

## **РАЗРАБОТКА ИНСТРУМЕНТАРИЯ ОЦЕНКИ ТРАНСПОРТНОЙ ДИСКРИМИНАЦИИ НАСЕЛЕНИЯ (НА ПРИМЕРЕ УЛУСОВ РЕСПУБЛИКИ САХА – ЯКУТИЯ)**

*Татьяна Николаевна Есикова*

Институт экономики и организации промышленного производства СО РАН, 630090, Россия, г. Новосибирск, пр. Академика Лаврентьева, 17, кандидат экономических наук, ведущий научный сотрудник, тел. (960)793-59-72, e-mail: T.N.Yesikova@gmail.com

*Дмитрий Германович Дымов*

Новосибирский национальный исследовательский государственный университет, 630090, Россия, г. Новосибирск, ул. Пирогова, 1, бакалавр, тел. (953)859-12-55, e-mail: dymovst@gmail.com

Рассматриваются проблемы развития инструментария для оценки направлений развития транспортной сети с учетом не только преодоления проблем транспортной недоступности, так и транспортной дискриминации. Разработка инструментария осуществляется с использованием возможностей ArcGIS, 2GIS, на языке программирования C#. В качестве объекта исследования на этапе постановки задачи для разработки и отлаживания инструментария были выбраны улусы Р. Саха-Якутии.

**Ключевые слова:** транспортное моделирование, транспортная дискриминация, доступность, транспортные сети, инструментарий.

## **DEVELOPMENT OF TOOLS FOR ASSESSING TRANSPORT DISCRIMINATION OF THE POPULATION (ON THE EXAMPLE OF THE SAKHA-YAKUTIA ULUSES)**

*Tatyana N. Yesikova*

Institute of Economics and Organization of Industrial Production SB RAS, 17, Prospect Akademik Lavrentiev St., Novosibirsk, 630090, Russia, Ph. D., Leading Researcher, phone: (960)793-59-72, e-mail: T.N.Yesikova@gmail.com

*Dmitry G. Dymov*

Novosibirsk National Research State University, 2, Pirogova St., Novosibirsk, 630073, Russia, BSc, phone: (953)859-12-55, e-mail: dymovst@gmail.com

The problems of developing tools for assessing the direction of development of the transport network are considered, taking into account both the resolution of problems of transport inaccessibility and transport discrimination. The development of tools is carried out using the capabilities of ArcGIS, 2GIS, in the C # programming language. The uluses of R. Sakha-Yakutia were selected as the object of study at the stage of setting the task and debugging the tools/Transport modeling originated and is developing as a tool for anticipating the potential technical problems of designed and operated transport systems, in particular by testing them for stability and reliability in the event of a wide variety of (including emergency) situations. In the framework of the economic and mathematical approach, the transport network is evaluated not only from the position of its conformity to national economic interests (ensuring the country's security, territorial connectivity). but also the socio-economic interests of individual actors of different levels of the hierarchy (for example, business, population). Both analyzes are carried out in relation to one and the same object of study: the existing or planned transport network of the micro- or macro-region of any level of the economic hierarchy (network column). Transport capabilities (offer) are predetermined by the scheme of the

transport network itself (general configuration of the network graph, freight and throughput capacity of each section, and other characteristics). The demand for transport services from business entities or the population forms the transport demand in the classical transport model.

**Key words:** transport modeling, transport discrimination, accessibility, transport networks, software products, model and information tools.

### *Введение*

Развитие экономической системы любого уровня (мирохозяйственной системы в целом и ее макрорегионов, отдельных стран, городов и т.д.) опирается на транспортные сети, как существующие, так и проектируемые. Исторически сложились и развиваются два модельных подхода к оценке состояния и уровня развития транспортных сетей: с технических позиций (транспортное моделирование) и с социально-экономических позиций (экономико-математическое моделирование) [1-8]. В последнее время востребованность последнего подхода возрастает, особенно на фоне геоэкономических изменений в мире.

### *Методы и методика*

Транспортного моделирования зародилось и развивается как инструмент для опережающего вскрытия потенциальных технических проблем проектируемых и эксплуатируемых транспортных систем, в частности путем тестирования их на устойчивость и надежность при возникновении самых разнообразных (в том числе, внестатных) ситуаций. В рамках же экономико-математического подхода, транспортная сеть оценивается не только с позиции ее соответствия народнохозяйственным интересам (обеспечение безопасности страны, связности территорий), но и социально-экономическим интересам отдельных факторов разного уровня иерархии (например, бизнеса, населения).

Тот и другой анализ проводится применительно к одному и тому объекту исследования: сложившейся или проектируемой транспортной сети микро- или макрорегиона любого уровня хозяйственной иерархии (графу сети). Транспортные возможности (предложение) предопределены самой схемой транспортной сети (общая конфигурация графа сети, провозная и пропускная способность каждого участка и другие характеристики). Спрос на транспортные услуги со стороны хозяйствующих субъектов или населения и формирует транспортный спрос в классической транспортной модели.

Однако, на этом сходство озвученных выше подходов моделирования к анализу транспортных сетей разного уровня иерархии заканчивается.

В транспортном моделировании явный примат инженерных задач: выбор и обоснование самого эффективного инженерного решения с позиции таких факторов, как безопасности движения, стоимости, уровня обеспечиваемой пропускной способности и др. Насколько те или иные инженерные решения по развитию транспортной сети работают на цели этих задач. Оцениваются, например, такие параметры, как снижение затрат времени у населения на все

необходимые ему перемещения в течение дня, увеличение доли населения, проживающего в зоне доступности остановок общественного транспорта с высоким приоритетом в движении, и т.п.

Рост масштабов экономики, привел к тому, что практически без грамотно проработанной транспортной модели, становится не только невозможно управлять городскими потоками, но и скрытие последствий возникающих сбоев.

Основные задачи, решаемые в транспортном моделировании, это

- а) организация и оптимизация транспортных потоков крупных городов,
- б) обеспечение оптимальной концентрации и логистики перевозок для своевременности доставки грузов и пассажиров на региональном уровне,
- в) своевременное развитие трансконтинентальной инфраструктуры, отвечающей складывающимся геоэкономическим ситуациям и условиям и т.д.

Разнородная природа этих параметров порождает желание выйти на общий интегральный показатель оценки уровня транспортного обслуживания территории в целом (в частности, работы НПО Транспорта и дорог Института Генплана Москвы и рядом других организаций).

Однако, в методических рекомендациях к разработке программ развития транспортной инфраструктуры в крупнейших городах [9], рекомендуется отслеживать параметры, характеризующие потенциальную оторванность населенных пунктов. А, именно, долю населенных пунктов, у которых отсутствует устойчивая дорожная связь (дороги с твердым покрытием) с сетью автомобильных дорог региона. Это можно рассматривать, как некоторый шаг на пути оценки транспортной доступности малонаселенных территорий и преодоления накопившихся проблем.

В экономико-математическом подходе к моделированию и анализу функционирования формируемых транспортных сетей (регионов, макрорегионов, страны в целом или мега-регионов и т.д.) акцент делался изначально и делается сейчас

- а) на создании предпосылок для экономического подъема слаборазвитых и территорий, вовлечение в оборот которых знаково влияет на рост экономического потенциала страны в целом,
- б) на социально-экономических последствиях этих решений для населения регионов, (удаленных, северных) и предотвращения дальнейшего опустынивания регионов, обладающих потенциалом развития в будущем,
- в) на повышение связности территории страны, особенно в условиях нестабильности экономической ситуации в мире и изменения геоэкономической ситуации в макрорегионе,
- г) на повышении транспортной доступности удаленных регионов.

Вышеперечисленные задачи в определенной степени реализовывались либо как отдельные блоки, либо как самостоятельные оптимизационные и имитационные модели развития крупных территориально-экономических систем.

В последние годы к вышеперечисленным направлениям следует отнести

- д) разработку специализированного инструментария по оценке не только транспортной доступности, но и транспортной дискриминации населения регионов страны.

С одной стороны, транспортная доступность и транспортная дискриминация это две характеристики, имманентно порождаемые сложившейся транспортной сетью страны, макрорегиона и т.д. С другой стороны, необходимо отметить разницу в понятиях «транспортная доступность» и «транспортная дискриминация» населения [9-13].

Транспортная доступность можно рассматривать, как функцию от задач экономического развития страны. Ибо формирование транспортной сети любой страны осуществлялось и осуществляется нередко с целью обеспечения устойчивого доступа в те или иные районы, от которых зависело обеспечение экономического благополучия в будущем. И тем самым расширяется транспортная доступность регионов страны. Но, если проблемы транспортной доступности довольно широко освещаются в литературе, посвященной экономической-географической, так и чисто экономической тематике, то о проблемах транспортной дискриминации заговорили где-то в последней четверти прошедшего столетия. Ибо, это становится актуальными только тогда, когда растет социальная активность и потенциальная мобильность населения страны.

Соответственно, отличается и набор параметров, которым пытались и пытаются оценить транспортную доступность и транспортную дискриминацию. Для оценки транспортной доступности в той или иной степени имеется достаточно развитый аппарат [14 - 22] и инструментарий (более трех десятков специально разработанных показателей), чего нельзя сказать об аппарате для измерения транспортной дискриминации (порядка трех – пяти). При этом значение транспортной дискриминации на фоне проходящих процессов глобализации резко возросло. Именно этим и обуславливается потребность не только показателей-индикаторов, но и специального инструментария.

В связи с тем, что наиболее удобное и адекватное представление транспортной сети любого макрорегиона (страны, районов, населенных пунктов и т.п.) это граф, решение будет основано на данной структуре. Решаемая задача будет заключаться в нахождении наиболее оптимального маршрута между населенными пунктами. В качестве критерия оптимальности выступает поиск наименее затратного (по определенному ресурсу) пути между указанными пунктами транспортной сети.

Например:

- 1) длина пути,
- 2) время в движении,
- 3) затраты денежных средств на передвижение,
- 4) затраты денежных средств на передвижение с учетом затрат на ожидания продолжения маршрута (это могут быть, например, оплата гостиниц, затраты на питание и т.д.).

Транспортная дискриминация обычно отражает уровень доступности к каким-либо услугам, а в контексте поставленной задачи - к населенным пунктам, которые могут предоставить данную услугу, например, туристические центры или любые другие социально-значимые центры. Далее они будут называться «центральными» населенными пунктами и в поставленную задачу будет вхо-

дить нахождение оптимального пути от всех населенных пунктов в транспортной сети к «центральным» населенным пунктам.

Так как невозможно по ряду причин учитывать все параметры движения в транспортной сети, введем абстракцию для основных сущностей в сети:

1. Для представления населенного пункта будет использоваться его название, а для реализации алгоритма, использующего затраты на ожидания маршрута, введем параметр средних затрат на проживание в данном населенном пункте в день.

2. Для представления маршрута будет использоваться точка отправления и точка прибытия, а для реализации алгоритмов будут использованы параметры длины маршрута, стоимости маршрута, стоимости проезда, а также расписания отправления транспорта по данному маршруту.

3. Для представления расписания маршрута будет использован список, в котором каждый элемент представляет время отправления и дни недели в которые данный маршрут доступен.

Однако необходимо решить ряд проблем, связанных с реализацией предложенного решения данной задачи на графах:

1. Задача подразумевает нахождение кратчайшего пути от всех населенных пунктов к «центральным», а алгоритмы нахождения кратчайшего пути в графах ищут кратчайшее расстояние от одной вершины до всех остальных.

2. В задаче в некоторых алгоритмах маршруты используют время как параметр и изменяют его в процессе перехода по нему, данная проблема усложняет процесс преобразования транспортной системы в граф.

Для решения первой проблемы будет использован прием, который превращает все маршруты или другими словами меняет местами точку отправления и точку прибытия. В этом случае, алгоритм будет искать кратчайший маршрут от «центральных» населенных пунктов ко всем остальным. Причем для алгоритмов, использующих время отправления маршрутов для вычисления доступности, расписание отправок превратится в расписание прибытий, а время будет идти не вперед, а назад.

Также в задаче используются несколько «центральных» вершин, в то время как в алгоритмах Дейкстры Беллмана-Форда, которые будут использованы в программе, поиск начинается с одной вершины. В соответствии с этим была произведена модификация алгоритмов. Так как в обоих алгоритмах вся работа с начальной вершиной заключается в присваивании расстояния к ней равным 0 на этапе инициализации, то достаточно лишь повторить эту операцию со всеми «центральными» вершинами.

Поэтому в данных случаях принято использовать алгоритм Беллмана-Форда, хоть он и асимптотически более «времязатратный», однако у которого не встречается данная проблема.

Предложено два алгоритма, оценивающие транспортную дискриминацию через временные издержки (затраты времени на передвижение). Первый это модификация алгоритма Дейкстры, когда для оценки длины пройденного пути в качестве веса ребра принимается длина маршрута ( $L$ ), т.е.  $W=L$ . Во втором,

который опирается на модификацию алгоритма Беллмана-Форда, вес ребра отражает временные затраты, не от пункта назначения до центральных узлов сетевого графа, а, наоборот. Необходимость такого представления обоснована с позиции повышения производительности и сокращения времени работы алгоритма.

Модификация этих же алгоритмов (Дейкстры, Беллмана-Форда), используется и для оценки транспортной дискриминации через стоимостные показатели (интегральные денежные затраты на передвижение).

Большая размерность транспортных сетей, которые необходимо проанализировать с позиции оценки транспортной дискриминации населения, затрудняет использование алгоритмов оценки маршрутов в стандартных вариантах (каждому населенному пункту соответствует вершина графа, каждому этапу маршрута сопоставлено ребро графа). Временные затраты характеризуются экспоненциальной сложностью от этих параметров.

С учетом данной конкретной постановки задачи было признано целесообразным модифицировать алгоритм с учетом специфики анализируемой транспортной сети. Конечное решение по сети в целом получается как комбинация решений по локальным подсетям, составляющим единый транспортный маршрут.

В этом случае, вся транспортная сеть представляется как совокупность взаимосвязанных транспортных подсетей, Алгоритм поиска оптимального пути применяется отдельно к каждой транспортной системе:

а) генерируется кратчайший путь ко всем населенным пунктам от “центральных” или от пунктов, которые принадлежат нескольким системам (далее транзитным населенным пунктам);

б) строится граф из транзитных населенных пунктов и находятся оптимальные пути для каждого графа; в) рассчитывается значение оптимального пути до транзитного населенного пункта от каждого населенного пункта региона; г) вычисляется общее значение временных затрат, суммируя время движения по оптимальным путям двух уровней (глобальной сети и сети, размещения данного транзитного населенного пункта).

Требования к информационным потокам, которые необходимы для решения задач по оценке транспортной дискриминации населения, частично пересекаются с требованиями к информации в транспортном моделировании. Это а) наличие картографического материала; б) информация о размещении основных объектов транспортной системы и ее среды.

### ***Результаты***

Предложена постановка экономико-математической задачи транспортной дискриминации на базе анализ проблемы, проведенной на примере улусов Республика Саха-Якутия. Реализованы и апробированы алгоритмы оценки транспортной дискриминации. Разработан прототип приложения на С# под операционные системы семейства Windows, работающий при установленной на компьютере платформе .NET Core 3.0.

## **Обсуждение**

Инструментарий для оценки транспортной дискриминации населения слабоборазвит, ибо исторически основное внимание уделяется вопросам транспортной доступности районов, которую некоторые исследователи интерпретируют и как транспортную дискриминацию. Представляется, что необходимо дальнейшее развития инструментария, в частности в направлении а) возможности подключения к анализу транспортных сетей, порождаемых относительно новыми транспортными средствами, такими как экранопланы, экранолеты, вездеходы и т.п.), б) автоматической генерации сферы покрытия территорий этими новыми транспортными средствами, независимыми от традиционных транспортных сетей, в) наглядной визуализации результатов расчетов, в том числе и в 3d формате, г) более активного подключения к формированию базы данных геоинформационных систем и т.д.

Безусловно, необходима довольно широкая апробация разрабатываемого инструментария на панельных данных территориальных систем разного уровня иерархии, например, отдельный населенный пункт, район или улус, республика или край и т.д.

## **Заключение**

Широкое развитие интернета, помимо широко известных позитивных моментов, порождает и усиливает социально-культурные запросы населения (посещение не только мест отдыха, но культурные, туристические, исторические и др. центры). Это ставит задачу оценки транспортных сетей не только с позиции доступности самой территории для бизнеса, но на предмет транспортной дискриминации населения. Развитие математического аппарата и соответствующего инструментария для оценки транспортных сетей с этих позиций может предотвратить рост социальной напряженности и негативные последствия для развития регионов в будущем.

## **Благодарности**

*Работа выполнена при поддержке гранта РФФИ-РГО 17-05-41018 «Комплексная оценка вариантов формирования опорной транспортной сети Азиатской части России: ресурсные и социально-экономические возможности».*

## **БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК**

1. Горев А. Э. Основы теории транспортных систем: учеб. пособие. – СПб. СПбГАСУ. – 2010. – 214 с.
2. ХейтФ. Математическая теория транспортных потоков. - М.: Мир, 1966. – 288 с.
3. ШвецовВ.И. Математическое моделирование транспортных потоков // Автоматика и телемеханика. – 2003. –№ 11–С. 3-46.
4. Швецов В.Л., Прохоров А.В., Ильин И.В. Транспортные модели в системе государственного управления // Научно-технические ведомости СПбГПУ, Экономические науки. – 2009. – № 5. – С. 20-27

5. Гафарова К.Э., Осадчий Е.И. Модели развития транспортной системы и российская практика // Экономика и бизнес: теория и практика. – 2016. – №2. – С. 52-55.
6. Litvinchev I. S., Cedillo G., Velarde M. Integrating territory design and routing problems // Journal of Computer and Systems Sciences International. – 2017. – Т. 56. – №. 6. – С. 969-974.
7. Voorhees A. M. A general theory of traffic movement //Transportation. – 2013. – Т. 40. – №. 6. – С. 1105-1116.
8. Якимов М.Р. Транспортное планирование: создание транспортных моделей городов: монография – М.: Логос, 2013. – 188 с
9. Методические рекомендации по разработке программ комплексного развития транспортной инфраструктуры крупнейших городских агломераций в рамках приоритетного направления стратегического развития Российской Федерации «Безопасные и качественные дороги» [Electronic resource]. – Mode of access :// URL: <https://www.mintrans.ru/documents/8/5884> (дата обращения: 10.05.2020)
10. Бугроменко В. Н. «Транспорт в территориальных системах М.: Наука, 1987. 112 с.
11. Ковалева Е. Н. Интегральная транспортная доступность как показатель качества транспортного обслуживания // Вестник государственного университета морского и речного флота им. адмирала С.О. Макарова. – 2011. – №. 3 (11).
12. Лавриненко П. А. и др. Транспортная доступность как индикатор развития региона // Проблемы прогнозирования. – 2019. – №. 6 (177).
13. Есикова Т. Н. Анализ транспортной дискриминации населения регионов при оценке вариантов опорной транспортной сети Азиатской России //Экономика Сибири в условиях глобальных вызовов XXI века. – 2018. – С. 117-128.
14. Левитин А. В. Жадные методы: Алгоритм Дейкстры //Алгоритмы: введение в разработку и анализ М.: Вильямс. – 2006. – С. 189-195.
15. Bellman R. On a routing problem //Quarterly of applied mathematics. – 1958. – Т. 16. – №. 1. – С. 87-90.
16. Bast H. et al. In transit to constant time shortest-path queries in road networks // 2007 Proceedings of the Ninth Workshop on Algorithm Engineering and Experiments (ALENEX). – Society for Industrial and Applied Mathematics, 2007. – С. 46-59.
17. Wagner D., Willhalm T. Geometric speed-up techniques for finding shortest paths in large sparse graphs // European Symposium on Algorithms. – Springer, Berlin, Heidelberg, 2003. – С. 776-787.
18. Brodal G. S., Jacob R. Time-dependent networks as models to achieve fast exact timetable queries // Electronic Notes in Theoretical Computer Science. – 2004. – Т. 92. – С. 3-15.
19. Gülpinar N. et al. Extracting pure network submatrices in linear programs using signed graphs // Discrete Applied Mathematics. – 2004. – Т. 137. – №. 3. – С. 359-372.
20. Schulz F., Wagner D., Zaroliagis C. Using multi-level graphs for timetable information in railway systems //Workshop on Algorithm Engineering and Experimentation. – Springer, Berlin, Heidelberg, 2002. – С. 43-59.
21. Cooke K. L., Halsey E. The shortest route through a network with time-dependent inter-nodal transit times //Journal of mathematical analysis and applications. – 1966. – Т. 14. – №. 3. – С. 493-498.
22. Yixun L. A recognition problem in converting linear programming to network flow models // Applied Mathematics. – 1993. – Т. 8. – №. 1. – С. 76-85.

© Т. Н. Есикова, Д. Г. Дымов, 2020