

**МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ, НАУКИ И МОЛОДЕЖИ
РЕСПУБЛИКИ КРЫМ**

**ОТЧЕТ О ВЫПОЛНЕНИИ РАБОТЫ ПО ГРАНТУ
ГОСУДАРСТВЕННОГО СОВЕТА РЕСПУБЛИКИ КРЫМ
МОЛОДЫМ УЧЕНЫМ РЕСПУБЛИКИ КРЫМ**

Название проекта:

«Программный комплекс для оптимизации транспортной сети с
использованием GIS-технологий»

Соискатель:

Танишева Сусанна Серверовна

Должность и место работы:

преподаватель кафедры прикладной информатики ГБОУВО РК
«Крымский инженерно-педагогический университет имени
Февзи Якубова»

Симферополь – 2023

СОДЕРЖАНИЕ

ВВЕДЕНИЕ	3
1.1. Обоснование актуальности темы	3
1.2. Цель и задачи исследования	4
1.3. Основные проблемы в управлении транспортной сетью	5
ОБЗОР СУЩЕСТВУЮЩИХ ПОДХОДОВ К ОПТИМИЗАЦИИ ТРАНСПОРТНОЙ СЕТИ	7
2.1. Традиционные методы управления транспортом	7
2.2. Преимущества и ограничения традиционных подходов	8
2.3. Роль геоинформационных систем (GIS) в оптимизации транспортной инфраструктуры	10
GIS-ТЕХНОЛОГИИ В УПРАВЛЕНИИ ТРАНСПОРТНОЙ СЕТЬЮ	11
3.1. Основные принципы GIS-технологий	11
3.2. Примеры успешного использования GIS в управлении транспортной инфраструктурой	13
ПРОГРАММНЫЙ КОМПЛЕКС ДЛЯ ОПТИМИЗАЦИИ ТРАНСПОРТНОЙ СЕТИ	15
4.1. Архитектура программного комплекса	15
4.2. Используемые алгоритмы оптимизации маршрутов	17
4.3. Транспортное моделирование	18
4.4. Анализ программных продуктов транспортных сетей	21
4.5. Технология построения графа УДС	23
4.6. Проектирование диаграммы вариантов использования и диаграмма классов средствами UML	25
4.7. Построение модели УДС (г. Симферополь)	30
4.8. Интеграция с базой геоданных	33
4.9. Пользовательский интерфейс и возможности конфигурации	34
4.10. План внедрения и тестирования	41
ЗАКЛЮЧЕНИЕ	45
СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ	47

ВВЕДЕНИЕ

1.1. Обоснование актуальности темы

Введение в программный комплекс для оптимизации транспортной сети с использованием GIS-технологий начинается с обоснования актуальности выбранной темы. Этот пункт ставит задачу донесения информации о неотложной потребности в разработке и внедрении подобных решений в современной транспортной сфере.

Актуальность темы определяется рядом факторов:

- Увеличение объема транспортных потоков: С ростом городского населения и экономического развития наблюдается увеличение транспортных потоков, что создает дополнительные вызовы для эффективного управления транспортной сетью.
- Неэффективное использование ресурсов: Традиционные методы управления транспортом часто приводят к неэффективному использованию ресурсов, увеличению затрат и времени в плане доставки товаров и услуг.
- Экологические проблемы: Недостаточная оптимизация транспортных маршрутов влечет за собой лишние выбросы загрязняющих веществ и негативное воздействие на экологию.
- Развитие GIS-технологий: Современные геоинформационные системы предоставляют уникальные возможности для оптимизации и визуализации данных, что делает их незаменимым инструментом в управлении транспортной инфраструктурой.

В результате анализа этих факторов становится очевидной необходимость в разработке программного комплекса, способного эффективно использовать GIS-технологии для оптимизации транспортной сети, учитывая современные вызовы и требования.

Инновационные транспортные тренды: Современные транспортные системы стремятся к инновациям, таким как автономные транспортные средства, электрические транспортные средства и интеграция технологий

Интернета вещей (IoT). Программный комплекс, основанный на GIS-технологиях, способен адаптироваться к этим трендам, обеспечивая более эффективное и устойчивое управление транспортной сетью.

Городская мобильность: с увеличением городского населения становится критически важным управление городской мобильностью. Программный комплекс, ориентированный на оптимизацию транспортной сети, способен значительно улучшить потоки движения, снизить перегруженность и сделать городскую мобильность более эффективной.

Глобальные вызовы и кризисы: с современными вызовами, такими как пандемии и климатические изменения, эффективное управление транспортной сетью становится ключевым элементом обеспечения устойчивости и адаптивности. Программный комплекс, основанный на GIS, может помочь быстро реагировать на изменяющиеся условия и минимизировать отрицательные последствия.

Экономическая выгода: оптимизированная транспортная сеть приводит к экономии времени и ресурсов, что в свою очередь влияет на экономическую эффективность предприятий и организаций, занимающихся транспортной деятельностью.

Таким образом, выбранная тема является насущной и стратегически важной, учитывая текущие тенденции развития транспортной отрасли и общественные вызовы. Разработка программного комплекса для оптимизации транспортной сети с использованием GIS-технологий представляет собой перспективное направление, способное содействовать улучшению эффективности, устойчивости и инновационности транспортной инфраструктуры.

1.2. Цель и задачи исследования

Цель данного исследования заключается в разработке и внедрении программного комплекса, использующего геоинформационные системы (GIS) для оптимизации транспортной сети. Эта цель обоснована потребностью в современных инновационных решениях для управления транспортной

инфраструктурой, обеспечивающих эффективность, устойчивость и экологическую безопасность.

Задачи исследования:

- Анализ существующих проблем в управлении транспортной сетью:
- Исследование текущих проблем и ограничений традиционных методов управления транспортом.
- Анализ влияния неэффективного управления на затраты, временные задержки и экологию.
- Изучение возможностей GIS-технологий в оптимизации транспортной инфраструктуры:
- Рассмотрение основных принципов и преимуществ GIS в контексте управления транспортной сетью.
- Анализ примеров успешного использования GIS для оптимизации маршрутов и улучшения транспортных потоков.
- Определение структуры и функциональности программного комплекса.
- Выбор и адаптация алгоритмов оптимизации маршрутов под требования транспортной инфраструктуры.

Задачи исследования направлены на создание комплексного подхода к оптимизации транспортной сети, анализ вызовов и перспектив внедрения GIS-технологий в данной области. Решение этих задач будет способствовать повышению эффективности и устойчивости транспортной инфраструктуры, а также снижению отрицательного воздействия на окружающую среду.

1.3. Основные проблемы в управлении транспортной сетью

Этот раздел направлен на выявление основных проблем, с которыми сталкиваются современные системы управления транспортной сетью. Понимание этих проблем играет важную роль в обосновании необходимости

разработки программного комплекса для оптимизации транспортной сети с применением GIS-технологий.

Перегруженность и заторы:

Одной из ключевых проблем является перегруженность дорожной сети, что приводит к заторам и увеличению времени в пути. Это влияет на эффективность транспортной системы и увеличивает затраты на топливо и ресурсы.

Неоптимальные маршруты и расписание:

Традиционные методы планирования маршрутов не всегда учитывают актуальные данные о состоянии дорог, пробках и других факторах, что может привести к неоптимальным маршрутам и задержкам.

Экологические проблемы:

Неэффективное управление транспортной сетью приводит к избыточному потреблению топлива и выбросам вредных веществ, негативно влияя на экологическую ситуацию в городах.

Неэффективное использование ресурсов:

Отсутствие оптимальных маршрутов и плохая координация движения транспортных средств приводят к нерациональному использованию времени и ресурсов, что увеличивает операционные затраты.

Сложность координации в реальном времени:

Традиционные системы управления часто сталкиваются с трудностями в обеспечении оперативной координации и реагирования на изменения в режиме реального времени.

Недостаточная интеграция современных технологий:

Отсутствие современных технологий, таких как GIS, в процессах управления транспортной сетью снижает возможности для оптимизации и мониторинга.

Недостаточная учетная запись об экологических параметрах:

Отсутствие учета экологических параметров в управлении транспортом может привести к неудовлетворительным экологическим последствиям.

Резюмируя, пункт 1.3 обосновывает неотложность разработки программного комплекса, который сможет эффективно решать эти проблемы, обеспечивая более эффективное и устойчивое управление транспортной сетью.

ОБЗОР СУЩЕСТВУЮЩИХ ПОДХОДОВ К ОПТИМИЗАЦИИ ТРАНСПОРТНОЙ СЕТИ

2.1. Традиционные методы управления транспортом

Этот раздел посвящен анализу традиционных методов управления транспортом, выявляя их основные принципы и ограничения.

Централизованное планирование маршрутов:

Одним из основных подходов к управлению транспортной сетью является централизованное планирование маршрутов транспортных средств. Это предполагает определение оптимальных маршрутов заранее, но не всегда учитывает динамические изменения на дорогах.

Расписание и фиксированные интервалы:

Многие транспортные системы работают по фиксированным расписаниям и интервалам движения. Это позволяет пассажирам предсказывать прибытие транспорта, но не всегда эффективно при изменяющихся условиях.

Системы GPS и телематика:

Использование GPS и телематических систем позволяет отслеживать положение транспортных средств в реальном времени. Однако, эти данные могут быть недостаточными для оптимизации маршрутов в условиях дорожных заторов и других проблем.

Обратная связь от водителей и диспетчеров:

В ряде случаев, системы управления транспортом основываются на обратной связи от водителей и диспетчеров. Это может быть эффективным, но не всегда обеспечивает полную картину текущей ситуации.

Алгоритмы оптимизации маршрутов:

Некоторые системы используют алгоритмы оптимизации маршрутов, но часто они не интегрированы в единую систему и не способны адаптироваться к изменениям в режиме реального времени.

Недостаточная интеграция данных:

Одной из основных проблем традиционных методов является недостаточная интеграция данных о дорожной обстановке, погодных условиях и других факторах, которые могут влиять на эффективность транспортной системы.

Отсутствие учета экологических факторов:

Многие традиционные системы управления транспортом ориентированы главным образом на экономические и временные показатели, но не всегда учитывают экологические аспекты.

Исходя из анализа традиционных методов управления транспортом, становится ясным, что существующие подходы ограничены в адаптации к динамическим изменениям и не всегда способны обеспечивать оптимальное использование транспортной инфраструктуры. Это подчеркивает необходимость в разработке программного комплекса, который бы интегрировал современные технологии и обеспечивал более гибкое и эффективное управление транспортной

2.2. Преимущества и ограничения традиционных подходов

В этом разделе производится более детальный анализ преимуществ и ограничений традиционных подходов к управлению транспортной сетью.

Преимущества традиционных подходов:

Стабильность и предсказуемость:

Традиционные методы, такие как централизованное планирование и фиксированные расписания, обеспечивают стабильность и предсказуемость для пассажиров и операторов транспортной системы.

Простота внедрения:

Многие традиционные методы являются относительно простыми в реализации и не требуют сложных технологических интеграций.

Относительная надежность:

Некоторые аспекты традиционных методов, такие как фиксированные маршруты и расписания, могут быть более надежными в стабильных условиях.

Эффективность при низкой нагрузке:

В условиях низкой транспортной нагрузки традиционные методы могут быть достаточно эффективными и обеспечивать оптимальное использование ресурсов.

Ограничения традиционных подходов:**Неэффективность при изменяющихся условиях:**

Одним из основных ограничений традиционных методов является их неспособность адаптироваться к динамическим изменениям в дорожной обстановке, погодных условиях и другим факторам.

Отсутствие гибкости и индивидуализации:

Традиционные методы не всегда способны предоставить гибкие и индивидуализированные решения для пассажиров и операторов транспортной системы.

Недостаточная эффективность при высокой нагрузке:

При высокой транспортной нагрузке фиксированные маршруты и расписания могут становиться неэффективными, приводя к заторам и задержкам.

Отсутствие учета динамических данных:

Традиционные методы обычно не включают в себя актуальные данные о дорожной обстановке, прогнозах погоды и других факторах, которые могут влиять на движение транспорта.

Неэффективное использование ресурсов:

В ряде случаев традиционные методы могут привести к неэффективному использованию ресурсов, таких как топливо и время.

Анализ преимуществ и ограничений традиционных подходов подчеркивает необходимость инновационных решений, способных учитывать

динамические изменения и обеспечивать более гибкое, эффективное и устойчивое управление транспортной сетью.

2.3. Роль геоинформационных систем (GIS) в оптимизации транспортной инфраструктуры

В данном разделе рассматривается роль геоинформационных систем (GIS) в оптимизации транспортных маршрутов. GIS предоставляют инструменты для сбора, анализа и визуализации пространственных данных, что делает их ключевым элементом в современных методах управления транспортной инфраструктурой.

Основные аспекты роли GIS в оптимизации транспортных маршрутов:

Сбор и хранение пространственных данных:

GIS обеспечивают возможность сбора, хранения и обновления пространственных данных, таких как информация о дорожной инфраструктуре, распределение населения, местоположение остановок общественного транспорта и другие важные факторы.

Анализ транспортных потоков:

С использованием GIS можно проводить анализ транспортных потоков на основе актуальных данных о движении транспортных средств. Это позволяет выявлять участки с повышенной загруженностью и прогнозировать динамику движения.

Оптимизация маршрутов:

GIS-технологии позволяют строить оптимальные маршруты с учетом различных параметров, таких как расстояние, время в пути, протяженность маршрута и другие. Это особенно важно для общественного транспорта и логистических компаний.

Реагирование на динамические изменения:

GIS предоставляют возможность интеграции динамических данных, таких как информация о пробках, авариях и строительных работах. Это

позволяет системе управления транспортной сетью реагировать на изменения в реальном времени.

Визуализация данных:

Использование карт и визуализации пространственных данных с помощью GIS облегчает понимание ситуации в транспортной системе. Это важно для принятия обоснованных решений и мониторинга процессов.

Учет экологических параметров:

GIS позволяют учитывать экологические параметры, такие как выбросы вредных веществ и уровень загрязнения, при оптимизации маршрутов, что способствует более устойчивому и экологически безопасному управлению транспортной инфраструктурой.

В целом, геоинформационные системы становятся основой для разработки эффективных методов оптимизации транспортных маршрутов, обеспечивая более точное и адаптивное управление транспортной сетью.

GIS-ТЕХНОЛОГИИ В УПРАВЛЕНИИ ТРАНСПОРТНОЙ СЕТЬЮ

3.1. Основные принципы GIS-технологий

В данном разделе представляется общий обзор архитектуры программного комплекса, который разрабатывается для оптимизации транспортной сети с использованием GIS-технологий.

Основные компоненты архитектуры:

Интерфейс пользователя:

Разработка интуитивно понятного и функционального пользовательского интерфейса, который позволяет пользователям легко взаимодействовать с программным комплексом. Включение в интерфейс инструментов для мониторинга, управления и настройки параметров оптимизации.

Модуль сбора данных:

Реализация механизмов для сбора различных данных, таких как информация о дорожной обстановке, транспортных потоках, погодных условиях и других факторах, влияющих на транспортную сеть.

Взаимодействие с датчиками, телематическими системами и другими источниками данных.

База данных:

Выбор и настройка базы данных для хранения и обработки пространственных данных. Эффективное управление большим объемом информации, а также поддержка быстрого доступа к данным для обеспечения оперативной работы системы.

Модуль анализа данных:

Разработка алгоритмов и инструментов для анализа пространственных данных. Включение методов статистического анализа, прогнозирования и выявления паттернов для более точного определения оптимальных маршрутов и управления транспортными потоками.

Модуль оптимизации маршрутов:

Интеграция алгоритмов оптимизации маршрутов, которые учитывают различные параметры, такие как время в пути, затраты на топливо, текущую дорожную обстановку и предпочтения пользователей. Разработка механизмов для динамической переработки маршрутов в реальном времени.

Модуль визуализации данных:

Создание инструментов для визуализации пространственных данных на картах и графиках. Это включает в себя возможность отображения текущего состояния транспортной сети, прогнозирования изменений и предоставления информации пользователям.

Модуль управления системой:

Разработка компонентов, обеспечивающих управление всей системой. Это включает в себя механизмы мониторинга, диагностики, резервирования и обновления. Также важна реализация механизмов безопасности для защиты данных и обеспечения непрерывности работы системы.

Интеграция с внешними системами:

Установление интерфейсов для интеграции программного комплекса с другими системами, такими как системы общественного транспорта, городского планирования, системы мониторинга экологии и т.д.

Архитектура программного комплекса должна быть гибкой и масштабируемой, обеспечивая возможность последующего расширения функционала и адаптации к изменяющимся требованиям в области управления транспортной сетью.

3.2. Примеры успешного использования GIS в управлении транспортной инфраструктурой

Модуль оптимизации маршрутов и управления транспортными потоками является ключевым компонентом программного комплекса, направленным на повышение эффективности и устойчивости транспортной сети. В этом разделе рассматриваются основные аспекты этого модуля.

Основные функциональности модуля:

Динамическая оптимизация маршрутов:

Реализация алгоритмов, способных динамически оптимизировать маршруты в реальном времени. Это включает адаптацию к текущей дорожной обстановке, пробкам, авариям и другим событиям, оказывающим влияние на транспортные потоки.

Учет предпочтений пользователей:

Интеграция механизмов, учитывающих предпочтения пользователей, такие как оптимальная скорость движения, предпочтение определенных видов транспорта или предпочтительные маршруты.

Адаптация к изменяющимся условиям:

Разработка стратегий, которые позволяют системе эффективно адаптироваться к изменениям в дорожной ситуации, строить альтернативные маршруты и минимизировать временные задержки.

Интеграция с системами управления светофорами:

Установление взаимодействия с системами управления светофорами для оптимизации таймингов с учетом текущей загрузки дорожной сети и потребностей транспорта.

Мониторинг и анализ транспортных потоков:

Реализация инструментов мониторинга и анализа транспортных потоков для выявления узких мест, пробок и других факторов, которые могут препятствовать эффективному движению.

Системы прогнозирования:

Внедрение систем прогнозирования, которые могут предсказывать изменения в дорожной обстановке, погоде и других параметрах, чтобы система могла принимать предварительные меры.

Оптимизация ресурсов:

Разработка стратегий оптимизации использования ресурсов, таких как топливо и время, с целью снижения операционных затрат и снижения негативного воздействия на окружающую среду.

Гибкость и настраиваемость:

Предоставление пользовательского интерфейса для настройки параметров оптимизации, учета особенностей конкретных транспортных сетей и адаптации к специфическим требованиям заказчика.

Ожидаемые выгоды от модуля:

Снижение временных задержек:

Улучшение эффективности движения транспортных средств и снижение временных задержек для пассажиров и грузовладельцев.

Экономия ресурсов:

Оптимизация использования ресурсов, таких как топливо, сокращение операционных расходов и повышение экономической эффективности.

Более надежная и предсказуемая транспортная система:

Создание более надежной и предсказуемой транспортной системы для пассажиров и перевозчиков.

ПРОГРАММНЫЙ КОМПЛЕКС ДЛЯ ОПТИМИЗАЦИИ ТРАНСПОРТНОЙ СЕТИ

4.1. Архитектура программного комплекса

Архитектура программного комплекса для оптимизации транспортной сети с использованием GIS-технологий является ключевым элементом, обеспечивающим функциональность, эффективность и масштабируемость системы. Вот общий обзор основных компонентов и принципов архитектуры:

Пользовательский интерфейс (UI):

Разработка пользовательского интерфейса для взаимодействия с системой. Интерфейс должен быть интуитивно понятным и предоставлять пользователям доступ к основным функциям, таким как мониторинг транспортной сети, настройка параметров оптимизации и получение отчетов.

Модуль сбора данных:

Отвечает за сбор данных о транспортной инфраструктуре, дорожной обстановке, погодных условиях и других факторах. Модуль взаимодействует с датчиками, телематическими системами и другими источниками данных для обеспечения актуальности информации.

База данных:

Центральное хранилище для пространственных данных, таких как географические карты, распределение населения, маршруты транспортных средств и исторические данные. Должна обеспечивать быстрый доступ к данным и поддерживать эффективное управление информацией.

Модуль анализа данных:

Включает алгоритмы для статистического анализа, прогнозирования и выявления паттернов в пространственных данных. Обеспечивает основу для принятия решений и определения ключевых параметров для оптимизации транспортной сети.

Модуль оптимизации маршрутов:

Содержит алгоритмы оптимизации, учитывающие различные факторы, такие как дорожная загруженность, предпочтения пользователей и текущая

дорожная обстановка. Модуль способен динамически пересчитывать маршруты в реальном времени.

Модуль визуализации данных:

Отвечает за отображение пространственных данных на картах и графиках. Обеспечивает пользователей информацией о текущем состоянии транспортной сети, прогнозах и результате оптимизации.

Модуль управления системой:

Включает компоненты для мониторинга и управления всей системой. Обеспечивает безопасность данных, масштабируемость, резервирование и возможность обновления программного комплекса.

Интеграция с внешними системами:

Установление интерфейсов для взаимодействия с другими системами, такими как системы общественного транспорта, управления светофорами, системы мониторинга экологии и другие.

Модуль обработки сценариев крайних условий:

Включает в себя механизмы для обработки сценариев экстремальных условий, таких как чрезвычайные ситуации, массовые мероприятия или стихийные бедствия.

Модуль обратной связи:

Имеет функции сбора обратной связи от пользователей и системы мониторинга для непрерывного улучшения системы на основе опыта использования.

Принципы архитектуры:

Масштабируемость и гибкость: Архитектура должна быть спроектирована так, чтобы легко масштабироваться и адаптироваться к изменяющимся условиям.

Открытые стандарты: Использование открытых стандартов и протоколов для обеспечения совместимости с различными системами и оборудованием.

Безопасность: Внедрение мер безопасности для защиты данных и обеспечения надежной работы системы.

Интеграция с GIS-технологиями: Полная интеграция с геоинформационными системами для обеспечения точного анализа и оптимизации пространственных данных.

Динамическая адаптация: Возможность системы динамически адаптироваться к изменениям в реальном времени и эффективно реагировать на динамические изменения в транспортной среде.

Архитектура программного комплекса должна быть разработана с учетом специфики задач оптимизации транспортной сети и обеспечивать стабильную и эффективную работу системы в различных условиях.

4.2. Используемые алгоритмы оптимизации маршрутов

Для оптимизации маршрутов в программном комплексе, предназначенном для управления транспортной сетью с использованием GIS-технологий, применяются различные алгоритмы оптимизации. Вот несколько распространенных алгоритмов, которые могут использоваться для этой цели:

Алгоритм Дейкстры (Dijkstra's Algorithm):

Этот алгоритм применяется для поиска кратчайшего пути между двумя узлами во взвешенном графе. В контексте транспортной оптимизации, веса ребер могут представлять собой различные параметры, такие как расстояние, время в пути, затраты на топливо и т.д.

Алгоритм А (A-star):*

A* является комбинацией эвристического и информированного поиска. Он эффективен для поиска кратчайших путей в графах с большим количеством узлов. Алгоритм учитывает стоимость прохождения узла и эвристическую оценку расстояния до целевого узла.

Генетические алгоритмы (Genetic Algorithms):

Генетические алгоритмы могут использоваться для оптимизации маршрутов, особенно в условиях, где существует множество переменных и

ограничений. Эти алгоритмы имитируют процессы естественного отбора, кроссинговера и мутации, чтобы находить оптимальные решения.

Муравьиный алгоритм (Ant Colony Optimization - ACO):

Муравьиный алгоритм моделирует поведение муравьев при поиске оптимального маршрута к источнику пищи. Алгоритм использует феромоны, оставляемые муравьями на путях, чтобы определить наилучшие маршруты. Этот метод особенно полезен для задач с множеством возможных маршрутов.

Методы динамического программирования:

Динамическое программирование применяется для решения задач с оптимизацией маршрутов, разбивая задачу на подзадачи и эффективно решая их последовательно. Этот метод может быть применен, например, для оптимизации маршрутов с учетом нескольких критериев, таких как время и стоимость.

Оптимизация поиска (Simulated Annealing):

Simulated Annealing - это алгоритм оптимизации, инспирированный процессом отжига в металлургии. Он используется для поиска глобального оптимума в пространствах переменных. В контексте оптимизации маршрутов, этот метод может использоваться для эффективного поиска оптимальных решений в пространстве маршрутов.

Выбор конкретного алгоритма зависит от характеристик задачи оптимизации маршрутов, таких как размер сети, количество узлов, наличие динамических факторов и других параметров. Кроме того, комбинация нескольких алгоритмов или их модификаций может быть использована для достижения более точных и адаптивных результатов.

4.3. Транспортное моделирование

Сегодня транспортная доступность – это один из ключевых факторов, на которые клиент ориентируется при выборе жилья, офиса или промплощадки. Необходимо использовать это как преимущество, ведь практически для любой локации можно найти решения, обеспечивающие максимально комфортные условия.

Для этого требуется разработка транспортной концепции участка для строительства на основе результатов моделирования пешеходных и транспортных потоков. Подобные проектные работы позволяют оптимизировать трафик и найти оптимальный вариант развития улично-дорожной сети [10, 12].

Для крупных объектов требуется выполнение индивидуального анализа транспортного и пешеходного обслуживания как на самом объекте, так и с учётом развития прилегающей территории. Научно обоснованные решения по планировке и организации дорожного движения обеспечат транспортную доступность для объектов.

С развитием геоинформационных систем возникла необходимость моделирования улично-дорожных сетей (УДС). УДС связывает объекты инфраструктуры (здания, строения, сооружения, домовладения, земельные участки, территории населённых пунктов или организаций) и географические объекты одного и того же или разных административно – территориальных образований (административно-территориальных единиц), в том числе расположенных в разных государствах. В населённых пунктах УДС чаще всего возникает в процессе застройки и реконструкции, вне населённых пунктов – при освоении территории и прокладке новых автомобильных и железных дорог. Основной причиной исчезновения УДС является прекращение хозяйственного использования территории, в населённых пунктах, кроме того, объекты УДС ликвидируются или меняют свой облик в ходе реконструкции. С улучшением технологии GPS стало возможным строить модели УДС, основываясь на GPX треке [11, 13].

Определение местоположения подвижного состава (ПС) при реализации активного приоритета должно выполняться с точностью не менее 5 – 10 м. Это может выполняться различными способами, например, при использовании:

- пассивных или активных петлевых детекторов;

- специальных радиочастотных детекторов (RFID), которые могут идентифицировать ПС по сигналу, формируемому бортовым устройством – транспондером;
- дифференциальных систем спутниковой навигации (GPS/ГЛОНАСС) при гарантированной достижимости требуемой точности позиционирования;
- инфракрасных, видеодетекторов и датчиков других типов, используемых в составе светофорного поста [14].

Система с одним детектором позволяет обнаружить ПС только перед перекрестком. Расстояние точки запроса должно составлять 100–300 м от стоп-линии. В случае использования одного детектора для обнаружения ПС существует опасность предоставить приоритет на слишком короткое или слишком длительное время – так, что –либо ПС, для которого предоставляется приоритет, не сможет своевременно подъехать к перекрестку, либо приоритет еще не будет включен в момент подъезда ПС к перекрестку.

Поэтому для уточнения ситуации и прогноза времени прибытия используется второй детектор, устанавливаемый за 100 м до стоп-линии, при этом первый детектор устанавливается за 300–400 м от стоп-линии [5].

Третий детектор, стоящий за перекрестком, предназначен для снятия запроса на приоритет. Своевременное снятие запроса позволяет снизить негативное влияние приоритетного пропуска на транспортный поток, следующий в конкурирующем направлении. В некоторых случаях для снижения длительности приоритетной фазы детектор для снятия запроса размещают после стоп-линии перед перекрестком.

При выполнении основного запроса для более точного прогнозирования времени прибытия маршрутного ПС к перекрестку желательно определить его скорость. Если используются детекторы фиксирующего типа (петлевые, RFID –метки), то устанавливаются два детектора и скорость определяется по разнице времени фиксации прохождения маршрутного транспорта.

Необходимо отметить, что использование для определения местоположения ПС систем спутниковой навигации позволяет обойтись без установки дорожных детекторов. Требуемая точность в этом случае достигается использованием дифференциальных навигационных систем, что существенно удорожает систему в целом.

При использовании для определения положения ПС городского пассажирского транспорта (ГПТ) бортового оборудования могут использоваться локальные или централизованные системы. Общим для них является использование модуля космического позиционирования. Повысить точность получения навигационных данных позволяет использование дифференциальной GPS – Differential GPS (DGPS). Ее принцип основан на использовании двух приемников. Один – ведущий, располагается на опорной станции, координаты которой определены с высокой точностью. Второй приемник располагается на ПС. Так как координаты первого приемника известны, сигналы со спутников могут быть скорректированы для получения правильного значения. Эффективность коррекции будет зависеть от расстояния между ПС и опорной станцией, а также от качества используемого оборудования. В любом случае для передачи данных, в том числе сигнала коррекции потребуются специальные системы связи, например, транкинговые системы. Преимуществом такого подхода является возможность получения данных о положении ПС ГПТ в режиме реального времени, что позволяет более точно прогнозировать момент прибытия ПС ГПТ к пересечению [4,9].

4.4. Анализ программных продуктов транспортных сетей

Существует множество программных продуктов, где можно редактировать, добавлять, менять транспортную развязку. Для анализа было выбрано самые популярные программные продукты для транспортных сетей.

Одним из самых популярных является система Actor Pilgrim. Actor Pilgrim – это система имитационного моделирования временной, пространственной и финансовой динамики экономических процессов. Система позволяет работать с многослойными имитационными моделями. В

графе модели узлы – это процессы. Динамическая единица – актер, выполняет функции, аналогичные транзакту в GPSS, но имеет дополнительные возможности, поскольку актер – это программа, а не структура данных. Поддерживаемые виды (технологии) моделирования: дискретное и дискретно –непрерывное, механизм виртуального таймера дискретно –событийный, одновременная реализация временной, пространственной и финансовой динамики [19].

Среда моделирования AweSim – это универсальная система имитационного моделирования для сети с дискретной или непрерывной интерпретацией. Возможные области применения: бизнес, промышленность, здравоохранение, военное дело. Будучи совместимым с языком имитационного моделирования Visual SLAM, продукт включает построение интерактивной модели, одновременную и последующую анимацию, статистическую информацию в текстовом и графическом видах, интерактивное представление и выбор сценариев. Сетевые модели строятся графически и могут быть иерархическими. Они могут быть расширены по заданным пользователем правилам, написанным на языке C или Visual Basic. Одновременно могут отображаться несколько анимированных изображений. Сценарии сравниваются статистически, после чего из них выбирают набор альтернатив с лучшими показателями [18].

Среда моделирования Enterprise Dynamics – это ведущая программная платформа для бизнес-моделирования. С Enterprise Dynamics можно анализировать и оптимизировать текущее и будущее поведение системы или инфраструктуры. Каждая отрасль или индустрия имеют дело с уникальными материалами, оборудованием и другими ресурсами. В сотрудничестве со специалистами на этих рынках компания INCONTROL создала определенные объекты с соответствующими функциональными возможностями и объединила их в библиотеку. Следующие продукты доступны: ED Logistics (Логистика), ED Plato, ED Airport (Аэропорт), ED Transport (Транспорт), ED Warehouse (Склад), ED Educational, ShowFlow. ED Airport – интегрированный

программный инструмент имитационного моделирования в целом для аэропортов. Программное обеспечение ED Airport создано на фактических и реальных данных. С ED Airport можно анализировать и проверять долгосрочные события, обнаруживать узкие места, оценивать возможности и распределение персонала, прогнозировать развитие событий [20].

4.5. Технология построения графа УДС

В настоящее время широкое распространение получили геоинформационные системы (ГИС). На большинстве карт города обязательно присутствуют элементы улично-дорожной сети (УДС): дороги, перекрестки дорог, железнодорожные переезды, пешеходные переходы, путепроводы и т.д. Рассмотрим граф УДС – основу модели УДС. Оттого, насколько правильно будет построен граф, будет зависеть точность решения таких задач, как построение маршрутов транспортных средств, моделирование дорожного движения, дислокации технических средств организации дорожного движения и т.п. Если карта достаточно подробная и содержит информацию о большом городе, то построение графа УДС вручную может занять продолжительное время. Поэтому вполне резонно разработать автоматизированную систему, которая бы выполняла данную работу.

Решение данной задачи осуществлено в рамках геоинформационной системы ITSGIS, предназначенной для сбора, хранения, обработки, отображения и распространения данных об объектах и процессах транспортной инфраструктуры. Новый функционал добавлен в нее в качестве дополнительного модуля.

Для того чтобы правильно построить граф УДС, важно понимать, что представляет собой модель УДС. Модель УДС – это совокупность объектов трёх типов: участки, узлы и дуги. УДС любого города может быть описана с помощью конкретной топологии (размеров, формы и взаимного расположения) объектов этих типов и значений их семантических атрибутов [6].

Проезжие части УДС представлены в модели в виде объектов типа «Участок». «Участок» – физический участок УДС (многоугольник на плоскости), описываемый единым набором физических параметров. С объектом типа «Участок» связаны два или более объекта типа «Узел».

«Узел» – место возможного разделения потоков транспортных средств. Узел является вершиной графа, описывающего движение транспортного потока. Два узла соединяют объекты типа «Дуга».

«Дуга» – это дуга ориентированного графа, задающая направление движения транспортного потока на участке и содержащая соответствующие характеристики (длина дуги, интенсивность движения в данном направлении и т.д.). На одном участке может проходить несколько дуг (потоков), при этом дуга может находиться только внутри единственного участка.

Все данные, привязанные к карте, хранятся в виде слоев. Слой – это набор однотипных данных. Глобально процесс построения графа сводится к анализу исходной карты и созданию трех слоев: дуг, узлов и полигонов.

В автоматизированной системе процесс анализа исходных данных начинается с выделения прямых участков дорог и перекрестков. Эта задача решается методом поиска точек пересечения осевых линий. Осевая линия представляет собой ломаную линию, расположенную внутри полигона дороги и не выходящую за его пределы. При помощи алгоритма трассировки лучей из центра перекрестка производится поиск границ перекрестка и определение его конфигурации. Затем выполняется анализ слоя карты дорог на выделение из дороги участков –перегонов. На основе слоя полученных участков создаются слои узлов и дуг, образующих граф УДС [7].

Для областей карты, которые не поддаются автоматическому анализу, реализован ручной способ редактирования графа УДС. Пользователь получает соответствующие инструменты работы со слоями дуг, узлов и участков.

4.6. Проектирование диаграммы вариантов использования и диаграмма классов средствами UML

На сегодняшний день процесс создания любого приложения невозможно представить без предварительного анализа предметной области, проектирования, кодирования, тестирования и сопровождения. Остановимся более детально на этапе проектирования.

Проектирования не является обходимым для простого приложения. Однако для более сложных систем это является неотъемлемым этапом разработки.

В ходе проектирования создаются проектные документации, различные диаграммы, модели будущей разработки. Для этого проектировщики прибегают к использованию графического языка для визуализации, конструирования и документирования систем различного рода – UML. Хотя UML и не является языком программирования, однако на основании его моделей возможна генерация кода. Одним из основных преимуществ UML является то, что он позволяет описать разные аспекты поведения системы со всех возможных точек зрения. Кроме того, UML-диаграммы не являются сложными для восприятия и UML требуют минимального времени для ознакомления с синтаксисом языка.

Обычно UML-диаграммы создаются с помощью специальных CASE средств, одним из которых является Rational Rose (рисунок 1).

Подобного рода CASE средства позволяют не только строить различные UML-диаграммы, но и генерировать код на различных объектно-ориентированных языках (например, Java) и обладают функцией реверсивного инжиниринга, то есть создание графических моделей из уже существующего программного кода и комментариев к нему.

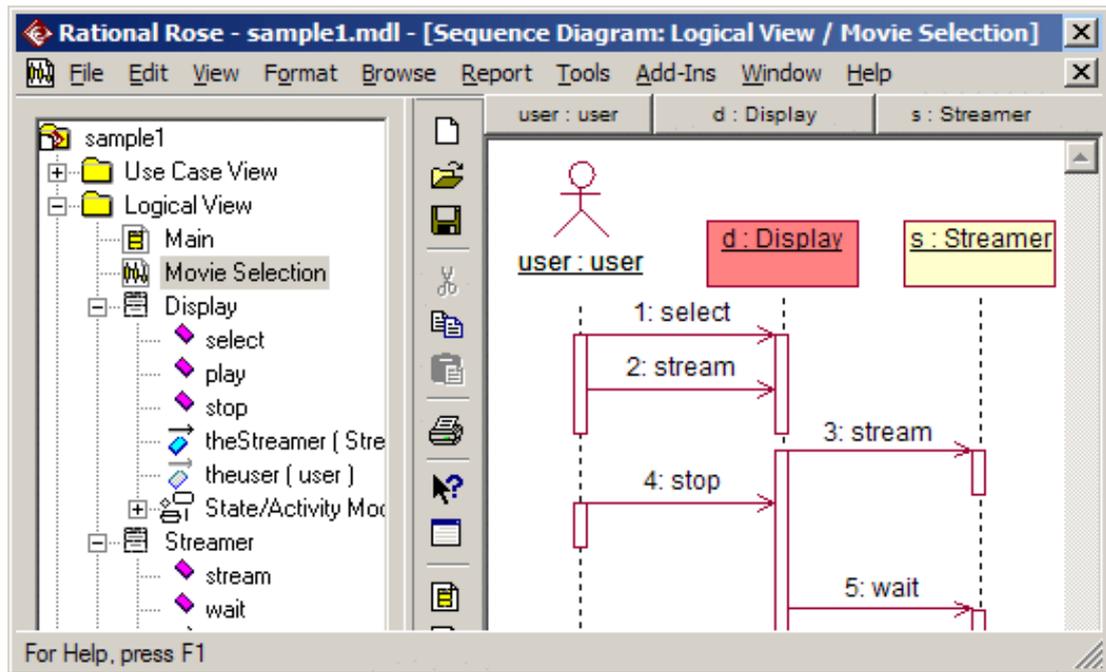


Рисунок 1. Графический интерфейс средства моделирования Rational Rose.

Благодаря проектированию системы разработчики приложения могут четко понять задачи, поставленные перед ними, а также представить конечный продукт. Хорошо спроектированная система позволяет структурировать идеи, предотвратить появление ошибок уже на ранних этапах разработки, что в свою очередь позволяет ускорить процесс создания мобильного приложения и, кроме того, уменьшить финансовые затраты.

Одним из важнейших этапов проектирования любой системы – является построение диаграммы вариантов использования. Диаграмма вариантов использования (Use case diagram, диаграмма прецедентов) – диаграмма, на которой отражены отношения, существующие между актёрами (actors) и вариантами использования системы (ВИС) [2]. Диаграмма прецедентов предоставляет возможность заказчику, конечному пользователю и разработчику совместно обсуждать поведение системы и функциональность. **Прецеденты** – это технология определения функциональных требований к системе. Работа прецедентов заключается в описании типичных взаимодействий между пользователями системы и самой системой и

предоставлении описания процесса ее функционирования. **Сценарий** (scenario) – это последовательность шагов, описывающих взаимодействие пользователя и системы.

Для наиболее наглядного представления возможностей разрабатываемой информационной системы на рисунке 2 представлена диаграмма вариантов использования.

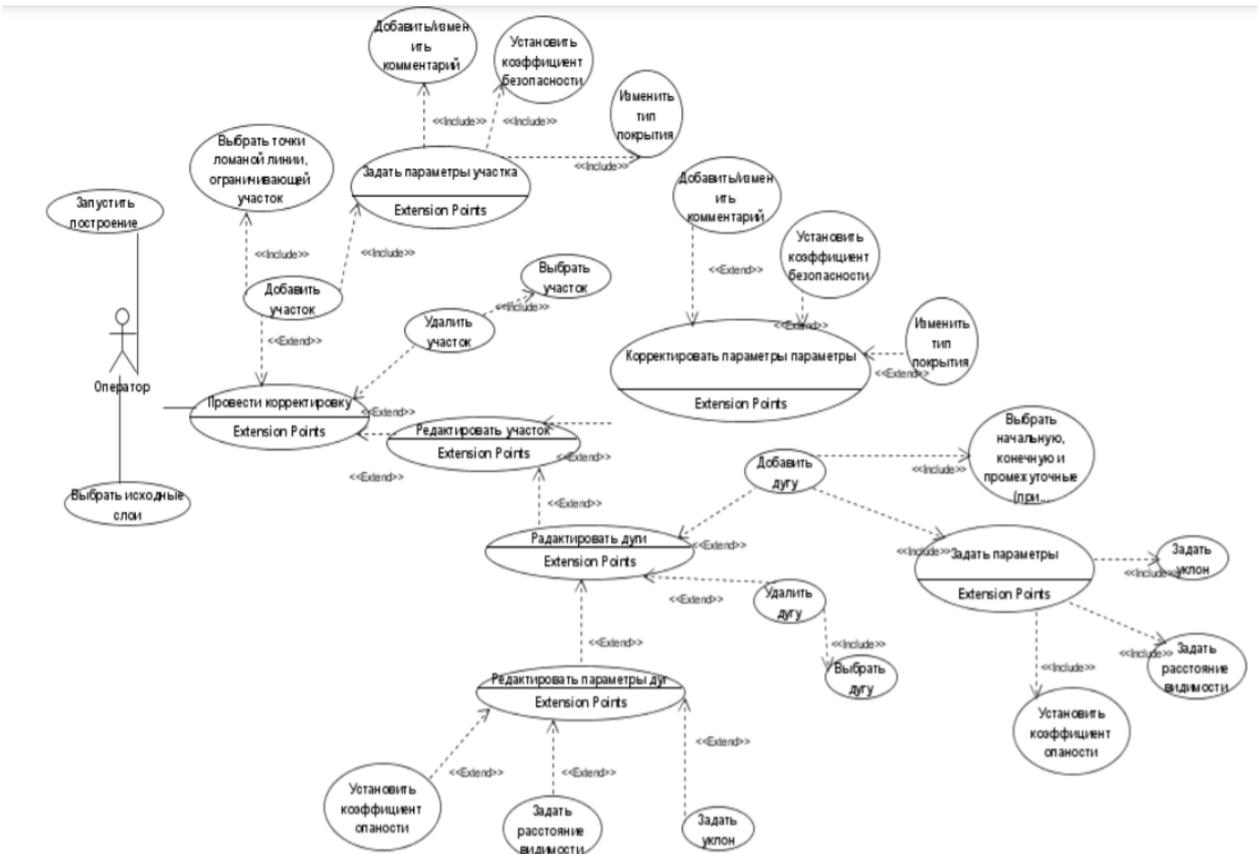


Рисунок 2 Диаграмма вариантов использования

Основные действия, которые может совершить пользователь – это выбор исходных слоев карты, запуск построения и редактирование полученной модели (провести корректировку). Последнее включает в себя добавление или удаление дуги или участка и редактирование их параметров.

Одним из важнейших этапов проектирования любой системы – является построение диаграммы классов. Диаграмма классов [3] – диаграмма,

представляющая классы, их поля, методы и взаимосвязи между ними, входит в UML.

Классы на диаграмме представляются в виде прямоугольника, состоящего из трех областей. Обязательным элементом обозначения класса на диаграмме является его имя, которое должно быть уникальным в пределах пакета. В верхней области содержится название класса, в средней описываются атрибуты (свойства), а в нижней – названия методов, предоставляемых объектами этого класса. В свою очередь, атрибуты класса определяют состав и структуру данных, хранимых в объектах. Каждый атрибут характеризуется именем и типом, определяющим какие данные он представляет. Кроме того, для каждого атрибута можно задавать видимость. В UML существуют следующие уровни видимости:

- `public` (открытый) – атрибут виден в пределах любого другого класса;
- `protected` (защищенный) – атрибут виден только для потомков данного класса;
- `private` (закрытый) – атрибут не доступен внешним классам и может использоваться только объектом его содержащим.

В UML диаграмме для задания видимости членов класса используются следующие обозначения перед именем атрибута либо метода:

- «+» – `public` (публичный);
- «-» – `private` (приватный);
- «#» – `protected` (защищенный);
- «/» – производный;
- «~» – отображение модификатора доступа пакета (`package`).

Кроме того, существует несколько видов связей между классами:

- ассоциация – представляет собой отношение между экземплярами классов;
- агрегация – это ассоциация типа «целое–часть». В UML представляется в виде прямой с ромбом на конце;

- наследование – отношение типа «общее–частное». Такая связь используется между классами в случае, если один из них обладает поведением или структурой других классов.

Для модели транспортной сети была построена следующая диаграмма классов (рис.3).

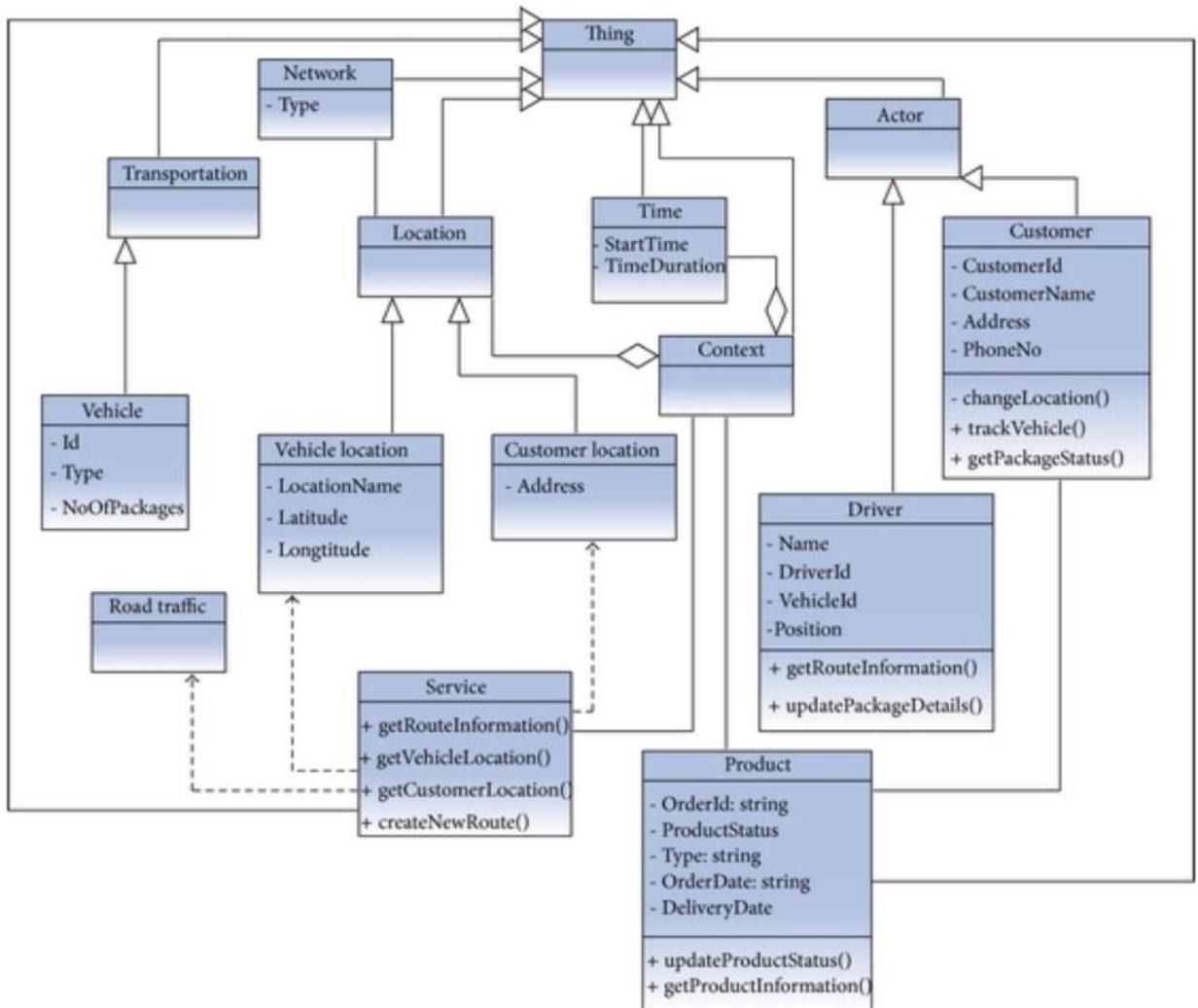


Рисунок 3. Диаграмма классов

Таким образом, представленная диаграмма классов состоит из 15 классов, демонстрирующих основные атрибуты, методы, в свою очередь классы являются взаимосвязанными между собой.

4.7. Построение модели УДС (г. Симферополь)

Транспортная инфраструктура – одна из важнейших систем, обеспечивающих жизнь городов и регионов. В последние десятилетия во многих крупных городах исчерпаны или близки к исчерпанию возможности экстенсивного развития транспортных сетей. Поэтому особую важность приобретает оптимальное планирование сетей, улучшение организации движения, оптимизация системы маршрутов общественного транспорта. Эта проблема на данный момент актуальна как для крупных городов, так и для небольших (около 100 000 жителей).

Поскольку бюджетные средства для районных центров выделяются небольшие, то приходится выбирать менее затратные способы решения проблемы. В условиях современного развития технологий и науки оптимальным путем решения проблем в сфере транспортного планирования является математическое моделирование.

Первоочередной задачей моделирования является решение четырехкомпонентной задачи загрузки транспортной сети [15]. Подобное исследование было проведено для города Симферополь [16]. Используя изученные методики решения данной задачи, подготовим исходные данные: модель улично-дорожной сети (УДС) г. Симферополь.

Модель УДС будет представлена в виде упрощенного графа транспортной сети г. Симферополь, состоящего из улиц и дорог местного значения. Граф УДС должен быть как можно более полным и включать в себя все основные улицы города, а также улицы районного значения. Это необходимо для более точного расчета передвижения потока и его маневренности.

Для моделирования используем следующие допущения: не берем в расчет и соответственно не рисуем тупики, проселочные дороги и второстепенные улицы. При моделировании будут учитываться не только потоки движения транспорта по городу, но и потоки транзитного характера. Узлы, групповые связи представляют собой перекрестки УДС, при этом стоит

отметить, что не все узлы являются перекрестками, характер улиц криволинейный, поэтому необходимо добавлять узлы для отображения поворотов и т.п. Улицы рассматриваются в виде набора перегонов, дуг графа, соединенных между собой узлами. Граф УДС проектируется в масштабе 2:1 по данным сервиса “Яндекс.карта” (рис. 4).

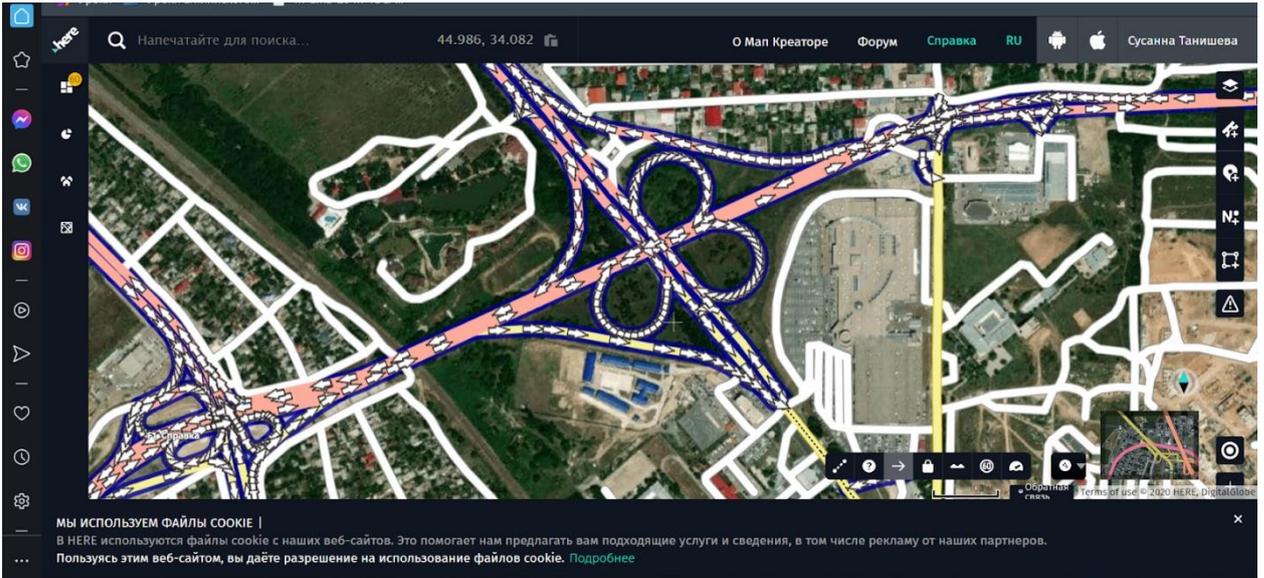


Рисунок 4 Граф УДС с наложением на карту (район Мирное)

Для точного построения графа УДС с помощью экспертной оценки Яндекс.карты, назначены длины улиц. Для определения характеристик дуг, перегонов и узлов (перекрестков), было проведено натурное исследование, в ходе которого были получены следующие данные: число полос, свободная скорость транспортных средств, наличие светофорных объектов на перекрестках и фазы работы, организацию дорожного движения, разрешенные направления движения.

Инструментом для создания модели УДС является программно-аналитический комплекс (ПАК) Transnet, апробированный в исследованиях транспортных потоков. Полученные в ходе обследования данные заносятся в ПАК в виде параметров дуг и узлов (рис.2). Ценовая функция, временные затраты преодоления участков УДС, определяются программно [17].

Созданная модель УДС полностью соответствует по характеристикам с существующей сетью улиц и дорог, что позволит произвести расчеты транспортных потоков с погрешностью в 20 %.

Для отображения карты на главном экране приложения использовалась карта HERE. HERE – является международной технологической компанией, которая занимается разработкой картографического контента и предоставляет данные о местоположении [1]. HERE предоставляет такие возможности как поиск по карте, построение маршрутов, 3D карты, отражение пробок в реальном времени, спутниковые карты и многое другое.

Предполагается создание 3 фиктивных центров притяжения, позволяющих описать перемещение транзитных транспортных потоков через модель УДС, и деление города на шесть условных транспортных районов, определенных типом застройки и функциональным назначением территорий.

```
import networkx as nx

import matplotlib.pyplot as plt

# Создание графа

G = nx.Graph()

# Добавление узлов

nodes = [1, 2, 3, 4, 5]

G.add_nodes_from(nodes)

# Добавление рёбер

edges = [(1, 2), (2, 3), (3, 4), (4, 5), (5, 1)]

G.add_edges_from(edges)
```

```

# Визуализация графа

pos = nx.circular_layout(G) # Позиции узлов

nx.draw(G, pos, with_labels=True, node_size=700, node_color='skyblue',
font_size=10, font_color='black', font_weight='bold')

plt.title("Пример улично-дорожного графа")

plt.show()

```

Этот код создает простой граф с пятью узлами и рёбрами между ними для УДС г.Симферополя.

4.8. Интеграция с базой геоданных

Интеграция с базой геоданных является ключевым компонентом программного комплекса для оптимизации транспортной сети с использованием GIS-технологий. Эта интеграция обеспечивает доступ к пространственным данным, необходимым для эффективного анализа, оптимизации маршрутов и визуализации транспортной сети. Вот основные аспекты интеграции с базой геоданных:

Выбор и настройка Базы Геоданных:

Определение подходящей базы данных для хранения географической информации. Часто используемые системы включают в себя PostgreSQL с расширением PostGIS, MongoDB, или другие географические СУБД (Системы Управления Базами Данных).

Импорт Геоданных:

Реализация механизмов для импорта географических данных в базу данных. Это может включать в себя карты дорог, географические координаты остановок, параметры дорожной сети, и другие пространственные аспекты.

Синхронизация в режиме реального времени:

В случае, если данные о транспортной сети динамичны (например, информация о текущей дорожной обстановке, пробках и т.д.), обеспечение

синхронизации базы геоданных с актуальной информацией в режиме реального времени.

Оптимизация Запросов к Базе Геоданных:

Разработка эффективных запросов для извлечения информации о географических объектах, маршрутах, остановках и других параметрах, необходимых для оптимизации транспортной сети.

Интеграция с ГИС-инструментами:

Обеспечение взаимодействия с геоинформационными системами (ГИС) для улучшения анализа и визуализации данных. Включение функциональности, такой как отображение карт, создание пространственных запросов и анализ пространственных данных.

Геокодирование и Обратное Геокодирование:

Реализация механизмов геокодирования для преобразования адресов или названий мест в географические координаты и обратного геокодирования для преобразования координат в читаемый адрес.

Масштабируемость и Производительность:

Оптимизация архитектуры базы геоданных для обеспечения масштабируемости и высокой производительности при обработке больших объемов географических данных.

Безопасность Доступа к Геоданным:

Гарантирование безопасности доступа к географическим данным с помощью механизмов аутентификации и авторизации. Особенно важно при работе с конфиденциальными или чувствительными данными.

Интеграция с базой геоданных позволяет программному комплексу эффективно оперировать пространственной информацией, необходимой для анализа транспортной сети и принятия оптимальных решений в реальном времени.

4.9. Пользовательский интерфейс и возможности конфигурации

Пользовательский интерфейс (UI) и возможности конфигурации являются критическими компонентами программного комплекса для

оптимизации транспортной сети с использованием GIS-технологий. Хорошо разработанный пользовательский интерфейс улучшает взаимодействие пользователей с системой, а функционал конфигурации обеспечивает гибкость в использовании и настройке программного комплекса. Вот некоторые ключевые аспекты пользовательского интерфейса и возможностей конфигурации:

Пользовательский интерфейс:

Графическое отображение данных:

Интерактивная карта, предоставляющая географическую информацию о транспортной сети, остановках, текущей дорожной обстановке и других сущностях.

Мониторинг в режиме реального времени:

Предоставление актуальной информации о движении транспортных средств, статусе маршрутов и других параметрах в режиме реального времени.

Интерактивные отчеты и статистика:

Возможность генерации отчетов и статистики об эффективности системы, времени в пути, стоимости, использовании ресурсов и других ключевых показателях.

Системы уведомлений и алертов:

Алерты и уведомления для пользователей о важных событиях, таких как изменения в маршрутах, пробках, или других ситуациях, влияющих на транспортную сеть.

Пользовательский опыт и эргономика:

Обеспечение удобства использования с понятным и интуитивно понятным интерфейсом, поддерживающим современные принципы дизайна пользовательских интерфейсов.

Визуализация аналитики:

Возможность визуализации результатов аналитики, включая оптимизированные маршруты, тепловые карты движения и другие графические отображения.

Мобильное приложение:

Предоставление мобильного приложения для доступа к системе в любое время и в любом месте, что особенно важно для конечных пользователей и водителей.

Возможности конфигурации:

Параметры оптимизации:

Возможность настройки параметров оптимизации маршрутов, включая учет различных критериев, таких как время в пути, затраты на топливо, предпочтения пользователей и другие.

Конфигурируемые отчеты:

Возможность настройки форматов и содержания отчетов в соответствии с требованиями пользователя. Это может включать в себя экспорт данных, генерацию графиков и другие инструменты анализа.

Адаптация к локальным условиям:

Возможность адаптации программного комплекса к конкретным особенностям транспортной инфраструктуры, правилам движения и другим локальным условиям.

Интеграция с внешними системами:

Поддержка конфигурации для взаимодействия с внешними системами, такими как системы управления светофорами, платежные системы и другие.

Ролевая настройка и права доступа:

Установка ролей пользователей и прав доступа для обеспечения безопасности и предотвращения несанкционированного доступа к данным и функциональности.

Гибкость в администрировании:

Возможность настройки параметров системы, ее обновления и администрирования без значительных трудозатрат.

Мультиязычность:

Поддержка мультиязычности для адаптации пользовательского интерфейса к различным языкам и культурам.

Динамическое изменение настроек:

Возможность динамического изменения настроек в реальном времени без перезапуска системы.

Общий подход к пользовательскому интерфейсу и конфигурации должен сосредотачиваться на предоставлении пользователю необходимых инструментов для эффективного использования системы, адаптации к изменяющимся условиям и удовлетворении индивидуальных потребностей пользователей.

Разработка программы для оптимизации транспортной сети с использованием GIS-технологий требует комплексного подхода и использования специализированных библиотек для работы с геоданными и алгоритмами оптимизации. Пример ниже демонстрирует минимальный код на Python с использованием библиотеки networkx для работы с графами и алгоритма Дейкстры для поиска кратчайшего пути.

```
import networkx as nx
import matplotlib.pyplot as plt

def create_transport_network():
    # Здесь вы можете создать граф транспортной сети с узлами и
    ребрами, представляющими дороги, остановки, и т.д.

    G = nx.Graph()

    # Пример добавления узлов и ребер (замените на реальные данные)
    G.add_node("Остановка А", pos=(0, 0))
    G.add_node("Остановка В", pos=(1, 1))
    G.add_edge("Остановка А", "Остановка В", weight=5) # Пример веса
    (замените на реальные данные)

    return G
```

```

def optimize_transport_network(graph, start, end):
    # Алгоритм Дейкстры для поиска кратчайшего пути
    shortest_path = nx.shortest_path(graph, source=start, target=end,
weight='weight')

    return shortest_path

def visualize_network(graph):
    # Визуализация графа (для демонстрации, может потребоваться
установка библиотек)
    pos = nx.get_node_attributes(graph, 'pos')
    nx.draw(graph, pos, with_labels=True, node_size=700, font_size=10,
font_color='white')
    labels = nx.get_edge_attributes(graph, 'weight')
    nx.draw_networkx_edge_labels(graph, pos, edge_labels=labels)
    plt.show()

# Пример использования
if __name__ == "__main__":
    transport_network = create_transport_network()
    visualize_network(transport_network)

    start_location = "Остановка А"
    end_location = "Остановка В"
    shortest_path = optimize_transport_network(transport_network,
start_location, end_location)

    print(f"Кратчайший маршрут от {start_location} до {end_location}:
{shortest_path}")

```

Этот код демонстрирует простой граф транспортной сети с двумя остановками и одним маршрутом между ними. Можно доработать этот код, добавляя реальные данные о дорогах, остановках, весах ребер, а также реализуя более сложные алгоритмы оптимизации маршрутов, такие как A*, генетические алгоритмы и другие.

На следующем этапе были добавлены реальные геоданные и алгоритм оптимизации маршрутов с использованием библиотеки osmnx для работы с данными OpenStreetMap и алгоритма A*.

```
pip install osmnx folium
```

И вот модифицированный код:

```
import osmnx as ox
```

```
import networkx as nx
```

```
import folium
```

```
def create_transport_network(place_name):
```

```
    # Загрузка графа транспортной сети OpenStreetMap для указанного
места
```

```
    graph = ox.graph_from_place(place_name, network_type='all')
```

```
    return graph
```

```
def optimize_transport_network(graph, start, end):
```

```
    # Алгоритм A* для оптимизации маршрута
```

```
    shortest_path = nx.astar_path(graph, source=start, target=end,
heuristic=ox.distance.euclidean_dist_vec)
```

```
    return shortest_path
```

```
def visualize_network(graph, start, end, shortest_path):
```

```
    # Визуализация графа на карте
```

```

route_map = folium.Map(location=[graph.nodes[start]['y'],
graph.nodes[start]['x']], zoom_start=12)

# Добавление узлов графа на карту
for node, data in graph.nodes(data=True):
    folium.CircleMarker(location=[data['y'], data['x']], radius=5,
color='blue').add_to(route_map)

# Добавление ребер графа на карту
for edge in graph.edges():
    edge_coords = [(graph.nodes[edge[0]]['y'], graph.nodes[edge[0]]['x']),
                    (graph.nodes[edge[1]]['y'], graph.nodes[edge[1]]['x'])]
    folium.PolyLine(locations=edge_coords,
color='gray').add_to(route_map)

# Отметка начальной и конечной точек, а также кратчайшего
маршрута
    folium.Marker(location=[graph.nodes[start]['y'], graph.nodes[start]['x']],
popup='Start', icon=folium.Icon(color='green')).add_to(route_map)
    folium.Marker(location=[graph.nodes[end]['y'], graph.nodes[end]['x']],
popup='End', icon=folium.Icon(color='red')).add_to(route_map)
    folium.PolyLine(locations=[(graph.nodes[node]['y'],
graph.nodes[node]['x']) for node in shortest_path], color='blue').add_to(route_map)

route_map.save('route_map.html')
route_map.show()

# Пример использования
if __name__ == "__main__":

```

```
place_name = "Москва, Россия" # Замените на интересующий вас
город или место
```

```
transport_network = create_transport_network(place_name)
```

```
start_location = list(transport_network.nodes())[0]
```

```
end_location = list(transport_network.nodes())[-1]
```

```
shortest_path = optimize_transport_network(transport_network,
start_location, end_location)
```

```
print(f"Кратчайший маршрут от {start_location} до {end_location}:
{shortest_path}")
```

```
visualize_network(transport_network, start_location, end_location,
shortest_path)
```

Этот код загружает граф транспортной сети из данных OpenStreetMap для указанного места, использует алгоритм A* для оптимизации маршрута между начальной и конечной точками, а затем визуализирует граф и кратчайший маршрут на карте.

4.10. План внедрения и тестирования

В данном разделе представляется общий план внедрения и тестирования программного комплекса для оптимизации транспортной сети с использованием GIS-технологий. Этот этап крайне важен для обеспечения эффективности и надежности системы при ее использовании в реальных условиях.

Этапы внедрения:

Подготовительный этап:

Определение конечных целей внедрения и формирование команды, ответственной за реализацию проекта. Проведение анализа текущей транспортной системы и ее инфраструктуры.

Выбор пилотного проекта:

Определение тестового региона или города для проведения пилотного проекта. Выбор места с разнообразными условиями движения и транспортной инфраструктурой.

Интеграция существующих данных:

Импорт и интеграция существующих данных о дорожной сети, транспортных потоках, остановках общественного транспорта и других параметрах в систему.

Разработка пользовательских сценариев:

Определение сценариев использования и кейсов для тестирования, включая различные режимы движения, условия и типы транспорта.

Тестирование в контролируемых условиях:

Проведение тестирования в контролируемых условиях для проверки базовых функций системы. Это включает в себя тестирование алгоритмов оптимизации, взаимодействия с данными и точности прогнозирования.

Развертывание пилотного проекта:

Запуск программного комплекса в рамках пилотного проекта. Внедрение в реальные условия и мониторинг работы системы в реальном времени.

Сбор обратной связи:

Сбор обратной связи от пользователей, водителей, диспетчеров и других заинтересованных сторон. Оценка эффективности системы и выявление возможных улучшений.

Оптимизация и расширение:

Основываясь на обратной связи и результатам пилотного проекта, провести оптимизацию системы и рассмотреть возможности ее расширения на другие районы или города.

Этапы тестирования:**Модульное тестирование:**

Проверка работоспособности отдельных модулей программного комплекса. Включает в себя тестирование функций сбора данных, анализа, оптимизации маршрутов и визуализации.

Интеграционное тестирование:

Проверка взаимодействия между различными компонентами системы. Гарантия, что они корректно обмениваются данными и взаимодействуют друг с другом.

Системное тестирование:

Тестирование всей системы в целом, включая взаимодействие с внешними системами и адаптацию к изменяющимся условиям.

Тестирование производительности:

Оценка производительности системы при различных нагрузках и в условиях высокой интенсивности движения. Обеспечение эффективной работы в реальном времени.

Тестирование безопасности:

Проверка уровня безопасности системы, включая защиту данных, предотвращение несанкционированного доступа и обеспечение целостности информации.

Тестирование устойчивости:

Тестирование устойчивости системы к различным видам сбоев, включая сбой в электроснабжении, сбой в сети связи и другие нештатные ситуации.

Тестирование сценариев крайних условий:

Проверка работы системы в условиях крайних сценариев, таких как погодные катастрофы, массовые мероприятия, строительные работы и т.д.

Ожидаемые результаты:

Успешное внедрение:

Успешное внедрение программного комплекса в рамках пилотного проекта и получение положительной обратной связи от пользователей.

Эффективная оптимизация маршрутов:

Подтверждение эффективности алгоритмов оптимизации маршрутов и улучшение общего состояния транспортной сети.

Повышение надежности и предсказуемости:

Улучшение надежности и предсказуемости движения для пассажиров и операторов транспортной системы.

Способность системы адаптироваться:

Подтверждение способности системы адаптироваться к изменяющимся условиям и эффективно реагировать на динамические изменения в транспортной среде.

Дальнейшее расширение и оптимизация:

Планы для дальнейшего расширения использования программного комплекса на более крупные территории и оптимизации его работы с учетом новых требований и технологических изменений.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В заключение, разработка и внедрение программного комплекса для оптимизации транспортной сети с применением GIS-технологий представляет собой перспективное направление в области управления и планирования транспортных систем. Программный комплекс обладает значительным потенциалом для улучшения эффективности и эффективности транспортных операций, а также для снижения негативного воздействия на окружающую среду.

Использование геоинформационных систем позволяет учесть множество факторов, таких как географические особенности, плотность населения, динамика движения и другие, что способствует точной аналитике и принятию обоснованных решений. Это также способствует оптимизации маршрутов, уменьшению времени в пути, экономии ресурсов и снижению негативного воздействия на окружающую среду.

Программный комплекс открывает новые перспективы для городского и регионального планирования, способствуя созданию более устойчивых и интеллектуальных транспортных систем. Таким образом, программные комплексы с использованием GIS-технологий становятся ключевым инструментом в области транспортной оптимизации, способствуя созданию более умных и экологически устойчивых городов и регионов.

В научно-исследовательской работе была разработана методика для построения модели транспортной сети с использованием спутниковых изображений. Представленная разработка, несомненно, является достаточно актуальной, поскольку решает ряд важных для общества проблем. Транспортные системы обеспечивают необходимые связи внутри городов и между ними. Увеличение протяжённости транспортной сети, повышение качества цифрового отображения автомобильных дорог относится к приоритетной задаче по модернизации и цифровизации транспортной системы Республики Крым.

В работе получены следующие научные результаты:

1. Проведен компаративный анализ методов, средств и инструментов создания цифрового отображения транспортной сети на основе спутниковых данных.

2. Разработана методика построения модели транспортной сети с использованием спутниковых изображений, а также представлено UML-моделирование диаграмм транспортной сети, захватывающих изображения.

Предложен вариант построения модели УДС с использованием комбинации методов распознавания дороги и метода построения дороги с использованием GPX треков. Данный подход к построению модели позволяет компенсировать погрешность распознавания дороги, с использованием минимального количества требуемых треков, что позволяет уменьшить временные затраты, требуемые для их построения. Предложенный алгоритм является автоматическим, что позволяет свести до минимума участие человека в построении модели. Алгоритм эффективен на простых дорожных развязках, мостах, эстакадах и на любых типах УДС, где нет близко лежащих множественных сокрытий участков УДС, однако может давать сбои на участках с очень большим количеством разрывов. Таким образом, на основании проведенного анализа разработанных моделей маршрутов делается вывод о целесообразности дальнейшей разработки и проектирования научно – исследовательской работы.

Теоретическая и практическая значимость исследования состоит в разработке методики формирования структуры транспортной инфраструктуры на основе спутниковых изображений, а также во внедрении разработанных методов, моделей и алгоритмов, программного обеспечения в практику построения модели транспортной сети на основе полученных спутниковых изображений.

При проведении исследований используются методы системного анализа, объектно-ориентированного анализа и проектирования, цифровой обработки изображений, моделирования, информационных технологии.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1. HERE Technologies [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://www.here.com/> (дата обращения 26.09.2021).
2. Диаграмма вариантов использования // Википедия [Электронный ресурс]. – Режим доступа: https://ru.wikipedia.org/wiki/Диаграмма_вариантов_использования (дата обращения: 26.09.2023).
3. Банк социальных идей [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://www.social-idea.ru/ideas/730> (дата обращения 26.09.2021).
4. Dagger –2 on Android: the simple way // Medium. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://proandroiddev.com/dagger-2-on-android-the-simple-way-f706a2c597e9> (дата обращения 01.09.2023).
5. Михеева, Т.И., Головнин, О.К. Структурно –параметрический синтез геоинформационной системы зонального управления транспортными процессами на основе паттернов // Информационные технологии интеллектуальной поддержки принятия решений (ITIDS'2017), 2017. – С. 90 – 95.
6. Мордвинов, В.А. Использование паттернов для проектирования информационных систем // ИТНОУ: Информационные технологии в науке, образовании и управлении, №1 (5), 2018.
7. Елизаров, В.В., Остроглазов, Н.А., Чекина, Е.В., Чугунов, А.И. Математическая модель стандарта ITSGIS по качеству функционала, комплексной дислокации и визуализации геообъектов // Известия Самарского научного центра Российской академии наук, № 20(6 –2), 2018.
8. Михеев, С.В., Чекина, Е.В., Михеева, Т.И. Цифровая визуализация сетцентрического геопространственного зонирования и управления транспортной инфраструктурой // Перспективные информационные технологии (ПИТ 2020), 2020. – С. 262 –267.
9. Recognition of urban transport infrastructure objects via hyperspectral images / A.A. Fedoseev, O. Saprykin, T. Mikheeva // VENITS 2016 : Proceedings

of the International conference on vehicle technology and intelligent transport systems. – Italy : SCITEPRESS, 2016.– P. 203–208.

10. Гринблат, А.А., Михеева, Т.И., Чекина, Е.В. Автоматизированная информационная система паспортизации транспортной сети // Международная молодёжная научная конференция "XV Королёвские чтения", посвящённая 100 –летию со дня рождения Д.И. Козлова, 2019. – С. 487 –488.

11. Kondrateva, E., Sidorov, A., Saprykin, O. An isochrones based public transport stops optimization technique // 5th IEEE International Conference on Models and Technologies for Intelligent Transportation Systems (MT –ITS), IEEE. 2017. – P. 182 –187.

12. Finogeev, A., Finogeev, A., Shevchenko, S. Monitoring of road transport infrastructure for the intelligent environment «smart road» // Conference on Creativity in Intelligent Technologies and Data Science, Springer, Cham.2017. – P. 655 –668.

13. Chen, X., Qi, L., Yang, Y., Luo, Q., Postolache, O., Tang, J., Wu, H. Video –based detection infrastructure enhancement for automated ship recognition and behavior analysis // Journal of Advanced Transportation, 2020.

14. Rinne, M., Bagheri, M., Tolvanen, T. and Hollmén, J. Automatic recognition of public transport trips from mobile device sensor data and transport infrastructure information // International Workshop on Personal Analytics and Privacy. Springer, Cham. 2017. – P. 76 –97.

15. Швецов В.И. Математическое моделирование транспортных потоков [Текст] / В.И. Швецов // Автоматика и телемеханика. – 2003. – №11. – С. 3 –46.

16. Агуреев И. Е. Моделирование загрузки улично-дорожной сети г. Тулы [Текст] / И.Е. Агуреев, В.А. Пышный, В.И. Швецов // Известия ТулГУ. Технические науки. –2013. – Вып. 6. –Ч. 2. – С.127 – 139.

17. Shvetsov V.I. Algorithms for distributing traffic flows [Текст] / V.I. Shvetsov // Automation and remote control. – 2009. – №10. – Т.70. – p. 1728 – 1736.

18. AweSim, среда моделирования [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://simulation.su/static/ru-soft.print> (дата обращения 26.09.2023).

19. Система Actor Pilgrim [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://www.eskovostok.ru/solutions/simulation> (дата обращения 26.09.2023).

20. Enterprise Dynamics [Электронный ресурс]. – Режим доступа: https://en.wikipedia.org/wiki/Enterprise_Dynamics (дата обращения 26.09.2023).