

СОЗДАНИЕ ИНФОРМАЦИОННЫХ МОДЕЛЕЙ АВТОМОБИЛЬНЫХ ДОРОГ И ИНФОРМАЦИОННОЙ СИСТЕМЫ НА ИХ ОСНОВЕ

В статье описан подход к построению информационных моделей автомобильных дорог. Проведен системный анализ предметной области, рассмотрены существующие разработки. На базе проведенного исследования созданы новые модели объектов предметной области, непротиворечиво допускающие расширение и имеющие средства темпорального описания. На базе этих моделей строится единая модель дорожной сети, позволяющая решать многие задачи. Предлагается концепция построения информационной системы автомобильных дорог. Для этого рассмотрены задачи управления эксплуатацией, встающие в отрасли. На базе проведенного исследования выдвигаются требования к информационной системе и описывается реализация системы InRoads/Road

Задача информационного моделирования различных предметных областей в настоящее время является приоритетной в большинстве практических направлений использования информационных технологий. Большой интерес представляет создание моделей автомобильных дорог, что подтверждается большим количеством исследований в данной области. Однако до сих пор не решен ряд задач, таких, как описание движения сети дорог (ее состояния на определенные моменты времени), эксплуатационного сопровождения. В настоящей статье предлагаются подходы к их решению.

КРАТКИЙ ОБЗОР СУЩЕСТВУЮЩИХ РАЗРАБОТОК

Развитие информационного моделирования автомобильных дорог в России можно разделить на несколько исторических этапов. На первом этапе начались опытные разработки моделей баз данных («Терра», Воронеж; Новосибирское территориальное управление автомобильных дорог, Новосибирск), а также геоинформационных моделей (ИДЦ «Индор», Томск). Это послужило толчком для разработки информационных систем на базе этих моделей во многих регионах. Эффективным этот этап назвать нельзя вследствие отсутствия общего методологического и системного подхода, нормативной базы и единого представления о конечном результате [1].

На втором этапе была сделана попытка выработать единый методологический подход и требования к информационной системе и моделям, на базе которых она построена (в рамках «Концепции построения комплексной системы информационно-телекоммуникационного обеспечения дорожной отрасли»). Также была предложена структура банка данных по состоянию сети автомобильных дорог (Ассоциация «РАДОРО»). Однако и этот этап оказался малоэффективным. В итоге большинство территориальных органов управления автомобильными дорогами перешли к разработке своих информационных систем по состоянию сети автомобильных дорог (третий этап). При этом некоторые разработки не отвечают требованиям вышеупомянутой «Концепции...».

Среди современных разработок следует отметить такие, как АБДД «Дорога», созданная ГП РосДорНИИ по заданию Федеральной дорожной службы России (в настоящее время Росавтодор). Информационная модель в данной системе продумана слабо, структура противоречива, имеется множество мест дублирования информации.

Далее следует отметить «Комплексную автоматизированную систему управления» (КАС), разработанную ОАО «Терра» по заданию «Воронежупрдор» [2]. Данная разработка отличается хорошо проработанной моделью, которая, однако, отличается большой про-

мозкостью и слабой структурированностью. Кроме того, в ней отсутствуют элементы темпорального и эксплуатационного описания дороги и ее элементов.

Система «Информационные ресурсы дорожной отрасли Приморского края» представляют собой корпоративный информационный банк данных [3]. Специфика используемых моделей такова, что достаточно велик процент геометрической и графической информации по объектам. Частично решен вопрос информационного моделирования эксплуатационных событий, однако полноценного темпорального описания нет.

Как пример тенденций графического моделирования автомобильных дорог следует привести информационные системы на базе ГИС-проектов МАДИ (ГТТУ) [4, 5].

Всё это позволяет сделать следующие выводы. Во-первых, в настоящее время накоплен достаточно большой опыт информационного моделирования, выявлены важнейшие классы объектов и очерчен круг задач, в которых данные модели применимы. Отмечается тенденция использования графического моделирования с использованием геоинформационных систем [6].

В то же время остается нерешенными ряд задач, а именно: нет типовой модели предметной области, созданной на основе современных методик информационного моделирования [7, 8], нет строгих моделей для темпорального описания автомобильных дорог и их объектов и, как следствие, не разработаны методы анализа темпоральных данных в данном аспекте [9].

ОБЪЕКТНОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ПРЕДМЕТНОЙ ОБЛАСТИ

Концептуальным в нашем построении объектной модели является то, что объекты сложной предметной области мы разбиваем на некоторую иерархию типов [10]. Для этого мы рассмотрим следующую группу классов объектов (рис. 1).

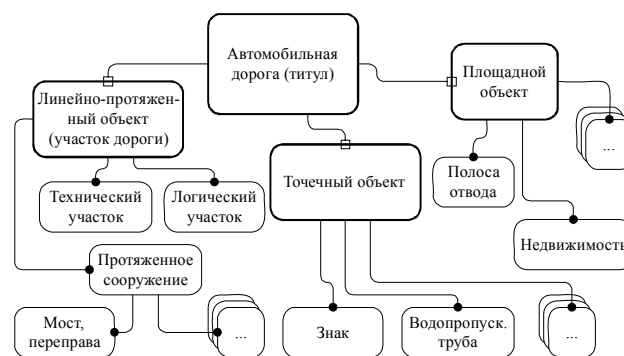


Рис. 1. Обобщенная классификация дорожных объектов

Автомобильная дорога состоит из объектов трех видов: протяженных (участков), точечных и площадных. Под участком или объектом будем понимать такое сооружение или протяженный фрагмент дороги, логический или технический, который исполняет определенный набор функций либо представляется в определенном качестве, может фигурировать в этом качестве как единое целое и при этом может быть целиком заменен на аналогичный. Необходимым требованием к участку и объекту является его необходимость с информационно-аналитической точки зрения. Так, например, в ряде практических случаев представляется важным рассматривать такие мелкие объекты, как слои дорожной одежды, детали пролета моста, а в ряде случаев – нет.

Для качественного разделения объектов по классам и наиболее простого и в то же время полного описания, удобного для анализа, необходимо выработать единую методику абстракции конкретных сущностей реального мира на основе унификации их параметров и функций.

ОБЪЕКТЫ СЕТИ АВТОМОБИЛЬНЫХ ДОРОГ

Мы уже выделили примерную структуру объектной иерархии и теперь можем привести общие положения по разделению конкретных сущностей по этим классам. Начиная с самого верха, выделим абстрактный объект дорожной сети. Самыми общими его чертами будут: принадлежность титулу, расположение, тип (принадлежность к тому или иному виду сущностей), состояние.

Набор возможных состояний будет расширяться по мере конкретизации описания объекта, списка объектов, находящихся в его составе. Самыми общими функциями будут: изменение состояния объекта, добавление нового объекта в состав данного, исключение определенного объекта из состава (рис. 2).

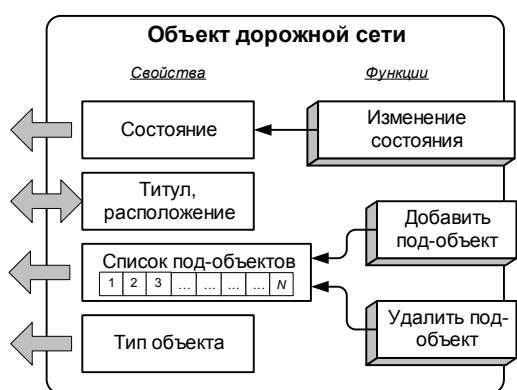


Рис. 2. Абстрактный объект

На следующем уровне абстракции рассмотрим такие объекты, как линейно-протяженные объекты (участки), строительные сооружения и другие точечные объекты (знаки, трубы и т.п.). Рассмотрим участок. Непрерывная и перекрывающаяся цепочка участков физически представляет собой дорогу. Участок имеет начало, конец, геометрическое описание, а также специфические для данного типа участка параметры (рис. 3).

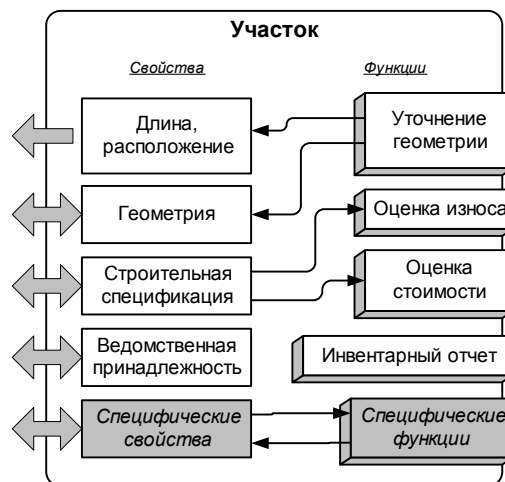


Рис. 3. Абстрактный участок

ТЕМПОРАЛЬНОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ

Темпоральное моделирование распадается на две задачи: отслеживание технологических событий (моделирование жизненного цикла: событий, дефектов и работ); отслеживание и архивирование изменения параметров. Для этого предлагается использовать следующие модели.

Основным объектом для описания жизненного цикла объекта дороги будет *событие*. Событие – любое действие, производимое системой управления над объектом. Это могут быть измерения характеристик, ремонтные работы и другие действия – в зависимости от типа события (рис. 4).

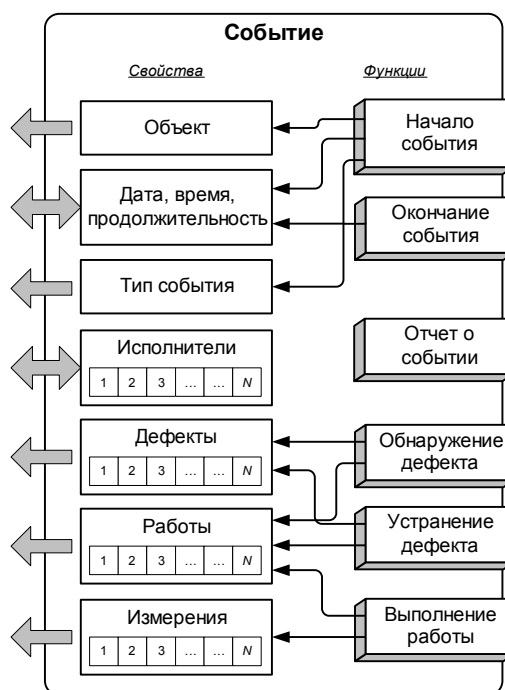


Рис. 4. Событие жизненного цикла

Любая информация об изменении состояния объекта появляется при проведении очередного события. Это может быть информация об обнаруженных и устраненных дефектах, изменении характеристик объекта, зафиксированных в результате измерений.

Фактически событие состоит из *работ*. Это могут быть ремонтно-восстановительные работы, работы по содержанию, по измерению параметров и т.п. (рис. 5). Функция «Окончание работы» может вызвать функции «Обнаружение дефекта» и «Устранение дефекта» у события, в составе которого происходит работа. Функции «Начало работы» и «Окончание работы» вызываются из функции события «Выполнение работы».

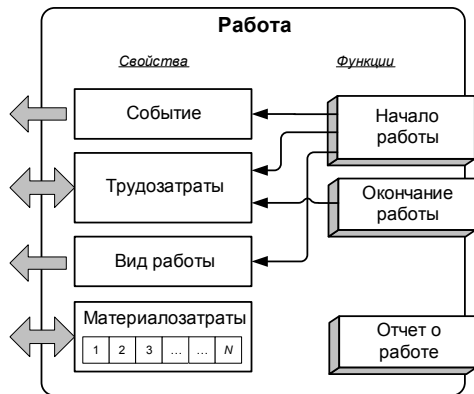


Рис. 5. Абстрактная работа

Дефекты обнаруживаются в ходе выполнения работ. Некоторые из них могут быть устранены прямо в ходе выполнения работ события, а некоторые могут остаться неустранимыми в течение некоторого времени. В соответствие с типом дефекта должна осуществляться автоматическая выдача рекомендаций, которая будет автоматически генерировать планы работ (рис. 6).

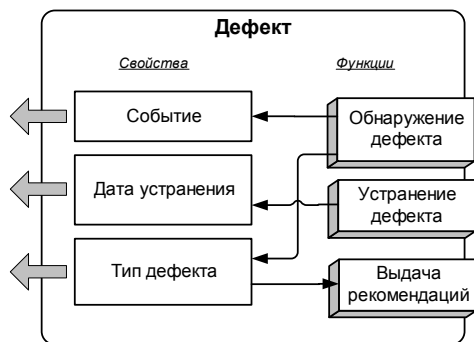


Рис. 6. Абстрактный дефект

Измерения значений параметров предлагается моделировать при помощи объекта, изображенного на рис. 7. Здесь находит отражение также такая информация, как условия проведения измерений, что часто является важным.

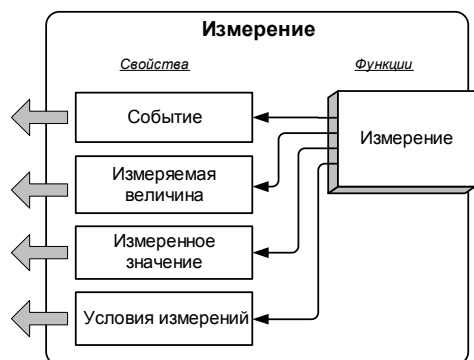


Рис. 7. Абстрактное измерение параметра

На рис. 8 изображены жизненные линии работ, дефектов, параметров некоторого объекта дорожной сети. Данная информационная структура позволяет решать обе задачи – отслеживание событий и изменения параметров.

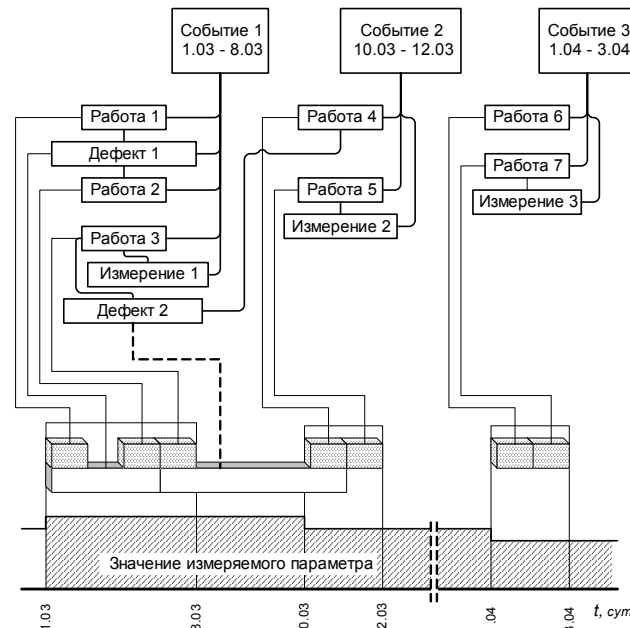


Рис. 8. Фрагмент жизненного цикла объекта

ER-МОДЕЛИРОВАНИЕ ПРЕДМЕТНОЙ ОБЛАСТИ

В настоящее время при моделировании структур баз данных одной из наиболее распространённых нотаций является модель данных Entity-Relation (Сущность-Связь) [7]. При ER-моделировании в предметной области выделяются определенные классы реальных или логических объектов, называемые *сущностями*. Далее между сущностями устанавливаются различные связи и взаимозависимости, которые называют *отношениями*.

Основной сущностью является *Дорожный объект*, принадлежащий некоторому *Титулу*. Для титула определены важнейшие обобщенные показатели: наименование, шифр, статус, уровень содержания. С титулом связаны Права землепользования, относящиеся к нему.

Дорожные объекты подразделяются на *Участки дороги*, *Дорожные знаки*, *Водопропускные трубы*, *Паромные переправы* и *мосты*. В свою очередь, *Недвижимость* является базовой сущностью для *АЗС* и *Автобусной остановки*. В состав *Мостового сооружения* входят *Пролеты*.

Модель *Дорожного знака* представляет тип знака, расположение относительно оси дороги и текст (для знаков индивидуального проектирования и знаков, имеющих текст).

Модель *Водопропускной трубы* представляет параметры трубы, схему, данные по укреплению.

Рассмотрим линейно-протяженные объекты – участки. Участки дороги подразделяются на логические и физические. Логические участки (*Районный участок дороги*, *Участок обслуживания*, *Категорийный участок*, а также *Участок проведения работ*, не представленный отдельной сущностью) отражают разделение дороги на логические участки по некоторому признаку.

Физические участки (*Участок проезжей части, Участок слоя дорожной одежды, Участок дорожного покрытия, Участок обочины, Переходно-скоростная полоса, Полоса отвода, Ограждение, Водоотведение, Снегозащитное сооружение*) представляют реальные протяженные объекты либо участки дороги, имеющие одинаковые на своем протяжении параметры.

Среди участков следует особо выделить *Межузловой участок*, представляющий собой ребро графа дорожной сети. Цепочка соединенных в узлах межузловых участков представляют собой непрерывное представление титула в дорожной сети. Данная форма представления позволяет описывать титулы с подъездами, входящими в титул, съездами и несколькими вариантами самого титула. Все объекты дорожной сети привязываются к межузловым участкам для точного определения местоположения объекта в сети.

Для представления жизненного цикла дорожного объекта используется сущность *Событие*, имеющее даты начала и окончания, тип, а также описывающий документ (акт, отчет и т.п.). Для события указывается организация, исполнившая данное событие. В составе события имеются *Работы, Дефекты* (выявленные и/или устраненные), а также *Результаты измерений*.

Данная модель позволяет непротиворечиво описывать объекты дороги, титулы и дорожную сеть в целом. Модель предоставляет возможности отслеживания жизненного цикла дорожных объектов, ведения архивов документов по объектам и их эксплуатации, правам землепользования. Модель создана таким образом, что позволяет проводить дальнейшее ее расширение, добавляя новые сущности, описывающие новые типы дорожных объектов и участков. При этом они будут вписываться в существующую иерархию, что позволит избежать противоречий и дублирования.

МОДЕЛЬ ДОРОЖНОЙ СЕТИ

На основе приведенных выше моделей строится целостная модель дорожной сети. В данное построение входят, во-первых, титулы, во-вторых, участки, из которых они состоят. На основе предложенных межузловых участков строится связанный граф дорожной сети. Дорожная сеть может быть подразделена на территориальные сети путем выделения титулов или их участков, расположенных в соответствующих регионах или районах. Аналогичным образом сеть подразделяется на сети, обслуживаемые ДРСУ, принадлежащие некоторым ведомствам и т.п. (рис. 9).

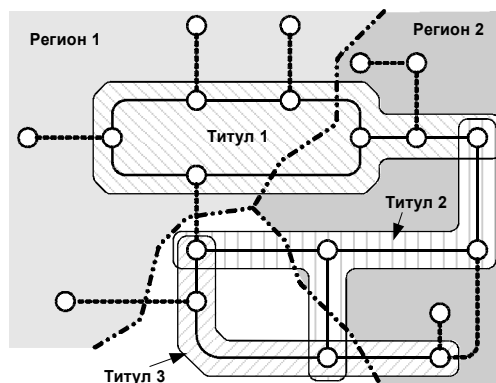


Рис. 9. Выделение территориальных сетей

ОБЗОР ЗАДАЧ УПРАВЛЕНИЯ ЭКСПЛУАТАЦИЕЙ

В процессе эксплуатации дорог перед системой управления встает целый ряд задач [11]. Рассмотрим основные прикладные задачи, встающие при управлении (рис. 10).



Рис. 10. Классификация задач управления

Рассмотрим задачи инвентаризации, паспортизации и учета. В литературе подробно описаны конкретные способы и методические указания по инвентаризации, паспортизации и учету [12]. Данный класс задач является базовым в управлении дорожными сетями. Обобщая различные подходы к инвентаризации, можно выделить следующие характерные черты. Во-первых, целью инвентаризации является точное определение наличия объектов, участков дороги; их уникальная идентификация. Другой целью инвентаризации является выяснение состояния объектов. Инвентаризация – непрерывный процесс, происходящий при вводе в строй новых объектов и участков, обследовании эксплуатируемых и ликвидации старых. Этот процесс тесно связан с паспортизацией дороги и ее объектов.

Дорожные сети, как один из классов инженерных сетей, представляют собой пространственные объекты, имеющие, как правило, достаточно крупные масштабы. Рассмотрим виды пространственной информации о дорогах и сферы ее применения:

- Планы расположения дороги и объектов на местности. Данная информация необходима для эксплуатационных бригад, для планирования строительства, согласования целого класса работ, экологического анализа, взаимодействия со смежными землепользователями, анализа близости различных объектов на местности и объектов сетей, для проведения различного вида расчетов.

- Геометрические профили дороги.

Планы расположения дороги и объектов основываются на картах и планах территорий, на которых проложена сеть, или, иными словами, топооснове. Топооснова должна иметь точность, необходимую для привязки к ней объектов сети. Для решения задачи построения профилей также необходима информация о рельефе местности.

Задачи предпроектного анализа зачастую встают во время эксплуатации. К ним относятся расчеты нагрузок и транспортных потоков, календарных и часовых графиков их изменения. Особенностью расчета нагрузок и транспортных потоков является то, что в ряде случаев невозможно заранее точно их определить. В этом случае применяется использование типовых оценок для различных ситуаций и более тонкие методы моделирования. Расчет календарных и суточных графиков нагрузок необходим, так как они сильно зависят от времени года и суток.

Задачи моделирования жизненного цикла дороги можно разделить на три основных вида. Это задачи моделирования технического состояния дороги, объектов и событий во времени, задачи отслеживания характеристик во времени, задачи отслеживания конфигурации сети во времени.

Задача моделирования технологического состояния оборудования и событий формулируется следующим образом. Для всех видов объектов требуется иметь полную информацию:

- о дефектах, времени их обнаружения и устранения;
- о регламентных и ремонтно-восстановительных работах, времени их проведения, исполнителях данных работ;
- о динамике изменения остаточного ресурса.

Расчетные задачи анализа и управления включают в себя расчеты транспортных, грузовых и пассажирских потоков, анализ дорожно-транспортных происшествий, а также расчет нагрузочных способностей дорог в различные сезоны. Большинство из данных видов расчетов имеют прямое практическое значение.

ОКРУЖЕНИЕ АВТОМОБИЛЬНОЙ ДОРОГИ

Сеть автомобильных дорог не существует сама по себе, она является следствием потребностей окружающего мира в транспортных услугах. Для целостного системного анализа нам также потребуются определить ближнюю и дальнюю среду, а также круг лиц, принимающих жизненные решения.

Ближней средой сети автомобильных дорог являются объекты, явно взаимодействующие с сетью: автотранспорт, грузы и пассажиры, персонал обслуживающих организаций и территориальные объекты, на территории (или в непосредственной близости) которых пролегают дороги, например регионы, населенные пункты, инженерные сети, объекты гидрографии и т.п. (рис. 11).

Дальней средой сети автомобильных дорог являются объекты, неявно или опосредованно взаимодействующие с сетью: органы власти той территории, на которой располагается сеть дорог; общество, чьи потребности выполняет сеть дорог и чей уровень жизни она должна поддерживать; природа, которая несет экологическую нагрузку от взаимодействия с дорогами; культура, в рамках которой дороги выполняют утилитарную роль и являются объектом ее внимания [11,12].

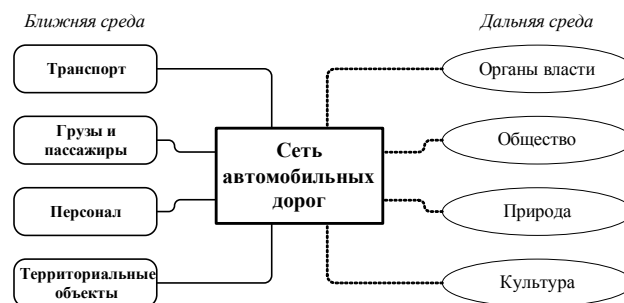


Рис. 11. Окружение сети автомобильных дорог

ТРЕБОВАНИЯ К ИНФОРМАЦИОННОЙ СИСТЕМЕ

На основе всего вышесказанного авторы формулируют следующие требования, предъявляемые информационной системе. Система должна обеспечивать:

- оперативное получение информации об автомобильных дорогах в любой части интересующей территории (город, район, регион);
- совместное представление автомобильных дорог и различных территориальных объектов, инженерных сетей на едином плане (топооснове);
- информационное обеспечение для планирования работ по реконструкции и ремонту дорог;
- полное отслеживание дефектов, работ по содержанию и ремонтно-восстановительных работ;
- контроль сроков и качества выполнения работ;

- отслеживание остаточного ресурса и стоимости объектов автомобильных дорог;
- ведение архива документов по всем объектам сети и по эксплуатационным событиям;
- автоматизация формирования текущих документов и выходных форм отчетности;
- формирование исходных данных для расчетно-аналитических программных средств.

АРХИТЕКТУРА ИНФОРМАЦИОННОЙ СИСТЕМЫ

В основе информационной системы лежат предложенные выше модели предметной области. Здесь мы остановимся на их реализации в рамках информационной системы IndorInfo/Road.

В качестве сервера для хранения данных используется СУБД Microsoft SQL 2000.

Клиентская часть предоставляет высокоуровневые средства для работы с объектами, организованными в виде дерева (рис. 12). Здесь отображаются титулы и составляющие их объекты: участки (линейно-протяженные объекты, такие, как участки обслуживания, прохождения по районам, участки проезжей части и т.п.), и точечные объекты, такие, как дорожные знаки, автобусные остановки, водопропускные трубы и т.п. Они сгруппированы по каждому титулу в соответствующих папках.

Редактирование осуществляется при помощи форм, которые вызываются для выделенного титула, участка или объекта (рис. 13).

Информационная система предусматривает ввод, хранение и обработку информации о «жизненном цикле» автомобильной дороги как совокупности данных об эксплуатационных событиях ее отдельных частей. В силу этого каждый объект и участок, описанный в информационной системе, может иметь описание произведенных с ним работ, выявленных дефектов, произведенных измерений и оценок, и документов, описывающих произведенные действия (рис. 14).

Для каждого объекта ведется архив документов, связанных с ним. Они могут добавляться, редактироваться в соответствии с правами пользователей (рис. 15).

Для разграничения прав пользователей разработана гибкая система защиты, позволяющая назначать права как на виды объектов в целом, так и на отдельные объекты. Разграничение прав ведется на уровне групп пользователей, что позволяет достигнуть высокой гибкости. Система использует как стандартные средства СУБД, так и собственные.

Клиентская часть также выполняет функции визуального отображения дорог на карте местности при использовании ГИС IndorGIS 5 (рис. 16).

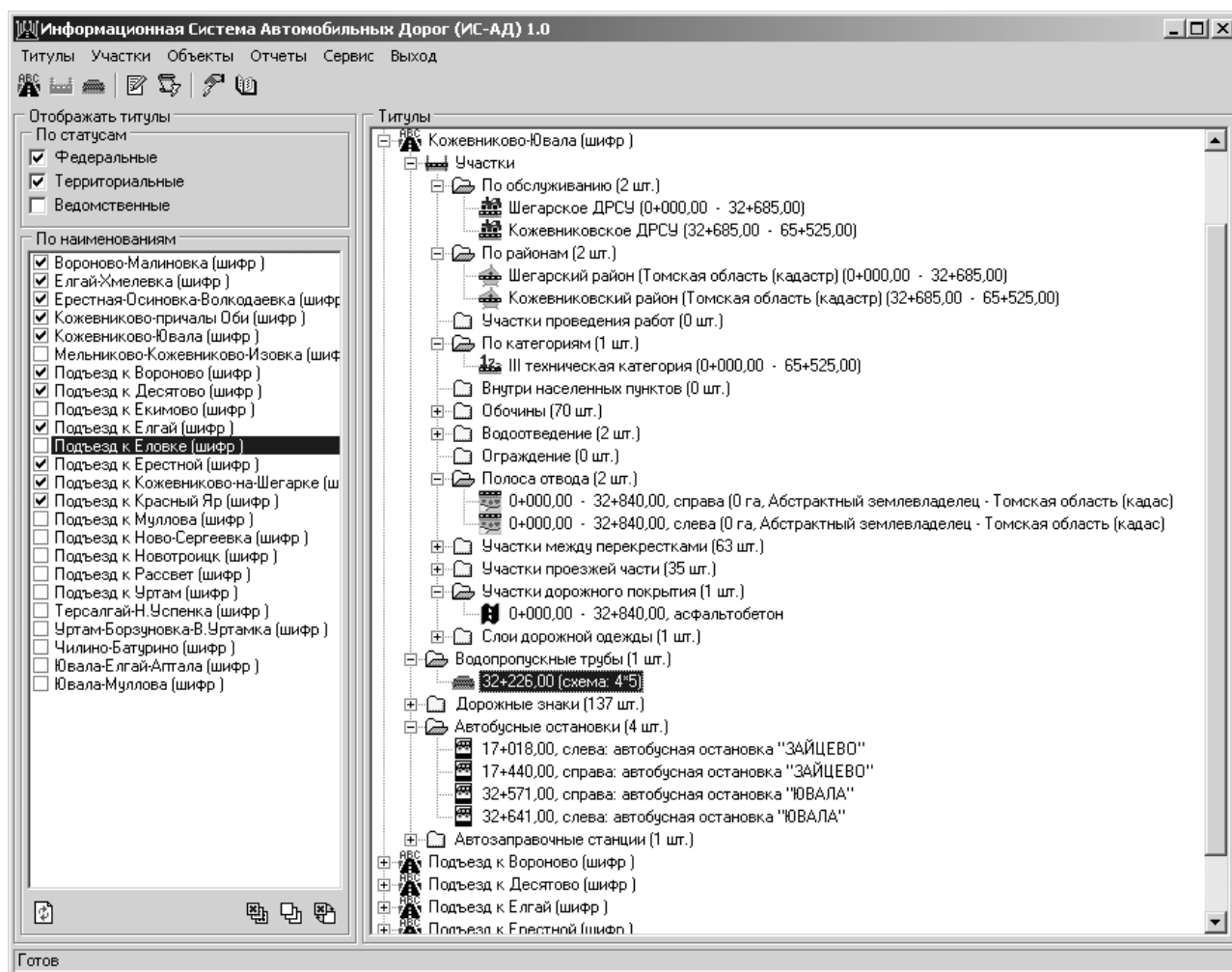


Рис. 12. Внешний вид клиентской части

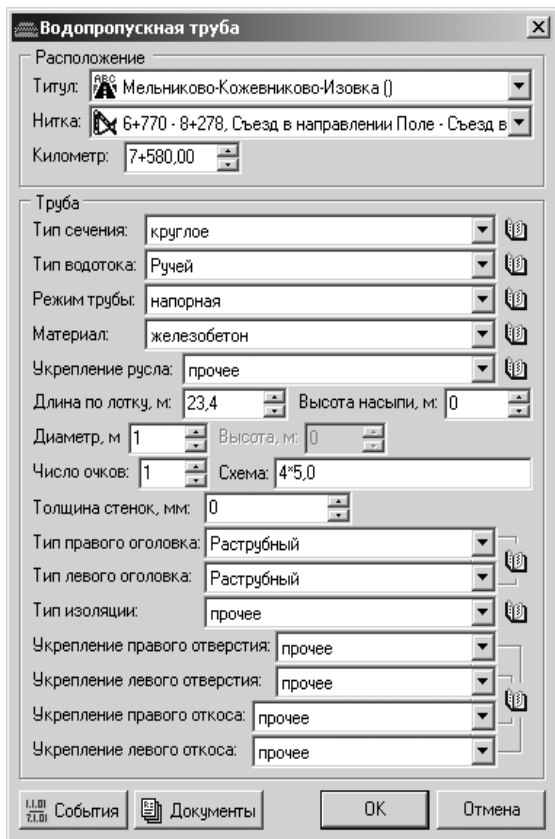


Рис. 13. Водопропускная труба

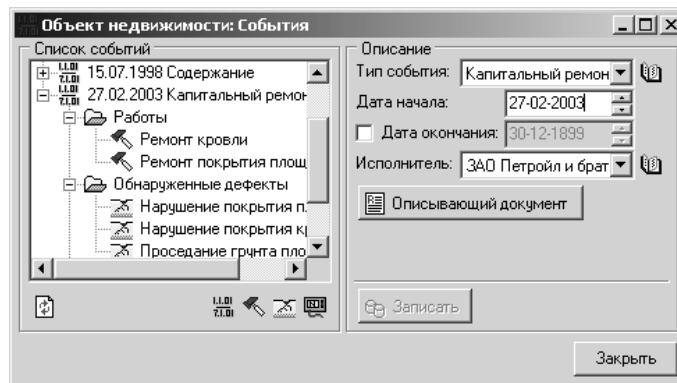


Рис. 14. Информация по событиям с объектом

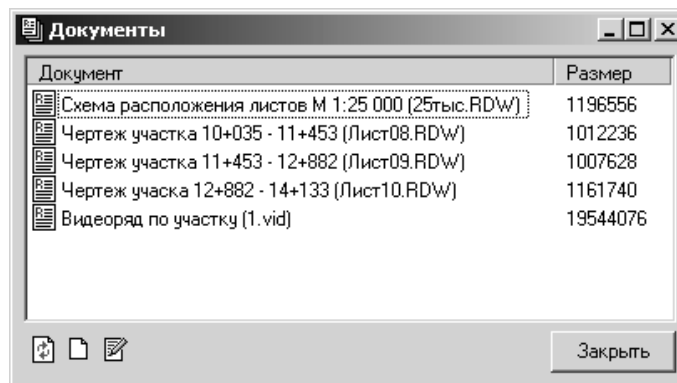


Рис. 15. Документы по объекту

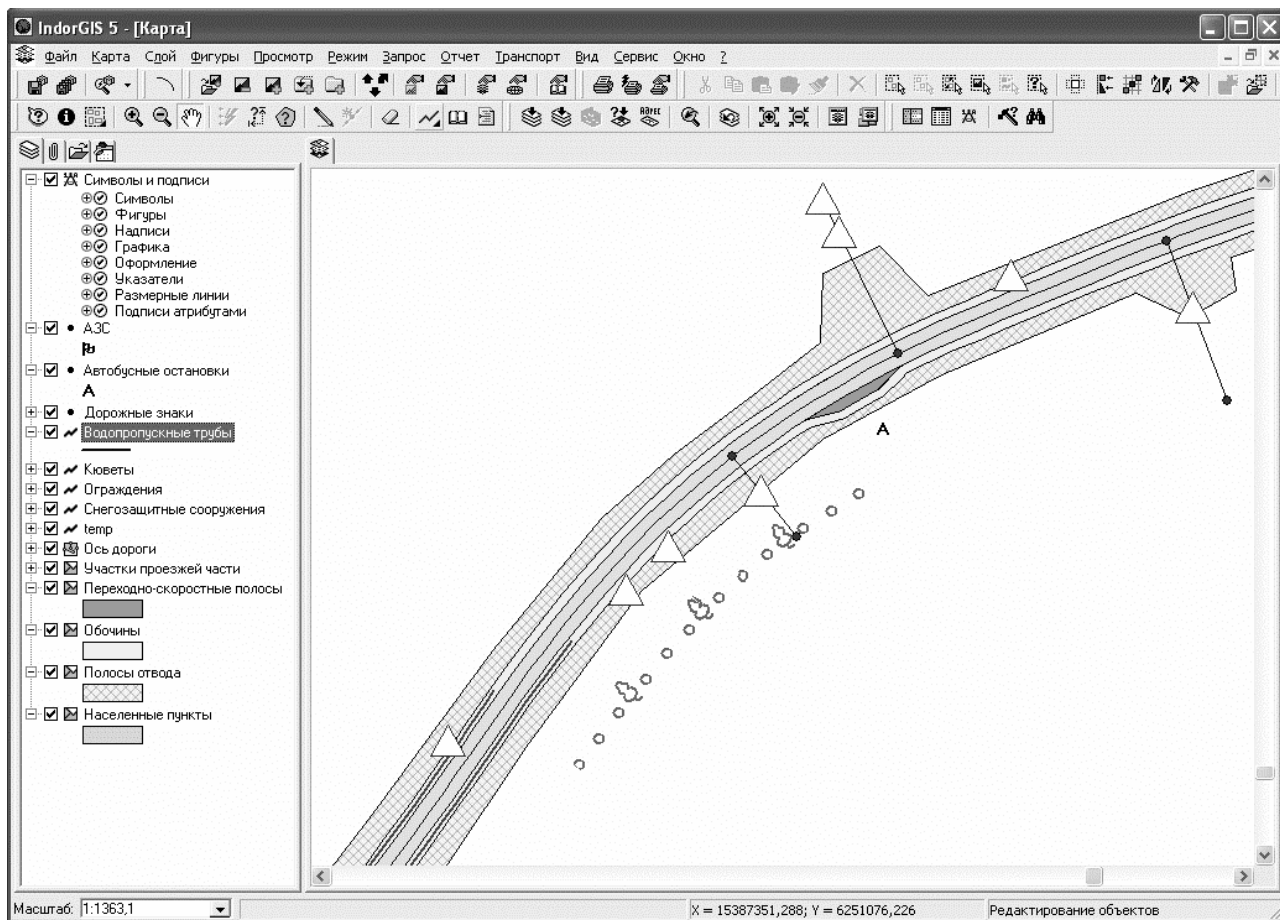


Рис. 16. Представление геометрии дороги и объектов

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Предложенные авторами информационные модели позволяют строго, структурированно и непротиворечиво описывать предметную область. Элементы темпоральности, введенные в модели, универсальны и достаточны для описания движения автомобильных дорог, динамики изменения их параметров, дефектов, а также для ведения эксплуатационной информации.

На основе проведенного обзора задач и проблем предметной области сформулированы требования к информационной системе и предложена архитектура ее построения. Данные модели, требования и архитектура были успешно применены при построении информационной системы IndorInfo/Road, разработанной в ООО «ИндорСофт» (г. Томск). Продукт отличается большой открытостью, логичностью работы и наглядным представлением информации. Система IndorInfo/Road прошла практическую апробацию в ряде предприятий отрасли.

ЛИТЕРАТУРА

1. *Благодаров А.* Обзор САМ-систем // Компьютер Пресс. 1997. №3. С. 22–23.
2. *Комплексная автоматизированная система управления «Воронежупрдор»* на базе локальной вычислительной сети. Воронеж: ОАО «ГЕРРА». 33 с.
3. *Волошина В.Н.* Информационные ресурсы в управлении дорожной отраслью Приморского края // Геоинформатика-2000: Труды Международ. науч.-практич. конф. Томск: Изд-во Том. ун-та, 2000. С. 260–265.
4. *Поспелов П.И., Котов А.А.* Создание информационной системы управления автомобильными дорогами на основе внедрения ГИС-проектов «Инвентаризация» и «Паспортизация» // Геоинформатика-2000: Труды Международ. науч.-практич. конф. Томск: Изд-во Том. ун-та, 2000. С. 256–260.
5. *Поспелов П.И., Котов А.А.* Совершенствование информационной системы управления автомобильными дорогами на основе внедрения ГИС-проектов «Инвентаризация» и «Паспортизация» // Проблемы проектирования, строительства и эксплуатации автомобильных дорог: Сб. науч.тр. М.: МАДИ (ГТУ), УФ МАДИ (ГТУ), 2001. С. 81–85.
6. *Сарычев Д.С., Скворцов А.В.* Применение ГИС в дорожной отрасли // Актуальные проблемы повышения надежности и долговечности автомобильных дорог и искусственных сооружений на них: Сб. трудов Всерос. науч.-практич. конф. Барнаул: Изд-во АлтГТУ, 2003. С. 17–19.
7. *Буч Г.* Объектно-ориентированное проектирование с примерами применения: Пер. с англ. М.: Конкорд, 1992. 519 с.
8. *Чен П. П-Ш.* Модель «Сущность-связь» – шаг к единому представлению данных // СУБД. 1995. № 3. С. 137–158.
9. *Крысин С.П., Акулов А.П., Сарычев Д.С.* Подход к построению информационной системы автомобильных дорог // Актуальные проблемы повышения надежности и долговечности автомобильных дорог и искусственных сооружений на них: Сб. трудов Всерос. науч.-практич. конф. Барнаул: Изд-во АлтГТУ, 2003. С. 20–22.
10. *Перегудов Ф.И., Тарасенко Ф.П.* Основы системного анализа: Учеб. 2-е изд., доп. Томск: Изд-во НТЛ, 1997. – 396 с.
11. *Сильянов В.В.* Теория транспортных потоков в проектировании дорог и организации движения. М.: Транспорт, 1977. 303 с.
12. *Сильянов В.В.* Транспортно-эксплуатационные качества автомобильных дорог. М.: Транспорт, 1984. 287 с.
13. *Крысин С.П., Акулов А.П., Сарычев Д.С.* Подход к построению информационной системы автомобильных дорог // Актуальные проблемы повышения надежности и долговечности автомобильных дорог и искусственных сооружений на них: Сб. трудов Всерос. науч.-практич. конф. Барнаул: Изд-во АлтГТУ, 2003. С. 20–22.
14. *Бойков В.Н., Крысин С.П., Сарычев Д.С. и др.* Информационная система автомобильных дорог. Томск: Индор, шифр 01н/02, 2003. 63 с.

Статья представлена кафедрой теоретических основ информатики факультета информатики Томского государственного университета, поступила в научную редакцию 15 мая 2003 г.