

# Интеллектуальная геоинформационная платформа исследования транспортных процессов

Т.И. Михеева<sup>а</sup>, О.К. Головнин<sup>а</sup>, А.А. Федосеев<sup>б</sup>

<sup>а</sup> Самарский национальный исследовательский университет имени академика С.П. Королева, 443086, Московское шоссе, 34, Самара, Россия

<sup>б</sup> Ракетно-космический центр «Прогресс», 443009, ул. Земеца, 18, Самара, Россия

---

## Аннотация

Описаны назначение и функционал синтезированной интеллектуальной геоинформационной платформы исследования транспортных процессов, рассмотрена структура платформы с описанием ее компонентов и инструментальных средств. Рассмотрено применение интеллектуальной транспортной геоинформационной платформы для решения задач сбора, хранения, обработки и анализа объектов, процессов и явлений урбанизированной транспортной инфраструктуры. Приведены результаты имитационных и натуральных экспериментов.

*Ключевые слова:* интеллектуальная геоинформационная платформа; ITSGIS; транспортный процесс; транспортная инфраструктура; геообъект

---

## 1. Введение

Повышению экономичности, комфортности и безопасности движения способствует применение современных систем исследования транспортных процессов, включающих [1,2]: информационные системы класса Vehicle-to-Infrastructure, автоматизированные системы управления дорожным движением и интеллектуальные транспортные системы. В основу перечисленных систем заложены современные достижения и инновации в области управления транспортными процессами [3,4]: средства информационного обеспечения участников движения, детекторы транспорта и радары, метеоинформационные системы и системы видеонаблюдения, светофоры, в работу которых включены интеллектуальные алгоритмы (нейросетевые [5], генетические [6]), интеллектуальные пешеходные переходы и информационные табло на развилках дорог.

В условиях развития сложноорганизованных интеллектуальных транспортных систем источники информации определяют гетерогенность данных о транспортных процессах, обуславливают разнородность как аппаратных, так и программных платформ, что значительно снижает оперативность и актуальность получаемых данных и процедур принятия решений [7,8]. Это обуславливает системность и актуальность темы исследования по разработке специальных средств исследования транспортных процессов, позволяющих компенсировать гетерогенность информационных пространств.

Достижение высокой эффективности исследования транспортных процессов невозможно без пространственной привязки статических и динамических объектов, наполняющих транспортную инфраструктуру (ТрИ) [9,10]. Хранение и манипулирование геопространственными и атрибутными данными, описывающими объекты, процессы и явления ТрИ, может с высокой степенью эффективности осуществляться в среде геоинформационной системы [11,12], позволяющей построить геоинформационную модель транспортной сети урбанизированной территории, отражающей все изменения ТрИ реального мира [13,14]:

- изменения в инфраструктурной составляющей улично-дорожной сети (УДС): перекрытие полос движения, сужение проезжей части при выполнении дорожных работ, реконструкция, появление новых жилых районов, торгово-развлекательных центров и других точек притяжения;
- изменения в дислокации технических средств организации дорожного движения: реализация временных схем организации движения, модернизация светофорных объектов, установка новых светофоров и дорожных знаков, введение выделенных полос движения для общественного транспорта.

Таким образом, целью данной работы является разработка интеллектуальных алгоритмов и программного обеспечения, формирующих на базе геоинформационной системы интегрирующую платформу, позволяющую в единой операционной среде решать разнородные задачи исследования транспортных процессов:

- мониторинг характеристик транспортных потоков (ТрП), улично-дорожной сети, технических средств управления движением, параметров окружающей среды;
- организацию грузовых и пассажирских перевозок: анализ транспортного спроса, построение маршрутов движения, сокращение затрачиваемых ресурсов, увеличение прибыли;
- оптимальное управление (локальное и глобальное): развитие транспортной сети регионов и мегаполисов, взаимодействие различных видов транспорта, снижение транспортной задержки, необходимая и достаточная дислокация технических средств организации движения;
- обеспечение безопасности: снижение риска возникновения происшествий, аварийности.

## 2. Назначение, возможности и структура платформы исследования транспортных процессов

Функциональные возможности платформы исследования транспортных процессов покрывают весь спектр поставленных задач, возникающих при управлении транспортными процессами [15,16]:

- мониторинг объектов, процессов и явлений ТрИ;
- организация грузовых и пассажирских перевозок;
- оптимальное управление ТрИ и ТрП;
- обеспечение безопасности.

Платформа строится по модульному принципу: каждая задача или ее часть реализуются в виде подсистемы (модуля). Все подсистемы реализуются на базе единой инструментальной среды – ядра системы. Ядро представляет собой универсальную программную инфраструктуру, которая включает в себя набор программных компонентов, модулей и геореляционную базу данных.

Функциональная спецификация ядра:

- формирование, обработка и хранение базы данных;
- многопоточная обработка данных по задаваемым алгоритмам;
- обеспечение взаимодействия с геоинформационной системой;
- обеспечение взаимодействия с подсистемами и между ними, другими системами;
- предоставление возможностей интеграции платформы в различные публичные и сетевые сервисы (интернет-порталы);
- импорт статических данных из других форматов и систем;
- экспорт данных во внешние форматы;
- предоставление информации оператору в графическом виде для принятия решений [17].

Функциональная спецификация подсистемы мониторинга:

- получение информации из оценочных, измерительных, метеоинформационных систем и обработка данных обследований;
- передача оперативной атрибутивной информации в геореляционную базу данных;
- определение параметров фундаментальных диаграмм для участков УДС, характеристик и состава ТрП;
- расчет прогноза развития ситуации [18];
- реагирование на результаты самодиагностики технических средств мониторинга и управления;
- формирование и передача событий в подсистему управления.

Функциональная спецификация подсистемы управления:

- прием и обработка событий, поступающих из подсистемы мониторинга;
- определение сценария управления и информирования;
- преобразование выработанных подсистемой управления управляющих воздействий в формат исполнительных устройств (светофорных контроллеров, знаков переменной информации);
- передача управляющих сигналов на исполнительные устройства.

Функциональная спецификация подсистемы информационного обеспечения участников движения:

- преобразование выработанных подсистемой управления управляющих воздействий в формат средств информационного обеспечения участников движения (веб-сервис, SMS-рассылка);
- обеспечение доступа к публичным элементам визуализации и информационным сервисам платформы через веб-сайт;
- обеспечение функционирования интернет-сервисов платформы на мобильных устройствах.

Территориальная удаленность пользователей платформы, заинтересованность в разных функциональных составляющих, использование собственных хранилищ данных определяют распределенную архитектуру платформы [19, 20], в которой взаимодействие осуществляется посредством локальных вычислительных сетей или сети Интернет при помощи центрального сервера (рис. 1). Доступ заинтересованных лиц (пользователей) к данным ограничен их сферами влияния [21].



Рис. 1. Схема организации взаимодействия пользователей платформы.

В состав платформы входят:

- сервер баз данных с системой управления базами данных (СУБД) с поддержкой геопространственных объектов;
- сервер приложений;
- клиенты.

СУБД обеспечивает безопасное хранение и манипулирование данными, поддержание их целостности, репликацию. Сервер представляет собой хост для размещения сервисов платформы и их бизнес-логики, обеспечивает многопользовательскую работу, авторизацию и разграничение прав доступа клиентов и подсистем, сжатие и шифрование данных, поддержание соединений с клиентами. Клиентские приложения обеспечивают доступ конечных пользователей к сервисам платформы. Подсистемы, обеспечивающие выполнение той или иной задачи, внедряются в базу данных, сервер приложений и клиентские приложения с помощью разработанных методов безопасного подключения / отключения подсистем.

Геореляционная база данных строится на основе паттерна «Виртуальная база данных» и представляет собой интегрированное хранилище атрибутивных и геопространственных данных, содержащая в том числе:

- электронную основу карты урбанизированной территории;
- справочники и реестры;
- геообъекты ТрИ, внедренные подключенными подсистемами.

Виртуальная база данных платформы поддерживает топологические отношения в запросах, обеспечивает выполнение как SQL-запросов, так и LINQ-запросов. Требование взаимодействия со сторонними подсистемами и источниками данных диктуют необходимость применения открытых стандартов в используемой СУБД на хранение, обработку и передачу геопространственной информации. В качестве таких стандартов в системе используются спецификации и стандарты OGC [22].

Для хранения геопространственной и атрибутивной информации применяется система управления базами данных PostgreSQL с геопространственным расширением PostGIS. Расширение определяет особый тип данных пространственных данных – spatial-данные, полный набор функций и индексов для работы с ними. Внедрения дополнительных реляционных таблиц в базу данных обеспечивается версионной подсистемой миграций структуры баз данных: при добавлении таблиц создается транзакция, вносящая изменения в существующую схему данных и обновляющая версию схемы; при изъятии таблиц выполняется обратная транзакция.

Один из функциональных компонентов платформы – геоинформационная система ITSGIS. ITSGIS обеспечивает платформу исследования транспортных процессов инструментами просмотра электронной карты с нанесенными объектами с возможностями подключения / отключения слоев карты, масштабирования, выборки геоданных.

Привязка объектов ТрИ к электронной карте определяется сущностью «Геометрия», мигрировавшей из ядра ITSGIS и представляющей собой OGC-геометрию в формате Well-known Binary. Геометрия оснащена описанием стиля визуализации и имеет привязку к слою электронной карты (например, для объекта «Дорожный знак» таким слоем выступает слой «Опоры»).

Для многих объектов может быть описана адресная привязка геометрии, описывающая такие компонента адреса, как «Страна», «Регион», «Населенный пункт», «Район», «Улица», «Автодорога», «Ориентир». В качестве «Ориентира» выступает номер дома, пикетаж или словесное описание.

Требования безопасности, надежности и интероперабельности сервера приложений платформы приводят к необходимости построения межплатформенной унифицированной транзакционной модели. В разработанной платформе такую модель обеспечивает набор технологий Windows Communication Foundation. Сервер приложений обеспечивает разграничение прав доступа пользователей системы на основе подсистемы георелей: право просмотра/модификации информации определяются как с учетом слоя электронной карты, так и полигональной области на карте. Подключение дополнительных сервисов и их бизнес-логики к серверу приложений осуществляется на этапе конфигурирования сервера с использованием IoC-контейнера. В контейнере регистрируются все дополнительные сервисы, модели, слои доступа к данным, доменные и вспомогательные объекты. При запуске сервера приложений автоматически разрешаются зависимости между объектами, создаются и запускаются дополнительные сервисы.

Клиентские приложения реализованы как «толстый» (приложение Microsoft .NET с интерфейсами WinForms и WPF для исполняющей среды CLR) и «тонкий» (веб-приложение на платформе Yii2 с интерфейсом, реализованным в среде браузера с использованием HTML, CSS и JavaScript) клиенты. Все клиентские приложения обеспечивают подключение дополнительных модулей (подсистем) и гибкое конфигурирование пользовательского интерфейса. Клиент состоит из свободно связанных модулей, динамически обнаруживаемых и составляемых в единое целое во время выполнения. Модули содержат как визуальные, так и невидимые компоненты, представляющие различные вертикальные слои платформы.

### 3. Инструментальные средства платформы исследования транспортных процессов

Исходя из решаемых задач, реализованы для исполняющей среды CLR на языках C# и XAML программные модули платформы исследования транспортных процессов, построенные с использованием паттерна «Встраиваемое расширение».

На решение задач мониторинга направлены модули (подсистемы):

- PluginYamgis – модуль «Мониторинг»;

- PluginIntensity – модуль «Характеристики транспортных потоков».

На решение задач грузовых и пассажирских перевозок направлены модули (подсистемы):

- PluginUds – модуль «Улично-дорожная сеть»;
- PluginRoute – модуль «Маршруты движения».

На решение задач управления направлены модули (подсистемы):

- PluginPassport – модуль «Управление транспортной инфраструктурой»;
- PluginSimulation – модуль «Моделирование».

На решение задач обеспечения безопасности направлены модули (подсистемы):

- PluginDTP – модуль «ДТП»;
- PluginFirecenter – модуль «Очаги аварийности».

Для хранения, обработки и анализа данных об объектах ТРИ разработаны следующие модули (подсистемы):

- PluginInfo – модуль «Организации и предприятия на карте»;
- PluginPetrolstation – модуль «АЗС»;
- PluginRWC – модуль «Железнодорожные переезды»;
- PluginPost – модуль «Знаки и светофоры»;
- PluginRoadmarking – модуль «Дорожная разметка»;
- PluginBarricade – модуль «Ограждения, ИДН»;
- PluginBusStop – модуль «Остановки общественного транспорта»;
- PluginCabenetwork – модуль «Искусственное освещение».

Для получения первичной картографической информации о ТРИ используются геоинформационная система ITSGIS [23] и картографический сервис Open Street Map [24]. Данные о ТРИ в ITSGIS представлены в виде детализованных слоев электронной карты с точными геометрическими параметрами улично-дорожной сети и используются для формирования модели графа УДС. Геообъекты хранятся и обрабатываются в формате и по требованиям, соответствующим спецификациям OGC [22]. Каждому классу объектов, имеющих пространственную привязку, соответствует свой слой электронной карты. Данные Open Street Map хранятся в виде файлов формата OSM с описанием сегментов автодорог [24], которые используются для составления картографической основы в ITSGIS. В состав ITSGIS входит программный модуль ITS.MapConverter, преобразующий данные различных форматов (в т.ч. OSM) в форму, используемую ITSGIS, и наоборот.

Разработано веб-приложение информационного обеспечения участников движения для платформы Yii2 с интерфейсом, реализованным в среде браузера с использованием HTML, CSS и JavaScript. ITSGIS предоставляет доступ к геоданным для веб-приложения в виде XML-документов и тайлов, отображение которых осуществляется модулем OpenLayers 2.

Особенности физической реализации системы описаны диаграммой компонентов, приведенной на рис. 2.

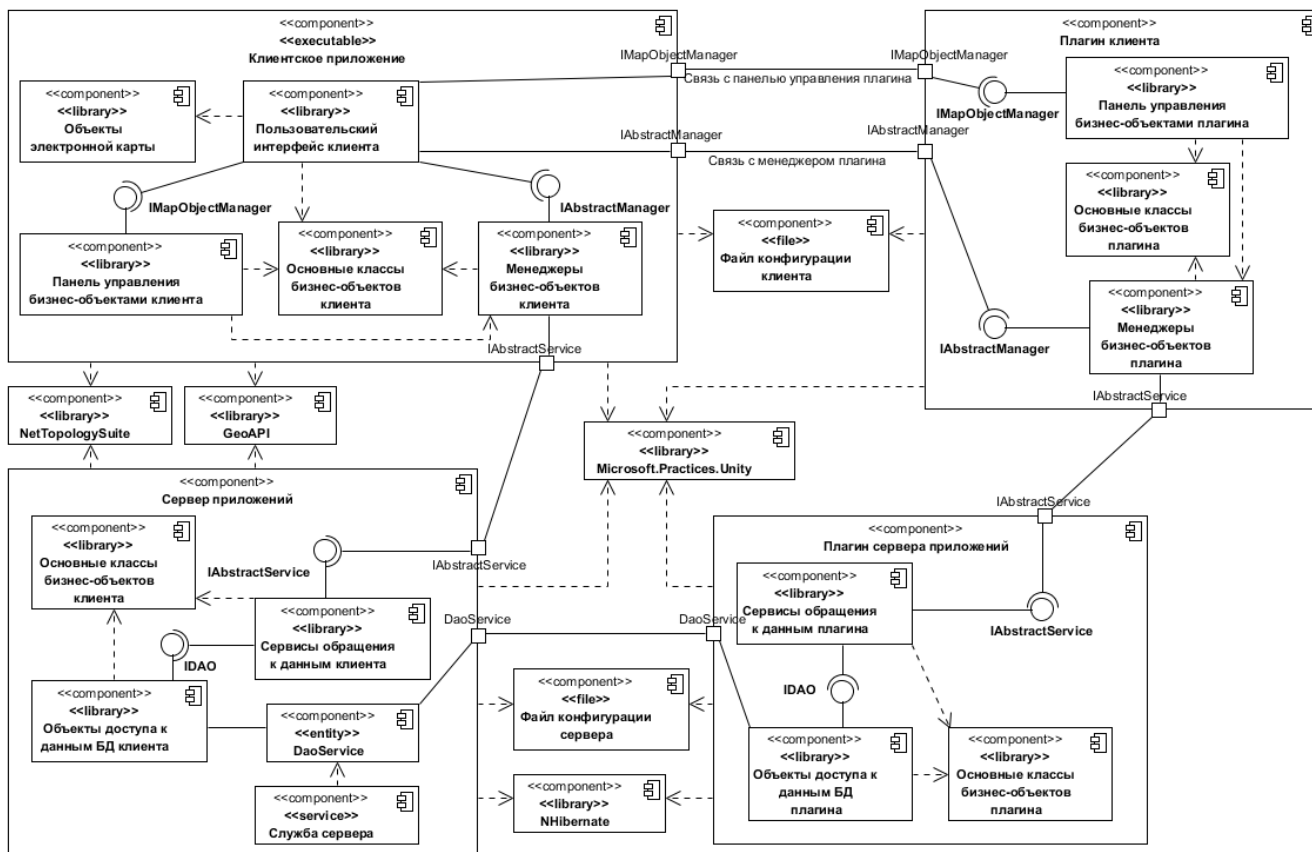


Рис. 2. Диаграмма компонентов платформы.

Для представления топологии разработанной платформы исследования транспортных процессов построена диаграмма развертывания (в общем виде – рис. 3). В основе системы лежит многоуровневая архитектура, в которой выделяются уровни: обработки данных (сервер баз данных), бизнес-логики (сервер приложений на основе технологии WCF) и представление пользователю (клиенты).

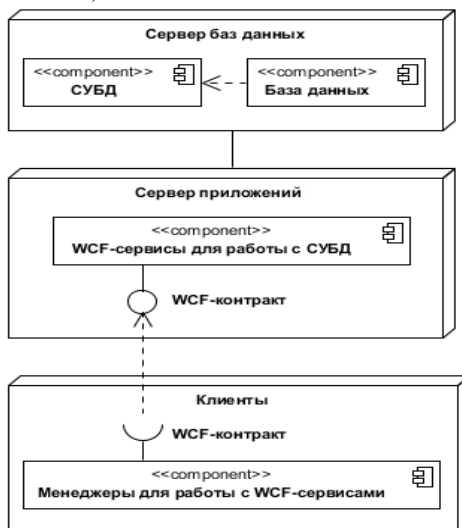


Рис. 3. Диаграмма развертывания в общем виде.

Модифицированный способ развертывания обеспечивает доступ к системе через сайт-геопортал из веб-браузера. В таком случае, в качестве узлов системы выступают:

- «app.itsgis server» – сервер, на котором развернуты сервер приложений и геосервер;
- «web-portal server» – сервер приложений геопортала, на котором развернуты компоненты Apache и MySQL;
- «client» – компьютер конечного пользователя, на котором установлен веб-браузер.

#### 4. Применение платформы для решения задач исследования транспортных процессов

##### 4.1. Платформа для задач управления транспортными процессами

Задача исследования локального управления совместно с точечной зоной (рис. 4) ассоциируется с методом локального управления транспортными потоками на отдельном перекрестке.

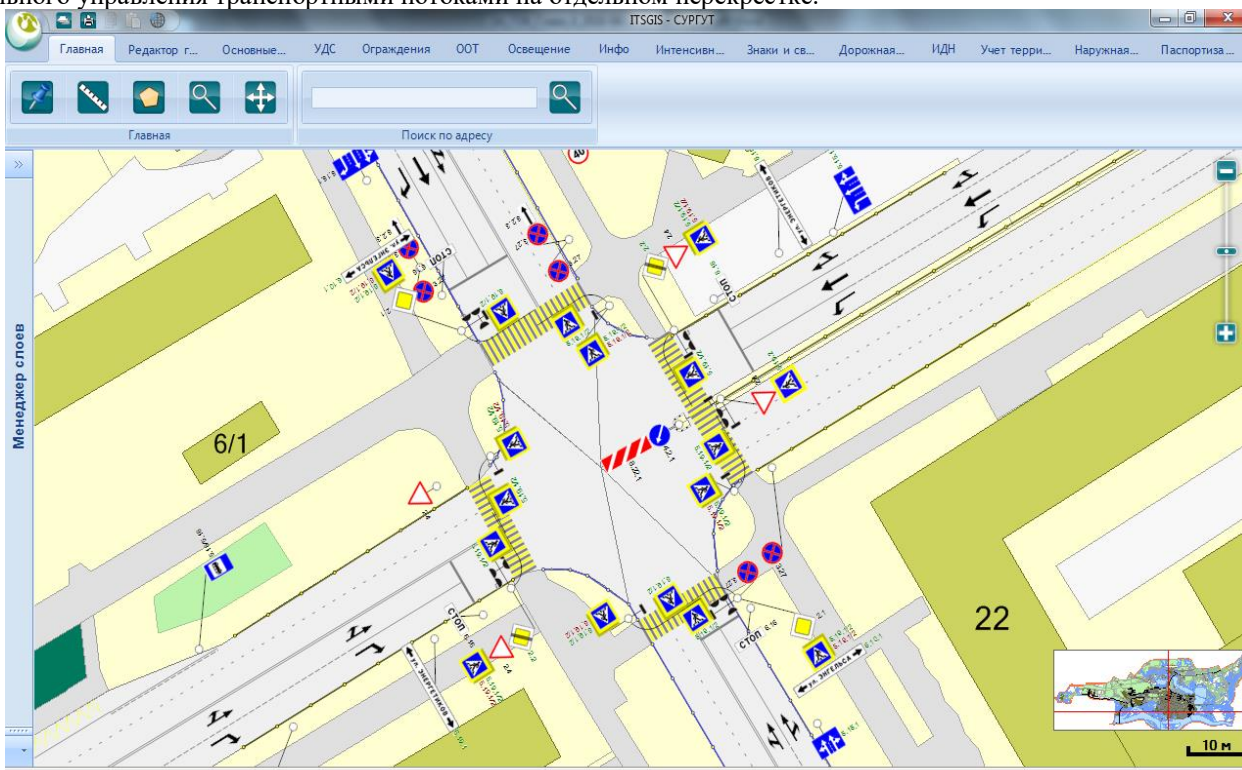


Рис. 4. Функциональная зона локального управления.

Методы координированного управления подразумевают оптимизацию транспортных процессов на магистрали, зона управляющего воздействия будет определена в этом случае линейной декомпозицией.

Системное зональное управление затрагивает несколько классов объектов ТрИ, объединенных решаемой задачей, и, следовательно, пространственное зонирование будет определено полигоном (рис. 5).

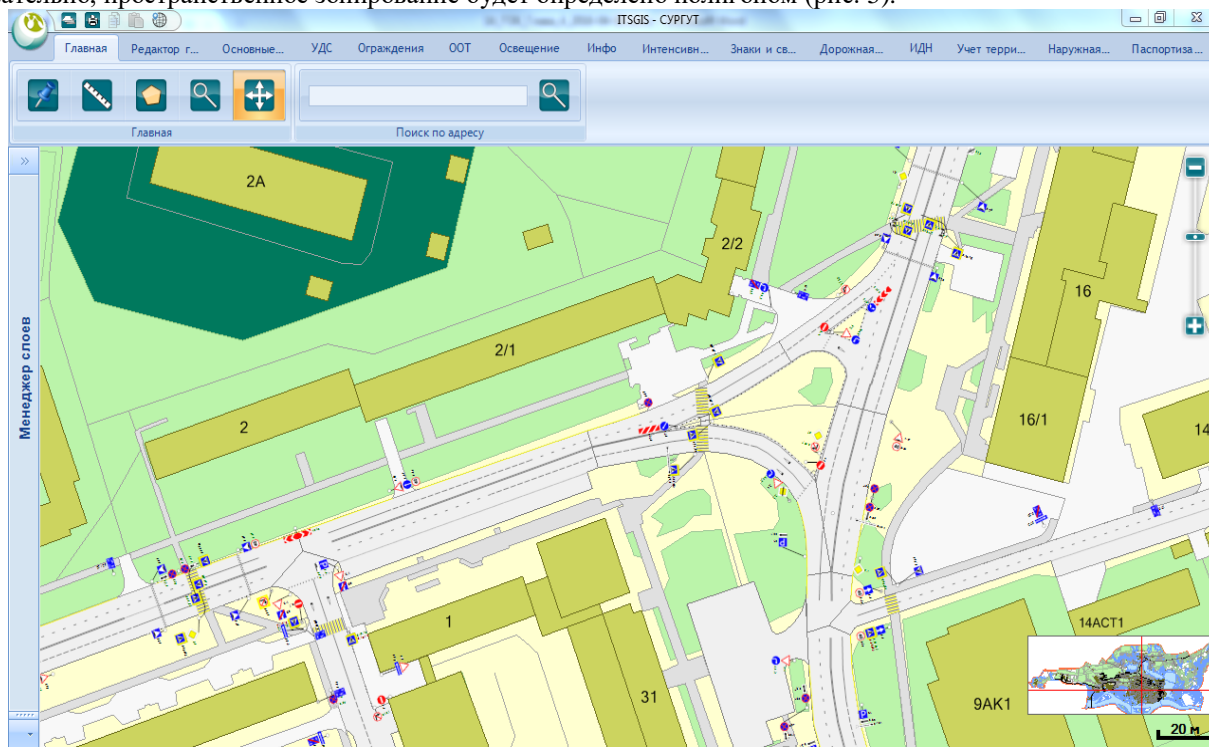


Рис. 5. Функциональная зона системного управления.

Множество участков УДС содержит в себе подмножества перегонов, перекрестков, пешеходных переходов, железнодорожных переездов, путепроводов и тоннелей для решения задач исследования ТрП на данных участках УДС при описании их планарным графом. На рис. 6 представлена многоуровневая транспортная развязка.

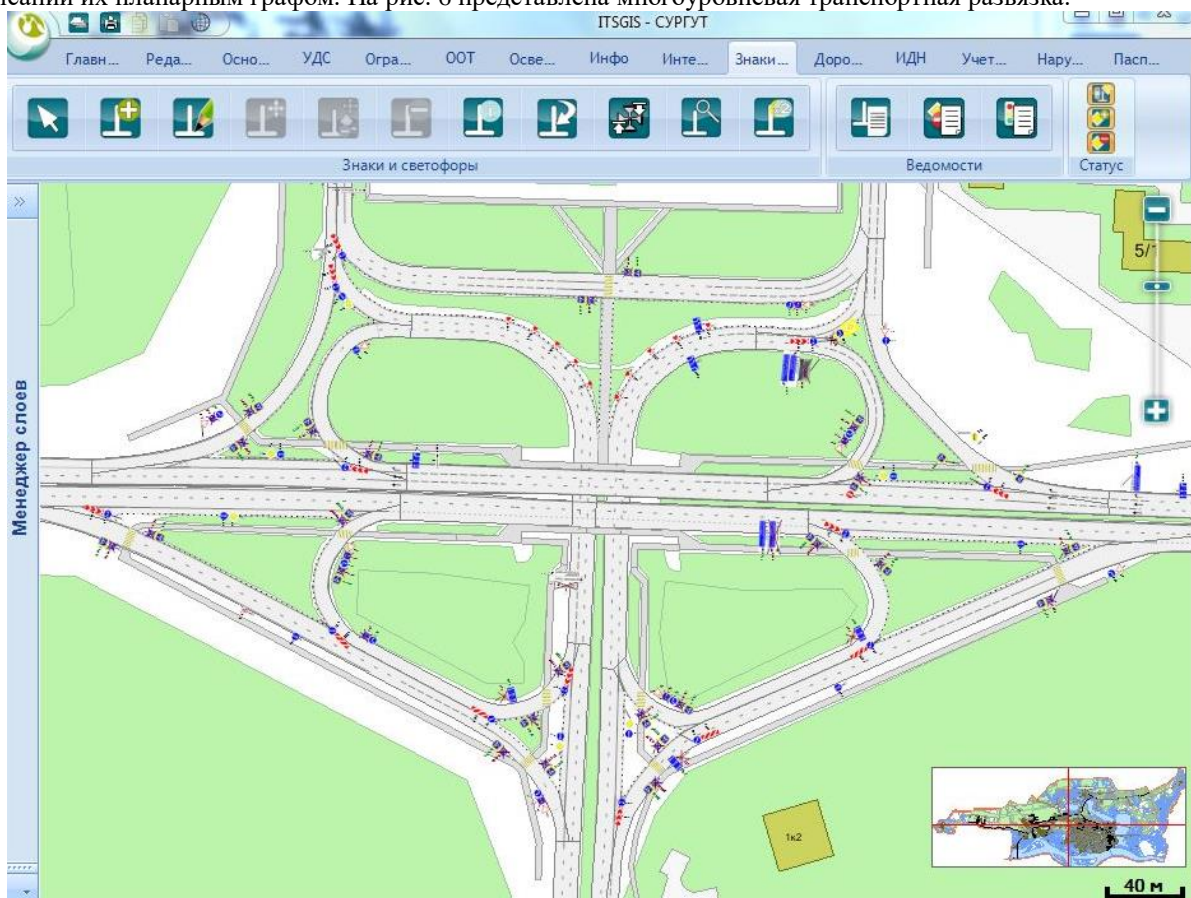


Рис. 6. Представление многоуровневой транспортной развязки.

#### 4.2. Платформа для задач исследования интенсивности транспортных потоков

Слой электронной карты, отображающий интенсивность ТрП, содержит значения среднегодовой суточной интенсивности на перекрестках (рис. 7).

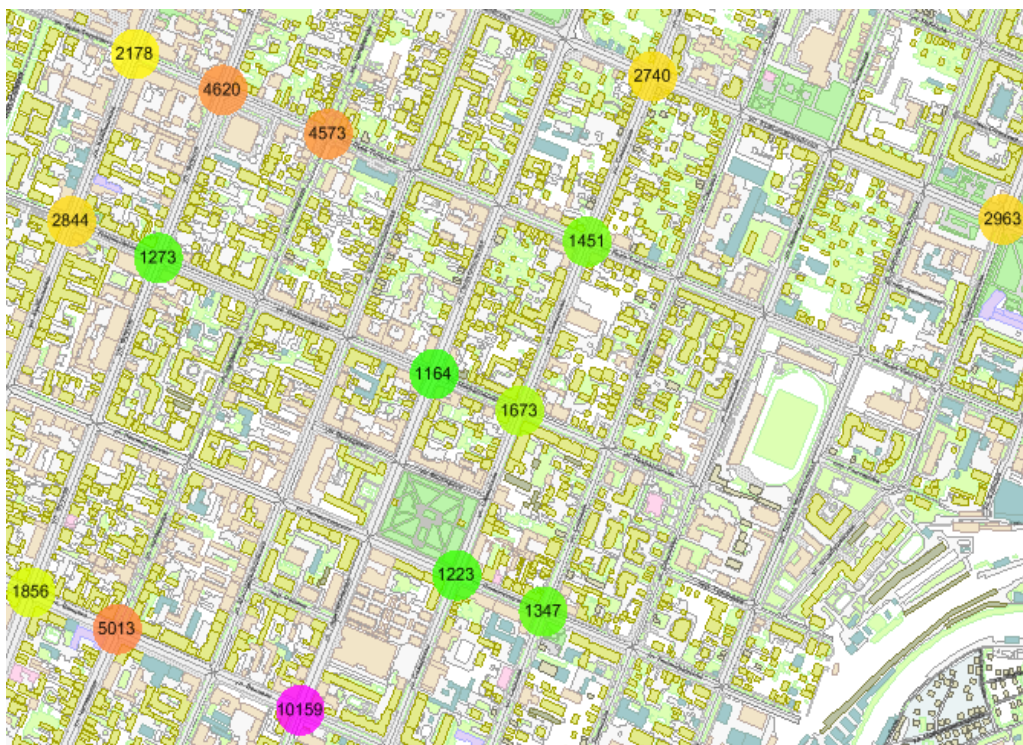


Рис. 7. Суточная среднегодовая интенсивность транспортных потоков.

Граф УДС локального перекрестка характеризуется значением интенсивности ТрП (рис. 8). Цветом указана мощность интенсивности на данной дуге графа УДС. Платформа использует паттерн «Расходящаяся цветовая схема» для визуализации интенсивности ТрП. За центральное значение интенсивности ТрП принимается пропускная способность участка УДС. Значения интенсивности, превышающие центральное значение, отображаются оттенками красного цвета, значения меньше центрального – оттенками зеленого. Использование нестандартной для геоинформационных систем цветовой схемы обусловлено спецификой предметной области и следующими аналогиями: зеленый сигнал светофора разрешает движение – низкая интенсивность позволит свободно проехать участок УДС, красный сигнал светофора запрещает движение – высокое значение интенсивности не позволит проехать данный участок без вынужденных остановок.

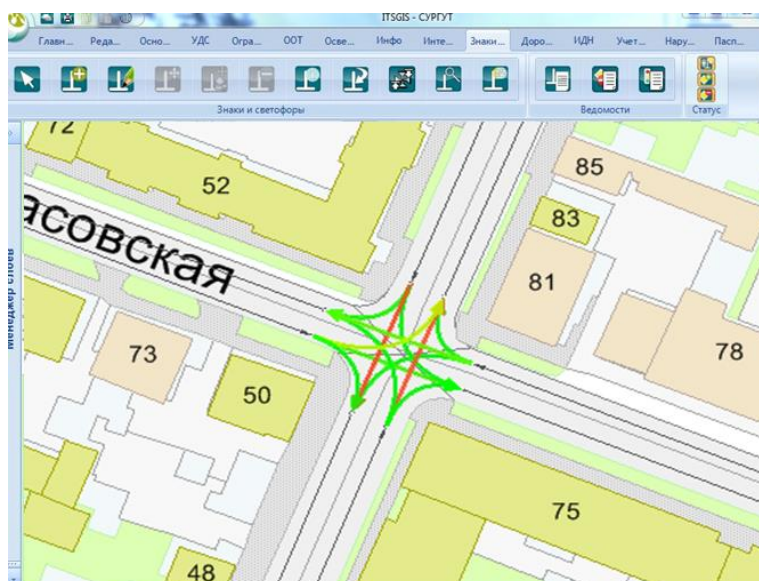


Рис. 8. Интенсивность транспортных потоков на локальном перекрестке.

#### 4.3. Эффективность платформы

Предполагаемые результаты от внедрения системы управления транспортными процессами для городов Сургут, Трехгорный, Октябрьск и сельского поселения Кинель-Черкассы представлены на рис. 9 и рис. 10.

Количество очагов аварийности (рис. 9) рассчитано с помощью разработанных подсистем PluginDTP и PluginFirecenter.

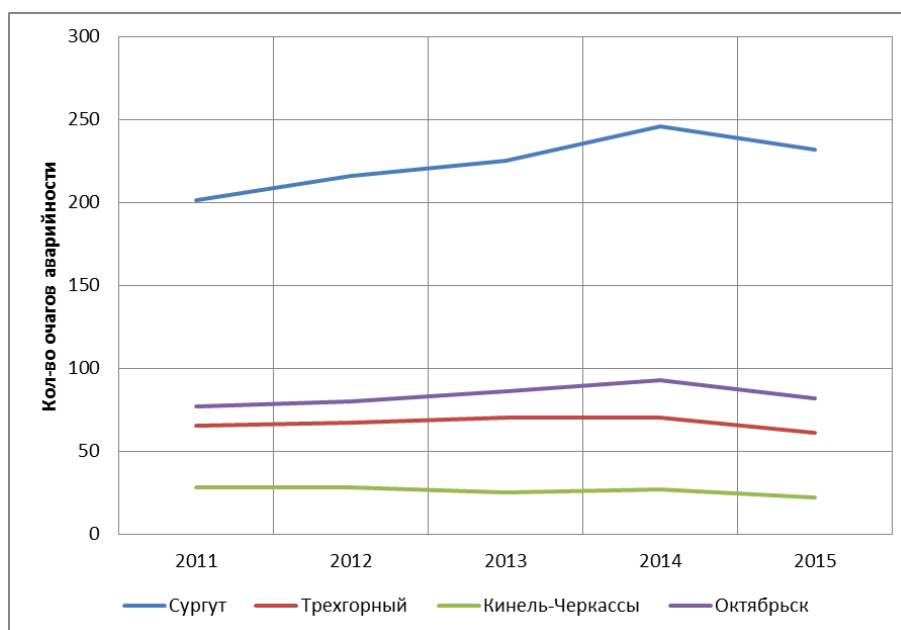


Рис. 9. Количество очагов аварийности по годам.

Эффект от уменьшения транспортной задержки получим за счет сокращения времени движения транспортных средств (ТрС) по участкам УДС. Данные получены в результате моделирования транспортной ситуации в разработанной подсистеме мезомоделирования в среде ITSGIS (рис. 10).

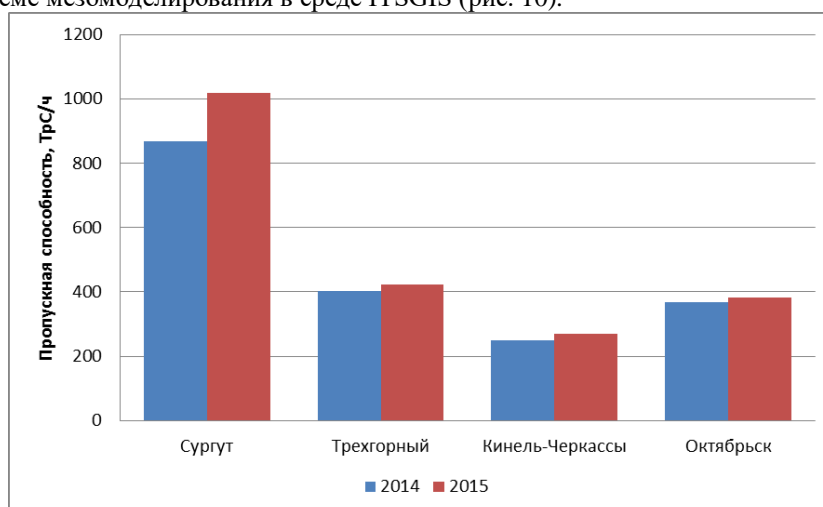


Рис. 10. Средняя пропускная способность участка УДС.

#### 4.4. Результаты

Основной результат исследования – внедрение разработанных алгоритмов, инструментальных средств и программного обеспечения в практику управления транспортными процессами на урбанизированной территории. Теоретические и практические результаты работы, связанные с созданием интеллектуальной геоинформационной платформы исследования транспортных процессов, применялись при выполнении следующих работ в научно-производственном центре «Интеллектуальные транспортные системы» в 2011–2016 гг.: «Создание муниципальной геоинформационной системы Администрации г.о. Самара в части создания прикладной ГИС Департамента благоустройства и экологии», «Разработка дислокации дорожного движения г.о. Октябрьск», «Подготовка исходных данных для создания электронной транспортной модели г.о. Самара», «Подготовка исходных данных для калибровки транспортной модели г.о. Самара», «Корректировка проекта организации дорожного движения на автомобильных дорогах города Сургута», «Разработка проекта организации дорожного движения города Трехгорного Челябинской области», «Разработка комплексной схемы организации дорожного движения в сельском поселении Кинель-Черкассы».



Достоверность результатов работы подтверждается корректным использованием теоретических и экспериментальных методов, базированием на фундаментальных трудах отечественных и зарубежных ученых, апробацией результатов исследований на практике, внедрением в работу научно-производственного центра «Интеллектуальные транспортные системы», в учебный процесс Самарского университета.

## 5. Заключение

Разработаны алгоритмы и программное обеспечение, построенные на основе интеллектуальных моделей и современных подходов к созданию распределенных геоинформационных систем для повышения эффективности исследования транспортных процессов. Адекватность разработанных алгоритмов подтверждается результатами применения интеллектуальной геоинформационной платформы исследования транспортных процессов в подразделениях ГИБДД управления МВД по г. Сургуту (ХМАО-Югра), в администрациях городов Трехгорного (Челябинская область) и Октябрьска (Самарская область), с. Кинель-Черкассы (Самарская область).

## Благодарности

Авторы выражают признательность научно-производственному центру «Интеллектуальные транспортные системы» за оказанную помощь при проведении данного исследования.

## Литература

- [1] Бурков, С.М. Задачи системного анализа и методология формирования интеллектуальной системы управления транспортным комплексом города / С.М. Бурков, Г.Я. Маркелов, И.Н. Пугачев // Вестник Тихоокеанского государственного университета. – 2013. – № 4 (31). – С. 83-90.
- [2] Изюмский, А.А. Проблемы и перспективные направления развития интеллектуальных транспортных систем в России / А.А. Изюмский, И.Н. Котенкова // Модернизация и научные исследования в транспортном комплексе. – 2013. – Т. 2. – С. 206-211.
- [3] Kolosz, B. Modelling uncertainty in the sustainability of Intelligent Transport Systems for highways using probabilistic data fusion / B. Kolosz, S. Grant-Muller, K. Djemame // Environmental Modelling & Software. – 2013. – Т. 49. – Р. 78-97.
- [4] Гатиятуллин, М.Х. Интеллектуальная транспортная система для крупных городов / М.Х. Гатиятуллин, Р.Р. Загидуллин // Вестник НЦБЖД. – 2010. – № 5. – С. 76-82.
- [5] Chong, Y. A novel neuro-cognitive approach to modeling traffic control and flow based on fuzzy neural techniques / Y. Chong, C. Quek, P. Loh // Expert Systems with Applications. – 2009. – Т. 36, № 3. – Р. 4788–4803.
- [6] Посмитный, Е.В. Методика адаптивного управления транспортными потоками высокой интенсивности в условиях города на основе мезо-модели динамики с применением генетических алгоритмов / Е.В. Посмитный, М.И. Медовщиков // Научный журнал КубГАУ. – 2012. – № 84(10). – С. 1-11.
- [7] Robinson, V.B. On fuzzy sets and the management of uncertainty in an intelligent geographic information system / V.B. Robinson // Recent Issues on Fuzzy Databases. – Physica-Verlag HD, 2000. – Р. 109-127.
- [8] Сворцов, А.В. Общая среда данных как ключевой элемент информационного моделирования автомобильных дорог / А.В. Сворцов, В.Н. Бойков // САПР и ГИС автомобильных дорог. – 2015. – № 2(5). – С. 37-41.
- [9] Михеева, Т.И. Построение математических моделей объектов улично-дорожной сети города с использованием геоинформационных технологий / Т.И. Михеева // Информационные технологии. – 2006. – №1. – С. 69-75.
- [10] Сворцов, А.В. Геоинформатика в дорожной отрасли / А.В. Сворцов, П.И. Поспелов, А.А. Котов. – М. : МАДИ (ГТУ), 2005. – 250 с.
- [11] Христодуло, О.И. Совместное описание пространственных и атрибутивных данных на основе многомерных информационных объектов / О.И. Христодуло // Программные продукты и системы. – 2011. – № 3 (95). – С. 48-54.
- [12] Коцаб, М. Интеграция картографических данных в единую информационную систему / М. Коцаб, К. Радей // Геодезия, картография и аэрофотосъемка. – 2013. – № 78. – С. 127-131.
- [13] Котиков, Ю.Г. ArcGIS в моделях транспортных систем мегаполисов / Ю.Г. Котиков // ArcReview, Data+, ESRI. – 2013. – №64. – С. 18-19.
- [14] Павлов, С.В. Формализованное описание пространственной информации в составе трехмерных моделей потенциально опасных объектов на основе теоретико-множественного подхода / С.В. Павлов, О.А. Ефремова, А.В. Соколова // Электротехнические и информационные комплексы и системы. – 2014. – Т.10, № 1. – С. 66-72.
- [15] Михеева, Т.И. Методы и алгоритмы экспертизы объектов транспортной инфраструктуры [Электронный ресурс] / Т.И. Михеева, В.А. Ключников, О.К. Головин // Современные проблемы науки и образования. – 2014. – № 6. – Режим доступа: <http://www.science-education.ru/120-16656>.
- [16] Михеева, Т.И. Метод синтеза системы зонального сетевидного управления транспортными процессами / Т.И. Михеева, С.В. Михеев, О.К. Головин // Известия Самарского научного центра Российской академии наук. – 2016. – Т. 18, № 4 (4). – С. 799–807.
- [17] Головин, О.К. Поддержка принятия решений автоматической дислокации геообъектов транспортной инфраструктуры / О.К. Головин, А.В. Сидоров, Д.А. Михайлов // Известия Самарского научного центра Российской академии наук. – 2014. – Т. 16, № 4 (2). – С. 413–418.
- [18] Федосеев, А.А. Технология Data Mining в задачах прогнозирования развития транспортной инфраструктуры [Электронный ресурс] / А.А. Федосеев, С.В. Михеев, О.К. Головин // Современные проблемы науки и образования. – 2013. – № 1. – Режим доступа: <http://www.science-education.ru/107-8153>.
- [19] Васильев, С.Н. Интеллектуальные технологии и инструментальные средства создания вычислительной инфраструктуры в сети Интернет / С.Н. Васильев, Г.А. Опарин, А.Г. Феоктистов, И.А. Сидоров // Вычислительные технологии. – 2006. – Т. 11, № S8. – С. 34-44.
- [20] Беляков, С.Л. Адаптация процедуры визуализации пространственных данных геоинформационными сервисами / С.Л. Беляков, А.В. Боженюк, И.Н. Розенберг // Известия ЮФУ. Сер.: Технические науки. – 2015. – № 3(164). – С. 248-265.
- [21] Михеев, С.В. Архитектура геоинформационной справочной системы объектов городской инфраструктуры [Электронный ресурс] / С.В. Михеев, А.В. Сидоров, О.К. Головин, Д.А. Михайлов // Современные проблемы науки и образования. – 2013. – № 3. – Режим доступа : <http://www.science-education.ru/109-9608>.
- [22] Open Geospatial Consortium [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://www.opengeospatial.org> (16.01.2017).
- [23] Геоинформационная система ITSGIS [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://itsgis.ru/> (16.01.2017).
- [24] Open Street Map [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://www.openstreetmap.org> (16.01.2017).