

**ГЕОИНФОРМАЦИОННАЯ МОДЕЛЬ ТЕРРИТОРИИ
ДЛЯ ПОДДЕРЖКИ ПРИНЯТИЯ РЕШЕНИЙ
ПО УПРАВЛЕНИЮ ОБЪЕКТАМИ
КОММУНАЛЬНЫХ СИСТЕМ**

П.И. Пахомов, В.А. Немтинов

*Кафедра «Автоматизированное проектирование технологического оборудования»,
ГОУ ВПО «ТГТУ»; nemtinov@mail.gaps.tstu.ru*

Представлена членом редколлегии профессором В.И. Коноваловым

Ключевые слова и фразы: математическое моделирование; принятие решений; региональные коммунальные системы; цифровая модель территории.

Аннотация: Рассмотрены математические методы и инструментальные средства, используемые при разработке цифровой пространственной модели территории муниципального образования, охватывающей сферу деятельности службы, обеспечивающей нормальное функционирование коммунальных систем.

В настоящее время коммунальные системы объединяют электрические, тепловые, водопроводные, газовые сети, которые являются очень сложными инженерными объектами. При этом основной задачей деятельности служб, обеспечивающих нормальное их функционирование, является доставка потребителям того или иного носителя с заданными физическими параметрами. Эта задача ставит перед эксплуатирующими организациями целый ряд внутренних подзадач:

- инвентаризацию объектов распределенной производственной и вспомогательной инфраструктуры соответствующих служб коммунальных систем;
- конкретного развития и проектирования инженерных сетей;
- помощи в организации обслуживания клиентов и расчетов с ними за предоставляемые ресурсы (воду, газ, электроэнергию);
- анализа деятельности предприятия и качества обслуживания потребителя;
- оперативного диспетчерского управления в нормальном режиме эксплуатации;
- оперативного реагирования на аварии и чрезвычайные ситуации, в том числе внешние по отношению к данной конкретной сети;
- обеспечения профилактических и аварийных ремонтных работ;
- мониторинга состояния сетей и предотвращения аварийных ситуаций;
- стратегического планирования, прогнозирования и выявления потребностей в развитии инженерных сетей.

Для принятия оптимальных решений этих и других задач необходимо создание единого информационного пространства (**ЕИП**) территории муниципального образования, охватывающего сферу деятельности служб, обеспечивающих нормальное функционирование коммунальных систем, и включающего совокупность информационных средств и ресурсов, интегрируемых в единую систему [1]. Структурная схема ЕИП на примере г. Тамбова приведена на рис. 1. В свою очередь, для визуализации ЕИП и моделирования процессов, протекающих в объектах коммунальных систем, необходимо создание цифровой пространственной модели территории.

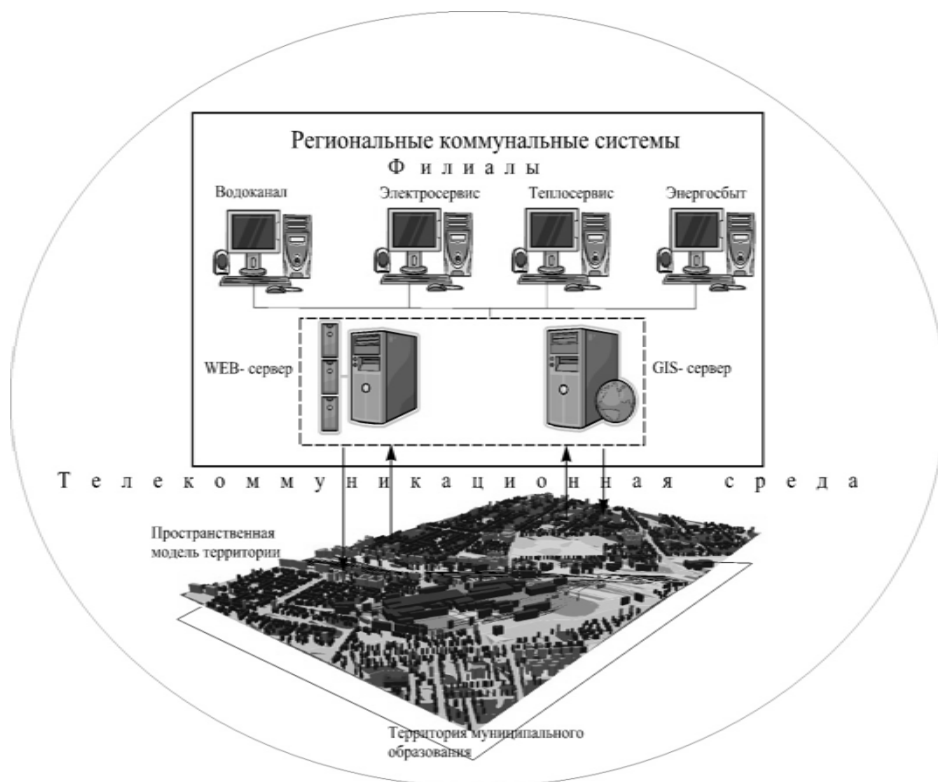


Рис. 1. Структурная схема ЕИИ при управлении коммунальными системами

При создании цифровой пространственной модели территории в масштабе муниципального образования (например, города или промышленного узла) целесообразно использовать декартову систему координат. Для описания объектов различного назначения нами использованы растровые и векторные модели данных [2]. При этом растровая модель, полученная в результате сканирования планшетов планов территории (обычно масштаба 1 : 500), использована в качестве первичных данных всего информационного массива сведений обо всех ее объектах.

При создании моделей в подобных масштабах приемлемым является допущение о том, что отображение объектов модели осуществляется в трехмерном пространстве P^3 с метрикой

$$\rho((x0_i, y0_i, z0_i), (x0_j, y0_j, z0_j)) = |x0_i - x0_j| + |y0_i - y0_j| + |z0_i - z0_j|; \forall i, j \in [1, \dots, N],$$

где $(x0_i, y0_i, z0_i), (x0_j, y0_j, z0_j)$ – координаты центра объектов с номерами i, j ; N – число объектов.

Одним из важных элементов этой модели является цифровая модель рельефа (ЦМР). Под ЦМР будем понимать средство цифрового представления трехмерных пространственных объектов (поверхностей) в виде трехмерных данных, образующих множество высотных отметок и иных значений аппликат (координат по оси Z) в узлах регулярной или нерегулярной сети или совокупность записей горизонталей или иных изолиний.

Технология генерации ЦМР основана на цифровании горизонталей как основной ее составляющей, а также высотных отметок и других картографических элементов, используемых для отображения рельефа.

Преобразование к ЦМР (матричной или регулярной) осуществляется с применением различных методов интерполяции: кригинга; средневзвешенной интерполяции по методу Шепарда; полиномиального и кусочно-полиномиального сглаживания. Получение ЦМР в виде TIN-поверхности (нерегулярной триангуляционной сети (Triangulated Irregular Network (TIN)), представленной сетью треугольников – элементов триангуляции Делоне с высотными отметками в узлах, позволяет представить моделируемую поверхность как многогранную [2].

Среди достоинств TIN-модели, построенной на основе триангуляции Делоне, следует отметить следующее: она имеет наименьший индекс гармоничности как сумму индексов гармоничности каждого из образующих треугольников; для нее характерны свойства максимальности минимального угла и минимальности площади образуемой многогранной поверхности. В связи с этим, ЦМР в виде TIN-поверхности использована нами при создании пространственной модели территории в масштабе муниципального образования.

Для включения в эту модель объектов разного назначения в зависимости от сложности формы объекта, для его описания может быть использован тот или иной графический примитив.

Точечные объекты – это объекты, каждый из которых расположен только в одной точке пространства P^3

$$t = (x_i, y_i, z_i) \in P^3, \quad i \in N_t, \quad (1)$$

где x_i, y_i, z_i – координаты объекта с номером i ; N_t – число объектов.

При моделировании считают, что у таких объектов нет пространственной протяженности, длины или ширины, каждый из них может быть обозначен координатами своего местоположения. В действительности, все точечные объекты имеют некоторую пространственную протяженность, пусть самую малую, иначе просто невозможно их увидеть. В качестве точечных объектов модели территории муниципального образования могут быть заданы следующие объекты: элементы трубопроводной арматуры, приборы учета воды, отдельные насаждения и т.п.

При создании реалистичной модели территории для визуализации точечных объектов в ряде случаев целесообразно использовать 3D-символы (табл. 1).

Линейные объекты представляются как одномерные в координатном пространстве P^3 (в виде совокупности линейных сегментов):

$$l = (x_1, y_1, z_1, \dots, x_j, y_j, z_j, \dots, x_{J_l}, y_{J_l}, z_{J_l}) \in P^3, \quad l \in N_l, \quad (2)$$

где $x_1, y_1, z_1; x_j, y_j, z_j; x_{J_l}, y_{J_l}, z_{J_l}$ – соответственно координаты «истока», точек изменения направления и «стока» объекта с номером l ; N_l – число объектов.

В качестве линейных объектов модели территории муниципального образования могут быть заданы следующие объекты: инженерные коммуникации (водопроводные, канализационные, электрические и т.п.), связывающие объекты и источники энергии, автомобильные и железнодорожные трассы и т.п.

Для визуализации линейных объектов также могут быть использованы 3D-символы (табл. 2).



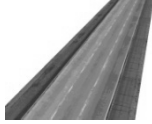
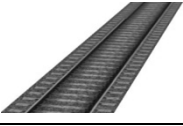
Таблица 1

**Примеры 3D-символов для визуализации точечных объектов
пространственной модели территории**

Тип объекта	Изображение на модели
Мачта электросети	
Трубопроводная арматура	
Автотранспорт	
Насаждения	
Дорожные знаки	
...	...

Таблица 2

**Примеры 3D-символов для визуализации линейных объектов
пространственной модели территории**

Тип объекта	Изображение на модели
Водопроводная трасса	
Теплотрасса	
Автотрасса	
Железная дорога	
...	...

С другой стороны, с точки зрения функционирования, инженерные коммуникации могут быть описаны топологическими графами. Так, например, водопроводная сеть представляет из себя топологический связанный граф, то есть структуру, состоящую из конечного числа вершин (источник, насосная станция, водонапорная башня, водопроводный колодец, резервуар), связанных между собой ребрами (участками). В связанном графе каждая его вершина соединяется некоторой цепью ребер с любой другой вершиной. При выполнении большинства инженерных расчетов водопроводная сеть может быть представлена в виде плоского графа, ребра которого пересекаются только в его узлах. В разветвленной тупиковой сети любые два узла можно соединить только одной определенной цепочкой участков. Все участки разветвленной сети являются связывающими; все узлы разветвленной сети (кроме конечных) являются точками соединения. В кольцевой сети любые два узла (кроме конечных) могут быть соединены несколькими участками.

Полигональные объекты – это объекты, проекции которых на координатную плоскость xOy представляют собой области, аппроксимируемые многоугольниками. Так, например, промышленные и жилые здания задаются в форме параллелепипедов или цилиндров:

$$O_p = xp_p y_p z_p, O_s = \pi x d_s^2 z_p; \quad p, s \in [1, \dots, N], \quad (3)$$

где $xp_p, y_p, z_p, x d_s, z_p$ – соответственно размеры объектов по каждой оси; N – количество объектов.

К полигональным объектам относятся также и фрагменты территории определенного назначения – частей поверхности рельефа, ограниченных некоторыми многоугольниками (односвязными либо многосвязными) либо математической кривой, например кривой Безье, опирающейся на множество контрольных точек. В случае использования односвязного многоугольника граница территории описывается по уравнению

$$l_g = (x_{g1}, y_{g1}, z_{g1}, \dots, x_{gj}, y_{gj}, z_{gj}, \dots, x_{g1}, y_{g1}, z_{g1}) \in P^3, \quad (4)$$

где $x_{g1}, y_{g1}, z_{g1}; x_{gj}, y_{gj}, z_{gj}; x_{g1}, y_{g1}, z_{g1}$ – вершины односвязного многоугольника, ограничивающего территорию определенного назначения с номером g .

При построении модели между элементами полигональных объектов должны быть установлены некоторые топологические отношения, связывающие их между собой и с атрибутивной информацией, представленной в виде совокупности таблиц, управляемой системой управления базами данных (СУБД) с использованием геореляционной модели их взаимодействия.

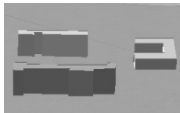

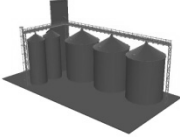
В качестве примеров изображений полигональных объектов при создании реалистичной модели территории могут использоваться 3D-символы, представленные в табл. 3.

При построении объектов модели необходимо проводить информационный анализ взаимного расположения трубопроводных сетей различного назначения с целью выявления таких их участков, которые проложены с нарушением действующих санитарных норм и правил, а также проверки правильности трассировки при проектировании новых участков сетей.

Среди основных правил размещения трасс можно выделить следующие правила размещения объектов и коммуникаций, а именно необходимость соблюдения санитарно-технических и противопожарных разрывов между:

а) объектами: $\forall i, c \in [1, \dots, N]$,

**Примеры 3D-символов для визуализации полигональных объектов
пространственной модели территории**

Тип объекта	Изображение на модели
Здания (упрощенная модель)	
Здание (фотореалистичная модель)	
Технологическая установка	
...	...

$$\left(|x0_i - x0_c| - \frac{xp_i + xp_c}{2} \geq l'_{ic} \right) \vee \left(|y0_i - y0_c| - \frac{yp_i + yp_c}{2} \geq l'_{ic} \right); \quad (5)$$

б) коммуникациями и объектами, не являющимися точками «истока» и «стока» для соответствующих коммуникаций: $\forall i \in \overline{1, N}, \quad \forall j \in \overline{1, N_k}$,

$$\left(|x0_i - xc_j| - \frac{xp_i + lk_j}{2} \geq l''_{ij} \right) \vee \left(|y0_i - yc_j| - \frac{yp_i + lk_j}{2} \geq l''_{ij} \right), \quad (6)$$

где xc_j, yc_j, hc_j – координаты точки c_j , принадлежащей групповой или одиночной трассе;

в) между коммуникациями:

$$\left(|xc_j - xc_h| - \frac{lk_j + lk_h}{2} \geq l'''_{jh} \right) \vee \left(|yc_j - yc_h| - \frac{lk_j + lk_h}{2} \geq l'''_{jh} \right) \vee \left(|hc_j - hc_h| - \frac{hk_j + hk_h}{2} \geq l'''_{jh} \right), \quad (7)$$

где xc_j, yc_j, hc_j – координаты точки c_j , принадлежащей групповой или одиночной трассе определенного назначения; lk_j, lk_h – соответственно ширина канала j -й и h -й трассы; $l'_{ic}, l''_{ij}, l'''_{jh}$ – соответственно санитарно-технологические разрывы между группами объектов.

Помимо данных о геометрической форме объекта (1) – (7), каждый из них может быть снабжен разнообразной атрибутивной информацией, хранящейся либо как отдельные таблицы внутри одной базы данных (БД), либо как самостоятельные наборы данных, связанные набором указателей и объединенные в банке геоданных.

Представление данных должно учитывать типы их возможных преобразований. К созданию БД предъявляются высокие требования, связанные с пространственной формой объектов, для которых она создается [3].

БД должна быть:

- согласованной по времени – хранящиеся в ней количественные данные должны соответствовать определенному времени, быть актуальными;
- полной, достаточно подробной для предполагаемого создания пространственной модели территории;
- категории данных и их подразделения должны включать все необходимые сведения для осуществления анализа данных модели;
- позиционно точной, абсолютно совместимой с другими данными, которые могут добавляться в нее;
- достоверной, правильно отражающей характер процессов, протекающих в объектах модели;
- легко обновляемой;
- доступной для любых пользователей.

Процесс проектирования БД при разработке пространственной модели территории, охватывающей сферу деятельности службы, обеспечивающей нормальное функционирование коммунальных систем, можно разделить на три основных уровня: концептуальный, логический и физический.

Концептуальный уровень не зависит от имеющихся аппаратных и программных средств. Он включает: описание и определение рассматриваемых объектов; установление способа представления объектов модели в базе данных; выбор базовых типов пространственных объектов; решение вопроса о способе представления размерности и взаимосвязей реального мира в БД. На концептуальном уровне определяется и содержание базы данных, в свою очередь, определяемое сутью явления, характером его пространственного распространения и задачами, для которых создается БД.

Логический уровень определяется имеющимися программными средствами и практически не зависит от технического обеспечения. Он включает разработку логической структуры элементов БД в соответствии с СУБД, используемой в программном обеспечении. При проектировании БД пространственной модели территории для поддержки принятия решений по управлению объектами коммунальных систем наиболее подходящей является логическая структура реляционной модели данных.

На *физическом уровне* определяются объемы хранимой в БД информации, и рассматриваются вопросы о структурировании файлов на диске для обеспечения программного доступа к ним.

При создании модели в качестве базовой информационной системы используется геоинформационная система (ГИС), имеющая средства трехмерного моделирования, позволяющая построить пространственную модель территории, включающую все объекты, а именно ArcGIS версии 9.1 корпорации ESRI. Объекты различного назначения представляются в виде совокупностей тематических слоев и связанных с ними атрибутивных данных.

Как было отмечено выше, технология построения пространственной модели территории предусматривает использование в качестве основы планшеты формата A2 на бумажных носителях с отображением на них объектов различного назначения в масштабе 1 : 500. В связи с тем, что система ArcGIS содержит небольшой перечень 3D-символов для реалистичного отображения объектов модели территории муниципального образования, для его расширения нами использованы графические редакторы Solid Works, 3D Studio Max, позволяющие создать 3D-модель объекта и передать его в ГИС ArcGIS в виде VRML-файла (Virtual Realty Modelling Language).

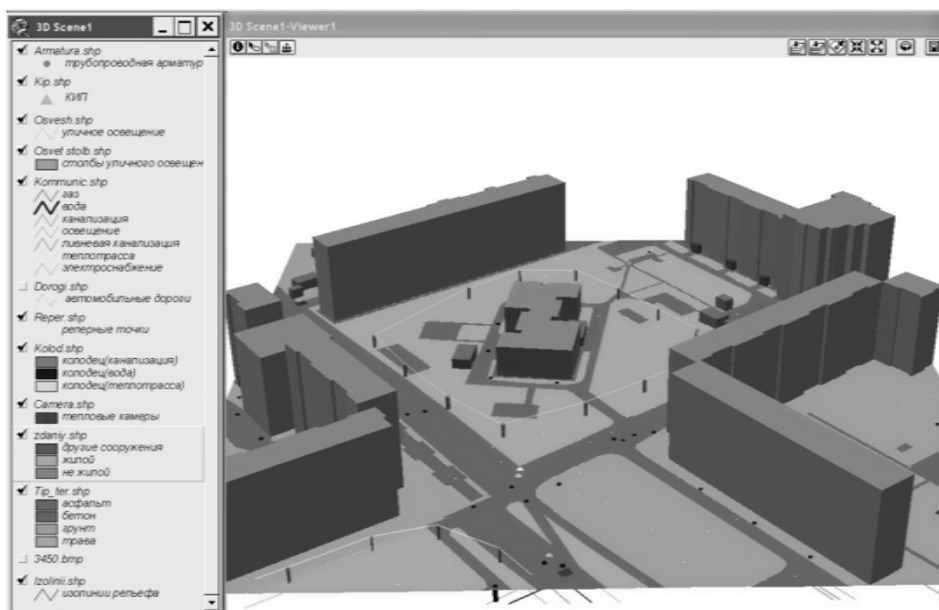


Рис. 2. Фрагмент упрощенной пространственной модели района г. Тамбова

Следует отметить, что при значительном количестве объектов пространственной модели и при использовании компьютеров с процессором Intel Pentium с тактовой частотой меньше 1,6 ГГц и оперативной памятью, не превышающей 1 Гб, целесообразно использовать упрощенные изображения объектов. В результате оцифровки в соответствии с принятыми при моделировании допущениями создается модель, фрагмент которой на примере отдельного района г. Тамбова приведен на рис. 2.

Заключение. В работе предложены математические методы и инструментальные средства, используемые при разработке цифровой пространственной модели территории муниципального образования, охватывающей сферу деятельности служб, обеспечивающих функционирование коммунальных систем, включающей: графические векторные и растровые изображения объектов различного назначения со степенью детализации, достаточной для их визуальной идентификации; элементы оборудования коммунальных систем; базы атрибутивных данных для хранения символьной и цифровой информации об объектах модели, обеспечивающей реализацию механизма транзакций с использованием топологических взаимоотношений. Модель использована авторами для визуализации ЕИП и моделирования процессов, протекающих в объектах коммунальных систем.

Список литературы

1. Пахомов, П.И. Единое информационное пространство территории для поддержки принятия решений по управлению водопроводными системами / П.И. Пахомов // Материалы I межвуз. науч.-практ. конф. студентов, аспирантов и молодых ученых «Новые технологии и инновационные разработки». – Тамбов, 2008. – С. 53–55.
2. Основы геоинформатики. В 2 кн. Кн. 1 : учеб. пособие для студ. вузов / Е.Г. Капралов [и др.] ; под ред. В.С. Тикунова. – М. : Академия, 2004. – 352 с.
3. Лурье, И.К. Основы геоинформационного картографирования / И.К. Лурье. – М. : Изд-во МГУ, 2000. – 143 с.

Geo-Information Territory Model for Decision-Making Support in Public Communal System Management

P.I. Pakhomov, V.A. Nemtinov

Department "Automated Design of Manufacturing Equipment", TSTU;
nemtinov@mail.gaps.tstu.ru

Key words and phrases: decision-making; digital model of territory; mathematical modeling; regional communal systems.

Abstract: The paper studies mathematical methods and instruments used for designing of digital space model of municipal territory providing efficient functioning of communal systems.

References

1. Pakhomov, P.I. Uniform information space of territory for decision-making on water systems' management / P.I. Pakhomov // Thesis of I interuniversity scientific and practical conference of students, post-graduate students and young scientists «New technologies and innovative works». – Tambov, 2008. – P. 53–55.
2. Basics of geo-informatics: In 2 books. Book. 1: Students manual / E.G. Carpalov [et al.] ; ed. by V.S. Tikunov. – M. : Academy, 2004. – 352 p.
3. Lurye, I.K. Basics of geo-information mapping. / I.K. Lurye. – M. : Publishing house of Moscow State University, 2000. – 143 p.

Geoinformationsmodell des Territoriums für Unterstützung der Entscheidung in der Steuerung von Objekten der Kommunalysteme

Zusammenfassung: Es sind die mathematischen Methoden und Instrumentalmitteln, die bei der Erarbeitung des räumlichen Digitalmodells des Territoriums der Kommunalformation benutzt werden, betrachtet. Es erfasst den Tätigkeitsbereich des Dienstes, der die Normalfunktionierung der Kommunalysteme gewährleistet.

Modèle géoinformationnel du territoire pour le maintient de la prise des décisions sur la gestion des objets des systèmes municipaux

Résumé: Sont examinés les méthodes mathématiques et les moyens instrumentaux utilisés lors de l'élaboration du modèle superficiel numérique du territoire de la formation municipale englobant la sphère de l'activité du service assurant le fonctionnement normal des systèmes municipaux.

Авторы: *Пахомов Павел Игоревич* – соискатель кафедры «Автоматизированное проектирование технологического оборудования»; *Немтинов Владимир Алексеевич* – доктор технических наук, профессор кафедры «Автоматизированное проектирование технологического оборудования», ГОУ ВПО «ТГТУ».

Рецензент *Малыгин Евгений Николаевич* – заслуженный деятель науки РФ, доктор технических наук, профессор, заведующий кафедрой «Автоматизированное проектирование технологического оборудования» ГОУ ВПО «ТГТУ».