

боты с помощью бортовых контроллеров и спутниковых навигационных систем / О.А. Лебедева, Д.В. Антонов / Сборник научных трудов молодых ученых и студентов. г. – Ангарск: Изд – во АГТА, 2015. - С.124-126.

4. Лебедева О.А. Основные принципы развития транспортных систем городов / О.А. Лебедева, Д.В. Антонов / Вестник Ангарской государственной технической академии. – Ангарск: Изд-во АГТА, 2014.- С.149-155.

5. Holguín-Veras J., Jaller M., Destro L.,

Ban X., Lawson C., Levinson H. Freight Generation, Freight Trip Generation, and the Perils of Using Constant Trip Rates. *Transportation Research Record*. 2011; 2224:68-81.

6. Zamparini L., Reggiani A. Freight transport and the value of travel time savings: A meta analysis of empirical studies. *Transport Reviews* 2007;27:621-36.

7. Yang C., Regan A., Son Y. Another View of Freight Forecasting Modelling Trends. *ASCE Journal of Civil Engineering*. 2010;14:237-42.

УДК 656.02

Лебедева Ольга Анатольевна,

к.т.н., доцент кафедры «Управление на автомобильном транспорте»,  
ФГБОУ ВО «Ангарский государственный технический университет»,  
тел.: +7(952)6326611, e-mail: kravhome@mail.ru

## ПРОБЛЕМЫ И ПЕРСПЕКТИВЫ ИНТЕГРАЦИИ МОДЕЛЕЙ ПЛАНИРОВАНИЯ ПЕРЕВОЗОК С ПРИМЕНЕНИЕМ ГЕОИНФОРМАЦИОННОЙ СИСТЕМЫ

Lebedeva O.A.

### PROBLEMS AND PERSPECTIVES INTEGRATION MODELS OF PLANNING TRANSPORTATION WITH APPLICATION GEO-INFORMATION SYSTEM

**Аннотация.** В статье рассматриваются возможные варианты объединения моделей планирования перевозок с географическими информационными системами (ГИС) с целью их интеграции. В частности, исследования посвящены несовместимости ГИС и традиционных моделей планирования перевозок при работе с топологиями сети. В работе представлена разработка алгоритма, который преобразует топологию ГИС в топологию транспортной сети. На базе алгоритма преобразования топологии генерируются транспортные сети из картографических файлов ГИС и устанавливается связь между двумя системами.

**Ключевые слова:** планирование перевозок, геоинформационные системы, интеграция моделей.

**Abstract.** The article discusses possible options for combining transportation planning models with geographic information systems (GIS) in order to integrate them. In particular, studies are devoted to the incompatibility of GIS and traditional transportation planning models when working with network topologies. The paper presents the development of an algorithm that converts a GIS topology into a topology of a transport network. Based on the topology conversion algorithm, it generates transport networks from GIS map files and establishes a connection between the two systems.

**Key words:** transportation planning, geographic information systems, model integration.

Планирование перевозок – это процесс принятия решений касательно таких вопросов как краткосрочное и долгосрочное прогнозирование, эффективная организация функционирования транспортной сети [1-5]. Транспортный спрос – важный элемент процесса планирования перевозок.

В процессе моделирования городского транспортного комплекса возникает множество ограничений [6,7]. Они заключаются в следующем [8]:

1. Отсутствие обратной связи. Для решения задачи организации поездки необхо-

дим процесс, состоящий из четырех последовательных этапов. На практике существует методика обработки исходных данных. Она включает итеративные процессы распределения, выбора и назначения, используя время в пути, которое является выходным параметром при назначении, в качестве нового входного распределения, а затем снова повторяется алгоритм для скорректированного модального объема с целью достижения нового равновесия.

2. Влияние изменения границ зоны на последовательный процесс определения уз-

ла. Итеративный процесс, который объединяет зональные границы, позволяет моделировать сеть и прогнозировать поездки, и изменяется в зависимости от границ зоны.

3. Множество вариантов программно-го обеспечения, используемого для генерации входных данных и моделирование транспортных потребностей. Для эффективного использования требуется время на освоение пакетов моделирования.

4. Трудоемкость задачи. К ключевым этапам процесса моделирования относят: генерацию работы транспортной сети (кодирование сети, сбор данных по узловым остановочным пунктам), анализ социально-экономических показателей на основе разграничения по зонам транспортных потоков. Сгенерированные сети часто изменяются из-за тестирования альтернативных вариантов и корректировки атрибутов линии (пропускной способности, ограничений скорости, местоположения узлов), внесения корректив в границы зоны исследования, землепользование.

5. Полевые исследования со сбором данных и их преобразование в пригодную для использования форму являются дорогостоящей процедурой.

Учитывая вышеперечисленные сложности планирования перевозок, поставим несколько целей исследования:

- изучение применения географических информационных систем (ГИС) в процессе планирования транспортного процесса, с целью минимизации трудоемкости, повышения удобства пользователей и включения в процесс интерактивных технологий;
- поиск алгоритма, позволяющего построение транспортной сети непосредственно из топологии ГИС.

ГИС – это интегрированная компьютерная среда для создания, хранения, поиска, управления, обработки, анализа и отображения географических данных. Основана на интеграции трех различных компьютерных технологий: управление базой данных, процедура построения графического представления и алгоритмах и методы, позволяющие осуществлять пространственный анализ. Система представлена довольно сложным компьютерным программным обеспечением, с несколькими общими компонентами [9]:

- подсистема ввода данных – собирает и обрабатывает пространственные данные, полученные из карт, удаленных датчиков и другого оборудования;
- подсистема хранения и поиска данных – преобразует пространственные данные в удобную форму с быстрой возможностью доступа, когда пользователю необходимо произвести точные обновления и внести исправления в базу;
- подсистема анализа данных – выполняет множество задач, таких как изменение формы данных, с помощью правил агрегирования или оценки параметров и ограничений пространственно-временных, оптимизационных или имитационных моделей;
- подсистема отчетов – отображает исходную базу данных, а также данные, полученные при моделировании, и выходные данные пространственных моделей в виде табличных или цифровых карт.

В ГИС все типы данных представлены в цифровом, а не в аналоговом виде. Пространственные географические данные – это объекты в форме точек, линий и многоугольников или областей. Для обработки таких данных необходимо: местоположение и форма объектов в географическом пространстве и их взаимосвязи (пространственная информация); географические особенности (описательная информация); и топология (пространственное отношение географического объекта к другим объектам).

Поскольку большинство мероприятий по планированию транспортного процесса включают пространственные данные, то значение ГИС способно сочетать моделирование с графикой и визуализацией.

Рассмотрим ГИС как инструмент планирования транспортного процесса.

ГИС для решения транспортных задач – это структура управления и анализа пространственных данных, связанных с процессом транспортировки, организации работы сетей, обновления и отображения атрибутов, анализа маршрутной сети.

Базы данных ГИС на транспорте включают управление дорожным движением, предотвращение дорожно-транспортных происшествий, учет показателей (фото-регистрация) объектов и транспортное планирование (рисунок 1).

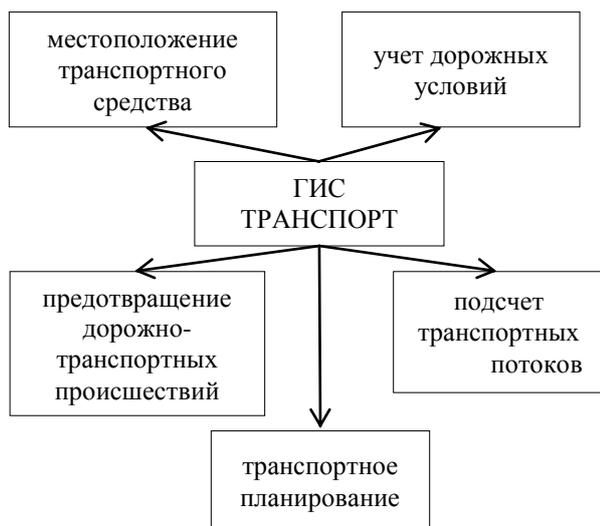


Рисунок 1 – Области применения ГИС на транспорте

Получаемые данные в основном касаются линейных транспортных сетей, больше внимания уделяется линейным системам дуг, а не площадным полигонам. Существующие пакеты ГИС не предназначены для работы с линейными данными, так как нет эффективной системы хранения информации.

По сравнению с традиционным подходом применение ГИС на транспорте имеет свои преимущества: увеличена производительность; повышено качество работы, поскольку непосредственное взаимодействие с объектами помогает выявлять скрытые проблемы; возможна демонстрация причинно-следственных связей; интеграция с использованием локальных атрибутов.

Приведем некоторые аспекты, затрудняющие моделирование транспортной сети посредством ГИС [10]:

1. Объектами, являются не линии и пункты, а улично-дорожная сеть и маршруты. ГИС определяет только простые визуальные объекты – точки, линии и многоугольники, и не распознает более сложные. Дорожная сеть или маршрут отображаются в виде набора линий, если пользователь задал это дополнительно, что усложняет процесс управления и обработки запросов. Большинство систем пытаются получить топологические отношения из геометрических свойств объектов (ГИС генерирует узел в любой точке пересечения линий, игнорируя тот факт, что пересечение на двумерной плоскости не обязательно означает пересечение в трехмерной).

2. Разделение пространственных данных искусственно создает препятствия для интеграции, нарушая естественные связи между двумя наборами. Отсутствует механизм сохранения топологии между несколькими уровнями ГИС, каждый из которых содержит разные объекты.

3. Используется несколько методов учета, таких как контрольные расстояния, логарифмические расстояния и справочная система. Полностью функциональная система должна поддерживать преобразование из одной системы в другую.

4. Уровень представления информации меняется в зависимости от потребностей пользователя. Система обеспечивает только один вариант представления объекта, то есть пересечение – либо точка, либо область.

5. Большинство пространственных операций осуществляются только для многоугольников, малый процент приходится на линии и точки.

Рассмотрим возможные варианты наложения между пространственными объектами (таблица 1). Невозможно наложить линии с точками, линии с линиями или точки с точками, которые являются важными операциями для моделирования транспортного процесса.

Таблица 1  
Возможные наложения между пространственными объектами

	Точка	Линия	Район
Точка	нет пространственной эквивалентности	нет пространственной эквивалентности	возможно в пределах центра
Линия	нет пространственной эквивалентности	нет сетевого слияния	возможно пересечение границ
Район	возможно	возможно	наложение не возможно, из-за нахождения над линией

Разработка динамической сегментации в рамках ГИС может решить некоторые из

проблем, отмеченных выше. Этот метод позволит хранить несколько перекрывающихся атрибутов в базе данных без дублирования геометрии маршрута, что приводит к значительному увеличению объема хранения данных и эффективному моделированию транспортными объектами, такими как маршруты (комбинация дуг), отрезок (часть дуги) и точка (узел).

Таблица 2  
Текущее и потенциальное применение геоинформационных систем на транспорте

Область применения	Индивидуальные особенности
Дорожная сеть	Планирование городской региональной сети дорог (мосты, звуковое сопровождение, освещение, знаки), система управления дорожным движением, обслуживание мостовых сооружений, транспортное планирование
Транспортная инженерия	Анализ аварийности, разработка программ безопасности дорожного движения, управление транспортными потоками, управление сигнальной системой, определение транспортного спроса
Общественные работы	Картографирование объектов и управление, планирование вывоза твердых бытовых отходов (ТБО), планирование и управление работой полигонов переработки ТБО, планирование и управление маршрутами сбора
Школьные перевозки	Анализ пассажиропотока, маршрутизация и планирование работы школьных автобусов

Процесс планирования включает в себя функцию географического распределения

по обследуемой территории. Используются социально-экономические данные (статистика населения и занятости, собранная для пространственно однородных районов), для оценки производственного спроса и привлекательности поездок. Данные, собранные для развития сети, являются пространственным компонентом, состоящим из набора узлов и связей. Основываясь на сходстве, применяемых при моделировании транспортной системы пространственных данных можно управлять информацией, необходимой для развития транспортной сети.

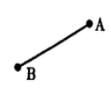
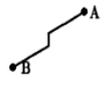
Некоторые функции ГИС могут быть включены в процесс моделирования [11]:

- функция интеграции базы данных – предоставляет соответствующие данные на этапах разделения на зоны и генерации поездки, и позволяет отображать непространственные объекты в графической форме;
- функция генерирования топологии сети – предоставляет базовые схемы соединения узлов и необходимых атрибутов данных;
- функция калибровки сети – позволяет создать наиболее подходящую сеть для распределения поездок, выбора варианта транспортировки и поиск оптимального маршрута;
- функция, разграничивающая зоны движения, как посредством пространственного анализа, так и с использованием топологической информации;
- функция, отображающая выходные данные моделей планирования, такие как объем перевозок, время в пути;
- функция пространственной аналитики – для выполнения пространственного поиска и запроса (например, маршрутизация и распределение товаров по логистическим центрам).

Модель планирования перевозок использует математический подход, а ГИС – визуально ориентированный. Рассмотрим три ситуации (таблица 3), в которых взаимно-однозначное соответствие между сетями двух систем не всегда возможно, то есть сложно определить путь в транспортной сети.

Таблица 3

Расхождения при решении транспортных задач с использованием моделей планирования и ГИС

Задача	Транспортная модель	ГИС модель
неполная упрощенная сеть		
несколько пересекающихся путей		
противоречивое направление дуг		

В рамках анализа (Таблица 3) были получены следующие выводы:

1. Транспортные сети – упрощенные реальные сети, охватывающие только междугородние магистрали.

2. Некоторые транспортные модели рассматривают перекрестки и автомагистрали как пару односторонних линий, что приводит к множеству совпадений между двумя сетями.

3. Несоответствие между двумя сетями. Некоторые сети в ГИС не будут иметь согласованных направлений относительно друг друга, хотя, взятые вместе, они соответствуют определенному пути в транспортной сети.

Необходимо провести различие между узлом зоны (где начинаются и заканчиваются поездки) и узлом пересечения (где две или более линии пересекаются), чтобы сети ГИС могли эффективно использовать сетевые данные для модели планирования перевозок. Следовательно, возникает задача применения топологии вектора ГИС в транспортной сети и построения связи между ними для отображения. Топология дугового узла, не может напрямую выступать в качестве схемы соединения узлов в сети, поскольку нет возможности назначить атрибуты. Есть две основные причины, по которым топология прямо несовместима со схемой. Типичные модели планирования требуют, чтобы каждый зональный узел имел нумерацию от 1 до  $n$ , тогда как узлы пересечения могут быть пронумерованы без ограничений. Можно предположить, что топология дугового узла может быть изменена для координации с моделью планирования. Однако

узлы, сгенерированные в процессе оцифровки, нелегко изменить с помощью команд, доступных в ГИС-модулях. Кроме того, бесполезно объединять ГИС и модели планирования, если каждое изменение сети в ГИС требует ручного изменения топологии дугового узла. Для решения вышеперечисленных задач необходимо разработать алгоритм автоматизации преобразования топологии дуговых узлов ГИС в топологию узловых связей модели планирования транспортных процессов.

Основное направление преобразования топологии заключается в предоставлении возможности для разработки структуры транспортной сети и присоединения атрибутивных данных таким образом, чтобы были удовлетворены требования модели планирования.

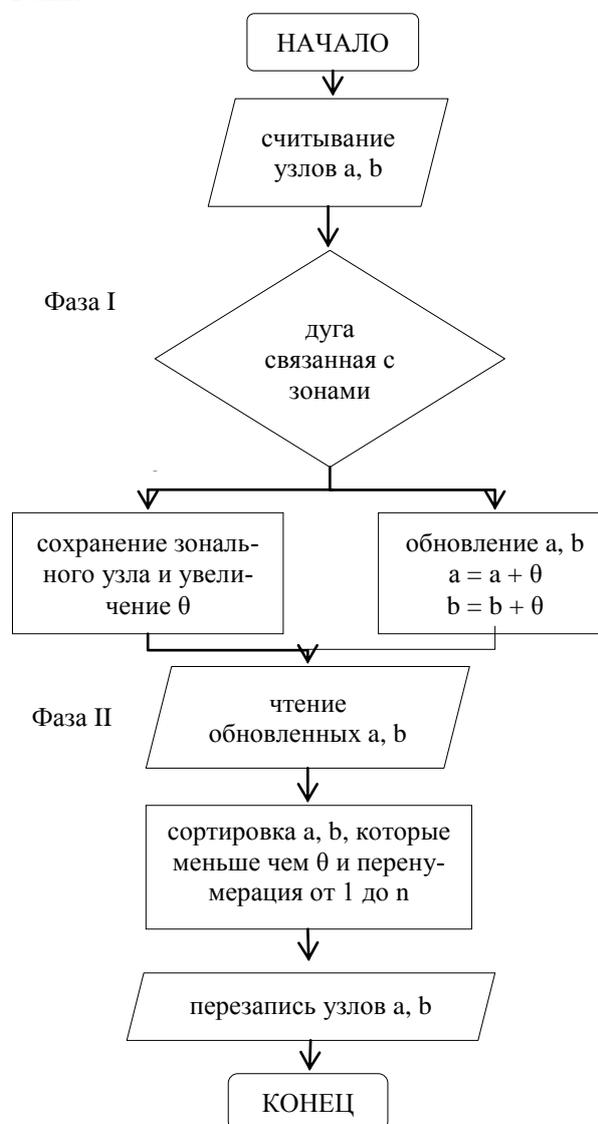


Рисунок 2 – Алгоритм преобразования топологии.

Алгоритм преобразования топологии [9, 12], сначала выбирает узлы в зоне покрытия, созданной в процессе оцифровки, на основе специальных значений, назначенных для каждой дуги, которые соответствуют путям проезда, соединяющим центроиды зон и узлы. Затем он перенумеровывает каждый узел зоны и узлы пересечения.

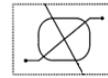
Как показано на рисунке 2, выбирается любой узел, связанный с центроидой зоны (предполагается, что он будет выбран до процесса оцифровки). В фазе I на основе идентификатора пользователя дуги, установленного больше  $\theta$  происходит процесс дифференцирования простой дуги от зональной дуги (зональная дуга может быть определена таким образом, что значение идентификатора пользователя для дуги превышает  $\theta$ ). Узлы обновляются с использованием формул в блоке.

Выбранные узлы в фазе I будут отсортированы и перенумерованы от 1 до  $n$ , в фазе II, создается совместимая форма для модели планирования. Преобразованная и переписанная топология дугового узла будет основным входным показателем для модуля генерации сети модели планирования, и ее можно комбинировать с другими атрибутивными данными, такими как пропускная способность и скорость сообщения, на основе значений каждой дуги.

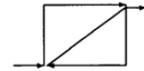
На рисунке 3 показана разница между топологиями моделей (транспортной и ГИС).

Рассмотрим вариант, что область исследования состоит из двух зон, как показано на рисунке 3 (а). Процесс оцифровки на рисунке 3 (b) будет представлять топологию в графической форме 3 (c). Однако топология транспортной сети (структура данных сети) отличается от топологии ГИС тем, что

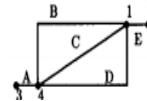
центроиды зоны пронумерованы от 1 до 2, как показано на рисунках 3 (d). Если имеется  $n$  зон, номера от 1 до  $n$  будут зарезервированы как узлы зоны. Схема сетевого кодирования на рисунке 3 (d) предполагает, что общее количество зон меньше  $\theta$ , и каждый узел пересечения кодируется больше  $\theta$ .



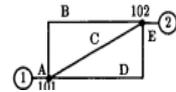
а. Пример аналоговой карты



б. Направление оцифровки



с. Сеть с применением ГИС



д. Транспортная модель

Рисунок 3 – Топологическое сравнение модели ГИС с транспортной.

При интеграции моделей в качестве базы данных принята ГИС. Устройства отображения для вывода модели планирования и генератора топологии сети осуществляются посредством алгоритма преобразования. Этот вариант позволит повысить удобство использования модели планирования, и частично снизит трудоемкость. Это позволяет сэкономить время за счет автоматизации процесса преобразования ГИС топологии в транспортной сети, даже с учетом изменений. Для дальнейшего усиления эффекта интеграции, возможно применение экспертной системы, что позволит упростить процесс моделирования, обеспечивая лучший интерфейс программного обеспечения.

### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Крипак М.Н., Лебедева О.А. Оценка состояния улично-дорожной сети крупного города. Современные технологии. Системный анализ. Моделирование. 2016. № 3 (51). С. 171-174.
2. Лебедева О.А. Транспортная инфраструктура как основополагающий фактор эффективного функционирования экономики страны / О.А. Лебедева / Сборник научных трудов Ангарского государственного технического университета. 2018. С. 125-130.

3. Гозбенко В.Е., Иванков А.Н., Колесник М.Н., Пашкова А.С. Методы прогнозирования и оптимизации транспортной сети с учетом мощности пассажира и грузопотоков. Депонированная рукопись № 330-B2008 17.04.2008 .
4. Полтавская Ю.О. Современные методы обследования улично-дорожной сети с использованием сопоставительного анализа. Вестник Ангарского государственного

технического университета. 2018. № 12. С. 196-198.

5. Лебедева О.А. Учет транспортной работы с помощью бортовых контроллеров и спутниковых навигационных систем / О.А. Лебедева, Д.В. Антонов / Сборник научных трудов молодых ученых и студентов. г. – Ангарск: Изд – во АГТА, 2015. - С.124-126.

6. Лебедева О.А. Основные принципы развития транспортных систем городов / О.А. Лебедева, Д.В. Антонов / Вестник Ангарской государственной технической академии. – Ангарск: Изд-во АГТА, 2014.- С.149-155.

7. Полтавская Ю.О. Надежность как показатель эффективного функционирования транспортной системы. В сборнике: Транспорт России: проблемы и перспективы - 2018 Материалы международной научно-практической конференции. 2018. С. 206-209.

8. Choi, K., and T. J. Kim. 1992. An integrated transportation planning model with GIS and expert systems. Paper presented at the 34th Annual Meeting of the Association of Col-

legiate Schools of Planning, 30 Oct.- 1 Nov., Columbus, Ohio.

9. Marble, D. F. 1987. Geographic information systems: An overview. In Geographic Information Systems for Resource Management: A Compendium, ed. W. J. Ripple. Falls Church, Virginia: American Society of Photogrammetry and Remote Sensing and American Congress of Surveying and Mapping.

10. Ding, C., K. Choi, and T. J. Kim. 1993. GIS-based traffic analysis zone design. Paper presented at the Third International Conference on Computers in Urban Planning and Urban Management, 23-25 July, Atlanta, Georgia.

11. Patterson, P. E. 1990. An evaluation of the capabilities and integration of aggregate transportation demand models with GIS technologies. In Proceedings of the 1990 Annual Conference of the Urban and Regional Information Systems Association, ed. R. Gaudet. Boston, Massachusetts: URISA.

12. O'Neil, W. A. 1991. Developing optimal transportation analysis zones using GIS. ITE Journal 61:33-36.

УДК 656.02

*Лебедева Ольга Анатольевна,*  
к.т.н., доцент кафедры «Управление на автомобильном транспорте»,  
ФГБОУ ВО «Ангарский государственный технический университет»,  
тел.: 89526326611, e-mail: kravhome@mail.ru

## АНАЛИЗ ПРОЕКТИРОВАНИЯ ТРАНСПОРТНЫХ ЗОН НА ОСНОВЕ МОДЕЛИРОВАНИЯ СЕТИ

*Lebedeva O.A.*

### ANALYSIS OF DESIGNING TRANSPORT ZONES BASED ON NETWORK MODELING

**Аннотация.** В статье рассматривается процедура проектирования транспортных зон на основе моделирования сети. Среди наиболее эффективных методов кластерного анализа для получения максимальной однородности внутри каждой зоны выделяют – агломерационный и итеративный разделительный. Зонирование проводится с помощью дискретизации района исследования в зоне движения. Количественная оценка уровней агрегирования социально-экономических и демографических данных производится путем применения методологии зонирования, необходимой для проектирования транспортных зон.

**Ключевые слова:** транспорт, моделирование, мобильность, транспортное зонирование.

**Abstract.** The article considers the analysis of the design of transport zones based on network modeling. Among the most effective methods of cluster analysis to obtain maximum homogeneity within each zone are distinguished - agglomeration and iterative separation. Zoning is carried out by sampling the study area in the movement zone. A quantitative assessment of the aggregation levels of socio-economic and demographic data is carried out by applying the zoning methodology necessary for the design of transport zones.

**Key words:** transport, modeling, mobility, transport zoning.