### УДК 004.047

### Н.М. Зайцева, кандидат технических наук

### Инновационный Евразийский университет (г. Павлодар),

### E-mail: zaitzevns@mail.ru

### А.А. Тайлаков

Инновационный Евразийский университет (г. Павлодар), E-mail: aidariuskz@mail.ru

# Теоретические основы геоинформационной системы

***Аннотация.*** *Статья посвящена теоретическим сведеньям геоинформационной системы*

***Ключевые слова:*** *геоинформационная система, пространственно-координированные данные, функции и области применения.*

Транспортная система образована совокупностью территориально-распределенных объектов, взаимное расположение которых, как друг относительно друга, так и по отношению к другим объектам, является существенным, а зачастую и определяющим фактором эффективного функционирования всей системы в целом. Корректный анализ взаимного расположения объектов возможен только на основе соответствующих методов, ориентированных на использование пространственно-координированных данных, и объединяемых в рамках геоинформационных технологий. Таким образом, геоинформационные системы и технологии являются мощным инструментом информационной поддержки процессов планирования и управления в транспортных системах.

Геоинформационные технологии наиболее эффективны при выполнении таких типичных для транспорта видов пространственного анализа, как нахождение маршрутов на дорожной сети, определение кратчайшего маршрута, зонирование территории по степени авто-транспортной доступности, планирование перспективного расширения дорожной сети, и им подобные. Геоинформационные системы и технологии широко используются при проектировании и строительстве автодорог, для отображения и анализа экологического состояния придорожных территорий, определения мест наиболее рационального размещения объектов транспортно-логистической инфраструктуры.

**Функции и области применения геоинформационных систем**

Функционирование транспортной системы неразрывно связано с процессами физического перемещения по земной поверхности транспортных средств и перевозимых ими грузов и пассажиров. При этом параметры транспортных потоков, очевидно, в большой степени зависят от особенностей территории, по которой они проходят; эти территориальные особенности должны в полной мере учитываться при принятии управленческих решений. Для стационарных объектов (автотранспортные предприятия, склады, ремонтные мастерские) характер их пространственного размещения также играет существенную роль и оказывает влияние на многие аспекты планирования и организации перевозочной деятельности.

 Для описания объектов, месторасположение которых на земной поверхности обязательно должно приниматься во внимание наряду с остальными их характеристиками, используются пространственно-координированные данные. Неотъемлемым элементом таких данных является набор координат, с помощью которого можно однозначно установить соответствие этих данных строго определенному участку земной поверхности. Таким образом, пространственно-координированные данные содержат информацию вместе с координатами участка земной поверхности, к которому эти данные относятся [1].

 На основе пространственно-координированных данных создаются пространственные информационные объекты (рис. 1). В показанном на рисунке примере реальный физический объект на земной поверхности представлен как совокупность прямолинейных сегментов; точность такого представления при необходимости может быть сделана сколь угодно высокой за счет увеличения общего количества сегментов меньших размеров. Каждый сегмент описывается соответствующим ему информационным объектом (ИО-1, ИО-2, и так далее). Для описания сегмента необходимо, во-первых, зафиксировать его положение на земной поверхности; для этого в рассматриваемом примере достаточно указать координаты его начальной и конечной точки (X1, Y1, X2, Y2). Во-вторых, каждый сегмент автодороги характеризуется определенными эксплуатационными показателями (такими, как ширина проезжей части или тип покрытия), которые также отражаются при создании информационного объекта (с использованием атрибутов B, TYP и NAME). Таким образом, в общем случае каждый информационный объект содержит набор неразрывно связанных между собой данных, часть которых отражает его расположение на земной поверхности (позиционные данные), а другая часть – те стороны физического объекта, которые учитываются при решении конкретной задачи (атрибутивные данные). Структура данных для создания информационных объектов разных типов будет, скорее всего, также неодинакова, но в любом случае данные будут оставаться пространственно-координированными.

 Все технологические процедуры при работе с пространственно-координированными данными (их ввод, редактирование, преобразование, хранение, передача, отображение) имеют существенные особенности по сравнению с иными типами данных. Эти особенности обусловлены, прежде всего, необходимостью поддержания постоянной связи между позиционными и атрибутивными данными конкретных информационных объектов. Кроме того, наличие позиционной информации приводит к появлению принципиально новых возможностей, а значит, и технологических процедур для их реализации: отражение информационных объектов на экране (их визуализация), организация поиска объектов в зависимости от их местоположения, в том числе относительно друг друга, и так далее [2].

Рис. 1 — Сущность пространственно-координированных данных

 Работа с пространственно-координированными данными осуществляется с помощью специализированного класса программного обеспечения – геоинформационных систем (ГИС). Концептуальные функции ГИС и их связь с основными технологическими этапами обработки информации показаны на рис. 2. Всего можно выделить четыре основные концептуальные функции ГИС, из которых первые две (сбор данных и обработка данных) являются подготовительными и реализуются, чаще всего, однократно(за исключением ГИС, требующих постоянной актуализации своих данных; тогда их сбор и обработка выполняются неоднократно, с определенной периодичностью). В наибольшей степени возможность получения новых знаний проявляется при анализе пространственно-координированных данных, для чего средствами ГИС выполняется построение различных концептуальных и формальных моделей. Главной функцией ГИС является информационная поддержка управленческих решений, принимаемых по результатам анализа и моделирования на основе пространственно-координированных данных.

Рис. 2 — Технологические этапы обработки информации и концептуальные функции геоинформационной системы.

 Прикладные функции (технологические процедуры), поддерживаемые соответствующими программными средствами ГИС, включают в себя широкий перечень возможностей. Ввод и редактирование данных позволяют создавать информационные объекты на основе как картографической информации, изначально основанной на пространственно-координированных данных, так и путем прямого ввода координат объекта. Поддержка различных пространственных моделей (регулярно-ячеистых, квадротомических, векторных) средствами ГИС позволяет на основе одинаковых исходных данных создавать различные виды информационных объектов. Хранение данных осуществляется с учетом наличия в них позиционной составляющей (для чего, как правило, используются достаточно узкоспециализированные форматы); для атрибутивных данных, наоборот, применяются широко распространенные форматы. Для организации базы данных ГИС могут использоваться иерархическая или сетевая модель, но более распространенными являются реляционные базы [3].

Преобразование систем координат является часто используемой прикладной функцией ГИС. Такая необходимость может возникать уже на стадии ввода данных, при использовании нескольких источников с различными системами координат; в этом случае выполняется приведение данных к некоторой единой системе. Чаще всего производится преобразование географических координат в прямоугольные (Гаусса-Крюгера), и наоборот. Обычно все данные, используемые конкретной ГИС, хранятся в единой системе координат, и необходимости их преобразования при анализе данных возникает редко. В тоже время достаточно частой операцией является трансформация картографических проекций; это связано с неоднозначностью представления на плоскости картины, изначально находящейся на выпуклой поверхности земного шара. Наиболее часто используемыми моделями в ГИС являются растровая и векторная; возможности их взаимного преобразования в автоматическом (или максимально близком к нему) режиме является еще одной важной прикладной функцией ГИС.

 Возможности по анализу и преобразованию данных, обусловленные наличием в их составе позиционной составляющей, реализуются группой соответствующих функций ГИС. К ней относятся измерительные операции и операции аналитической геометрии, такие как вычисление длин, объемов, площадей, расстояний. Полигональные операции позволяют выполнять объединение и разъединение участков, а также выявлять факты их перекрытия и попадания на заданную площадь точек и линий. Пространственно аналитические операции применяются для анализа близости объектов, построения буферных зон, сетевого анализа (определения связности или не связности сети, выявления кратчайшего маршрута). Геомоделирование заключается в программной реализации законов изменения параметров объектов, в том числе во времени, с последующим моделированием поведения рассматриваемой системы объектов. Цифровое моделирование рельефа рассматривается как отдельная прикладная функция ГИС; с процедурой построения рельефа тесно связаны задачи его анализа, такие как интерполяция высот и построение изолиний. Заключительной прикладной функцией ГИС является вывод данных, в том числе визуализация пространственных объектов, вывод их атрибутов, экспорт данных в другие информационные системы.

 Для классификации ГИС используются следующие признаки. По пространственному охвату выделяют ГИС глобальные, национальные, региональные и локальные. ГИС различаются как по объектовому составу (автомобильные, инфраструктурные, лесные), так и по предметной области (транспортные, кадастровые, природоохранные). По проблемной ориентации выделяют ГИС для решения задач мониторинга, планирования, оперативного управления. По уровню управления ГИС бывают федерального, регионального и специального назначения [4].

 **Модели пространственных объектов**

 Как уже говорилось, пространственный объект – это цифровое представление (модель) реального объекта, расположенного на конкретном участке земной поверхности. Тремя базовыми (элементарными) типами пространственных объектов в ГИС являются точка, линия и полигон (рис. 3). Любой реальный объект на земной поверхности представляется (моделируется) в геоинформационной системе с помощью одного или нескольких базовых объектов, поддерживаемых ГИС. Точка имеет один набор числовых координат; это могут быть широта B и долгота L, или прямоугольные координаты (x; y), к которым может быть добавлена третья координата z. Точка, как и остальные базовые типы, может быть много составной, образованной нескольким и отдельными точками; все они являются единым объектом и, соответственно, имеют один и тот же набор атрибутивных параметров.

 Линия состоит из одного прямолинейного сегмента; для позиционного определения линии достаточно задать координаты двух ее конечных точек. Если данный объект состоит из нескольких сегментов, он называется полилинией; при этом сегменты одного объекта могут не соприкасаться друг с другом. Основной количественной характеристикой полилинии является ее длина. Позиционные данные полилинии образованы только координатами граничных точек ее сегментов; все промежуточные точки для описания объекта не используются и в базе данных ГИС не хранятся. Полигон (область, контур) образован множеством точек внутри некоторой замкнутой полилинии (границы полигона); он может содержать «дырки», точки внутри которых полигону не принадлежат (рис. 3 в, позиция 5). Полигон может состоять из нескольких частей (рис. 3 в, позиция 6); его основная характеристика – площадь. Позиционные данные о полигоне, также, как и об остальных типах объектов ГИС, содержат только координаты его угловых точек; соединение их прямолинейным и отрезками производится в момент выполнения аналитических операций над полигоном (например, при определении площади) или при изображении его на экране (визуализации).

Рис. 3 — Элементарные типы пространственных объектов: а) – точка; б) – полилиния; в) – полигон; 1 – сплошная; 2 – составная; 3 – замкнутая; 4 – сплошной; 5 – дырчатый; 6 – составной

 Некоторые ГИС поддерживают дополнительные типы пространственных объектов, в частности пиксель как мельчайший и неделимый элемент растровой модели данных. Ячейка может рассматриваться как элементарный элемент территории при разбиении местности линиями регулярной сетки. Поверхность является базовым типом двухмерных объектов, если они могут быть расположены в трех измерениях. Ограниченный поверхностям и объем пространства рассматривается как еще один базовый объект – тело.

Описание всех базовых объектов, как и построенных на их основе более сложных пространственных объектов, осуществляется с использованием трех видов данных. Геометрия объекта задается, как уже говорилось, координатами множества отдельных точек. Однако этого недостаточно для корректного описания объекта, поскольку, например, замкнутая линия и полигон, границами которого эта линия является – это разные объекты, хотя набор точек для их описания тождественен. Поэтому, в дополнение к данным о геометрии, используются данные о топологии – правила формирования объекта по отдельным точкам на его границе; именно топологические данные позволяют различать замкнутые линии и полигоны. «Геометрия» и «топология» пространственного объекта в совокупности образуют его позиционные данные. Не позиционные данные («атрибутика») – это тематические сведения об объекте; в простейшем случае они организованы как запись (кортеж) в таблице базы данных.

 Построение, на базе элементарных пространственных элементов более сложных объектов производиться в рамках определенной модели пространственных данных. Одной из простейших, и, одновременно с этим, одной из наиболее часто используемых, является регулярно-ячеистая модель, пример которой показан на рис. 4

Рис. 4 — Регулярно-ячеистая модель данных

 При использовании регулярно-ячеистой модели территория разбивается на одинаковые участки (ячейки), каждый из которых является самостоятельным пространственным объектом. Размер ячейки предопределяет пространственное разрешение модели. Атрибутивные данные для каждого объекта определяются независимо друг от друга; на рис. 4 можно видеть определение одного из пяти возможных значений атрибута. Удобной особенностью этого вида моделей является то, что пространственное положение ячейки определяется только ее номером, что избавляет от необходимости указывать полные позиционные данные каждой ячейки (координаты всех угловых точек). Это дает возможность компактного хранения информации; например, на рис. 4 объекты могут быть описаны в виде последовательности из 25 значений атрибута (от A до E каждое); при этом, при необходимости, координаты всех угловых точек каждого объекта могут быть легко восстановлены по его номеру. За счет наличия идущих подряд ячеек с одинаковым значением атрибута становится возможными еще более компактное описание C4DC3BDC2B2E3B2EAB3E (где, например, вместо DDDD использовано 4D, с экономией 2 знаков). В регулярно ячеистых моделях возможно использование ячеек любой правильной формы, в том числе криволинейной; также допускается применение разного разрешения и разной формы ячеек для разных атрибутов. В случае прямоугольных ячеек, единственным атрибутом которых является их цвет, модель превращается в растровую.

 Другой часто используемой моделью пространственных объектов является квадротомическая (рис. 5). При ее построении используется так называемое квадродерево, которое формируется, начиная с самого высокого из возможных уровня агрегирования объектов.

 В примере на рис. 5 наивысший уровень агрегирования – третий; так могут быть объединены в единый элемент размером 3х3 девять объектов с атрибутом A. Укрупненный объект маркируется как 1А (здесь совмещены номер объекта и значение атрибута), что отражается на квадродереве и на итоговой схеме расположения объектов. Больше возможностей агрегирования на уровне 3 нет, и производится переход к уровню 2. Здесь возможно создание двух укрупненных объектов, маркируемых как 2A и 3B, после чего переход им к низшему уровню, на котором объекты, не имеющие возможности укрупнения, маркируются, отражаются на квадродереве и на схеме расположения.

Рис. 5 — Построение квадротомической модели данных

 В результате построения квадротомической модели на рис. 5, без потери атрибутивной информации удалось сократить общее количество объектов с 25 до 11. Уменьшенное количество объектов и обусловленная этим компактность хранения данных являются преимуществами квадротомической модели. Кроме того, квадродерево, созданное на этапе построения модели, в последствии может обеспечить максимально быстрый поиск объектов по заданному атрибуту. Модель отличается быстрым ростом разрешения при увеличении уровня квадродерева; она также допускает переменный шаг приуменьшении размеров элементов по уровням. Для описания трехмерных объектов используется октотомическая модель, формирующая объекты в виде кубов переменного размера.

 Векторная модель пространственных данных отличается максимальной гибкостью (поскольку в ней не присутствуют ограничения по форме объектов, их размерами расположению), что одновременно приводит к необходимости полного указания всех позиционных данных для каждого объекта. Векторная модель может быть представлена в двух видах: не топологическом, и топологическом. Не топологическая разновидность (модель «спагетти») подразумевает независимое указание границ для каждого объекта; это приводит к тому, что данные о границах соседних объектов дублируются и, как следствие, общий объем используемых данных возрастает. Кроме того, при изменении границ какого-либо объекта необходимо выявить и синхронно изменить границы у всех соседних с ним объектов. Топологическая разновидность модели включает в себя набор отдельных полилиний (дуг), которые являются границами объектов, а также сведения о принадлежности этих дуг конкретным пространственным объектам. Дублирования информации при этом не происходит, и при редактировании границы смежных объектов изменения будут автоматически отражены для них обоих. Пример двух разновидностей векторной модели приведен на рис. 6, где показаны два полигона P1 и P2, имеющих смежную границу L3[5].



Рис. 6 — Векторные модели данных: а) – исходные полигоны; б) – не топологическая модель; в) – топологическая модель

Не топологическая модель содержит только указания о координатах граничных точек каждого полигона (три точки для P1 и пять точек для P2, начальная точка второй раз указывается в конце списка, как знак того, что граничная полилиния замкнулась). В топологической модели сначала описаны три дуги L1, L2 и L3, после чего указано, из каких дуг состоит каждый из полигонов. Топологическая модель, по сравнению с не топологической, отличается большей сложностью, и по этой причине используется реже, в основном на этапе формирования пространственных объектов (ввода их границ). На этапе анализа и моделирования более высокое быстродействие обеспечивает не топологическая модель [6].

# СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Власов, В.М. Информационные технологии на автомобильном транспорте / В.М. ВласовД.Б. Ефименко, В.Н. Богумил. – М.: ООО Издательский центр «Академия», 2014. – 256 с.

2. Горев, А.Э. Основы теории транспортных систем: учебное пособие / А.Э. Горев. – СПб.: Изд-во СПбГАСУ, 2010. – 214 с.

3. Первухин, Д.А. Информационные сети и телекоммуникации / Д.А. Первухин, О.В. Афанасьева, Ю.В. Ильюшин. – СПб.: Изд-во «СатисЪ», 2015. – 267 с.

4. Самуйлов, К.Е. Сети и телекоммуникации / К.Е. Самуйлов. – М.: Изд-во «Юрайт», 2015. – 359 с.

5. Волков, Н.Н. Системная инженерия: структурный анализ сред информационного обмена, ввода/вывода и хранения данных в ИВС, сетях ЭВМ и телекоммуникациях / Н.Н. Волков. – М.: Техполиграфцентр, 2012. – 120 с.

6. Прохоренок, Н.А. HTML, Java Script, PHP и MySQL. Джентльменский набор Web-мастера / Н.А. Прохоренок, В.А. Дронов. – СПб.: БХВ-Петербург, 2015. – 768 с.

# REFERENCES

#  1. Vlasov, V.M. Informatsionnyye tekhnologii na avtomobil'nom transporte / V.M. VlasovD.B. Yefimenko, V.N. Bogumil. – M.: OOO Izdatel'skiy tsentr «Akademiya», 2014. – 256 s.

#  2. Gorev, A.E. Osnovy teorii transportnykh sistem: uchebnoye posobiye / A.E. Gorev. – SPb.: Izd-vo SPbGASU, 2010. – 214 s.

#  3. Pervukhin, D.A. Informatsionnyye seti i telekommunikatsii / D.A. Pervukhin, O.V. Afanas'yeva, YU.V. Il'yushin. – SPb.: Izd-vo «Satis"», 2015. – 267 s.

#  4. Samuylov, K.Ye. Seti i telekommunikatsii / K.Ye. Samuylov. – M.: Izd-vo «Yurayt», 2015. – 359 s.

#  5. Volkov, N.N. Sistemnaya inzheneriya: strukturnyy analiz sred informatsionnogo obmena, vvoda/vyvoda i khraneniya dannykh v IVS, setyakh EVM i telekommunikatsiyakh / N.N. Volkov. – M.: Tekhpoligraftsentr, 2012. – 120 s.

#  6. Prokhorenok, N.A. HTML, Java Script, PHP i MySQL. Dzhentl'menskiy nabor Web-mastera / N.A. Prokhorenok, V.A. Dronov. – SPb.: BKHV-Peterburg, 2015. – 768 s.

## ТYЙIН

 **Н.М.Зайцева**, техника ғылымдарының кандидаты

 Инновациялық Еуразия университеті (Павлодар қ.)

 **А. А. Тайлаков**

*Инновациялық Еуразия университеті (Павлодар қ.)*

**Геоақпараттық жүйенің теориялық негіздері**

***Аннотация.*** *Геоақпараттық жүйенің теориялық мәліметтеріне арналған мақала*

***Түйін сөздер:*** *геоақпараттық жүйе, кеңістік-үйлестірілген деректер, функциялар және қолдану салалары.*

## RESUME

### N.М. Zaytseva, Candidate of Technical Sciences

### Innovative University of Eurasia (Pavlodar)

### А.Т. Tailakov

Innovative University of Eurasia (Pavlodar)

**THEORETICAL FOUNDATIONS OF THE GEOINFORMATION SYSTEM**

***Summary.*** *The article is devoted to the theoretical data of the geoinformation system*

***Keywords****: geoinformation system, spatially-coordinated data, functions and applications.*