

## АСПЕКТЫ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ТЕХНОЛОГИЙ ArcGIS В ТРАНСПОРТНОЙ МОДЕЛИ САНКТ-ПЕТЕРБУРГА

**Котиков Ю.Г.**

*ГОУ ВПО «Санкт-Петербургский государственный архитектурно-строительный университет», Санкт-Петербург, Россия (190005, г. Санкт-Петербург, ул. 2-я Красноармейская, 4), e-mail: [cotikov@mail.ru](mailto:cotikov@mail.ru)*

---

На фоне краткого обзора достижений использования ГИС ArcGIS в транспортном планировании приведены сведения об авторских разработках для элементов автомобильно-дорожного комплекса, выполненных на базе этой ГИС. Приводимые фрагменты разработок охватывают трехмерное моделирование многоуровневой дорожной развязки, обоснование модернизации автотранспортной развязки на базе моделирования трафика. Рассматривается и реализуется в среде ArcGIS пирамида моделей улично-дорожной сети, включающая центрально-осевую, коридорную и полосовую модели. В модели сети на основе полос движения моделируются зоны возможной смены полос. Во всех моделях используется топология транспортных сетей ArcGIS. Рассматривается, с одной стороны, перспектива обеспечения функционала транспортной модели мегаполиса средствами ArcGIS, а с другой – возможная роль ArcGIS в качестве системного интегратора разрабатываемой Транспортной модели СПб.

---

Ключевые слова: автомобильный транспорт, транспортно-логистический комплекс, дорожная развязка, автомобиль, ГИС ArcGIS, транспортная модель.

## ASPECTS OF USAGE OF ARCGIS ENGINEERING IN THE ST.-PETERBURG TRANSPORTATION MODEL

**Kotikov Y.G.**

*GOU VPO St.-Petersburg State Architectural-Building University, St.-Petersburg, Russia (190005, St.-Petersburg, street 2nd Krasnoarmejsky, 4), e-mail: [cotikov@mail.ru](mailto:cotikov@mail.ru)*

---

Against the short browse of progress of GIS ArcGIS usage in transport planning data on authoring workings out for the elements of the auto-road complex fulfilled on the basis of these GIS are reconciled. Resulted fragments of workings out embrace three-dimensional modelling of a multilevel road interchange, a justification of upgrade of a motor transportation interchange on the basis of traffic modelling. The pyramid scheme of models of the road net, including central-axial, corridor and lane models, is observed and realised in the ArcGIS environment. In model of a network on the basis of traffic lanes allowed zones of possible change of lanes are modelled. In all models the topology of transportation networks ArcGIS is used. The perspective of providing megacity transport model functional by resources of ArcGIS, on the one hand, and with another - possible role of ArcGIS in the capacity of a system integrator of The SPb Transport model is observed.

---

Keywords: motor transport, the transportffion-logistical complex, a road interchange, the car, GIS ArcGIS, transportation model.

### **Введение**

Как известно, в Санкт-Петербурге (СПб) для решения задач транспортно-логистического комплекса (ТЛК) города создается ГИС «Транспортная модель Санкт-Петербурга» (ТМСПб) [5]. Основные положения, терминология, конструктивы создаваемой ГИС ориентированы на использование ПО PTV Vision.

В мировой практике, однако, для решения задач транспортной отрасли во взаимосвязи с проблемами и задачами других слоев деятельности получила распространение другая инструментальная среда – линейка программных продуктов ArcGIS фирмы Esri [7]. Инструментарий ArcGIS обладает широким функционалом моделирования и

интеграционными возможностями как с точки зрения охвата областей деятельности, так и с точки зрения интероперабельности с другими системными платформами.

**Целью настоящего исследования** является демонстрация на фоне мировых достижений продуктов Esri и авторских разработок, возможностей обеспечения ТМСПБ функционалом моделирования и интеграционными возможностями линейки ПО ArcGIS.

### **Использование ГИС ArcGIS в транспортном планировании**

Имеется множество примеров комплексного решения задач транспорта, градостроительства, экологии и других сфер деятельности городов и регионов в среде ArcGIS. Например, в европейских проектах Traffic Analyst [8] и TRANS-TOOLS [9] реализуется высочайший уровень интероперабельности.

Модуль-расширение ArcGIS **Network Analyst** [7] позволяет решать 9 классов транспортных задач в автоматическом режиме. Совершенная связность позволяет моделировать мультимодальные сети, а 3D-инструментарий – трехмерные сети и развязки.

Расширение ArcGIS **Tracking Analyst** [7], позволяющее создавать системы слежения за множеством объектов, планировать ход развития, – весьма полезно для мониторинга и управления транспортными сетями.

**Traffic Analyst** [8] – программа планирования перевозок в среде ArcGIS – содержит ряд инструментов для обработки линий общественного транспорта и расписаний. Она позволяет решать задачи планирования: прогнозирование транспортных потоков; анализ доступности; моделирование подвижек в спросе на транспортировку; оценка последствий проектов в сфере инфраструктуры. Модули Traffic Analyst участвуют в обработке логистических потоков в составе более крупного ППП TRANS-TOOLS [9].

Инструменты **TRANS-TOOLS** предназначены для разработок, включающих пассажирские, грузовые и мультимодальные перевозки. TRANS-TOOLS использует более 200 европейских моделей для различных задач (SCENES, VACLAV, NEAC, SLAM, TRENDS, REMOVE, ASTRA, EXPEDIT и др. [9]). Он содержит множество моделей спроса: непрерывных и дискретных; детерминированных и стохастических; гравитационных и энтропийных; с фиксированным, а также эластичным спросом; комбинированных.

Новации TRANS-TOOLS: интермодальность во всех измерениях; охват 27 стран ЕС; модель экономики с обратными инфраструктурными связями; стоимостные цепочки логистики; связь с местным трафиком; отражение изменений в землепользовании и экономике; интерфейс на базе ArcGIS – послужили основой интегрированного инструмента поддержки транспортной политики на уровне ЕС. Модель TRANS-TOOLS поддерживается европейской стратегической справочной базой данных ETIS по транспортному спросу, сервису, сетям инфраструктуры и воздействиям этих объектов [6]. ETIS, вписываясь в

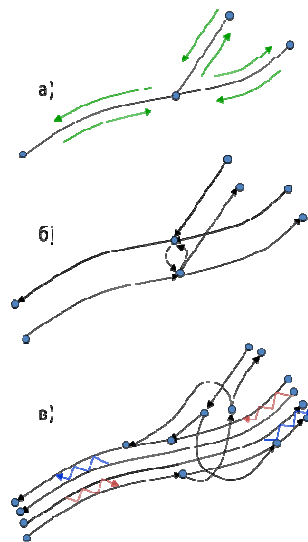
европейскую Инфраструктуру пространственной информации INSPIRE, гарантирует на европейском уровне единство данных для программных приложений. Примером опорной информации для транспортных программ может служить автодорожная сеть ЕС NUTS3 [9] (1269 зон, 34668 ребер и 22399 узлов сети). Отметим, что СПб представлен в этой сети пока лишь точкой безо всякой атрибутики. Конструктивы ПО TRANS-TOOLS послужили основой разрабатываемого евразийского ArcGIS-проекта **WORLD-NET** [10].

### *Авторские разработки в среде ArcGIS*

В среде ArcGIS нами осуществлено решение множества задач ТЛК и автодорожного комплекса СПб, относящихся к логистике, исследованию трафика, модернизации дорожных развязок, проектированию трехмерных развязок, моделированию УДС, размещению АЗС, прогнозированию грузовых и планированию пассажирских перевозок в мегаполисе, модернизации пространственного ареала и рабочего процесса контейнерного терминала, моделированию движения транспортных потоков на развязках, конвертации разнородных данных и других задач. Опишем две из них, связанные с дорожным комплексом.

### **Трехмерное моделирование многоуровневой дорожной развязки**

Для тематического слоя УДС нами определена иерархическая структура (пирамида) множества моделей различной степени детализации. Пример для развязки в виде плоской (планарной) схемы показан на рис. 1.



**Рис. 1. Трёхуровневая детализация УДС:**

а) уровень 1 – модель сети на центральных осях дорог; б) уровень 2 – модель сети на основе коридоров движения; в) уровень 3 – модель сети на основе полос движения; точечные объекты являются узлами УДС, линейные объекты – ребрами сети; гладкими стрелками (самостоятельными, а также в составе ребер) обозначены направления движения; зигзагообразными стрелками обозначены зоны возможной смены полос.

Модели сетей дорог, основанные на 2D связях-узлах центральных осей дорог, в настоящее время преобладают в технологиях проектирования УДС и тормозят сетевой анализ потоков с ориентацией на полосы движения и многомерное управление оборудованием в сложных 3D-городских средах.

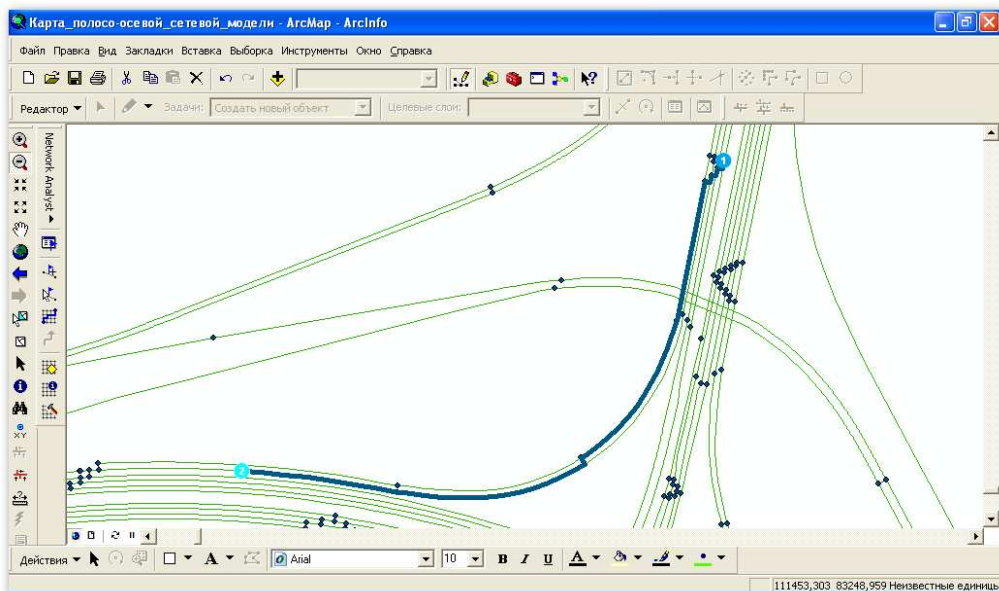
Нами для 3D-визуального отображения пространственных объектов трехмерных дорожных сетей и проведения непланарного сетевого анализа сформирована иерархическая структура системы моделей «центральная линия дороги – коридор движения – полоса движения» и взят курс на создание в среде ArcGIS Иерархической полосо-ориентированной 3D-Модели (ИПО-3D-М), ориентированной на нижнем уровне на движение по дорожной полосе. ИПО-3D-М задумана как непланарная топологическая модель с поддержкой картографического показа 3D-ленты полосы движения, которая должна обладать следующими особенностями:

- 1) множественными картографическими и топологическими представлениями и несколькими уровнями абстракции (улица, дорожный сегмент, коридор и полоса движения);
- 2) ссылочной (географической, декартовой и линейной) многомерной дорожной информацией (точка, линия, ареал, объем) на уровне полосы движения;
- 3) математической основой для сетевого анализа, управления оборудованием и реалистичной навигации в сложных городских 3D-транспортных системах.

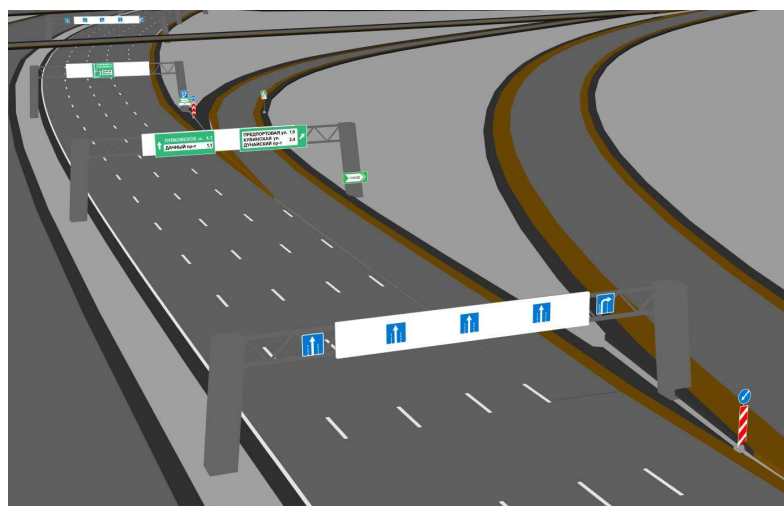
Проектирование 3D-развязок требует комплексного использования инструментария САПР и ГИС, поскольку инструменты САПР (например, AutoCAD) «заточены» на архитектурно-строительные задачи, в то время как ArcGIS имеет сильные инструменты для решения непланарных сетевых задач. Отработан комплекс соответствующих действий [1]:

- 1) формирование пирамиды моделей транспортной сети в ArcGIS Network Analyst;
- 2) комбинированная подготовка в среде САПР-ГИС геометрической модели 3D-развязки с привязанной транспортной сетью;
- 3) разработка сетевых моделей конкретной развязки;
- 4) использование Системы линейных координат и Динамической сегментации [7] в совокупности моделей;
- 5) размещение 3D-объектов (технических средств) на 3D-образе развязки;
- 6) формирование трехмерных навигационных схем по транспортной развязке и видеорядов в ArcGIS.

Пример реализации маршрута в полосовой модели пирамиды ИПО-3D-М приведен на рис. 2, а кадр синтезированного видеоряда движения по маршруту помещен на рис. 3.



**Рис. 2. Пример маршрута с реализацией переходов по полосам движения.**



**Рис. 3. Вид фрагмента 3D-модели развязки с нанесенными средствами организации дорожного движения.**

В приведенном примере база геоданных содержит 7 наборов классов пространственных объектов с размещенными в них 22 классами объектов, 12 классов отношений между объектами, 3 набора сетевых данных. Общее число атрибутов по всем названным категориям данных составило 258.

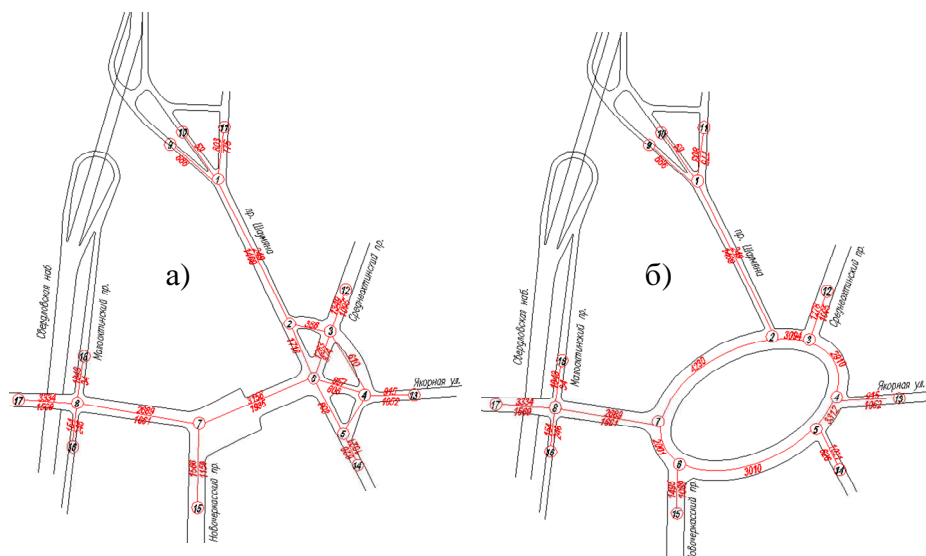
### **Обоснование модернизации автодорожной развязки**

Рассмотрим усовершенствованный алгоритм решения задачи модернизации автодорожной развязки в среде ArcGIS, первоначальный вариант которого был представлен

в работе [2]. Стартовый цикл расчетно-аналитических действий, для существующей развязки (нулевой, исходный вариант), заключается в следующем:

- 1) очерчивается граница ареала развязки с фиксацией точек входа/выхода в/из него;
- 2) в ArcGIS в границах ареала развязки строится Сеть N0, обеспечивающая навигацию в соответствии с Правилами дорожного движения (ПДД);
- 3) в Network Analyst моделируется движение одиночного автомобиля по всем маршрутам от входов к выходам (с путевыми листами, содержащими расстояния, время движения, расход топлива и прочие показатели пользовательской модели);
- 4) по результатам п. 3 строится матрица корреспонденций MD\_N0 для пунктов входа/выхода со значениями длин маршрутов между пунктами;
- 5) строятся соответствующие матрицы MT\_N0 – времени движения, MF\_N0 – расхода топлива, MX\_N0, MY\_N0... – прочих показателей;
- 6) проводится статистическое исследование трафика по совокупности точек входа/выхода и (для последующего уравнивания модели) внутренних узловых точек;
- 7) статистические данные заносятся в исходную таблицу Excel, которая послужит опорной – для уравнивания, калибровки модели, расчета производных величин, извлечения данных для работы Network Analyst, расчета вариантов модернизации узла;
- 8) производится уравнивание модели – равенство объемов въезда и выезда;
- 9) Сеть N0 поэлементно загружается часовыми интенсивностями движения уравновешенной модели (рис. 4, временное профилирование загрузки на этом этапе не рассматривается, и все последующие операции цикла производятся на одночасовом лаге);
- 10) строится матрица MA\_N0 с числом автомобилей, проследовавших по корреспондирующим маршрутам;
- 11) путем поэлементного умножения значений матриц MA\_N0 и MD\_N0 формируется матрица MDQ\_N0 дистанционных объемов движения по маршрутам, авт.\*км;
- 12) путем поэлементного умножения значений матриц MA\_N0 и MT\_N0 формируется матрица MTQ\_N0 временных объемов движения по маршрутам, авт.\*час;
- 13) путем поэлементного умножения значений матриц MA\_N0 и MF\_N0 формируется матрица MFQ\_N0 суммарных расходов топлива по маршрутам, авт.\*л;
- 14) аналогично формируются матрицы MXQ\_N0, MYQ\_N0 и пр.;
- 15) суммированием элементов матрицы MA\_N0 подсчитывается общее число проследовавших по развязке автомобилей A0, по матрице MDQ\_N0 подсчитывается дистанционный объем движения по развязке D0, аналогично рассчитываются суммарные показатели: суммарное время T0, общий расход топлива F0, также X0, Y0 и пр.;

16) определяются расчетные величины для автомобиля из обобщенного потока на развязке: средняя скорость  $V_0 = D_0/T_0$ , линейный расход топлива  $FD_0 = F_0/D_0$ , часовой расход топлива  $FT_0 = F_0/T_0$ , производные показатели от  $X_0$ ,  $Y_0$  и пр.



**Рис. 4. Картограммы интенсивностей движения:**

а) существующего варианта развязки; б) предложенной схемы кольцевой развязки.

Следующие циклы действий выполняются для вариантов перспективной развязки. Для варианта «1»: 1) повторяются точки входа/выхода нулевого варианта; 2) строится сеть  $N_1$  со своими ПДД; выполняются действия 3) ... 16) с формированием уже матриц  $MA_{N_1}, \dots$ , матричных показателей  $A_1, D_1, T_1, F_1, X_1, Y_1$ , а также производных показателей  $V_1, FD_1, FT_1, X_1, Y_1$  для последующих вариантов матрицы, и показатели маркируются своими индексами в именах. Варианты могут отличаться не только геометрией элементов, но и разными моделями сети на незыблемом конструктиве развязки, например по типу рис. 2. Так, для геометрического решения рис. 4б опробовались все 3 модели пирамиды ИПО-3D-М (рис. 1), а для полосовой модели – еще 3-, 4-, 5- и 6-полосные варианты. Внутри каждого из схемных вариантов перебиралось множество вариантов ожиданий, временных штрафов. В итоге общее число вариантов составило нескольких сот. Для автоматизации комплекса действий использовался ArcGIS ModelBuilder и Python.

Можно привести следующие показатели исследования. Общее количество актов фиксации транспортных средств счетчиками-наблюдателями, в сумме за время наблюдений в часы пик, составило 160632 ед. Через ареал развязки (фиксация на входах или выходах) в часы пик проходит 8000–9500 авт/час. Разница в годовых затратах на топливо (естественно, с учетом всех временных профилей изменения интенсивности движения) между нулевым



вариантом развязки и четырехполосным (лучшим) кольцом составила 106 млн р., что при затратах на модернизацию в 200 млн р. обуславливает срок окупаемости 1,9 года.

### **Заключение**

Обзор свойств всего двух программных продуктов – Traffic Analyst и TRANS-TOOLS, успешно функционирующих в среде ArcGIS в области транспортного планирования ЕС, позволяет акцентировать внимание на необходимости выбора ArcGIS в качестве интегрирующей платформы для «Транспортной модели СПб». Опыт автора по моделированию элементов транспортных систем, накопленный в разных программных средах [3; 4], позволяет утверждать, что линейка продуктов ArcGIS обладает непревзойденной широтой функционалов для осуществления транспортного планирования и решения задач транспортно-логистического комплекса мегаполиса.

### **Список литературы**

1. Котиков Ю.Г., Савченко К.А. 3D-моделирование многоуровневых транспортных развязок на базе платформы ArcGIS // ArcReview. – 2010. – № 55. – С. 16-18.
2. Котиков Ю.Г., Оллова Н.Е. Модернизация транспортной сети средствами ГИС // ArcReview. – 2008. – № 46. – С. 18-19.
3. Котиков Ю.Г. Основы системного анализа транспортных систем : учеб. пособие. – СПб. : Изд-во СПбГАСУ, 2001. – 264 с.
4. Котиков Ю.Г. Система имитационного моделирования функционирования автомобиля (СИМФА) // Свидетельство № 2002610711, РОСПАТЕНТ, 17.05.2002. – 450 с.
5. Постановление Правительства Санкт-Петербурга № 1321. О создании государственной информационной системы Санкт-Петербурга «Транспортная модель Санкт-Петербурга». – URL: <http://base.consultant.ru/cons/cgi/online.cgi?req=doc;base=SPB;n=114994>.
6. ETIS: European Transport policy Information System / About ETIS. – URL: <http://www.iccr-international.org/etis/etis.html> (дата обращения: 24.03.12).
7. Esri: Understanding our world. – URL: <http://www.esri.com/> (дата обращения: 24.03.12).
8. Rapidis: Taffic-analyst. – URL: <http://www.rapidis.com/products/traffic-analyst/> (дата обращения: 24.03.12).
9. TRANS-TOOLS: Report on Policy Requirements and Selected Relevant Models / Methods, Report WP1. – 2005. – 136 p. – URL: <http://www.inro.tno.nl/transtools> (дата обращения: 24.03.12).
10. Worldnet: European Transport Network Model Refinement Regarding Freight and Intermodal Transport to and from the Rest of the World. – URL: [http://www.transport-research.info/web/projects/project\\_details.cfm?id=28315](http://www.transport-research.info/web/projects/project_details.cfm?id=28315) (дата обращения: 24.03.12).



## **Рецензенты**

Капустин А.А., д.т.н., профессор кафедры технического обслуживания транспортных средств, ФГБОУ «Санкт-Петербургский государственный университет сервиса и экономики», г. Санкт-Петербург.

Карпов Б.Н., д.т.н., профессор кафедры автомобильных дорог, ФГБОУ ВПО «Санкт-Петербургский государственный архитектурно-строительный университет» (СПбГАСУ), г. Санкт-Петербург.