

08.00.05 Экономика и управление народным хозяйством (по отраслям и сферам деятельности)

УДК 681.3

Сорокин Алексей Александрович

МАТЕМАТИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ПАССАЖИРСКИХ КОРРЕСПОНДЕНЦИЙ ГОРОДСКОЙ ТРАНСПОРТНОЙ СИСТЕМЫ

В статье рассматриваются проблематика совершенствования транспортной инфраструктуры и указывается на возможности применения пассажирских матриц корреспонденций с целью моделирования городской транспортной сети. Рассмотрены модели транспортных систем. Дан обзор программных и математических инструментов транспортного моделирования. Приводится схема моделирования транспортных потоков. Указывается на то, что доминирующую роль при определении нагрузки на городскую транспортную сеть, играет построение матрицы корреспонденций. Дается описательная характеристика назначения матриц корреспонденций. Рассматриваются четыре класса математических моделей для вычисления элементов матрицы корреспонденций. Исследованы достоинства и недостатки моделей.

Ключевые слова: транспортная система, моделирование, матрицы корреспонденций.

Alexey Sorokin

MATHEMATICAL MODELING OF PASSENGER CORRESPONDENCE OF URBAN TRANSPORT SYSTEM

The article discusses the problems of improving the transport infrastructure and points out the possibility of using passenger correspondence matrices to model the urban transport network. Models of transport systems are considered. A review of software and mathematical tools for transport modeling is given. The scheme of modeling traffic flows is given. It is indicated that the dominant role in determining the load on the urban transport network is the construction of a correspondence matrix. A descriptive description of the purpose of correspondence matrices is given. Four classes of mathematical models are considered for calculating the elements of the correspondence matrix. The advantages and disadvantages of the models are investigated.

Key words: transport system, modeling, correspondence matrices.

Введение / Introduction. Когда в городской среде встает вопрос о совершенствовании инфраструктуры или о перепланировке городских объектов, то для полноценной реализации проекта необходима вся информация о транспортных потоках (трафике). Данную информацию можно отобразить в различных транспортных моделях. Создаваемые модели должны носить качественный характер, поскольку существует прямая их взаимосвязь с качеством принимаемых решений.

Наиболее часто используемые модели транспортных систем представлены на рис. 1.



Рис. 1. Модели транспортных систем [1]

Довольно часто при разработке конкретной городской транспортной модели возникает ряд проблем, которые не всегда позволяют обеспечить получение ожидаемого эффекта при решении задач управления транспортными потоками.

Когда перед администрацией города стоит вопрос о планировании кардинальных мер по развитию города с учетом транспортных схем, то незаменимым механизмом является математическое моделирование пассажирских корреспонденций. Именно они необходимы на стадии реструктуризации транспортных потоков. В данной связи самым оптимальным можно считать использование различных «гравитационных» и «энтропийных» моделей.

Материалы и методы / Materials and methods. Обзор программных и математических инструментов транспортного моделирования позволяет оценить разнообразие программных средств и математических моделей, которые могут быть использованы для анализа качества городских транспортных сетей.

За рубежом широкое применение находят такие коммерческие пакеты для автотранспортного моделирования, как TSIS-CORSIM (Federal Highway Administration), Aimsun (TSS – Transport Simulation Systems, Испания), SimTraffic (Traffic-ware Corporation, США), Paramics Modeller (Quadstone Paramics, Великобритания), PTV Vision и VISUM (PTV Group, Германия).

Следует отметить, что в РФ осуществляется подход к моделированию транспортных потоков на основе пакета VISUM, особенно широко используемого в ФРГ, так как пакет позволяет реализовать схему моделирования (рис. 2).



Рис. 2. Схема моделирования транспортных потоков

VISUM дает возможность реализовать различные алгоритмы с целью расчета необходимых показателей. Нужный алгоритм можно выбрать с учетом сложности поставленной задачи, а также оперативности, с которой ее необходимо решить. Этот метод отмечен в СТО 2.2-2013 «Рекомендации по прогнозированию интенсивности дорожного движения на платных участках автомобильных дорог государственной компании „Автодор” и доходов от их эксплуатации».

Определенный интерес для решения задач математического моделирования представляет пакет MATSim (TU Berlin), который в отличие от VISUM имеет открытый код. Пакет MATSim не содержит пользовательского интерфейса, таким образом, отпадает необходимость в установке дополнительных программных приложений. Эта специфика MATSim предоставляет больше возможностей по учету специфики моделей, а открытый код – возможности по написанию собственных функций.

Достаточно широко используются при решении практических задач транспортные модели на основе матриц корреспонденций, которые позволяют проводить оценку распределения транспортных потоков по городской сети. Матрицы корреспонденций часто применяются с целью планирования транспортной сети и при проектировании системы организации дорожного движения (ОДД) города.

На основе методики, содержащейся в документе «Руководство по прогнозированию интенсивности движения на автомобильных дорогах», можно определить матрицу корреспонденций, которая может быть исследована между определенными районами городской транспортной сети с использованием численных данных. В качестве данных могут выступать: численность и структура населения района, зоны отдыха, зоны рабочей активности, загруженность автотранспортом, временные затраты на проезд.

Также важным моментом является информация о распределении городских транспортных потоков (трафик с привязкой к району), которая необходима для обеспечения разработки проектов ОДД, а также для моделирования транспортных сетей в малой локации.

Результаты и обсуждение / Results and discussion. В РФ составление подобных матриц корреспонденций является достаточно трудоемким процессом, поскольку преследует целый ряд трудновыполнимых процессов, таких как: опрос горожан об используемых маршрутах движения, сбор информации о регистрации автомобилей и т. д. Если ориентироваться на зарубежный опыт в части разработки ОДД, то необходимым моментом является использование составленных матриц корреспонденции, которые созданы на основе информации об интенсивности транспортных потоков городского района. На территории РФ данные исследования актуальны лишь для маршрутов общественного транспорта. Исходная информация о трафике маршрутов была собрана из данных о числе входящего и выходящего пассажиропотока. Если рассматривать зарубежную практику, то там учитываются методы оценки уже существующих матриц на основе данных об интенсивности движения. Также можно отметить, что в связи с использованием периферийного оборудования для получения данных об интенсивности движения за рубежом в установленных методиках не учитывается качество получаемых данных.

Важным критерием в части выполнения проектов по организации дорожного движения считаются данные о реальном распределении транспортных потоков в городе. На основе этих данных должны приниматься управленческие решения.

Транспортные системы городов являются важным фактором, который существенно влияет на социально-экономическое развитие страны, так как совершенствование городской транспортной сети повышает качество жизни горожан, обеспечивает рост занятости, укрепляет бюджет города, развивает бизнес и привлекает инвестиции.

Поэтому в идеальной модели рыночной экономики улично-дорожные сети, в частности и городские, должны обеспечивать высокую мобильность людей и беспрепятственную перевозку товаров, так как состояние транспортной сети напрямую влияет на состояние экономики в целом.

Прямые экономические эффекты от улучшения транспортной сети – это рост доходов автотранспортных предприятий, снижение аварийности и снижение затрат на эксплуатацию транспортных средств.

К косвенным экономическим эффектам относятся рост производства в результате удешевления перевозок, экономия времени населения и улучшения его здоровья за счет снижения числа ДТП.

В РФ состояние дорожно-транспортной системы является одним из факторов, которые тормозят развитие экономики страны, а увеличение парка автотранспортных средств привело к возникновению и росту пробок, затруднительному передвижению, ухудшению городской экологии и ухудшению условий для нормального развития предприятий города.

Доминирующую роль в нагрузке на городскую транспортную сеть в городах составляют пассажирские перевозки. Поэтому наибольший интерес представляют для анализа пассажирские матрицы корреспонденций (рис. 3).

НАЗНАЧЕНИЕ ПАССАЖИРСКИХ МАТРИЦ КОРРЕСПОНДЕНЦИЙ	
1	Составить наиболее точное расписание движения общественного транспорта.
2	Определить загрузки элементов улично-дорожной сети.
3	Определить главные пассажирообразующие пункты.
4	Оценить количество перевозимых пассажиров по типам пассажиров, по видам транспорта, маршрутам и направлениям.
5	Оценить интенсивность пассажиропотоков между различными пунктами.

Рис. 3. Назначение пассажирских матриц корреспонденций

Существуют различные методики вычисления элементов матрицы корреспонденций, в том числе с применением математических моделей, которые делятся на 4 класса (рис. 4).

МАТЕМАТИЧЕСКИЕ МОДЕЛИ ДЛЯ ВЫЧИСЛЕНИЯ ЭЛЕМЕНТОВ МАТРИЦЫ КОРРЕСПОНДЕНЦИЙ	
1	Класс 1. Нормативные модели, чаще всего линейные модели, с критериальной функцией технико-экономического содержания, а также могут быть отнесены задачи планирования железнодорожных грузовых перевозок, иногда задачи вне- и внутригородских перевозок.
2	Класс 2. Статистические модели, особое место среди них занимают гравитационные модели. Задачи класса возникают при планировании пассажирских перевозок на железнодорожном транспорте, воздушном и морском транспорте, автомобильном внегородском, а также при планировании грузовых перевозок в тех случаях, когда прикрепление поставщиков к потребителю не может быть заданно на перспективу. К классу можно отнести задачи прогнозирования объемов перевозок на заданных направлениях, которые возникают при перспективном планировании железнодорожных и морских грузовых перевозок.
3	Класс 3. Усложненные статистические модели и прежде всего гравитационные. Усложнение гравитационных моделей выражается в виде дополнительных условий, которые обеспечивают балансировку матрицы корреспонденции. Задачи класса включают задачи определения трудовых корреспонденции в городских транспортных системах.
4	Класс 4. Модели данного класса энтропийные. Они представляются в форме нелинейной оптимизационной задачи математического программирования, причем их целевая функция носит «термодинамический» характер и включает вероятностные характеристики коллективного поведения. Определяющую роль играют не детерминированные факторы поведения индивидуумов, а закономерности коллективного поведения.

Рис. 4. Математические модели вычисления элементов матрицы корреспонденций

Анализ показал, что для построения матрицы городских корреспонденций наиболее часто используются гравитационные и энтропийные модели, которые имеют определенные преимущества и недостатки.

Сложность использования гравитационной модели обусловлена тем, что гравитационная модель должна калиброваться на основе физических корреспонденций для какого-либо конкретного города. Меньшие трудности, связанные с калибровкой, вызывает модель максимизации энтропии. При этом фактические корреспонденции описываются с помощью модели максимизации энтропии с той же точностью, что и с помощью гравитационной модели, хотя гравитационная модель корректируется путем калибрования по фактическим корреспонденциям.

Заключение / Conclusion. Примерами решений городских транспортных проблем являются ограничение въезда в центр города, организация перехватывающих парковок, ограничение владения личным транспортом в определенные дни недели и часы, а также строительство платных участков автодорог. Следует отметить, что большинство подходов к решению городских транспортных проблем являются весьма дорогостоящими (затратными) в реализации.

Полученные результаты могут быть использованы для разработки матриц корреспонденций, для калибровки транспортных моделей и для проведения системного мониторинга интенсивностей городского трафика, что увеличит информативность о городских транспортных потоках.

ЛИТЕРАТУРА И ИНТЕРНЕТ-РЕСУРСЫ

1. Гасников, А. В. Введение в математическое моделирование транспортных потоков / А. В. Гасников, С. Л. Кленов, Е. А. Нурминский, Я. А. Холодов, Н. Б. Шамрай ; под ред. А. В. Гасникова. – Москва : МФТИ, 2010. – 362 с. – Текст : непосредственный.
2. Сорокин, А. А. Моделирование городской транспортной сети / А. А. Сорокин // Вестник Северо-Кавказского федерального университета. – 2017. – № 6 (63). – С. 154–159. – Текст : непосредственный.

REFERENCES AND INTERNET RESOURCES

1. Gasnikov, A. V. Vvedenie v matematicheskoe modelirovanie transportnykh potokov (Introduction to mathematical modeling of transport flows) / A. V. Gasnikov, S. L. Klenov, E. A. Nurminskii, Ya. A. Kholodov, N. B. Shamrai. Pod red. A.V. Gasnikova. – Moskva : MFTI, 2010. – 362 s.
2. Sorokin, A. A. Modelirovanie gorodskoi transportnoi seti (Modeling the urban transport network) / A. A. Sorokin // Vestnik Severo-Kavkazskogo federal'nogo universiteta. – 2017. – № 6 (63). – S. 154–159.

СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРЕ

Сорокин Алексей Александрович, аспирант кафедры инфокоммуникаций, Институт информационных технологий и телекоммуникаций, СКФУ. E-mail: sorokinaa2006@yandex.ru

INFORMATION ABOUT AUTHOR

Sorokin Alexey Alexandrovich, graduate student of the department of info-communications, Institute of Information Technology and Telecommunications, NCFU. E-mail: sorokinaa2006@yandex.ru