



УДК 656.051

© *Е. А. Нурминский, И. Н. Пугачев, Н. Б. Шамрай, 2014***МОДЕЛИРОВАНИЕ АВТОМОБИЛЬНЫХ КОРРЕСПОНДЕНЦИЙ  
РЕГИОНАЛЬНОЙ ТРАНСПОРТНОЙ СИСТЕМЫ (НА ПРИМЕРЕ  
ИРКУТСКОЙ ОБЛАСТИ)**

*Нурминский Е. А.* – д-р физ.-мат. наук, профессор, зав. лабораторией суперкомпьютерных и распределенных вычислительных технологий, тел. (423) 231-04-04, e-mail: nurmi@dvo.ru (ИАПУ ДВО РАН); *Пугачев И. Н.* – д-р техн. наук, декан ИСФ, проф. кафедры «Автомобильные дороги», тел.: (4212) 37-52-04, e-mail: IPugachev@mail.khstu.ru (ТОГУ); *Шамрай Н. Б.* – канд. физ.-мат. наук, научный сотрудник лаборатории суперкомпьютерных и распределенных вычислительных технологий, тел. (423) 231-04-04, e-mail: shamray@dvo.ru (ИАПУ ДВО РАН)

Описан опыт применения модифицированных гравитационных моделей для определения объемов перемещения населения с использованием маршрутных автобусов и индивидуальных автомобилей между населенными пунктами Иркутской области. Сравнение рассчитанных на этой основе транспортных потоков с имеющимися частичными данными наблюдений демонстрирует удовлетворительное совпадение на основном массиве эмпирических данных.

*Ключевые слова:* транспортный спрос, прогноз пассажиропотоков, расчет корреспонденций, моделирование автомобильных перемещений.

**Введение**

Программами развития ДФО предполагаются значительные инвестиции в развитие транспортной инфраструктуры региона. Для эффективного использования инвестиций уже на этапе разработки таких проектов необходимо применять эффективные средства оценки их влияния на социально-экономическую жизнь региона, то есть в первую очередь, как эти проекты повлияют на объемы и качество транспортных услуг. Одним из таких средств является исследование транспортных систем с помощью математических моделей и методов. Последние позволяют получать объективные оценки функционирования транспортной системы, выбирать наиболее эффективные проекты и предотвращать затратные мероприятия, которые могут на самом деле привести к ухудшению транспортной ситуации. Ключевым моментом таких исследований является прогноз спроса на транспортные услуги в пределах



региона, что позволяет затем спрогнозировать загрузку транспортной сети и системные и пользовательские затраты.

Исследование транспортных систем с помощью математических моделей и методов, сегодня также актуально в связи с развитием в России навигационно-коммуникационных технологий, которые позволяют реализовать новые принципы управления транспортом и потоками, приводят к существенному увеличению эффективности логистики и эксплуатации машин и механизмов. Создание и развитие интеллектуальных систем управления в регионах позволит качественно изменить процессы организации и управления, наладить бесперебойную и безопасную работу транспорта, обеспечить лучшие условия для инфраструктурного развития. Для Дальнего Востока особенно важны возможности использования создаваемых современных сервисов на удаленных территориях, создающие условия для своевременной доступной логистики и повышающие качество жизни в регионе. Такие технологии открывают новые возможности для прогноза транспортного спроса, однако, чтобы полностью реализовать их потенциал необходимо уже сейчас разрабатывать математические модели спроса и оценивать их пригодность для тех или иных видов перемещений.

Оценке транспортного спроса в мировой литературе посвящено значительное число работ, с основными подходами можно ознакомиться, например, по монографии [1]. В настоящей работе описан опыт определения объемов перемещения населения между населенными пунктами Иркутской области по автодорожной сети и приведено сравнение рассчитанных на этой основе нагрузок на транспортную инфраструктуру с имеющимися частичными данными. Оценка транспортного спроса представляла собой часть выполнения государственного контракта 13-ОК/12 от 12.09.2012 на научно-исследовательскую работу по разработке транспортной модели Иркутской области.

### Математическое моделирование транспортного спроса

Под транспортным спросом мы будем считать объемы пассажиропотоков между различными населенными пунктами Иркутской области, где один из пунктов считается начальным, а второй конечным. Формальным представлением этих данных является матрица корреспонденций, строкам которой соответствуют зонам отправления, а столбцам - зонам прибытия. Если удастся объективно оценить объемы отправления  $O_i$  из пункта  $i$  и объемы выезда  $D_j$  из пункта  $j$ , то для элементов  $T_{ij}$  матрицы корреспонденций обычно требуется выполнение балансов

$$\sum_j T_{ij} = O_i, \quad i=1,2,\dots, \quad \sum_i T_{ij} = D_j, \quad j=1,2,\dots \quad (1)$$

Подходы к моделированию корреспонденций условно можно разделить на методы, использующие факторы роста (методы аналогий), и методы, учитывающие межзональные факторы (синтетические методы). Методы анало-



гий основаны фактически на предположении о неизменности структуры потокообразующих процессов, что не подходит к оценке влияния крупных транспортных проектов, сопровождающих значительные изменения социально-экономической ситуации в регионе. Для прогнозов транспортного спроса в таких ситуациях более подходят синтетические методы, в основе которых лежит предположение о том, что распределение корреспонденций может быть определено на основе базовых предположений о природе передвижений и учете пространственных факторов. Одним из таких методов, широко используемом в мировой практике транспортных исследований, является расчет корреспонденций на основе модифицированной гравитационной модели [2]-[5], которая описывает корреспонденции с помощью уравнений вида

$$T_{ij} = A_i O_i B_j D_j f(c_{ij})$$

где  $c_{ij}$  - затраты (временные, финансовые) на передвижение между пунктами  $i$  и  $j$ ,  $f(c_{ij})$  - функция тяготения, характеризующая предпочтения индивидуумов при выборе передвижения из  $i$  в  $j$ ,  $A_i$  и  $B_j$  - калибровочные коэффициенты, которые подбираются так, чтобы удовлетворить балансы (1). Подбор этих коэффициентов производится при помощи специальных процедур, называемых методами балансировки [6]-[8]. В настоящем исследовании для численного расчета корреспонденций использовался метод [6], который показал вполне удовлетворительные результаты.

### **Транспортная характеристика региона**

Как и все территории Восточной Сибири, Забайкалья и Дальнего Востока Иркутская область относится к слабоосвоенным территориям с уровнем обеспеченности автомобильными дорогами в 42% от расчетного показателя. Вместе с тем ее промышленно-энергетический потенциал и стратегически выгодное географическое положение делают ее одним из важнейших регионов и серьезным кандидатом на реализацию программ развития и соответствующих проектов по совершенствованию транспортной инфраструктуры.

Для оценки транспортного спроса были выбраны 86 основных населенных пунктов области, суммарное население которых составило 1976484 или 81.5% общего числа жителей. Экономически активное население, которое участвует в генерации транспортного спроса Иркутской области составляет 61%. Для калибровки модели использовались следующие данные: численность населения административных районов области, численность населения и годовой доход местного бюджета населенных пунктов, общее количество отправок со станций области по Транссибирской железной дороге, годовой оборот пассажиров на пригородном и междугородном автобусном сообщении, годовой оборот пассажиров на внутренних авиалиниях. Транспортный спрос в Иркутской области описывался четырьмя матрицами корреспонденций: перемещения на частных легковых автомобилях, маршрутных автобусах, железнодорожным транспортом, авиасообщением. Весь спрос на пассажироперевозки делился между указанными видами перемещений в про-

порции 19:65:15:1, что соответствовало имеющиеся статистики продаж билетов и уровню автомобилизации области.

При расчете корреспонденций Иркутской области использовалось два вида функций тяготения  $f(c_{ij})$ :  $\lambda_{ij}e^{-\gamma c_{ij}^{\theta}}$  - для легковых автомобилей, и  $\lambda_{ij}c_{ij}^{-\theta}$  - для автобусов, где  $c_{ij}$  - среднее время для автомобилей или средние затраты (для остальных видов транспорта) на передвижение из  $i$  в  $j$ ,  $\gamma$  и  $\theta$  - калибровочные коэффициенты,  $\lambda_{ij}$  - коэффициент "привлекательности" поездки из  $i$  в  $j$ . Наиболее полные и представительные результаты были получены на наиболее массовом виде перемещений, осуществляемых индивидуальными легковыми автомобилями, что и представлено в данной работе.

### Моделирование автомобильных корреспонденций

При моделировании автомобильных перемещений посредством личного легкового и общественного транспорта, использовалась графовая модель автодорожной сети Иркутской области, приведенная на рисунке (1), отображающая реальную географическую информацию о расположении населенных пунктов.

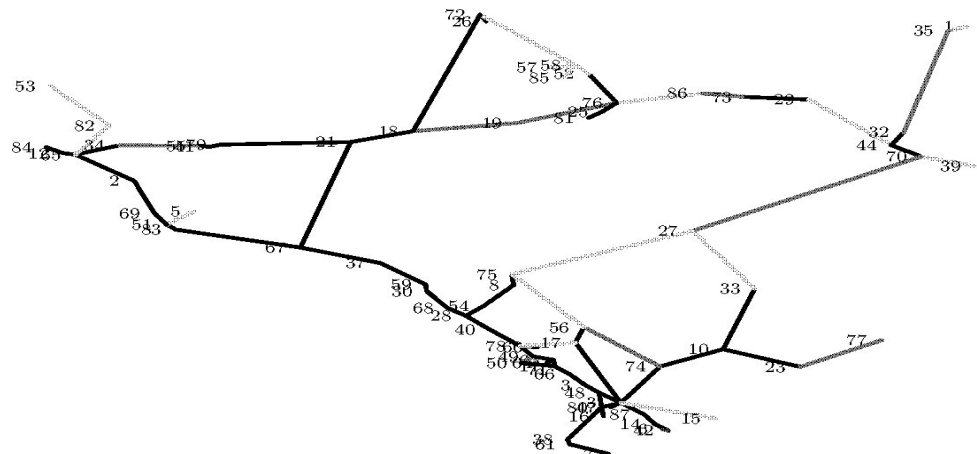


Рис. 1. Графовая модель автодорожной сети Иркутской области. Различные типы линий соответствуют разным типам дорог, для которых установлены соответствующие лимиты для допустимых скоростей передвижения

Расчеты проводились только для основной системы дорог области, изображенной на рис. 1, что составляло 5550 корреспондирующих пар. Для определения временных затрат использовались кратчайшие пути между вершинами и учитывалась различная скорость перемещения на дорогах разного типа. Для паромных переправ время проезда увеличивалось на 1 час, чтобы учесть значительное время ожидания. При расчете матрицы корреспонденций для перемещений на автобусах затраты определялись кратчайшим сетевым рас-



стоянием между пунктами и тарифом за проезд (1 руб./км). Для расстояний менее 15 км, стоимость проезда принималась равной 15 руб. [9-10].

### Анализ полученных результатов

По отдельным ребрам сети имелась информация об интенсивности автомобильного движения, что позволяло провести косвенную оценку адекватности синтетического подхода для описания транспортного спроса в Иркутской области. На рис. 2 приведены результаты вычисления автомобильных потоков по определенным участкам дорог, где имелись соответствующие данные.

Сравнение показывает достаточно хорошее совпадение прогноза с реальностью на всех 32 пунктах учета, за исключением небольшого количества дорог, представленных в табл. 1, на которых был отмечен аномально большой трафик. Причинами этого могли быть особые условия движения, скажем, большой грузовой поток, включенный в общий данные, наличие по этому направлению большого числа дачных участков, которые не учитывались в модели или какие-либо иные особенности учета. Возможно, что после уточнения всех обстоятельств, степень совпадения прогноза и реальных данных на этих отдельных сингулярных участках можно будет повысить.

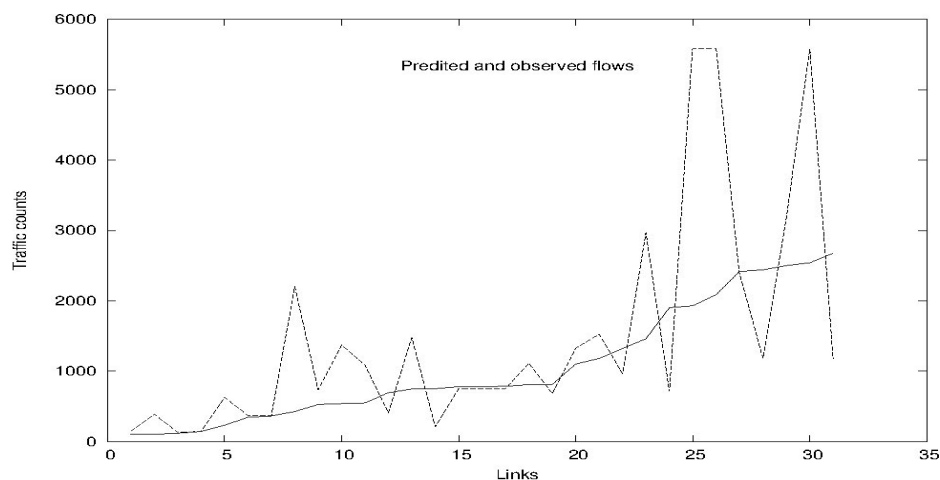


Рис. 2. Расчетные (сплошная линия) и эмпирические (пунктирная линия) значения потоков на участках автодорожной сети

Таблица 1

Расчетные и эмпирические значения потоков на участках автодорожной сети с большими отклонениями

Насел. пункт	Насел. пункт	Прогноз	Наблюдения
28-км	БольшаяРечка	2541	5580
Большая Речка	Листвянка	2089	5580
Усть-Ордынский	Оса	427	2200
Зима	Саянск	1931	5589



### Заключение

Работа частично поддержана грантом РФФИ 13-07-12010.

Проведенное математическое имитационное моделирование транспортного спроса на пассажирские перевозки с использованием графовой модели автодорожной сети Иркутской области позволило оценить эмпирические и теоретические значения пассажиропотоков для прогнозной экстраполяции загруженности региональной транспортной системы.

### Библиографические ссылки

1. *Ortuzar J.D., Willumsen L.G.* Modeling Transport, Wiley, 2011, P. 606.
2. *Voorhees A.M.* A general theory of traffic movement. ITE. 1955.
3. *Wilson A.G.* A family of spatial interaction models and associated developments // *Envir. & Plan. A.* 1971. Vol. 3.
4. *Лившиц В.В.* Математическая модель случайно-детерминированного выбора и ее применение для расчета трудовых корреспонденций / Автоматизация процессов градостроительного проектирования. М.: ЦНИИП градостроительства, 1973.
5. *Попков Ю. С., Посохин М. В., Гутнов А. Э., Шмульян Б. Л.* Системный анализ и проблемы развития городов. М.: Наука, 1983.
6. *Arrowsmith G. A.* A behavioural approach to obtaining a doubly constrained trip distribution model // *Operational Research Quarterly.* - 1973. - V. 24, No 1.
7. *Lamond B., Stewart N.F.* Bregman's balancing method // *Transportation Research.* - 1981. - Vol. 15(B).
8. *Schneider M.H., Zenios S.A.* A comparative study of algorithms for matrix balancing // *Operations Research.* - 1990. - Vol. 38.
9. *Территориальный орган Федеральной службы государственной статистики по Иркутской области [Электронный ресурс].* – Режим доступа: <http://irkutskstat.gks.ru>
10. *Статистический ежегодник Транспорт и связь Иркутской области С.78* Стат.сб./ Иркутскстат. Иркутск, 2012. - 100 с.

### **Title: Modeling Car Correspondence Regional Transport System (on Example of the Irkutsk Area)**

#### **Authors' affiliation:**

Nurminskiy E. A. – Institute of Automation and Control Processes, FEB RAS, Vladivostok, Russian Federation

Pugachev I. N. – Pacific National University, Khabarovsk, Russian Federation

Shamray N. B. – Institute of Automation and Control Processes, FEB RAS, Vladivostok, Russian Federation

**Abstract:** The experience in the use of modified gravitational models to determine the passenger traffic between the settlements of Irkutsk district both by transit and private cars is described. The comparison of predicted traffic flows with available observations demonstrates a satisfactory agreement for the main part of empirical data.

**Keywords:** transport demand, forecast пассажиропотоков, calculation correspondence, modeling of the car displacement.