



10. Михеева Т.И. Интеллектуальная транспортная геоинформационная система ITSGIS / Т.И. Михеева, С.В. Михеев, О.К. Головнин // Современные проблемы безопасности жизнедеятельности: интеллектуальные транспортные системы: материалы IV Международной научно-практической конференции (Казань, 25–26 февраля 2016 г.). – Казань: ГБУ «Научный центр безопасности жизнедеятельности», 2016. – С. 362–368. – ISBN 978-5-85247-837-5.

11. Михеева Т.И. Система моделирования «Транспортная инфраструктура города» / Т.И. Михеева, И.А. Рудаков, И.А. Чугунов // Вестник Самарск. гос. техн. ун-та. Серия «Технические науки». 2008, №1. С. 28–38.

12. Михеева Т.И. Паттерны поддержки принятия решений по дислокации технических средств организации дорожного движения / Т.И. Михеева, О.К. Головнин // Перспективные информационные технологии (ПИТ-2013) //Труды межд. научно-техн. конф. – Самара: Изд-во Самарск. науч. центра РАН, 2013. – С.267-273.

Т.И. Михеева, С.В. Михеев

## ПРИНЦИПЫ ОБЪЕКТНО-ОРИЕНТИРОВАННОГО ПРОЕКТИРОВАНИЯ ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНОЙ ТРАНСПОРТНОЙ ГЕОИНФОРМАЦИОННОЙ СИСТЕМЫ

(Самарский университет)

Решая те или иные задачи управления дорожным движением, инженеры и исследователи сталкиваются со следующими вопросами: как соизмерить значение, степень важности различных мероприятий, направленных на улучшение обслуживания транспортных и пешеходных потоков; как сопоставить эти мероприятия и дать им необходимую комплексную оценку. Ответы на эти вопросы могут дать только эксперименты – натурный и вычислительный [1].

В натурном эксперименте информацию о процессе или системе собирают путем измерений в реальных условиях. По мере развития средств и методов управления дорожным движением возрастает число оцениваемых параметров, повышаются требования к качеству информации, значительно увеличивается цена решений. В этих условиях натурный эксперимент очень дорог, а порою и невыполним. Это определяет проблему разработки методов и средств, которые были бы сопряжены с минимальными ресурсными затратами. Вычислительный эксперимент, реализованный на компьютере, приемлем для решения ряда задач, возникающих при проектировании систем управления транспортными потоками (ТрП). Основные задачи вычислительного эксперимента – сравнительная оценка различных алгоритмов управления, определение эффективных областей их применения, а также нахождение оптимальных значений параметров управления. Недостаток вычислительного эксперимента состоит в том, что применимость его результатов ограничена рамками



принятой математической модели, построенной на основе закономерностей, выявляемых при помощи натурального эксперимента [2, 3].

Математическое моделирование в вычислительном эксперименте целесообразно разделить на аналитическое и имитационное. Учитывая сложность процессов управления дорожным движением при аналитическом моделировании, приходится прибегать к жестким ограничениям с целью упрощения. Поэтому аналитическая модель позволяет находить только приближенное решение задачи, делающее во многих случаях невозможным получение конструктивных результатов исследования, которые могут быть использованы в практике проектирования систем управления дорожным движением. В отличие от аналитической, имитационная модель позволяет воспроизводить управление ТрП любой сложности с необходимым уровнем детализации, что ограничивается лишь ресурсами компьютера [4].

Для повышения эффективности применения имитационного моделирования в процессе управления транспортными потоками необходимо предоставить в распоряжение пользователя методы проектирования моделей, средства автоматизации программирования моделей и методы проведения эксперимента на имитационных моделях. Необходимость решения перечисленных выше задач определяет проблему создания гибкой имитационной технологии, обеспечивающей проведение компьютерных экспериментов в предметной области «Интеллектуальная транспортная геоинформационная система», имеющей эффективную реализацию в современной вычислительной среде и легко адаптирующейся к задачам проектирования и исследования транспортной инфраструктуры. Эта проблема связана с использованием методов и инструментальных средств, позволяющих разрабатывать технологии компьютерного исследования с полным учетом свойств и профессионального кругозора исследователя [5]. Такая имитационная технология в среде интеллектуальной транспортной геоинформационной системы «ITSGIS» обладает следующими качествами:

- наличие гибкого предметно-ориентированного языкового интерфейса исследователя;
- наличие единого стиля представления информации;
- наличие гибкой имитационной среды, допускающей простую модификацию и расширение спектра исследовательских задач;
- обеспечение адаптивного характера процесса управления.

Предметно-ориентированное конструирование, реализованное в «ITSGIS», позволяет создавать развивающиеся (*эволюционные*) технологии исследований, которые позволяют не только получать в имитационном эксперименте новые знания о предметной области, но и использовать их для развития технологии исследований путем уточнения и расширения понятийных основ «ITSGIS».

Кроме того, использование универсальной инструментальной основы объектно-ориентированного проектирования (ООП) позволяет сократить сроки



создания новых имитационных технологий компьютерного исследования, что обеспечивается средствами автоматизации конструирования имитационной среды [6, 7].

В качестве методологической основы предметно-ориентированного проектирования компьютерной технологии управления дорожным движением в среде «ITSGIS» использовано расслоение свойств предметной области. Подобное расслоение базируется на использовании таксономических моделей (моделей наследования), которые с одной стороны органично связаны с иерархической декомпозицией, а с другой, имеют адекватную реализацию в виде механизмов наследования свойств, характерного для объектно-ориентированных систем программирования и моделирования [8].

Таким образом, задача проектирования «ITSGIS» сформулирована как создание компьютерной технологии управления транспортными потоками на декомпозиционной основе таксономического расслоения свойств предметной области. Такая технология предоставляет пользователю-непрограммисту предметно-ориентированные средства спецификации моделей, проведение имитационных экспериментов и анализа их результатов, обеспечивающие снижение трудоемкости и улучшение качества проектирования систем управления дорожным движением.

Эта задача включает в себя ряд подзадач:

- систематизацию принципов и методов управления транспортными потоками;
- разработку унифицированной модели предметной области «Интеллектуальная транспортная геоинформационная система» и наполняющих ее таксономических моделей классов;
- определение таксономических моделей инструментальных программных средств объектно-ориентированного проектирования «ITSGIS» на основе таксономической спецификации межклассовых отношений;
- разработку CASE-инструментов объектно-ориентированного проектирования «ITSGIS» на основе таксономических моделей;
- программную реализацию классов «ITSGIS» на основе использования универсальных алгоритмов и методов стратифицированного конструирования объектов и их ассоциаций по регламенту таксономических моделей, а также разработку CASE-инструментов поддержки имитационной среды;
- разработку методики проведения имитационных экспериментов с использованием компьютерной технологии управления ТрП.

Используемые методы конструирования компьютерных технологий управления ТрП связаны с концепциями ООП, расслоения программных систем. Эти концепции распространяются на весь круг задач, связанных с разработкой CASE-инструментов предметно-ориентированного проектирования «ITSGIS». Адекватность такого подхода к созданию имитационных систем обусловлена во многом интуитивным представлением о



реальном мире как совокупности взаимосвязанных объектов и базируется на строгих математических построениях программной таксономии [9, 10, 11].

Моделирование широко распространено во всех инженерных дисциплинах, в значительной степени из-за того, что оно реализует принципы декомпозиции, абстракции и иерархии. Резоннее всего создавать модели, фокусирующие внимание на объектах, найденных в самой предметной области, и образующие то, что называется объектно-ориентированной декомпозицией. При проектировании сложноорганизованных систем задачи декомпозиции предметной области на классы объектов и структурирования объектов и их ассоциаций выходят на первый план. Страуструп отмечает, что наиболее значительным достижением объектно-ориентированного проектирования является введение иерархии классов в процессе проектирования, и именно это позволяет повысить эффективность и качество сложноорганизованных систем [12, 13, 14]. Объектная декомпозиция уменьшает размер программных систем за счет повторного использования общих структур и механизмов. Системы, построенные с использованием объектно-ориентированного подхода, более гибкие и проще эволюционируют во времени, так как их схемы базируются на устойчивых промежуточных формах.

Имитационное моделирование транспортных потоков имеет свои особенности. Одним из главных условий эффективного применения имитационного моделирования в «ITSGIS» является соответствие затрат машинного времени сложности решаемой задачи. С этой точки зрения, выполнено разделение статистических моделей микро- и макроструктуры ТрП. При исследовании методов локального управления или системных алгоритмов в приложении к небольшим участкам дорожной сети необходимо имитировать поведение каждой транспортной единицы [15, 16]. Анализ системного управления в «ITSGIS» на больших участках улично-дорожной сети позволяет имитировать ТрП как единое целое или по элементам, но без идентификации отдельных транспортных единиц. Данное разделение моделей позволяет существенно снизить затраты машинного времени при моделировании больших районов управления.

Другой принцип, обеспечивающий сокращение времени моделирования, – иерархическое объектное построение эволюционных моделей. Объектно-ориентированный анализ и проектирование – это метод, логически приводящий к объектно-ориентированной декомпозиции. ООП позволяет создавать гибкие плагины «ITSGIS», написанные экономными средствами. Разумное разделение пространства состояний повышает достоверность моделей «ITSGIS».

Объектные модели «ITSGIS» рассматриваются в двух аспектах: с позиции времени и пространства [17]. В первом случае это модели со сканированием имитируемого процесса, когда состояние объекта снимается через постоянные интервалы времени. Во втором – в качестве основного вида преобразования информации в моделях используют имитацию движения, заключающуюся в последовательном изменении координат элемента ТрП со скоростью, зависящей от транспортной ситуации. Знания координат и скоростей для



каждого элемента ТрП позволяют определить все его характеристики.

Элементы для микро- и макроструктуры ТрП в «ITSGIS» разные. Если для модели микроструктуры в качестве элемента необходимо выбрать отдельную транспортную единицу, то для модели макроструктуры элементом может служить часть ТрП из нескольких транспортных единиц.

Для элемента ТрП в макроструктуре существует два преобразования:

- выбор режима движения ТрП в зависимости от местонахождения транспортных единиц на сети (перегон, перекресток, граница моделируемого района);
- имитация режима движения по сети за интервал сканирования.

Второй вид преобразований для структуры ТрП находится по отношению к первому в подчиненном положении.

Развитие информационного обеспечения процесса моделирования в «ITSGIS» связано с использованием современных информационных технологий, для которых характерно наличие механизмов формализации знаний, адаптирующихся под «интеллектуальный кругозор» пользователя. Использование такой технологии позволяет автоматизировать процесс перехода от предметно-ориентированной формализации знаний к программе, имитирующей механизмы работы проектируемой системы. Технология компьютерного проектирования сложноорганизованных систем для любой предметной области включает в себя следующие этапы:

- спецификация задачи исследования;
- конструирование информационного образа задачи в БД «ITSGIS»;
- имитационный эксперимент с моделью задачи;
- анализ результатов эксперимента.

Реализация гибкой технологии компьютерного проектирования осуществляется на основе объектно-ориентированного подхода как наиболее соответствующего особенностям этой технологии.

Концептуальную основу ООП составляют *абстрагирование, инкапсуляция, модульность, наследование*. Абстрактный тип в терминах ООП трактуется как класс объектов, что определяет основу для классификации и декомпозиции объектов «ITSGIS». Понятие класса фактически определяет алгебру объектов, специфицируя потенциальное множество объектов и возможные действия над объектами этого множества. Определение класса основывается при этом на задании имманентных свойств, присущих объектам класса, – это могут быть свойства обладания определенным качеством (абстракция сущности объектов класса) и/или обладания способностями производить определенные действия (абстракция поведения объектов класса). Множество всех возможных свойств данного объекта и текущие значения каждого из этих свойств определяют состояние объекта. Состояние объектов модели, а, следовательно, и состояние модели в целом, изменяется в результате межобъектных взаимодействий, определяемых поведением объектов.

Одной из основных черт объектно-ориентированного подхода к спецификации «ITSGIS» является наследование свойств [7]. Наследование – это



такая иерархия абстракций, в которой подклассы наследуют свойства одного или нескольких суперклассов. Наследование свойств определяет декомпозиционную основу, характерную для таксономических моделей классификации, задающих иерархию обобщения-специализации, в которой суперклассы отражают наиболее общие, а подклассы - специализированные абстракции.

В подходе, развиваемом в работе, таксономические модели «ITSGIS» используются как регламент стратифицированного (послойного) конструирования объектов и их классов. Стратификация «ITSGIS» на классы объектов лежит в ООП. Послойное проектирование реализуется на основе принципа модульности, состоящего в разделении целого на части. Проектирование слоев начинается с уровня абстрактных общезначимых понятий и заканчивается уровнем предметно-ориентированных категорий. Послойное проектирование систем может быть, как вертикальным, так и горизонтальным.

Модуль выступает как *программный эквивалент класса*, в котором инкапсулированы все свойства этого класса. Инкапсуляция (ограничение доступа) заключается в разделении декларативной и функциональной спецификаций модуля. Декларативная спецификация задает абстракцию поведения всех объектов соответствующего класса, а функциональная спецификация определяет механизмы этого поведения. Функциональная спецификация оказывается закрытой, и проектирование программных систем осуществляется на уровне декларативной спецификации. При этом такой модуль-класс экспортирует произвольно определенный тип данных, переменные которого должны использоваться для идентификации объектов класса, и набор связанных с этим типом операций. Поскольку в процессе имитации предполагается динамическое порождение объектов, экспортируемый тип должен быть ссылочным. Одновременно это обеспечивает также возможности «скрытого» экспорта и связанной с ним полной инкапсуляции программных моделей объектов. Модуль компилируется автономно, что является неотъемлемым технологическим свойством послойного проекта «ITSGIS». Модульное построение системы и механизмы наследования дают разработчику инструмент конструирования объектов на основе «импорта-экспорта», обеспечивающего эффективную компоновку каждого нового слоя с уже созданными слоями верхних уровней обобщения.

Объектно-ориентированный анализ «ITSGIS» позволил определить границы проблемной области и выделить ключевые абстракции и механизмы. Методы и средства ООП обеспечивают построение таксономических моделей классов «ITSGIS». Использование таких моделей позволило произвести декомпозицию на классы объектов и установить регламент межклассовых отношений, на базе которых построена унифицированная иерархическая модель классов «ITSGIS». Основными абстракциями предметной области «Интеллектуальная транспортная геоинформационная система» являются следующие [18, 19]:



- модель ТрП определяется классами: Скорость, Интенсивность, Плотность;
- модель улично-дорожной сети определяется классами: Участок, Объект\_На\_Участке;
- модель технических средств организации дорожного движения определяется классами: Светофорный\_Объект, Дорожный\_Знак, Дорожная\_Разметка;
- модель управления ТрП определяется классами: Расстановка\_Технических\_Средств\_Организации\_Дорожного\_Движения, Жесткое\_Координирование, Оптимизация\_Управления.

Модель предметной области представляется тетрадой:

$$M_{одд} = \langle M_{уп}, M_{ц}, M_{удс}, M_{тсодд} \rangle,$$

где  $M_{одд}$  – модель «ITSGIS» (организация дорожного движения),  $M_{уп}$  – модель управления транспортным потоком,  $M_{тп}$  – модель транспортного потока,  $M_{удс}$  – модель улично-дорожной сети,  $M_{тсодд}$  – модель технических средств организации дорожного движения.

Руководствуясь этими принципами декомпозиции, построена унифицированная модель «Интеллектуальная транспортная геоинформационная система» и наполнена ее классами объектов, реализующих основные понятия этой предметной области. Декомпозиция «Интеллектуальная транспортная геоинформационная система» приведена на рисунке 1.

«ITSGIS» основана на цифровой геовизуализации управления транспортными потоками, т.е. на современной информационной технологии, которая объединяет возможность взаимодействия разнообразных геообъектов с базой данных, включая транспортную инфраструктуру, с визуализацией данных на тематических слоях интерактивной электронной карты. Использование технологии ООП позволило решить задачу разработки таксономических моделей инструментальных классов поддержки имитационной среды «ITSGIS» для проведения исследований управления ТрП.

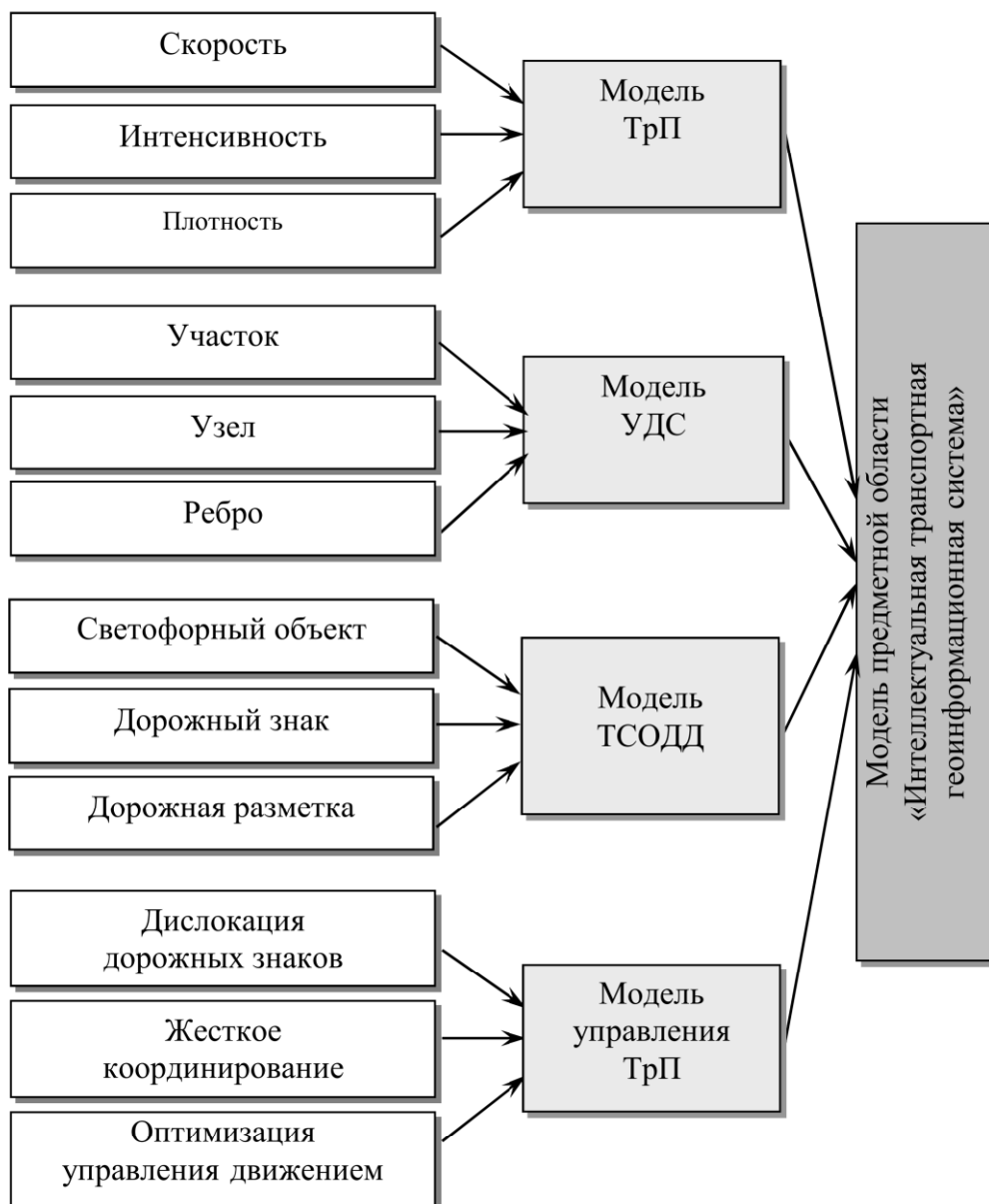


Рис. 1. Декомпозиция предметной области «ITSGIS» на классы объектов

### Литература

1. Cascetta, E. Transportation systems analysis : models and applications // NY : Springer, 2009. – 752 p.
2. Capacity and Level of Service at Finish Unsignalized Intersections// Finnra Reports, 2004. – 214 p.
3. Gohen A. Data abstraction, data encapsulation, and object-oriented programming. SIGPLAN Notices. -1984. - 19, N1.
4. Mikheev, S.V. Disposition of objects of a transport infrastructure in the GIS «ITSGIS» / S.V. Mikheev, T.I. Mikheeva, K.A. Malykova, D.A. Mikhaylov / Computer Science and Information Technologies // Proceedings of the 14th





international workshop on computer science and information technologies CSIT'2012, Vol. 2. Ufa – Hamburg – Norwegian Fjords, 2012. – Pp. 74-76.

5. Mikheeva T.I. Hardware-software complex of management of interactive content / T.I. Mikheeva, S.V. Mikheev, O.K. Golovnin // Proceedings of the 14th international workshop on computer science and information technologies CSIT'2012, Vol. 2. Ufa – Hamburg – Norwegian Fjords, 2012. Pp. 63-65.

6. Halbert D.C., O'Brien P.D. Using types and inheritance in object-oriented programming. IEEE Software. -1987. - 4, N5. - p.71-79.

7. Михеева Т.И., Михеев С.В. Модели наследования в системе управления дорожным движением // Информационные технологии, 2001. № 7. С. 50-54.

8. Кораблин М.А., Смирнов С.В. Наследование свойств в задачах объектно-ориентированного программирования на языке Модуль-2 // Программирование. –1990. – N4. – С. 38–43.

9. Михеев, С.В. Проектирование систем управления дорожным движением на основе отношений наследования свойств // Труды 6 междунаучно-практ. конф. «Организация и безопасность дорожного движения в крупных городах» – СПб: СПбАДИ, – 2004. С. 241–245.

10. Михеева Т.И. Паттерны поддержки принятия решений по дислокации технических средств организации дорожного движения / Т.И. Михеева, О.К. Головнин // Перспективные информационные технологии (ПИТ-2013) //Труды междунаучно-техн. конф. – Самара: Изд-во Самарск. науч. центра РАН, 2013. – С.267-273.

11. Михеева Т.И. Программная таксономия – основа для создания гипермедийных обучающих систем / Т.И. Михеева, И.Е. Михеенков // Информационные технологии, 1998. №8. С. 40-43.

12. Куржанский, А.Б. Роль макро моделирования в активном управлении транспортной сетью / А.Б. Куржанский, А.А. Куржанский, П. Варайя // Труды МФТИ. – 2010. – Т. 2, № 4. – С. 100 – 118.

13. Михеева Т.И. Система медийного автоматизированного мониторинга автомобильных дорог / Т.И. Михеева, О.К. Головнин // Актуальные проблемы автотранспортного комплекса: межвуз. сб. науч. статей. – Самара, Самар. гос. техн. ун-т, 2013. – С. 193-198.

14. Михеева Т.И. Система моделирования «Транспортная инфраструктура города» / Т.И. Михеева, И.А. Рудаков, И.А. Чугунов // Вестник Самарск. гос. техн. ун-та. Серия «Технические науки». 2008, №1. С. 28–38.

15. Михеева Т.И. Метод синтеза системы зонального сетевидного управления транспортными процессами / Т.И. Михеева, С.В. Михеев, О.К. Головнин // Известия Самарского научного центра Российской академии наук. – 2016. – Т. 18, № 4 (4). – С. 799–807.

16. Михеева Т.И. Модель пространственных данных оценки состояния объектов транспортной инфраструктуры в интеллектуальной ГИС «ITSGIS» / Т.И. Михеева, А.А. Федосеев, О.А. Япрынцева, О.К. Головнин // Геоинформационные технологии в проектировании и создании



корпоративных информационных систем. – Уфа: Уфимский гос. авиационный технический ун-т, 2013. – С. 68-72.

17. Михеева Т.И. Исследование методов локального управления транспортными потоками / Т.И. Михеева, С.В. Михеев, // Вестник СГАУ. Сер. «Актуальные проблемы радиоэлектроники» - Самара: СГАУ, - 2003. С. 24-30.

18. Михеева Т.И. Интеллектуальная транспортная система. Дислокация дорожных знаков // Вестник Самарского гос. техн. ун-та. Серия «Технические науки» №32. Самара: СамГТУ, 2005. С.53-63.

19. Михеева Т.И. Информационная технология автоматической дислокации геообъектов транспортной инфраструктуры на улично-дорожной сети / Т.И. Михеева, А.В. Сидоров, О.К. Головнин // Перспективные информационные технологии (ПИТ-2013) //Труды межд. научно-техн. конф. – Самара: Изд-во Самарск. науч. центра РАН , 2013. – С.236-241.

Т.И. Михеева, А.Н. Тихонов, С.В. Михеев

## МОДЕЛИ ТРАНСПОРТНЫХ ПОТОКОВ В ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНОЙ ТРАНСПОРТНОЙ СИСТЕМЕ ITSGIS

(Самарский университет)

Системный анализ решения задач управления транспортной инфраструктурой обеспечивается разработкой и использованием интеллектуальных транспортных систем (ИТС) с аналитикой и визуализацией транспортных процессов и объектов на интерактивной карте геоинформационных систем (ГИС). Анализ российского и зарубежного опыта проектирования и развития ИТСГИС, принципов их интеграции, использования при осуществлении грузовых и пассажирских перевозок, при управлении транспортными потоками (ТрП) в различных транспортных ситуациях позволяет сделать вывод о целесообразности использования ИТСГИС на транспорте [1].

Качество производимой продукции, которое служит определяющим критерием безопасности и сроков эксплуатации транспортных средств (воздушного, авто, ж/д, водного транспорта), является одним из основных требований, предъявляемых к современному производству ИТСГИС. В связи с этим, задача контроля качества транспортных процессов на этапах проектирования и изготовления ИТСГИС рассматривается, как одна из приоритетных [2].

Сложная многоэтапная организация транспортных процессов, большое количество задействованных в нем ресурсов, высокая технологичность изделий и жесткие требования к соблюдению всех стандартов и норм, диктуют необходимость использования интеллектуальной транспортной геоинформационной системы «ITSGIS» управления транспортной инфраструктурой и сопровождения продукции на всех этапах ее жизненного