. Жанказиев, А.А. Пашкова // Наука и техника в дорожной отрасли. – 2021. – Ч. 3. – С. 107-109.
23. Капитанов, В.Т. Математические методы и модели в сфере обеспечения безопасности дорожного движения / В.Т. Капитанов, О.Ю. Моница, В.В. Сильянов, А.Б. Чубуков. – М. : Техполиграфцентр, 2020. – 102 с.
24. Карлов, А.В. Методы принятия решений в транспортной политике: многокритериальный подход / А. В. Карлов // Мир транспорта. – 2023. – Т. 21; № 1(104). – С. 32-39.
25. Комплексы измерительные. Описание типа средства измерений. – URL : <https://rosdorteh.nt-rt.ru/images/manuals/rdt-line-si.pdf>.
26. Мелин, М.А. Преимущества цифрового документооборота при подготовке и ведении исполнительной документации / М.А. Мелин, Н.Л. Бреус // Вестник Евразийской науки. – 2022. – Т. 14; № 3. – С. 1-11.

27. Мельничук, В.К. Обследование состояния дорог с помощью передвижных дорожных лабораторий / В.К. Мельничук, Т.В. Дубина, А.Д. Ширококов // Международная научно-техническая конференция молодых ученых БГТУ им. В.Г. Шухова : сб. докладов. – 2022. – Т. 12. – С. 120-125.
28. Минниханов, Р.Н. Развитие ИТС: единые цифровые платформы для безопасного управления транспортной системой / Р.Н. Минниханов, М.В. Дагаева, А.З. Махмутова // Безопасность дорожного движения. – 2022. – № 3. – С. 19-22.
29. Миронюк, В.П. Сопоставительные испытания систем мобильного лазерного сканирования и передвижных дорожных лабораторий / В.П. Миронюк, Р.А. Еремин, А.О. Кузнецов // Дороги и мосты. – 2020. – № 1(43). – С. 25–48.
30. Михеева, Т.И. Системный анализ объектов транспортной инфраструктуры в геоинформационной среде / Т.И. Михеева // Программные продукты и системы. – 2018. – Т. 31. – № 1. – С. 12-18.
31. Мишланова, М.Ю. Современное состояние и направления развития проектного управления в дорожном строительстве / М.Ю. Мишланова, А.Г. Баранова // Вестник МГСУ. – 2023. – Т. 18; № 9. – С. 1466-1476.
32. Мони́на, О.Ю. Оценка результативности мероприятий по повышению безопасности дорожного движения / О.Ю. Мони́на, В.Т. Капитанов, М.Ю. Мони́на // Наука и техника в дорожной отрасли. – 2023. – № 2. – С. 2-5.
33. Отраслевой дорожный методический документ ОДМ 218.4.039–2018. Рекомендации по диагностике и оценке технического состояния автомобильных дорог. – М. : Росавтодор, 2018. – 55 с.
34. Официальный сайт «ИндорСофт». – URL : <https://indorsoft.ru/>.
35. Официальный сайт «SUMO». – URL : <https://sumo.dlr.de/>.
36. Официальный сайт агентства «Автостат». – URL : <https://www.autostat.ru/>.
37. Официальный сайт дорожной лаборатории «Трасса». – URL : <http://sdtech.ru>.
38. Охтилев, М.Ю. Концепция инженерии знаний в задачах обеспечения интероперабельности АСУ и информационных систем на основе интеллектуальных технологий / М.Ю. Охтилев [и др.] // Интеллектуальные технологии на транспорте. – 2023. – № 3(35). – С. 5-13.

39. Приказ Министерства транспорта Российской Федерации от 18.02.2025 № 49 «Об установлении требований к составу и содержанию документации по организации дорожного движения».
40. Приказ Министерства транспорта Российской Федерации от 30.07.2020 № 274 «Об утверждении Правил подготовки документации по организации дорожного движения».
41. Приказ Минтранса Российской Федерации от 03.02.2025 № 31 «Об установлении порядка разработки и утверждения проектов организации дорожного движения для автомобильных дорог федерального значения либо их участков, изменений в указанные проекты организации дорожного движения».
42. Программное обеспечение передвижной дорожной лаборатории для обследования транспортной инфраструктуры «AnchorLab» / Е.В. Чекина, О.К. Головин // Свид-во о гос. регистр. пр. для ЭВМ № 2025610964 от 16.01.2025. – М. : ФИПС, 2025.
43. Родионов, Н.В. Разработка модели повышения качества управления инновациями на промышленном предприятии / Н.В. Родионов, Р.С. Загидуллин, Т.С. Филиппова, Е.В. Чекина // Известия Тульского государственного университета. Технические науки. – 2021. – № 6. – С. 266–273.
44. Свод правил СП 396.1325800.2018 Улицы и дороги населенных пунктов. Правила градостроительного проектирования. – М. : Стандартинформ, 2019. – 57 с.
45. Сидорова, Е.А. Извлечение информации из текстов на основе онтологии и больших языковых моделей / Е.А. Сидорова, А.И. Иванов, К.А. Овчинникова // Онтология проектирования. – 2025. – Т. 15; № 1(55). – С. 114-129.
46. Сильянов, В.В. Теория транспортных потоков в проектировании дорог и организации движения / В.В. Сильянов, А.Н. Новиков, С.В. Еремин, А.Г. Шевцова. – М. : БГТУ им. В.Г. Шухова, 2024. – 331 с.

47. Система поддержки принятия проектных решений в процессе разработки цифровых проектов организации дорожного движения / О.К. Головнин, Е.В. Чекина // Свид-во о гос. регистр. пр. для ЭВМ № 2024690758 от 17.12.2024. – М. : ФИПС, 2024.
48. Сметанина, О.Н. Информационная система для анализа транспортной задержки на перекрестках / А.В. Корнилов, Е.Ю. Сазонова, О.Н. Сметанина // Вестник Уфимского государственного авиационного технического университета. – 2024. – Т. 28, № 4(106). – С. 34-43.
49. Соколов, Б.В. Метод оптимизации маршрутов движения наземных подвижных объектов / Б.В. Соколов, Е.П. Минаков, А.В. Мищеряков // Информатизация и связь. – 2024. – № 5. – С. 79-83.
50. Соколов, Б.В. Разработка и реализация методологии и методик совместного многокритериального синтеза и адаптивного управления созданием, применением и развитием функционально-устойчивых интегрированных транспортно-логистических и информационных систем нового поколения / Б.В. Соколов, Л.Б. Миротин, А.Г. Некрасов // Вестник транспорта. – 2011. – № 7. – С. 24-32.
51. Сырцова, Е.А. Эффекты внедрения интеллектуальных транспортных систем в регионах России / Е.А. Сырцова // Государственное управление. Электронный вестник. – 2025. – Т. 101. – С. 159-169.
52. Фаулер, М. Архитектура корпоративных программных приложений / М. Фаулер [и др.]. – М. : Диалектика-Вильямс, 2020. – 544 с.
53. Федеральный закон от 29.12.2017 № 443-ФЗ «Об организации дорожного движения в Российской Федерации и о внесении изменений в отдельные законодательные акты Российской Федерации».
54. Христодуло, О.И. Обеспечение полноты и актуальности пространственной информации в распределенных вычислительных системах больших организаций / О.И. Христодуло, С.В. Павлов, В.Д. Трубин // Программные продукты и системы. – 2024. – № 2. – С. 221-229.

55. Хусаинов, Р.М. Интеллектуальная система анализа транспортных потоков в автоматизированных системах управления дорожным движением / Р.М. Хусаинов, Н.Г. Талипов, А.С. Катасёв, Д.В. Шалаева // Программные продукты и системы. – 2024. – № 37(1). – С. 69-76.
56. Цветков, В.Я. Цифровое управление на транспорте / Е.Н. Розенберг, В.Я. Цветков // Наука и технологии железных дорог. – 2024. – Т. 8; № 3(31). – С. 2-6.
57. Чекина, Е.В. Обработка информации систем мониторинга транспортной инфраструктуры при разработке цифровых проектов организации дорожного движения / Е.В. Чекина, О.К. Головнин // Модели, системы, сети в экономике, технике, природе и обществе. – 2025. – № 4. – С. 125–138.
58. Чекина, Е.В. Системный анализ и информационное моделирование транспортно-логистической системы с автономными агентами / Е.В. Чекина // Научно-технический вестник Поволжья. – 2025. – № 10. – С. 116-119.
59. Чекина, Е.В. Цифровая трансформация процесса разработки проектов организации дорожного движения / Е.В. Чекина, О.К. Головнин // Научно-технический вестник Поволжья. – 2024. – № 12. – С. 206-209.
60. Чечнев, В.Б. Анализ и классификация многокритериальных методов принятия решений / В.Б. Чечнев // Онтология проектирования. – 2024. – Т. 14, № 4(54). – С. 607-624.
61. Шарков, Ф.И. Трансформация цифровых технологий в местном самоуправлении / Ф.И. Шарков, Д.Г. Миллер // Коммуникология. – 2024. – Т. 12. – С. 108-121.
62. Шугаев, К.Е. Мониторинг объектов дорожно-транспортной инфраструктуры передвижными комплексами «АДС-МАДИ» / К.Е. Шугаев, А.А. Цесарь, М.А. Брежнева, Ю.Э. Васильев // XVI Всероссийская мультиконф. по проблемам управления : сб. трудов. – М.: МАДИ, 2023. – С. 305-307.
63. Almujaally N.A. Multi-modal remote perception learning for object sensory data / N.A. Almujaally [et al.] // Frontiers in Neurorobotics. – 2024. – Vol. 18. – P. 1427786.

64. Baqal, H.M.A. Graph databases: Revolutionizing database design and data analysis / H.M.A. Baqal, M.A. Sidiq // *Current Journal of Applied Science and Technology*. – 2024. – Vol. 43. – P. 45-56.
65. Berhanu, Y. Examining car accident prediction techniques and road traffic congestion: A comparative analysis of road safety and prevention of world challenges in low-income and high-income countries / Y. Berhanu, E. Alemayeh, D. Schröder // *Journal of Advanced Transportation*. – 2023. – Vol. 2023. – P. 6643412.
66. Blečić, I. Planning and design support tools for walkability: A guide for urban analysts / I. Blečić, T. Congiu, G. Fancello, G.A. Trunfio // *Sustainability*. – 2020. – Vol. 12; No. 11. – P. 4405.
67. Bosurgi, G. A web platform for the management of road survey and maintenance information: A preliminary step towards smart road management systems / G. Bosurgi, D. Bruneo, F. De Vita, O. Pellegrino, G. Sollazzo // *Structural control and health monitoring*. – 2022. – Vol. 29, No. 3. – P. e2905.
68. Cafiso, S. Investigating the influence of segmentation in estimating safety performance functions for roadway sections / S. Cafiso, C. D'Agostino, B. Persaud // *Journal of Traffic and Transportation Engineering*. – 2018. – Vol. 5. – P. 129-136.
69. Chekina, E. A data-driven approach to decision-support system development for road traffic management / E.V. Chekina, O.K. Golovnin // *Fourth International Conference on Digital Technologies, Optics, and Materials Science / Proceedings of SPIE*. – 2025. – Vol. 13662. – P. 136620M.
70. Chekina, E. Sharing Transport Planning Information in Traffic Simulation Software / E. Chekina, O. Golovnin // *7th International Conference on Control Systems, Mathematical Modeling, Automation and Energy Efficiency / IEEE Xplore*. – 2025. – P. 353-358.
71. Consilvio, A. Towards a digital twin-based intelligent decision support for road maintenance / A. Consilvio, J.S. Hernández, W. Chen, I. Brilakis, L. Bartoccini, F. Di Gennaro, M. van Welie // *Transportation Research Procedia*. – 2023. – Vol. 69. – P. 791-798.

72. Currie, G. A new approach to evaluating on-road public transport priority projects: balancing the demand for limited road-space / G. Currie, M. Sarvi, B. Young // *Transportation*. – 2007. – Vol. 34. – P. 413-428.
73. Dios Ortúzar, J. Modelling transport / J. de Dios Ortúzar, L.G. Willumsen. – John Wiley & Sons, 2024.
74. Ederer, D.J. The safe systems pyramid: A new framework for traffic safety / D.J. Ederer, R.T. Panik, N. Botchwey, K. Watkins // *Transportation Research Interdisciplinary Perspectives*. – 2023. – Vol. 21. – P. 100905.
75. Elagamy, S.R. Segmentation effect on the transferability of international safety performance functions for rural roads in Egypt / S.R. Elagamy, S.M. El-Badawy, S.A. Shwaly, Z.M. Zidan, U.E. Shahdah // *Safety*. – 2020. – Vol. 6; № 3. – P. 43.
76. Elassy, M. Intelligent transportation systems for sustainable smart cities / M. Elassy, M. Al-Hattab, M. Takruri, S. Badawi // *Transportation Engineering*. – 2024. – Vol. 16. – P. 100252.
77. Farooq, M. An adaptive system architecture for multimodal intelligent transportation systems / M. Farooq [et al.] // *arXiv preprint arXiv:2402.08817*. – 2024. – P. 14-27.
78. Finogeev, A. Intelligent monitoring system for smart road environment / A. Finogeev [et al.] // *Journal of Industrial Information Integration*. – 2019. – Vol. 15. – P. 15-20.
79. Gao, J. A survey on deep learning for multimodal data fusion / J. Gao [et al.] // *Neural Computation*. – 2020. – Vol. 32; No. 5. – P. 829-864.
80. Ghouschi, S.J. Road safety assessment and risks prioritization using an integrated SWARA and MARCOS approach under spherical fuzzy environment / S.J. Ghouschi, S.S. Haghshenas, A.G. Memarpour, G. Guido, A. Vitale // *Neural Computing & Applications*. – 2023. – Vol. 35. – P. 4549-4567.
81. Gkyrtis, K. Use of historical road incident data for the assessment of road redesign potential / K. Gkyrtis, M. Pomoni // *Designs*. – 2024. – Vol. 8; № 5. – P. 88.
82. Heris, M.P. Impacts of form and design policies on urban microclimate: Assessment of zoning and design guideline choices in urban redevelopment projects / M.P. Heris,

- A. Middel, B. Muller // *Landscape and Urban Planning*. – 2020. – Vol. 202. – P. 103870.
83. Jabeur, N. Cyber-physical spatial decision support system for road traffic management / N. Jabeur, H. Haddad, B. Boulkrouche // *J. Ubiquitous Syst. Pervasive Networks*. – 2016. – Vol. 7, No. 2. – P. 1-7.
84. Jiang, F. Building digital twins of existing highways using map data based on engineering expertise / F. Jiang, L. Ma, T. Broyd, W. Chen, H. Luo // *Automation in Construction*. – 2022. – Vol. 134. – P. 104081.
85. Jiao, B. Advancing road safety strategy development: A data-driven multi-objective optimisation integrated approach / B. Jiao, H. Evdorides // *Heliyon*. – 2024. – Vol. 10. – P. e34293.
86. Katanalp, B.Y. An integrated solution to identify pedestrian-vehicle accident prone locations: GIS-based multicriteria decision approach / B.Y. Katanalp, E. Eren, Y. Alver // *Journal of Transportation Safety & Security*. – 2023. – Vol. 15. – P. 137-176.
87. Khan, M.N. Advancing traffic safety through the safe system approach: A systematic review / M.N. Khan, S. Das // *Accident Analysis & Prevention*. – 2024. – Vol. 199. – P. 107518.
88. Kurek, A. Impact of parking maneuvers on the capacity of the inlets of intersections with traffic lights for road traffic conditions in Poland / A. Kurek, E. Macioszek // *Sustainability*. – 2021. – Vol. 14; № 1. – P. 432.
89. Łach, Ł. Comprehensive review of traffic modeling: towards autonomous vehicles / Ł. Łach, D. Svyetlichnyy // *Applied Sciences*. – 2024. – Vol. 14; № 18. – P. 8456.
90. Lai, J. Knowledge-driven semantic converting method of multimodal models toward a geospatial perspective / J. Lai [et al.] // *Geo-spatial Information Science*. – 2025. – Vol. 1. – P. 1-18.
91. Lak, A. Principles in practice: Toward a conceptual framework for resilient urban design / A. Lak, F. Hasankhan, S.A. Garakani // *Journal of Environmental Planning and Management*. – 2020. – Vol. 63; № 12. – P. 2194-2226.

92. Liu, C. Cloud assisted Internet of things intelligent transportation system and the traffic control system in the smart city/ C. Liu, L. Ke // *Journal of Control and Decision*. – 2023. – Vol. 10, No 2. – P. 174-187.
93. Lomazov, V. Intelligent evaluation of implementation road infrastructure development program / V. Lomazov [et al.] // *Transportation Research Procedia*. – 2022. – Vol. 63. – P. 1089-1094.
94. Malihi, S. Review of multimodal data and their applications for road maintenance / S. Malihi [et al.] // *Smart Construction*. – 2024. – Vol. 1; № 2. – P. 113–137.
95. Masri, S. Large language models (LLMs) as traffic control systems at urban intersections: A new paradigm / S. Masri, H.I. Ashqar, M. Elhenawy // *Vehicles*. – 2025. – Vol. 7, No. 1. – P. 11.
96. Megnidio-Tchoukouegno, M. Machine learning for road traffic accident improvement and environmental resource management in the transportation sector / M. Megnidio-Tchoukouegno, J.A. Adedeji // *Sustainability*. – 2023. – Vol. 15. – P. 2014.
97. Montella, A. Sustainable complete streets design criteria and case study in Naples, Italy / A. Montella, S. Chiaradonna, A.C.D.S. Mihiel, G. Lovegrove, P. Nunziante, M.R. Riccardi // *Sustainability*. – 2022. – Vol. 14. – P. 13142.
98. Morimoto, A. A conceptual framework for road traffic safety considering differences in traffic culture through international comparison / A. Morimoto, A. Wang, N. Kitano // *IATSS Research*. – 2022. – Vol. 46; No. 1. – P. 3-13.
99. Nasimdjanovich, M.G. Ensuring safety through the management of speed limits in pedestrian crossing zones / M.G. Nasimdjanovich, S. Khumoyun, I.A. Gofurjonovich // *British Journal of Global Ecology and Sustainable Development*. – 2023. – Vol. 12. – P. 116-125.
100. Paliotto, A. Systematic review, evaluation and comparison of different approaches for the implementation of road network safety analysis / A. Paliotto, M. Meocci, A. Terrosi, F. La Torre // *Heliyon*. – 2024. – Vol. 10. – P. e28391.
101. Rasol, M. GPR monitoring for road transport infrastructure: A systematic review and machine learning insights / M. Rasol, J.C. Pais, V. Pérez-Gracia, M. Solla,

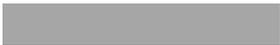
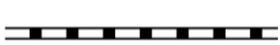
- F.M. Fernandes, S. Fontul, D. Ayala-Cabrera, F. Schmidt, H. Assadollahi // *Construction and Building Materials*. – 2022. – Vol. 324. – P. 126686.
102. Richter, T. *Road Planning-Freeways and Country Roads* / T. Richter. – Wiesbaden : Springer, 2023. – 290 p.
103. Sasidharan, M. *Designing user-centric transport strategies for urban road space redistribution* / M. Sasidharan, M.E. Torbaghan, Y. Fathy, C.D.F. Rogers, N. Metje, J. Schooling // *Communications in Transportation Research*. – 2023. – Vol. 3. – P. 100109.
104. Sharma, S. *A comprehensive report on machine learning-based early detection of alzheimer's disease using multi-modal neuroimaging data* / S. Sharma, P.K. Mandal // *ACM Computing Surveys*. – 2022. – Vol. 55; No. 2. – P. 1-44.
105. Smirnov, P.I. *Road infrastructure optimization to improve the energy efficiency of vehicles* / P.I. Smirnov, A.A. Akulov, B.B. Sidorov, B.S. Subbotin, I.Y. Kashtanov // *Intelligent Technologies and Electronic Devices in Vehicle and Road Transport Complex*. – 2023. – P. 1–5.
106. Surendra, A. *Revolutionizing road accident analysis: A deep learning approach to entity recognition and extraction* / Surendra A., Sood K., Albuquerque C., Akbar S., Joshi G., Sakshi P. // *IEEE 15th Annual Ubiquitous Computing, Electronics & Mobile Communication Conference*. – 2024. – P. 308-314.
107. Syed, M.A. *GeospatRE: extraction and geocoding of spatial relation entities in textual documents* / M.A. Syed, E. Arsevska, M. Roche, M. Teisseire // *Cartography and Geographic Information Science*. – 2025. – Vol. 52, No. 3. – P. 221-236.
108. T-pro-it-2.0. – URL : <https://huggingface.co/t-tech/T-pro-it-2.0>.
109. Ullah, M.R. *Vehicular traffic simulation software: A systematic comparative analysis* / M.R. Ullah [et al.] // *Pakistan Journal of Engineering and Technology*. – 2021. – Vol. 4; № 1. – P. 66–78.
110. Wang, F. *Research on traffic design of urban vital streets* / F. Wang, C. Tan, M. Li, D. Gu, H. Wang // *Sustainability*. – 2022. – Vol. 14. – P. 6468.
111. Wang, H. *SoftLexicon-BERT-BiLSTM-CRF-based named entity recognition model for transportation organization design domain* / H. Wang, C. Zhang, B. Zhang,

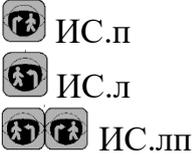
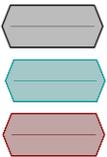
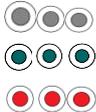
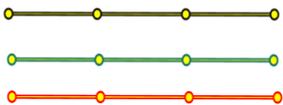
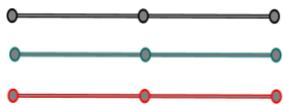
- P. Wang // IEEE International Conference on Image Processing, Computer Vision and Machine Learning. – 2023. – P. 203-207.
112. Wang, S. Research on the construction of highway traffic digital twin system based on 3D GIS technology / S. Wang, F. Zhang, T. Qin // Journal of Physics: Conference Series. – 2021. – Vol. 1802. – P. 042045.
113. Xu, T. Multi-criteria decision-making methods applied to achieve sustainable design: A systematic review / T. Xu, W. Liu, Z. Zhu // Proceedings of the Design Society. – 2023. – Vol. 3. – P. 2725–2734.
114. Ye, Y. Dynamic multi-graph neural network for traffic flow prediction incorporating traffic accidents / Y. Ye [et al.] // Expert Systems with Applications. – 2023. – P. 121101.
115. Zhang, W. A large language model-based approach to building the knowledge graph for master plan: A case study in Guangzhou, China / W. Zhang, Y. Chen, X. Liu, H. Zhang // Land Use Policy. – 2025. – Vol. 159. – P. 107807.

## ПРИЛОЖЕНИЕ А

### УСЛОВНЫЕ ОБОЗНАЧЕНИЯ

Таблица А.1 – Условные обозначения, применяемые на схемах организации дорожного движения

Символ	Наименование элемента
	проезжая часть – асфальтобетон
	проезжая часть – щебень
	проезжая часть – грунт
	тротуары и пешеходные дорожки
	тротуары и пешеходные дорожки проектируемые
	бордюрный камень с разметкой 2.7
	строения, здания и их части
 	остановки общественного транспорта: <ul style="list-style-type: none"> <li>➤ с павильоном;</li> <li>➤ без павильона</li> </ul>
   	опоры освещения: <ul style="list-style-type: none"> <li>➤ существующие;</li> <li>➤ проектируемые</li> </ul>
	железнодорожные пути
	коммуникации (газоснабжение)
    	стойки дорожных знаков или светофоров: <ul style="list-style-type: none"> <li>➤ независимая опора;</li> <li>➤ световая опора;</li> <li>➤ кронштейн;</li> <li>➤ растяжка;</li> <li>➤ Г-образная опора.</li> </ul>
  	знак дорожный (пиктограмма и номер согласно ГОСТ Р 52290-2004): <ul style="list-style-type: none"> <li>➤ существующий (черным цветом);</li> <li>➤ требуется установить (зеленым цветом);</li> <li>➤ требуется демонтировать (красным цветом)</li> </ul>

Символ	Наименование элемента
	<p>светофоры:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>➤ существующий (черным цветом);</li> <li>➤ требуется установить (зеленым цветом);</li> <li>➤ требуется демонтировать (красным цветом)</li> </ul>
	<p>информационная секция светофора</p>
	<p>дорожная разметка, в скобках приводится длина, м</p>
	<p>сборно-разборная искусственная неровность:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>➤ существующий (черным цветом);</li> <li>➤ требуется установить (зеленым цветом);</li> <li>➤ требуется демонтировать (красным цветом)</li> </ul>
	<p>монолитная искусственная неровность:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>➤ существующий (черным цветом);</li> <li>➤ требуется установить (зеленым цветом);</li> <li>➤ требуется демонтировать (красным цветом)</li> </ul>
	<p>направляющие устройства (сигнальные столбики):</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>➤ существующий (черным цветом);</li> <li>➤ требуется установить (зеленым цветом);</li> <li>➤ требуется демонтировать (красным цветом).</li> </ul>
	<p>ограничивающие (пешеходные) ограждения:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>➤ существующий (черным цветом);</li> <li>➤ требуется установить (зеленым цветом);</li> <li>➤ требуется демонтировать (красным цветом).</li> </ul>
	<p>удерживающие (барьерные) ограждения:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>➤ существующий (черным цветом);</li> <li>➤ требуется установить (зеленым цветом);</li> <li>➤ требуется демонтировать (красным цветом).</li> </ul>
	<p>камера фотовидеофиксации правонарушений ПДД</p>
	<p>средства безопасности (зеркало)</p>

**ПРИЛОЖЕНИЕ Б**  
**ТИПОВЫЕ ПРОЕКТНЫЕ РЕШЕНИЯ**

Таблица Б.1 – Типовые проектные решения на пешеходном переходе

№ п/п	Условия применения			Типовое проектное решение
	Покрывтие дороги	Количество полос	Особенности	
<b>1. Вне населенного пункта</b>				
1.1	Щебень/грунт	1-2	Нерегулируемый	<p>Diagram 1.1: Pedestrian crossing on gravel/grass surface. The diagram shows a road with two lanes and a pedestrian crossing. A red line indicates the 'ПК.0' (start of road). The road axis is labeled 'ось дороги'. A 'пешеходный переход' (pedestrian crossing) is marked. Traffic signs 1.22 (warning of pedestrian crossing) and 5.19/1.2 (priority for pedestrians) are placed. Distances <math>L_{пред}</math> (advance distance) and <math>S_{п.п.}</math> (pedestrian crossing distance) are indicated. The 'Отметка км+м' (kilometer marker) is also shown.</p>
1.2	Асфальт	1-2	Нерегулируемый	<p>Diagram 1.2: Pedestrian crossing on asphalt surface. The diagram shows a road with two lanes and a pedestrian crossing. A red line indicates the 'ПК.0' (start of road). The road axis is labeled 'ось дороги'. A 'пешеходный переход' (pedestrian crossing) is marked. Traffic signs 1.22 (warning of pedestrian crossing) and 5.19/1.2 (priority for pedestrians) are placed. Distances <math>L_{пред}</math> (advance distance) and <math>S_{п.п.}</math> (pedestrian crossing distance) are indicated. The 'Отметка км+м' (kilometer marker) is also shown.</p>

№ п/п	Условия применения			Типовое проектное решение
	Покрывтие дороги	Количество полос	Особенности	
1.3	Асфальт	Более двух в одном направлении	Нерегулируемый	
1.4	Асфальт	Более двух в одном направлении	Регулируемый	
<b>2. В населенном пункте</b>				
2.1	Щебень/грунт	1-2	Нерегулируемый	

N п/п	Условия применения			Типовое проектное решение
	Покрытие дороги	Количество полос	Особенности	
2.2.	Асфальт	1-2	Нерегулируемый	<p>слева от оси</p> <p>ось дороги</p> <p>ПКО</p> <p>справа от оси</p> <p>Отметка км+м</p> <p>5.19.1/2</p> <p>Сп.п.</p> <p>ИЛИ</p> <p>слева от оси</p> <p>ось дороги</p> <p>ПКО</p> <p>справа от оси</p> <p>Отметка км+м</p> <p>5.19.1/2</p> <p>Разметка 1.14.2</p> <p>Сп.п.&gt;6м</p>
2.3	Асфальт	Более двух в одном направлении	Нерегулируемый	<p>слева от оси</p> <p>ось дороги</p> <p>ПКО</p> <p>справа от оси</p> <p>Отметка км+м</p> <p>5.19.1/2</p> <p>Сп.п.</p> <p>1.22</p> <p>1.22</p> <p>5.19.1/2</p> <p>5.19.1/2</p> <p>Лпред.</p> <p>Лпред.</p>



## ПРИЛОЖЕНИЕ В

## АКТЫ О РЕАЛИЗАЦИИ И ВНЕДРЕНИИ РЕЗУЛЬТАТОВ ДИССЕРТАЦИИ



ООО «ИнфраТрансПроект»  
443029, г Самара, ул. Солнечная, 42-183  
+7 (917) 142-22-93, +7 (929) 7000-346  
[infratrans@mail.ru](mailto:infratrans@mail.ru) [www.infratrans-samara.ru](http://www.infratrans-samara.ru)



Акт внедрения результатов диссертации Елены Владимировны Чекиной, представленной на соискание ученой степени кандидата технических наук по специальности 2.3.1. Системный анализ, управление и обработка информации, статистика

Настоящим актом подтверждаем, что разработанные в диссертации методы, алгоритмы и подсистемы, полученные в диссертации Чекиной Е.В., а именно:

- «Геоинформационная система интеграции и анализа неструктурированных данных на основе искусственного интеллекта»;
- «Система поддержки принятия проектных решений в процессе разработки цифровых проектов организации дорожного движения».

внедрены и используются в отделе организации дорожного движения ООО «ИнфраТрансПроект» в повседневной деятельности по созданию картографической основы, разработке проектов организации дорожного движения, комплексных схем организации дорожного движения в цифровом и традиционном видах.

Полученные результаты позволили:

- сократить трудозатраты на формирование картографической основы за счет использования системы интеграции и анализа неструктурированных данных;
- сократить сроки подготовительных работ, связанных с описанием текущей дорожно-транспортной ситуации;
- обеспечить автоматизированный выбор вариантов проектирования по организации дорожного движения с последующим сметным расчетом выбранного варианта проектирования;
- обеспечить новые возможности компьютерного моделирования процесса организации транспортных потоков на улично-дорожной сети за счёт предметной ориентации языкового интерфейса проектировщика и исследователя и адаптации исполнительской среды под задачи проектирования.

За период с 2024 по 2025 годы было разработано 137 проектов организации дорожного движения. Практическое применение результатов диссертационного исследования показало значительное снижение временных затрат – в среднем 2 раза.

Работы, связанные с использованием результатов, полученных в диссертации, планируется продолжить развивать применительно к новым направлениям деятельности.

Начальник отдела  
организации дорожного движения

Специалист отдела  
организации дорожного движения

А.К. Успенская

О.В. Дмитроченко

«УТВЕРЖДАЮ»

Заместитель  
главы городского округа Самара –  
руководитель  
Департамента транспорта  
Администрации г.о. Самара



С.И. Маркин

М.П.

17.07.2024

### АКТ РЕАЛИЗАЦИИ

результатов диссертации Чекиной Елены Владимировны,  
представленной на соискание ученой степени  
кандидата технических наук по специальности

2.3.1. Системный анализ, управление и обработка информации, статистика

Данный акт удостоверяет реализацию результатов диссертационного исследования Чекиной Елены Владимировны, выполненного ею в целях получения ученой степени кандидата технических наук, в Департаменте транспорта Администрации г.о. Самара (в отделе организации дорожного движения). Апробация научных и практических результатов, предложенных в диссертационной работе Чекиной Е.В. и связанных с поддержкой принятия проектных решений в схемах организации дорожного движения, проведена в ходе разработки проектов организации дорожного движения на улично-дорожной сети г.о. Самара: на парковках, автомобильных заправочных станциях, при проведении краткосрочных и долгосрочных работ на проезжей части.

Применение результатов диссертационного исследования обеспечило уменьшение сроков разработки типовых проектов и схем организации дорожного движения, а также позволило снизить число технических ошибок.

*Заместитель руководителя  
Департамента транспорта –  
начальник отдела организации  
дорожного движения*

*Консультант отдела ОДД  
Департамента транспорта  
Администрации г.о. Самара*

А.С. Карпочев

А.Ю. Лопатников

«УТВЕРЖДАЮ»

И.о. начальника  
отдела Госавтоинспекции  
Управления МВД России по г. Самаре

А.А. Дерябин

«17» *сентября* 202*4* г.**АКТ РЕАЛИЗАЦИИ**

результатов научных исследований диссертационной работы  
Е.В. Чекиной, представленной на соискание ученой степени  
кандидата технических наук по специальности

2.3.1. Системный анализ, управление и обработка информации,  
статистика

Настоящий акт подтверждает, что результаты диссертационного исследования Чекиной Елены Владимировны, выполненного ею в целях получения ученой степени кандидата технических наук, апробированы при разработке проектов организации дорожного движения на автомобильных дорогах городского округа Самара на 68 улицах суммарной протяжённостью 156,3 км и действительно дали положительный эффект.

Отделом дорожного надзора ГИБДД УМВД России по г. Самаре отмечено снижение сроков разработки проектных решений и повышение качества разработанных проектов и схем организации дорожного движения при соответствии разработанной документации требованиям действующих норм ГОСТ и СНиП.

Начальник отделения  
дорожной инспекции и организации движения  
отдела Госавтоинспекции  
Управления МВД России по г. Самаре

Государственный инспектор  
дорожного надзора  
отдела Госавтоинспекции  
Управления МВД России по г. Самаре



А.И. Чугунов

Д.А. Лукьянов

«УТВЕРЖДАЮ»

Исполняющий обязанности директора  
Муниципального казенного учреждения  
«Дирекция благоустройства  
города Кирова»

  
И.А. Черезов  
«13» сентября 2024 г.

### АКТ ОБ ИСПОЛЬЗОВАНИИ РЕЗУЛЬТАТОВ

диссертационной работы Чекиной Елены Владимировны,  
представленной на соискание ученой степени **кандидата технических наук**  
по специальности 2.3.1. Системный анализ, управление и обработка информации,  
статистика

Настоящий актом подтверждаем, что результаты, полученные в диссертации Чекиной Е.В., использованы при разработке проекта организации дорожного движения на улично-дорожной сети города Киров для определения постоянных схем движения транспортных средств и пешеходов на период эксплуатации дорог и период проведения культурно-массовых мероприятий.

Использованы следующие результаты диссертационной работы:

- геоинформационная система анализа неструктурированных данных на основе искусственного интеллекта, в том числе, с данных дорожной лаборатории и открытых картографических данных, для построения подробного цифрового двойника улично-дорожной сети;
- экспертная система поддержки принятия проектных решений в процессе разработки цифровых проектов организации дорожного движения.

Представлен технический проект и программная система, разработанные на основании проведённых исследований улично-дорожной сети и экспертного анализа дислокации технических средств организации дорожного движения на предмет соответствия следующей нормативно-технической документации:

- Федеральный закон от 29.12.2017 № 443-ФЗ «Об организации дорожного движения в Российской Федерации и о внесении изменений в отдельные законодательные акты Российской Федерации»,
- Федеральный закон от 10.12.1995 № 196 ФЗ «О безопасности дорожного движения»,
- Федеральный закон от 08.11.2007 № 257-ФЗ «Об автомобильных дорогах и о дорожной деятельности в Российской Федерации и о внесении изменений в отдельные законодательные акты Российской Федерации»,
- Приказ Министерства транспорта Российской Федерации от 30.07.2020 № 274 «Об утверждении Правил подготовки документации по организации дорожного движения»,

- ГОСТ Р 50597-2017 «Национальный стандарт Российской Федерации. Дороги автомобильные и улицы. Требования к эксплуатационному состоянию, допустимому по условиям обеспечения безопасности дорожного движения. Методы контроля»,

- ГОСТ Р 52282-2004 «Национальный стандарт Российской Федерации. Технические средства организации дорожного движения. Правила применения дорожных знаков, разметки, светофоров, дорожных ограждений и направляющих устройств»,

- ГОСТ Р 52289-2019 «Национальный стандарт Российской Федерации. Технические средства организации дорожного движения. Правила применения дорожных знаков, разметки, светофоров, дорожных ограждений и направляющих устройств»,

- ГОСТ Р 52290-2004 «Национальный стандарт Российской Федерации. Технические средства организации дорожного движения. Знаки дорожные. Общие технические требования»,

- СП 59.13330.2020 «Доступность зданий и сооружений для маломобильных групп населения. Актуализированная редакция СНиП 35-01-2001»,

- другие действующие нормативные документы.

С использованием разработанной Чекиной Е.В. в диссертации программной системы разработаны проекты организации дорожного движения на улично-дорожной сети города Киров суммарной протяженностью 147,14 км, в том числе, для магистральных дорог районного значения и дорог, находящихся в историческом центре со сложной транспортной планировкой:

- |                        |                                |
|------------------------|--------------------------------|
| - Ул. 4-й Пятилетки    | - Ул. МОПРа,                   |
| - Ул. Воровского       | - Ул. Пятницкая                |
| - Ул. Дерендяева,      | - Ул. Советская                |
| - Ул. Ивана Попова,    | - Ул. Спасская                 |
| - Ул. Казанская,       | - Ул. Труда                    |
| - ул. Розы Люксембург  | - Ул. Украинская,              |
| - Ул. Карла Маркса     | - Ул. Ульяновская,             |
| - Ул. Ломоносова       | - Проезд Студенческий,         |
| - Ул. Молодой Гвардии, | - Автодорога «Киров – Русское» |

Использование разработанных проектов позволило: упорядочить и улучшить условия дорожного движения транспортных средств и пешеходов, повысить пропускную способность дорог и эффективность её использования, обеспечить безопасность дорожного движения, снизить экономические потери при осуществлении дорожного движения транспортных средств и пешеходов.

Начальник отдела БДД  
МКУ Дирекция благоустройства города Кирова




А.Е. Малюк

Главный специалист отдела БДД  
МКУ Дирекция благоустройства города Кирова

О.А. Кондратьева

«УТВЕРЖДАЮ»

Начальник  
Отдела ГИБДД УМВД России  
по г. Кирову

А.Ю. Фоминых

« 21 » 09 2024 г.

**АКТ**

реализации диссертации  
ЧЕКИНОЙ ЕЛЕНЫ ВЛАДИМИРОВНЫ,  
представленной на соискание ученой степени кандидата технических наук  
по специальности 2.3.1. СИСТЕМНЫЙ АНАЛИЗ, УПРАВЛЕНИЕ  
И ОБРАБОТКА ИНФОРМАЦИИ, СТАТИСТИКА

Настоящий актом подтверждаем, что разработанные в диссертации методы, алгоритмы и подсистемы интеллектуальной транспортной системы, полученные в диссертации Е.В. ЧЕКИНОЙ: «Геоинформационная система анализа неструктурированных данных на основе искусственного интеллекта»; «Интеллектуальная транспортная геоинформационная система «Паспортизация автодорог с дислокацией геообъектов» на интерактивной карте», используются в подразделениях ГИБДД УМВД России по г. Кирову при повседневной деятельности по обеспечению безопасности дорожного движения, анализу и планированию, контролю (надзору) за дорожным движением, исполнению контрольно-разрешительных функций и других задач, возложенных на Госавтоинспекцию.

**Полученные результаты позволили:**

довести качество разработки дислокации дорожного движения с помощью использования разработанной системы, позволяющей проводить мониторинг различных показателей эффективности функционирования в зависимости от предлагаемой организации дорожного движения;

улучшить транспортную ситуацию, в частности, снизить число возможных транспортных заторов посредством построения зон управления транспортными процессами с помощью системы учета интенсивности транспортных потоков;

увеличить пропускную способность улично-дорожной сети и оптимизировать использование транспортной инфраструктуры за счет разработки проекта организации дорожного движения в соответствии с требованиями действующих нормативно-правовых актов (ГОСТ Р 50597-2017, ГОСТ Р 52282-2004, ГОСТ Р 52289-2019, ГОСТ Р 52290-2004, СП 34.13330.2021, СП 59.13330.2020, СП 52.13330).

ускорить процесс обработки оперативной информации и ведения контрольно-наблюдательных дел за счет автоматизации ввода, обработки и анализа информации; сократить сроки подготовительных работ, связанных с описанием улично-дорожной сети, дорожной обстановки, с составлением улично-дорожной сетью, дорожном-транспортной ситуации.

Гос. Инспектор отделения дорожного надзора и ОД  
отдела ГИБДД УМВД России по г. Кирову

М.А. Коршунов

Начальник отделения дорожного надзора и ОД  
отдела ГИБДД УМВД России по г. Кирову

А.Н. Наймушин

УТВЕРЖДАЮ

Проректор по образовательной деятельности  
ФГБОУ ВО СамГМУ Минздрава России,  
д.м.н., доцент

Ю.В. Мякишева

« 11 » 9 2026 г.



АКТ

**внедрения результатов диссертации Чекиной Елены Владимировны,  
представленной на соискание ученой степени кандидата технических наук  
по специальности 2.3.1. Системный анализ, управление  
и обработка информации, статистика**

Настоящим актом подтверждаем, что результаты, полученные в диссертации Чекиной Елены Владимировны, представленной на соискание ученой степени кандидата технических наук по специальности 2.3.1. Системный анализ, управление и обработка информации, статистика, а именно методы и программные средства информационной поддержки принятия решений, внедрены в учебный процесс Самарского государственного медицинского университета на кафедре медицинской физики, математики и информатики Института социально-гуманитарного и цифрового развития медицины при подготовке обучающихся по специальности 30.05.03 Медицинская кибернетика по дисциплинам «Системный анализ и организация здравоохранения» и «Теория принятия решений» при решении ситуационных математических и алгоритмических задач.

Заместитель директора

Института социально-гуманитарного и цифрового  
развития медицины, к.т.н.

Н.И. Абрамова

Заведующий учебной частью кафедры

медицинской физики, математики и информатики,  
к.ф.-м.н.

А.В. Неупокоева