

Транспортный спрос как функция состояния транспортной сети

Сакульева Татьяна Николаевна

канд. экон. наук, ФГБОУ ВО «Государственный университет управления»,
г. Москва, Российская Федерация, ORCID: 0000-0001-7052-9725, e-mail: sakulyeva_tn@mail.ru

Аннотация

На протяжении тысячелетий в крупных городах одной из основных проблем была возможность передвижения. Потребность в передвижении основана на возможностях, предоставляемых транспортом, и побуждает общество к дальнейшему развитию. В статье рассмотрены исторические аспекты исследования подвижности населения и изучение его мобильности в условиях цифровых технологий.

Применение различных методов исследования мобильности — обычная практика во многих странах, городах, районах, которая обеспечивает сбор важной информации для развития транспортных систем. Финансовые и организационные ограничения влияют на количество и качество собранных данных. Существующие методики нужно постоянно адаптировать к быстроразвивающимся технологиям и быстроменяющемуся характеру мобильности населения, которая становится более интермодальной. Качественная модель, основанная на соответствующем наборе данных, создает качественную совокупность исходных данных для концепции, проектирования и результатов оценки. Это в свою очередь позволит обеспечить более обоснованное проектирование и оценку транспортных проектов.

Транспортное моделирование варьируется от разработки относительно простых моделей в форме таблиц до моделей транспортных сетей, которые рассматривают транспортный спрос как функцию состояния транспортной сети. Для каждого этапа моделирования существует потребность включения в процесс моделирования обратных связей. Они раскрывают взаимосвязь различных шагов процесса моделирования и необходимость применения итерационных методов расчета. Функциональные возможности модели определяются наличием обратных связей, которые увеличивают способность модели прогнозировать реальные результаты. Перед проведением любых действий по транспортному моделированию необходимо в полном объеме понимать требования к функции этой модели. Это послужит гарантией того, что модель результат, который важен для проекта и обеспечивает ему качественную оценку.

Ключевые слова: подвижность населения, урбанизация населения, цифровые технологии, транспортные потоки, транспортная доступность, транспортная инфраструктура, транспортное моделирование.

Цитирование: Сакульева Т.Н. Транспортный спрос как функция состояния транспортной сети//Управление. 2019. № 3. С. 47–53.

Transport demand as a function of the state of a transport network

Sakulyeva Tatyana

Candidate of Economic Sciences, State University of Management,
Moscow, Russia, ORCID: 0000-0001-7052-9725, e-mail: sakulyeva_tn@mail.ru

Abstract

For thousands of years in major cities one of the main problems was the possibility of movement. The need for movement is based on the opportunities provided by transport, and encourages society to further develop. The article considers the historical aspects of the study of the mobility of the population and the study of its mobility in terms of digital technology.

The application of various methods of mobility research is a common practice in many countries, cities, regions, which provides the collection of important information for the development of transport systems. Financial and organizational constraints affect the quantity and quality of the data collected. Existing techniques need to be constantly adapted to rapidly developing technologies and the rapidly changing nature of population mobility, which is becoming more intermodal. A qualitative model based on an appropriate data set creates a qualitative set of input data for the concept, design, and evaluation results. This in turn will allow for a more reasonable design and evaluation of transport projects.

Transport modeling varies from developing relatively simple models in the form of tables to models of transport networks, which consider transport demand as a function of the state of the transport network. For each stage of modeling, there is a need to include feedback in the modeling process. They reveal the interrelation of the various steps of the modeling process and the need to use iterative methods of calculation. The functionality of the model is determined by the presence of feedbacks, which increase the ability of the model to predict actual results. Before carrying out any actions on transport modeling, it is necessary fully understand the requirements for the function of this model. This will ensure, that the model is a result, which is important for the project and provides it with a qualitative assessment.

Keywords: mobility of the population, urbanization of the population, digital technologies, traffic flow, transport accessibility, transport infrastructure, transport modeling.

For citation: Sakulyeva T.N. Transport demand as a function of the state of a transport network (2019) *Upravlenie*, 7 (3), pp. 47–53. doi: 10.26425/2309-3633-2019-3-47-53



Основной целью, с которой изучается подвижность населения, являются ответы на следующие вопросы о том, куда перемещается человек, на чем перемещается человек, зачем перемещается человек и сколько времени занимает его перемещение.

На протяжении тысячелетий в крупных городах одной из основных проблем была возможность передвижения. Передвижение — перемещение людей от пункта отправления до пункта назначения. Потребность в передвижении основана на возможностях, предоставляемых транспортом, и побуждает общество к дальнейшему развитию. Качественная модель, основанная на соответствующем наборе данных, создает подходящую совокупность исходных данных для концепции, проектирования и результатов оценки. Это, в свою очередь, позволяет обеспечить более обоснованное проектирование и оценку транспортных проектов.

История исследования подвижности населения

Транспортные проблемы в городах возникли задолго до появления автомобилей, которые считают насущной проблемой современных городов. В 740–680 гг. до н. э. в древней Ассирии был издан указ, согласно которому любому, кто оставит свою колесницу на царской дороге, грозила смертная казнь. В Древнем Риме также существовала необходимость жесткого регулирования городского движения — были введены запреты на движение колесниц в течение первых десяти часов после восхода солнца на некоторых узких улицах.

Первый известный общественный транспорт появился в конце XVII века в Париже. Многоместные кареты перевозили горожан по заранее установленным маршрутам. Со временем города росли. XIX век промышленной революции привел к закономерной

урбанизации. Удельный вес городского населения в развитых странах мира приведен в таблице 1 [2].

К началу XX века было уже 17 городов-миллионников. Крупнейшие из них — Большой Лондон (7,1 млн чел.), Нью-Йорк (4,1 млн чел.), Берлин (3 млн чел.). XX век стал золотым веком развития транспорта. Автомобиль начал становиться средством передвижения.

Быстрые темпы роста промышленного производства, урбанизации и автомобилизации привели к появлению городов-миллионников, а также и мегаполисов. В 1950 г. было два мегаполиса: Токио и Нью-Йорк. В 1990 г. количество мегаполисов уже десять: Токио, Нью-Йорк, Мехико, Сан-Паулу, Мумбаи, Осака, Буэнос-Айрес, Калькутта, Лос-Анжелес, Сеул. Число мегаполисов растет, в их число вошла и Москва.

Характер подвижности населения в современном городе усложнился. Существует множество альтернативных способов передвижения по городу и их сочетаний. Городскую мобильность можно рассматривать как услугу, которую город предоставляет населению, и как совокупность процессов управления перемещением населения, груза и информации внутри логистической системы города в соответствии с потребностями и целями его развития.

Для транспортных инженеров и планировщиков сведения о подвижности населения просто необходимы для создания транспортных моделей и обоснования вложения инвестиций в будущие инфраструктурные проекты, а все мировое транспортное сообщество по итогам опросов населения получает возможность сравнивать ситуации в разных странах и городах, обмениваться опытом.

Попытка проведения первого известного в мировой практике исследования транспортного поведения была предпринята в России (в Ленинграде

Таблица 1

Урбанизация населения в развитых странах мира
Table 1. Urbanization of the population in the world developed countries

Год	Население, млн чел.	Городское население, млн чел.	Уровень урбанизации, %
1300	80–100	7–9	7–9
1500	85–105	8–9	7–9
1700	135–160	14–17	10–11
1800	211	23	10,7
1830	255	31	12,3
1880	405	95	23,6
1914	600	215	35,7
1950	749	353	47,1
1980	992	659	66,4

Источник: [2] / Source: [2]

в 1932 г.) [1]. В 1930–1940 гг. и 1951–1959 гг. в нескольких американских штатах проводили опросы, связанные с автомобильными перевозками. В 1961 г. проведено исследование с целью оценки владения и использования автомобилей. Широко известное исследование транспортного поведения населения проведено в США в 1969 г. Министерством транспорта США и в дальнейшем проводилось регулярно.

Исследования транспортного поведения населения в начале 1970-х гг. начали в Германии и Великобритании. Исследования проводили независимо друг от друга в ГДР и ФРГ. В ГДР в 1972 г. разработана и применена система репрезентативных обследований дорожного движения. Непрерывный мониторинг транспортного поведения, применяемый в ФРГ, впервые использован в 1976 г., затем проводился в 1982 г. и 1989 г. Данные, собранные в этих исследованиях, служили основой для транспортного планирования в ФРГ, а также для научного анализа повседневной мобильности. Исследования продолжают по настоящее время.

Население Великобритании, одной из самых высокоурбанизированных стран Европы, расселено по территории страны очень неравномерно. Основная часть жителей сконцентрирована в Англии. По Шотландии жители рассредоточены свободно и обосновываются больше на побережьях, в долинах и низменностях. К началу XX века 80 % населения перебралось в города, а близлежащие деревни превратились в спальные районы мегаполисов. Жители Великобритании одними из первых столкнулись с проблемой пробок, а власти обеспокоились необходимостью дорожного планирования и управления пассажиропотоками горожан. Министерство транспорта Великобритании в 1965 г. инициировало первый национальный опрос о подвижности населения. Далее опросы повторялись целенаправленно в 1972–1973, 1975–1976, 1978–1979 и 1985–1986 гг. С 1988 г. опрос проводится ежегодно.

С годами география опросов о подвижности населения расширялась, и они становились регулярными. Полученные данные использовали для обоснования инфраструктурных проектов, построения прогнозных моделей, формулирования политических решений.

В России в условиях плановой экономики была возможность получать данные от всех перевозчиков, что существенно упрощало задачу получения информации об объемах пассажиропотоков. В 1974 г. была издана книга «Пассажиропотоки в городах» (М. В. Зенбуш, А. Ю. Белинский, А. Г. Дынкин). В 1982 г. выпущено «Руководство по проведению транспортных обследований в городах». В 1983 г. разработаны «Рекомендации по разработке комплексных транспортных

схем для крупных городов». В 1990-е гг. произошла смена экономической модели страны. Решение вопроса об удовлетворении спроса легло на плечи частных перевозчиков, параллельно шел процесс роста уровня автомобилизации и уже к началу 2000 гг. российские города столкнулись с проблемами пробок и неоптимизированных маршрутных сетей.

Изучение современной мобильности населения

Обследования подвижности населения могут быть национальными и региональными. Региональные обследования отвечают целям конкретного исследования в конкретном городе. Результаты опросов, проведенных в разных городах, сложно сравнивать между собой. Во время национальных опросов собирают данные в стране по регионам и городам с единой целью и по единой методике. В настоящее время национальные обследования, проведенные в разных странах, тоже не просто сопоставлять и сравнивать между собой. Коммерческие компании заказывают или проводят своими силами транспортные обследования в маркетинговых целях. Выявляя наиболее популярные маршруты и места и, наоборот, «мертвые точки», где размещать рекламу бессмысленно. Инициировать исследования могут и ученые для изучения отдельных аспектов подвижности населения. Такие исследования позволяют накапливать теоретическую базу.

Выборка обследования должна отражать характеристики всей совокупности. Размер выборки зависит от требований к точности конкретного исследования. Чем больше размер выборки, тем более точные результаты можно получить. Выборка должна включать в себя состав всего населения.

Обследование подвижности населения может проводиться в виде наблюдения или опроса. Наблюдение за пассажиропотоками позволяет фиксировать статистические показатели. Сегодня значения и характеристики транспортных потоков фиксируют цифровые технологии. Однако, в отличие от опросов, наблюдение не позволяет выявить реальные причины перемещений. Универсальных методов обследования не существует, поэтому нужно выбирать наиболее соответствующий целям метод.

Для анализа транспортного спроса чаще используют матрицы корреспонденций. Для изучения транспортной доступности заданного района используют метод изохрон. Эти методы изучения подвижности применяют транспортные планировщики.

Для изучения современной мобильности важны источники получения данных, которые связаны с цифровыми технологиями [3]. С развитием цифровых

технологий появилось множество способов определить местонахождение человека:

- мобильный телефон;
- операционные системы;
- мобильные приложения;
- геометки в соцсетях;
- финансовые транзакции.

Источников данных и самих данных много, но они не могут служить достоверной информацией. Большие данные не всегда отражают все население. Из выборки выпадают все, кто не пользуется мобильными сервисами и технологическими возможностями.

Применение различных методов исследования мобильности – обычная практика в многих странах, городах, районах, которая обеспечивает сбор важной информации для развития транспортных систем. Финансовые и организационные ограничения влияют на количество и качество собранных данных. Существующие методики нужно постоянно адаптировать к быстроразвивающимся технологиям и быстроменяющемуся характеру мобильности населения, которая становится более интермодальной [4; 5].

Транспортное моделирование

Транспортное моделирование варьируется от разработки относительно простых моделей в форме таблиц до моделей транспортных сетей, которые

рассматривают транспортный спрос как функцию состояния транспортной сети. Транспортные модели состоят из отдельных этапов, которые разрабатывают в последовательности, приведенной в таблице 2 [6].

Для каждого этапа моделирования существует потребность включения в процесс моделирования обратных связей. Они раскрывают взаимосвязь различных шагов процесса моделирования и необходимость применения итерационных методов расчета:

- распределение спроса в транспортной сети существенно меняет состояние сети, что в свою очередь влияет на выбор вида транспорта. Поэтому необходима обратная связь на этапе распределения поездок по видам транспорта;
- распределение спроса на транспортную сеть приводит к заторам в точках этой сети, что влияет на выбор пути (маршрута);
- затор влияет на выбор места назначения. Для этого необходимо, чтобы сетевая информация с этапа распределения передавалась обратно на этап генерации поездок.

Функциональные возможности модели определяются наличием обратных связей, которые увеличивают способность модели прогнозировать реальные результаты [6; 7] (табл. 3).

Таблица 2

Стандартный подход к моделированию транспортных потоков

Table 2. Standard approach to traffic flow modeling

Этап	Содержание	Результат
Генерация поездок	Транспортный спрос определяется количеством поездок, которые создаются в рамках определенного периода. Для сетевых моделей транспортный спрос вычисляется по районам.	Суммарный транспортный спрос
Распределение поездок	Общее количество поездок, генерируемых районом и распределенных по другим районам. Результатом является набор матриц корреспонденций, которые описывают количество поездок между каждым районным пунктом отправления и назначения с различными целями и временными периодами (сутки, час пик, неделя и т.д.)	Матрица корреспонденций – конкретные объемы спроса между конкретными транспортными районами
Распределение по видам транспорта	Спрос на поездки между пунктами отправления и назначения распределяется по видам транспорта. Распределение по видам транспорта требует описания состояния сети, которое определяет требования для моделирования	Конкретные объемы спроса на каждом используемом виде транспорте
Перераспределение по сети	Исходя из условий улично-дорожной сети и доступного предложения транспорта общего пользования, происходит выбор сети. Распределение требует описания условий сети, которое определяет требования для моделирования.	Конкретные наиболее вероятные маршруты для каждого пользователя с учетом используемого транспорта
Определение количества транспортных средств	Количество поездок (пассажиры) преобразуется в количество транспортных средств, необходимых для выполнения перевозок на основе предложений о заполняемости.	Количество транспортных средств с учетом вместимости и вида подвижного состава.

Источник: [6] / Source: [6]

Функциональные возможности модели

Table 3. Functional capabilities of the model

Простые модели	Модели распределения поездок по сети	Модели распределения по видам транспорта	Модели временного спроса
Небольшие временные затраты на моделирование. Отсутствуют выбор пути, сетевые влияния, реакция распределения по видам транспорта и на изменение спроса. Анализ пропускной способности одного или нескольких перекрестков без изменения маршрутов. Анализ участков дорог или небольших сетей для прогнозирования аварийности на них, где нет изменения спроса, распределения по видам транспорта или изменения маршрутов. Использование темпов прироста для прогнозирования будущего транспортного спроса на отрезке или в транспортном районе. Часто может быть выполнено без сетевого программного обеспечения для моделирования	Более длительные затраты времени на моделирование. Включают выбор пути, сетевое влияние. Отсутствие реакций распределения по видам транспорта и реакций спроса. Небольшие сетевые изменения. В которых влияние распределения по видам транспорта не ожидается. Влияние новых и усовершенствованных дорог в районах с ограниченным доступом транспорта общего пользования или потенциалом изменения спроса. Влияние изменения услуг в модели транспорта общего пользования на пересмотр маршрута, при этом реакция на разделение по видам транспорта не ожидается. Требуется программное обеспечение для сетевого моделирования	Более длительные затраты времени на моделирование. Реакция на выбор пути, на распределение по видам транспорта. Незначительные изменения в сети, при которых вероятны изменения в распределении по видам транспорта. Распределение по видам транспорта и последствия распределения при изменении услуг в общей транспортной модели, в которой ожидается реакция на изменение баланса между общественным и автомобильным транспортом. Распределение по видам транспорта и последствия распределения при изменении услуг в модели транспорта общего пользования, где комплексная реакция на распределение ожидается между различными видами транспорта общего пользования с качественно различными характеристиками или при изменении распределения, которое необходимо экономически проанализировать. Требуется программное обеспечение для сетевого моделирования	Наиболее затратные по времени. Реакция на выбор пути, на распределение по видам транспорта, на спрос. Основные сетевые улучшения, которые приводят к значительным изменениям времени передвижения и доступности. Крупные городские районы, где заторы существуют или будут существовать в рамках исследования. Области, где структура населения и занятости является результатом изменений в транспортной сети. Важные изменения в работе транспорта общего пользования. Анализ влияния политических решений на состояние сети. Модели стратегического планирования. Требуется программное обеспечение для сетевого моделирования

Источники: [6; 7] / Sources: [6; 7]

Перед проведением любых действий по транспортному моделированию необходимо в полном объеме понимать требования к функции этой модели.

Библиографический список

1. Дрюбин, С. Г., Иванов, В. И., Гвоздев, А. М. Методология планирования внутригородских пассажирских перевозок. Ленинград: Редиздатбюро ЛНИИКС, 1935.
2. Bairoch, P., Goertz, G. Factors of Urbanisation in the Nineteenth Century Developed Countries: A Descriptive and Econometric Analysis//Urban Studies. 1986. No. 23. Pp. 285–305.
3. Hensher, D. A. Future bus transport contracts under mobility as a service regime in the digital age: are they likely to change? David A. Hensher. Australia, Sydney, 2016.
4. Sakulyeva, T. Megapolis public transport system//International Journal of Civil Engineering and Technology. 2018. V. 9, I. 10. Pp. 647–658.
5. Yanying, L., Voegel, T. Mobility as a service (MaaS): Challenges of Implementation and Policy Required//Journal of Transportation Technologies. 2017. No. 7. Pp. 95–106.
6. JASPERS Appraisal Guidance (Transport). The use of transport models in transport planning and project appraisal, August 2014 [Электронный ресурс]. – Режим

References

1. Dryubin S. G., Ivanov V. I., Gvozdev A. M. Metodologiya planirovaniya vnutrigorodskikh passazhirskikh perevozok. [Methodology of planning of intercity passenger transportation], Leningrad, Redizdatbyuro LNIKKH, 1935.
2. Bairoch P., Goertz G. Factors of urbanisation in the nineteenth century developed countries: A descriptive and econometric analysis, Urban Studies, 1986, no. 23, pp. 285–305.
3. Hensher D. A. Future bus transport contracts under mobility as a service regime in the digital age: are they likely to change? Australia, Sydney, 2016.
4. Sakulyeva T. Megapolis public transport system, International Journal of Civil Engineering and Technology, 2018, vol. 9, issue 10, pp. 647–658.
5. Yanying L., Voegel T. Mobility as a service (MaaS): Challenges of implementation and policy required, Journal of Transportation Technologies, 2017, no. 7, pp. 95–106.
6. JASPERS Appraisal Guidance (Transport). The use of transport models in transport planning and project appraisal, August 2014. Available at: <http://kc-sump.eu/>

доступа: http://kc-sump.eu/wordpress/wp-content/uploads/2015/04/Upotreba-Modela-u-prometnom-planiranju_JASPERS_kolovoz-2014.pdf (дата обращения: 29.07.2019).

7. MOTOR Handbook containing guidelines for constructing national and regional transport models: Transport modelling – towards operational standards in Europe, May 2007 [Электронный ресурс]. – Режим доступа: https://trimis.ec.europa.eu/sites/default/files/project/documents/20090928_091637_67695_MOTOS%20-%20Handbook.pdf (дата обращения: 05.07.2019).

[wordpress/wp-content/uploads/2015/04/Upotreba-Modela-u-prometnom-planiranju_JASPERS_kolovoz-2014.pdf](http://kc-sump.eu/wordpress/wp-content/uploads/2015/04/Upotreba-Modela-u-prometnom-planiranju_JASPERS_kolovoz-2014.pdf) (accessed 29.07.2019).

7. MOTOR Handbook containing guidelines for constructing national and regional transport models: Transport modelling – towards operational standards in Europe, May 2007. Available at: https://trimis.ec.europa.eu/sites/default/files/project/documents/20090928_091637_67695_MOTOS%20-%20Handbook.pdf (accessed 05.07.2019).