

ного развития туризма с сохранением и восстановлением туристических ресурсов территории.

Литература

1. Постановление главы администрации (губернатора) Краснодарского края от 11 октября 2013 г. No 1168 «Об утверждении государственной программы Краснодарского края «Развитие санаторно-курортного и туристского комплекса» на 2014 – 2017 гг.
2. Государственная программа Краснодарского края «Развитие санаторно-курортного и туристского комплекса» на 2016 – 2021 гг. / Официальный сайт министерства экономики Краснодарского края. URL: http://economy.krasnodar.ru/_/2015-09/10511.pdf
3. Александрова Е.Н., Андреева Н.В., Стадник Т.А. Динамика и стратегические направления развития международного туризма в России // Национальные интересы: приоритеты и безопасность. 2014. №11. С. 31-38.
4. Шевченко И.В., Александрова Е.Н., Александров А.В. Южный федеральный округ: что там за горизонтом? // Региональная экономика: теория и практика. 2004. №1.
5. Шевченко И.В., Александрова Е.Н., Александров А.В. Предпосылки экономического роста в современной российской экономике // Финансы и кредит. 2004. №9 (147).
6. Яковлев Г.А. Экономика и статистика туризма. М., 2007.
7. Horvat, U. 2005. Influence of tourism on the regional development on the example of resort places in Slovenia. Paper presented at the international seminar Tourism as a Factor of Regional Development, Tuzla.
8. Pak, M. 1996, Geografski elementi regionalnega razvoja Spodnjega Podravja s Prlekijo. Geografski vestnik 68. P. 161–174.
9. Pearce, D., Butler, R. Contemporary issues in tourism development. Routledge. 2002.
10. Rayan, T. Tourism development. Lambert Academic Publishing. 2010.
11. Raina, A. K., Agarwal, S. K. The essence of tourism development: dynamics, philosophy and strategies, Sarup & Sons. 2004.
12. Sharma, K. K. Tourism and regional development, Sarup & Sons. 2004.
13. Sharpley, R., Telfer, D. J. Tourism and development: concepts and issues. Channel View Publications. 2002.
14. План мероприятий по обеспечению устойчивого развития экономики и социальной стабильности в Краснодарском крае в 2015 г. и в период 2016 - 2017 гг. / Официальный сайт министерства экономики Краснодарского края. URL: <http://economy.krasnodar.ru/plan-2015>.

УДК 332.05

А.С. Алеников, Г.В. Булин

СИСТЕМНЫЙ ИНСТРУМЕНТАРИЙ МОДЕЛИРОВАНИЯ И УПРАВЛЕНИЯ ТРАНСПОРТНЫМ КЛАСТЕРОМ МЕГАПОЛИСА

A.S. Alenikov, G.V. Bulin

SYSTEM TOOLS OF MODELING AND CONTROLLING TRANSPORT CLUSTER OF METROPOLIS

Ключевые слова: транспортная система, гравитационная модель, энтропийная модель, матрица корреспонденций, транспортные процессы.

Keywords: transport system, gravity model, entropy model, matrix correspondence, transport processes.

Статья подготовлена в рамках гранта РГНФ №14-12-23006а(р) «Методология формирования кластерной архитектуры инновационного развития экономики Краснодарского края».

Транспортные иерархические структуры современных городов представляют собой основополагающий фактор социального и экономического развития всей страны в целом, поскольку процесс реорганизации и оптимизации существующих сетей благоприятно сказывается на качестве жизни людей, способствует повышению количества занятых, посредством развития бизнеса и привлечения значительной доли инвестиций. Основной целью транспортной сети города является обеспечение высокой степени мобильности городского населения и своевременная доставка грузов потребителям, поскольку динамическое состоя-

ние системы оказывает непосредственное влияние на экономическое развитие региона [2].

В настоящее время уровень развития дорожно-транспортного комплекса России нельзя считать удовлетворительным. И наиболее серьезную проблему из всей совокупности представляют транспортные заторы. Улично-дорожная сеть многих российских городов за последние десятилетия значительно устарела. Она находится во власти транспорта личного пользования. Экстенсивный способ решения возникающих транспортных трудностей является итогом неразумного целеполагания, центральным моментом которого выступает проблема высокого уровня автомобилизации и ограниченности городских территорий [8]. Можно выделить достаточно большое количество различных способов для решения транспортных проблем, являющихся весьма дорогими. Среди них немало успешно реализованных проектов. Однако необходимо отметить и негативный опыт. Таким образом, перед началом инвестирования больших сумм денег в транспортную отрасль нужно обладать адекватной и полной информацией об уровне загрузки различных элементов транспортной системы в настоящее время и в предполагаемом будущем [3].

Для определения транспортных потоков и характера загрузки различных элементов транспортной системы в настоящее время разработано немало математических моделей. Однако существенной проблемой при их применении является потребность в актуальной информации о перемещающихся по улично-дорожной сети индивидуумах. Эти данные в общем виде представляются в форме матрицы межрайонных корреспонденций [1].

Основой любой модели является информация о перемещающихся индивидуумах между заранее определенными локальными участками, образуя транспортные и пешеходные потоки [12]. Необходимым условием сбалансированности является соответствие возможностей транспортной системы количеству предъявляемых запросов со стороны населения:

$$\int_{\theta}^{t_2} p_C(t) dt \leq \int_{\theta}^{t_2} p_T(t) dt, \quad (1)$$

где θ – любой момент времени, принадлежащий интервалу от t_1 до t_2 , мин.;

$p_C(t)$ – удельная плотность поступающих заявок на предоставление услуг транспортного сектора в момент времени t , шт/час;

$p_T(t)$ – предполагаемый потенциал транспортной сети, шт/час.

Количество передвижений горожан и их рассредоточение по городской транспортной паутине определяется рядом существенных факторов:

1. Поведение индивидуумов, заключающееся в предпочтениях при выборе способа перемещения и определенного маршрута.
2. Характеристики уличной дорожной сети: число и качество улиц и дорожного покрытия, уровень организации процесса перемещения, количество и характеристика городских маршрутов, пропускная способность транспорта общего пользования.
3. Факторы потокообразования – совокупность объектов, определяющих процесс перемещения населения.

Для создания точной математической модели требуется формализованная характеристика всех приведённых параметров. Сущность подобного описания заключается в создании транспортного графа, узловые точки которого приравниваются к перекресткам, а улицы изображаются схематично дугами в соответствии с рис. 1.

Необходимым компонентом подобного графа выступают пункты прибытия и отправления, которые также отображаются с помощью узлов. Подробное описание транспортной системы города используется для построения адекватной модели транспортных потоков, которая позволит проанализировать текущую ситуацию на дорогах и сделать прогноз на будущее.

Формализация факторов одновременно выступает в качестве поэтапной процедуры диагностирования спроса на транспортные перевозки в соответствии с рис. 2.

Каждый шаг данного алгоритма предполагает калибровку и верификацию полученной модели, включающую в себя итерационный процесс и возвращение на предыдущий этап. Характеристической основой транспортного спроса является матрица корреспонденций, построенная при помощи математического аппарата.

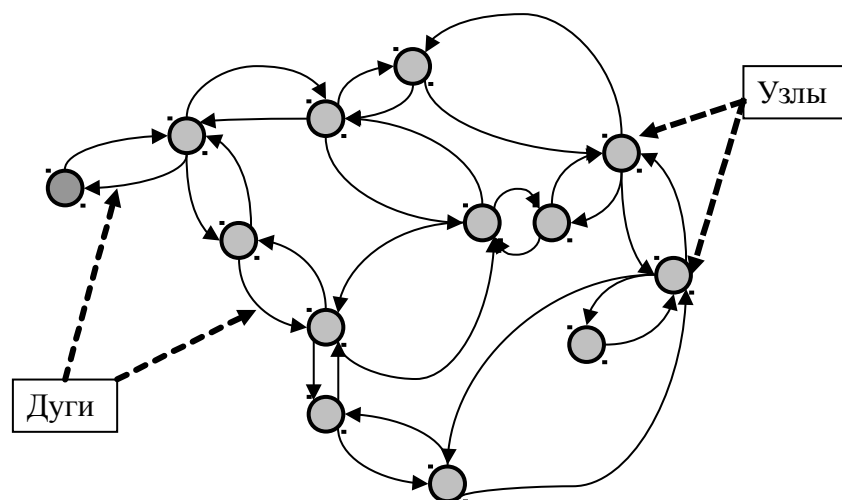


Рис. 1. Схематичное представление транспортного графа

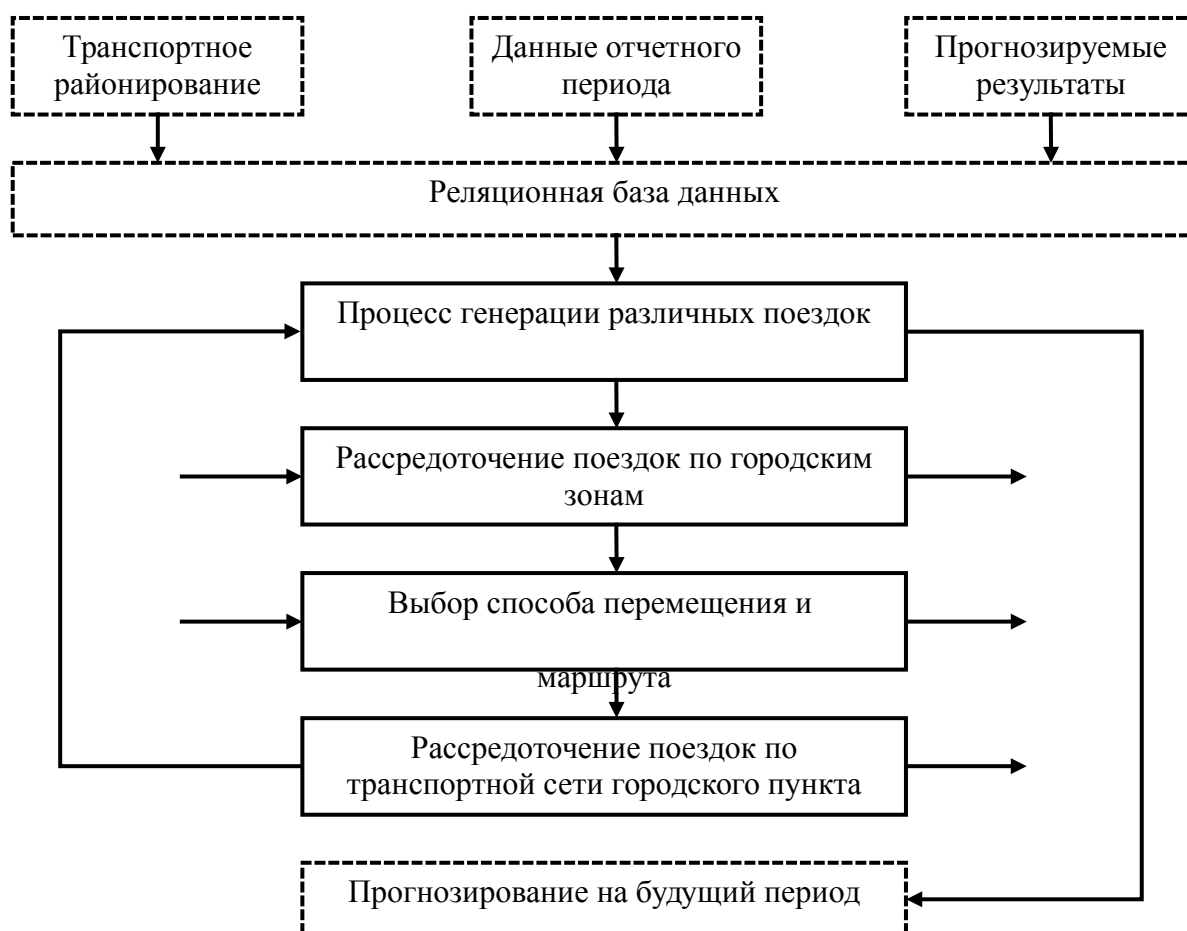


Рис. 2. Общая схема транспортной модели

При описании распределения потокообразующих город делят на определенное количество условных районов прибытия и отправления. Объем передвижений между районами прибытия и отправления называют межрайонной корреспонденцией [17]. На основании математической формулировки критерия, которая является основой в моделировании поведения пользователей, пассажир может оценить альтернативные пути и способы передвижения. Этот критерий также называют универсализированной ценой пути. Привлекательность пути снижается при ее увеличении. Универсализированная цена складывается из средне-взвешенной суммы слагаемых, которые выражают влияние факторов различной природы на оценку пути:

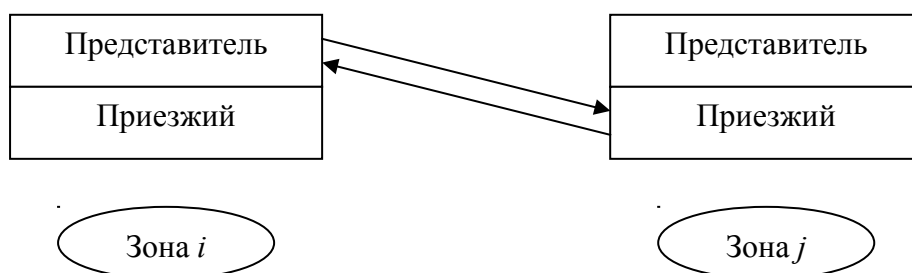
- время передвижения, определяемое с помощью заранее указанной функции, характеризующей зависимость скорости передвижения от степени загруженности дуги;
- дополнительные проволочки на любых элементах транспортной сети (время ожидания, парковки и т.д.);
- денежные затраты (плата за въезд в отдельные зоны города, платные магистрали и т.д.);
- условные штрафные добавки времени, которые используют в моделировании специфических особенностей транспортной сети и мер управления транспортом.

Время является основным фактором, который определяет ценностное выражение пути. Остальные факторы становятся корректирующими, а количественно они выражаются в условных минутах, которые добавляются к времени передвижения. Вследствие этого дорога между двумя точками сети, который имеет минимальную обобщенную стоимость из всех путей, называется кратчайшим путем [7].

Фундаментальной и одной из важнейших особенностей формирования загруженности транспортной сети является выбор путей и способов передвижения, что влияет на выбор, который осуществляется иными пользователями. Данное взаимное влияние математически описывается функциями взаимозависимости цены дуги от суммарного потока по ней. В задачах моделирования транспортных потоков в сети крупных городов обычно выделяют четыре главных этапа:

1. Оценивание объемов прибытия и отправления из различных районов города.
2. Дифференциация по способам передвижений.
3. Составление матриц корреспонденций, которые вычленяют объем перемещений между различными районами населенного пункта.
4. Рассортировывание корреспонденций по транспортной сети, а именно атрибуция всех путей, которые выбирают участники передвижения, и определение числа передвижений по каждому пути.

Спрос характеризуют массивом корреспонденций G [18]. Для определения корреспонденции G_{ij} важно отождествить пункты отправления и прибытия (i, j) , вычислить количественные и качественные показатели перевозок. В процессе проектирования транспортно-дорожной сети различают понятия зарождение-притяжение и отправление-прибытие поездок для характеристики транспортных пар (i, j) . С точки зрения конца и начала поездки эти понятия тождественны. В свою очередь на стадии генерации содержание данных понятий различается в соответствии с рис. 3.



В типичном случае, каждая зона, которая позиционируется как пункт отправления или прибытия имеет представителей – пункты отправления грузов или жителей для осуществления грузовых или пассажирских корреспонденций соответственно и приезжих – места приложения учебы, труда, потребления грузов. На рис. 3 представлен типичный пример, где представитель зоны i утром отбывает на работу в зону j , вечером осуществляет обратный путь домой. Получаем, что в рассматриваемом аспекте отправление-прибытие реализуется два перемещения: утром из пункта i в j , вечером из j в i . Данные зоны по очереди становятся районами прибытия и отправления. В аспекте понятий зарождение-притяжение поездки отождествляются не с позиций направления движения, а с позиций отношения потребителей поездки к финишной точке. Формирование поездки относят к поездкам, выполняющимся представителями зоны, а притяжение – приезжими. На схеме зона i включает в себе 2 поездки зарождения, зона j – 2 поездки притяжения. Смысл подобного представления межзональных передвижений в том, что спрос на поездки представителями конкретной зоны всегда более устойчив. Население довольно редко меняет свое место жительства, в отличие от места учебы или работы, склады и заводы являются также стабильными по своему месту расположения в отличие от магазинов и сервисных служб. Данные, которые необходимы для прогнозирования количества поездок, легче получить по представителям исследуемого района [15]. А также именно эти поездки формируют большую часть транспортных передвижений, формируют «час пик». Важно отметить, что в термине зарождение-притяжение не учитывают поездки, которые совершают приезжие между различными зонами (например, с работы в магазин). Данные поездки учитывают отдельно, обычно они составляют от всех поездок до 15-20%.

Модель многофакторного анализа является самой распространенной моделью по генерации поездок, в ней поездки систематизируются по целям, а на основе статистических исследований вычисляют среднее число межзональных передвижений в семье в зависимости от многих факторов [11]. Для ранжирования поездок по зонам их группируют по источникам возникновения – представитель или приезжий и по целям: официальные (по рабочим делам), трудовые (на учебу или работу), социально-культурные (театр, кино), бытовые (в сервисные службы и магазины) и т.д. Такие поездки делят по времени суток на межпиковый и пиковый периоды. Например, в пиковый период 90% всех поездок составляют трудовые поездки [10]. В этот период на большинстве магистралей движение очень интенсивное. В выходные дни загруженность дорог иная, чем в рабочие дни, потому что преобладают социально-культурные и бытовые поездки.

Пусть искомые пары поездок (i,j) получаются в результате интерференции на транспортную сеть двух пространственных структур: область возникновения перевозок – очагов, область завершения перевозок – стоков. Потребительским полем называют генерируемую пространственную структуру. При этом степень агрегирования транспортно-дорожной сети должна совпадать с потребительской областью в соответствии с тем, что подразумевается под пиками сетевой иерархической структуры i,j : терминалы, остановочные пункты транспорта, транспортные районы, регионы и т.д. Получаем, что конкретизация транспортных пар (i,j) , количественных и качественных составляющих корреспонденций зависит от факторов, которые детерминируют свойства и структуру потребительского поля. Такие факторы делят на две группы:

- генетические – они связаны с характером положения пунктов возникновения и завершения перевозок, составом и численностью населения, конфигурацией мест приложения труда, показателями социальной принадлежности;

– топологические – связаны с плотностью потребительских полей (уровнем дискретности), взаимным расположением его элементов и т.д.

В соответствии с данными факторами выделяют четыре класса задач математического моделирования корреспонденций, которые представлены в табл. 1.

Для разреженного размещения точек поглощения и возникновения корреспонденций характерно точечное пользовательское поле. В данном случае есть возможность проектировать их отдельно друг от друга, поскольку возможности их взаимного замещения строго ограничены различными внешними факторами для системы, численностью населенных пунктов, количеством мест приложения труда и т.д. Континуальное пользовательское поле характеризуется большой плотностью размещения точек на анализируемой местности поглощения и возникновения корреспонденций. В данной ситуации особенно важно принимать во внимание взаимозависимость корреспонденций, потому что под воздействием внутренних факторов появляются задачи самоорганизации.

Таблица 1

Классификация задач математического моделирования корреспонденций

Генетические факторы	Топологические факторы	
	Точечное пользовательское поле, корреспонденции проектируются изолированно.	Континуальное пользовательское поле, корреспонденции проектируются взаимозависимо
Идентифицированный характер транспортных связей.	Класс 1. Задачи оптимизации транспортно-дорожных связей.	Класс 3. Задачи рассредоточения перемещений по сети в соответствии с детерминированностью спроса.
Случайный характер транспортных связей	Класс 2. Задачи проектирования отдельных транспортных связей в соответствии с вероятностным характером спроса на различные виды перевозок	Класс 4. Задачи типизации поездок в соответствии с поведенческими гипотезами

Источник: составлено автором

Матрица корреспонденций является количественной характеристикой передвижений по сети [4]. Ее элементами являются объемы передвижений пассажиров или автомобилей в час между любой парой районов, в соответствии с табл. 2. Для каждой группы передвижений рассчитывают личную матрицу межрайонных корреспонденций. К модели расчета корреспонденций входной информацией является общий объем прибытия и отправления по каждому району прибытия и отправления. Оценивание объема отправок и прибытий по различным группам связано с подвижностью населения и пространственным положением потокопорождающих объектов. Данная оценка основывается на имеющихся социально-экономических и демографических данных и результатах обследований, в основном она предшествует математическому моделированию.

Таблица 2

Матрица корреспонденций

	Дом	Работа	Учёба	Отдых	Покупки	...	Цель t
Дом	0	g_{01}	g_{02}	g_{03}	g_{04}	...	g_{0t}
Работа	g_{10}	g_{11}	g_{12}	g_{13}	g_{14}	...	g_{1t}
Учёба	g_{20}	g_{21}	g_{22}	g_{23}	g_{24}	...	g_{2t}
Отдых	g_{30}	g_{31}	g_{32}	g_{33}	g_{34}	...	g_{3t}
Покупки	g_{40}	g_{41}	g_{42}	g_{43}	g_{44}		g_{4t}
...	...	...	...	...	...	...	...
Цель t	g_{t0}	g_{t1}	g_{t2}	g_{t3}	g_{t4}	...	g_{tt}

Источник: составлено автором

Способы расчета матриц корреспонденций основываются на таких составляющих, как:

1. Социальные данные. К ним относятся количество мест приложения труда по сферам услуг и количество населения в отдельных районах и его структура.

2. Характеристики подвижности населения. К ним относится дезинтеграция передвижений населения по времени и целям, используя конкретный вид транспорта, функцию тяготения и т.д.

3. Модель расчета корреспонденций. Она представляет собой имитационные модели, вероятностные модели, детерминированные модели и др.

При проведении специальных опросов и анализе социальных данных представляется возможным определить две первые составляющие. Последний этап – расчет матрицы корреспонденций – основывается на использовании конкретной модели расчета, в которую должны быть заложены определенные характеристики:

- емкость транспортных зон и по отправлению и по прибытию;
- затраты на передвижение из конкретного района в любые другие районы города (матрица затрат, представляемая в километрах или минутах);
- функция тяготения, которая показывает распределение поездок населения по всей длине маршрута в зависимости от способа передвижения и цели.

К наиболее распространенным математическим моделям расчета корреспонденций относят энтропийные и гравитационные модели. Самые простые гравитационные модели нашли своё применение ещё в начале 30-х годов XX века для формализации процессов, происходящих в транспортной сети города с целью повышения эффективности её функционирования [16]. Данная методика была создана по образу и подобию ньютоновского закона всемирного тяготения. Аналогично ему гравитационная интерпретация транспортных потоков состоит в соединении интенсивности движения T_{ij} между двумя корреспондирующими районами с общими затратами на перемещение из одной зоны i в другую j . Таким образом,

$$T_{ij} = K \frac{S_i D_j}{c_{ij}^2}, \quad i=1..n; j=1..m, \quad (2)$$

где n – число районов отправления;

m – число районов прибытия;

K – некоторая постоянная;

c_{ij} – затраты, которые возникают в результате передвижения. Они могут быть выражены либо как расстояние между районами города, либо как материальные расходы, которые несёт индивидuum за прохождение пути от пункта i в пункт j .

В соответствии с уравнением (2) интенсивность потока T_{ij} будет прямо пропорциональна S_i – количеству людей, уезжающих из района i , и D_j – число горожан, прибывающих в точку j , и обратно пропорциональна квадрату затрат c_{ij} . Однако у данного равенства есть один значительный недостаток, который существенно усложняет производимые расчёты. Согласно данной формуле, если увеличить S_i и D_j ровно вдвое, то количество поездок должно возрасти в 4 раза, но на практике произойдёт увеличение только в 2 раза. Поэтому с целью устранения данного несоответствия, при постановке задачи вводится ряд ограничений, направленных на балансировку количества пассажиров в пункте отправления и точке прибытия:

$$\sum_i^n T_{ij} = D_j, \quad i=1..n \quad (3)$$

$$\sum_j^m T_{ij} = S_i, \quad j=1..m, \quad (4)$$

Таким образом, уравнение (3) показывает равенство суммы количества поездок из районов $i=1..n$ в район j сумме людей, приехавших в точку j . Равенство (4) отражает обратную ситуацию, т.е. суммарный транспортный поток, выехавший из пунктов $j=1..m$ в район i обязан соответствовать количеству прибывших в пункт i . Более того, общее число выехавших обязано быть равно общему количеству приехавших, т.е. выполняется следующее равенство суммарных потоков:

$$\sum_{i=1}^n S_i = \sum_{j=1}^m D_j. \quad (5)$$

Обязательным ограничением в данном случае является неотрицательность подобных потоков. Исходная запись (2) совместно с ограничительными условиями (3) – (5) представляют собой первую модифицированную форму гравитационной модели. При математическом моделировании трудовых корреспонденций при известных значениях S_i и D_j представляется возможным рассчитать суммарный поток пассажиров T_{ij} с помощью следующей формулы:

$$T_{ij} = A_i B_j S_i D_j f(c_{ij}), \quad i=1..n, j=1..m, \quad (6)$$

где коэффициенты A_i и B_j определяются следующим образом:

$$A_i = \left[\sum_j^m B_j D_j f(c_{ij}) \right]^{-1}, \quad i=1..n \quad (7)$$

$$B_j = \left[\sum_i^n A_i S_i f(c_{ij}) \right]^{-1}, \quad j=1..m \quad (8)$$

$$f(c_{ij}) = \alpha c_{ij} \exp^{\alpha c_{ij}}, \quad i=1..n, j=1..m, \quad (9)$$

где $f(c_{ij})$ – математическая функция, зависящая от цены одной поездки.

За основу стоимости поездки берут среднее время t_{ij} , затрачиваемое на перемещение из зоны i в зону j , поскольку данный параметр оказывается относительно постоянным в конкретном населённом пункте. Значения параметров A_i и B_j вычисляются с помощью равенств (3) и (4). Таким образом, получаем:

$$A_i S_i \sum_j^m B_j D_j f(c_{ij}) = S_i, \quad i=1..n, \quad (10)$$

далее делим обе части характеристического уравнения на S_i

$$A_i \sum_j^m B_j D_j f(c_{ij}) = 1, \quad i=1..n. \quad (11)$$

В итоге получаем уравнение (7). Проведя необходимые преобразования, по аналогии получаем равенство (8) необходимое для определения значения B_j . Если заменить S_i и D_j согласно уравнениям (3) и (4), то получаем следующее равенство:

$$\sum_i^n \sum_j^m T_{ij} c_{ij} = C, \quad (12)$$

где C – совокупные расходы на передвижение.

Таким образом, учитывая данное равенство (12), наиболее предпочтительным распределением является матричная структура $\{T_{ij}\}$, которая максимизирует энтропию:

$$\ln W(\{T_{ij}\}) = \ln T! \sum_i \sum_j \ln T_{ij}! , \quad (13)$$

где T – общее количество поездок, учитывая ограничения (7), (8) и (12);

$W(\{T_{ij}\})$ – совокупное количество всевозможных состояний системы.

Принимая во внимание данное равенство (13), функция $f(c_{ij})$ принимает следующий вид:

$$f(c_{ij}) = \exp(\beta x_{ij}) . \quad (14)$$

Поскольку значение константы C в (13) заранее неопределенно, то найти решение равенства (14) через β невозможно. Данный показатель получают с помощью калибровочных математических методов. Как правило, чем больше β , тем меньше среднее значение длины одной поездки. Между параметрами β и C существует обратная зависимость, т.е. если показатель C увеличивается в несколько раз, то β уменьшается во столько же раз. В итоге получается, что коэффициенты A_i из ограничения (7) представляют собой своеобразный конкурирующий компонент, осуществляющий процесс сокращения общего числа поездок из-за повышения привлекательности определённого района. Одновременно с этим данный показатель выступает в качестве меры доступности. Идентичную роль играют коэффициенты B_j из (8), характеризующие происходящие изменения с S_i .

Необходимым условием при составлении матрицы межрайонных корреспонденций с помощью данной математической модели является дезинтегрирование всей совокупности поездок на отдельные группы в соответствии с целью каждой из них [13]. Для этого вводится классификация по виду пассажиров и характеру взаимосвязывающих коммуникаций. Таким образом, производится группировка людей по доступности разнообразных видов коммуникаций: собственники автомобилей обладают возможностью эксплуатировать как транспорт личного пользования, так и общественный, в то время как прочие горожане имеют доступ только лишь к транспортным средствам общего пользования. Подобное разделение граждан является минимальным для создания адекватной модели. Однако не стоит отбрасывать классификацию пассажиров по уровню дохода либо по социальному фактору.

Обозначим совокупность пользователей транспортной системой через P . На данном множестве обособляют единую общность коммуникаций $M(p)$, являющихся наиболее доступными определённой группе пассажиров $p \in P$. Конкретный вид связи, который открыт для пассажиров p вида обозначим через $l \in M(p)$. $M_{ij}(p)$ – совокупность коммуникаций всех видов, которые находятся в свободном доступе между районами i и j для людей p . Более того, взаимосвязь между районами города осуществляется с помощью всех видов коммуникаций. Тогда получаем следующее уравнение:

$$T_{ij}^{lp} = A_i^l B_j S_i^p \exp(-\beta^p c_{ij}^l) , \quad (15)$$

где T_{ij}^{lp} – интенсивность транспортного потока между районами i и j , осуществляемого пользователями p с использованием коммуникации l ;

S_i^p – количество отправок из i , реализуемых p пассажирами;

c_{ij}^k – стоимость проезда из точки i в точку j на l виде транспортного средства;

$$A_i^p = \left[\sum_j^m \sum_p^{M(p)} B_j D_j \exp(-\beta^p c_{ij}^l) \right]^{-1} , \quad (16)$$

$$B_j = \left[\sum_i^n \sum_p^P A_i^p S_i^p \exp(-\beta^p c_{ij}^l) \right]^{-1} . \quad (17)$$

Если для создания адекватной матрицы корреспонденций не хватает одного вида пользователей, то проводят дополнительное дезинтегрирование по p . Таким образом, алгоритм составления матрицы межрайонных корреспонденций с использованием гравитационной модели (6) состоит из 7 этапов.

1. Предполагаем, что $n=1$ и получаем матрицу согласно уравнению (6):

$$T_{ij}^1 = S_i D_j f(c_{ij}) \left[\sum_j^m D_j f(c_{ij}) \right]^{-1} . \quad (18)$$

2. Вводим новую переменную Q_j^n , которая обозначает функцию дифференциальных затрат на дуге. Тогда допустим, что выполняется равенство (19):

$$Q_j^n = \sum_j^m T_{ij}^n . \quad (19)$$

3. Если равенство (20) выполняется, тогда данный алгоритм заканчивается и полагаем, что полученная матрица T^n представляет собой искомую структуру и дальнейшие расчёты не имеет смысла производить.

$$\sum_i^n T_{ij}^n = D_j , \quad (20)$$

Однако, если $n = n+1$, то осуществляем переход к 4 этапу.

4. Допустим, что функция дифференциальных затрат превышает число горожан, прибывающих в точку j согласно неравенству (21):

$$Q_j^n > D_j , \quad (21)$$

тогда матрица корреспонденций примет следующий вид:

$$T_{ij}^n = T_{ij}^{n-1} D_j (Q_j)^{-1} . \quad (22)$$

Если функция дифференциальных затрат меньше либо равна числу прибывших в точку j , в соответствии с формулой (23):

$$Q_j^n \leq D_j , \quad (23)$$

то матрица корреспонденций будет выглядеть следующим образом:

$$T_{ij}^n = T_{ij}^{n-1} . \quad (24)$$

5. Производится поиск значения количества отправок:

$$S_i^{n-1} = S_i - \sum_j T_{ij}^n . \quad (25)$$

6. Рассчитывается совокупное число пользователей транспортной системой P_j^{n-1} при $n=n+1$

$$P_j^{n-1} = D_j - \sum_j T_{ij}^n . \quad (26)$$

7. Осуществляется пересчёт полученной матрицы по формуле:

$$T_{ij}^n = T_{ij}^{n-1} + S_i^{n-2} D_j^{n-2} f(c_{ij}) \left[\sum_j P_j^{n-2} f(c_{ij}) \right]^{-1} , \quad (27)$$

После проверки алгоритм начинается опять со второго этапа.

Результатом работы приведённого поэтапного алгоритма является искомая матрица межрайонных корреспонденций T_{ij}^n . Функция $f(c_{ij})$, как правило, зависит от цены одной поездки или длительности перемещения. В расчётах концентрируют своё внимание на выражении данной функции через интервалы времени проезда и определяют по формуле:

$$f(c_{ij}) = \exp^{\beta V_{ij}}, \quad (28)$$

где β – калибровочный показатель, характеризующий чувствительность к дальности поездки;

V_{ij} – промежуток времени при перемещении из района i в j .

В научном сообществе выделяют ещё одну математическую модель, которая позволяет построить матрицу межрайонных корреспонденций, основываясь на теории вероятностей – энтропийная модель. По аналогии с гравитационной математической моделью её концепцию подсказала физика. Данная методика аналогична второму закону термодинамики, т.е. абсолютно любая замкнутая система тяготеет к состоянию устойчивого равновесия, характеризующегося максимумом средневзвешенной энтропии, исследуемой дескриптивной совокупности элементов [15]. Сущность данной модели состоит в стохастическом поведении пассажиров, передвигающихся по транспортной сети. Их выбор в пользу одного из видов коммуникаций или направления движения заранее неизвестен, что приводит к образованию различных макросостояний системы. Таким образом, если провести аналогию с физической структурой, то совокупность пассажирских перевозок представляет собой некую макросистему, характеризующуюся суммарными затратами и огромными вложениями, а пассажиры будут выступать в качестве элементарных микрочастиц. Подводя итог всем вышесказанному, математическое моделирование пассажирских потоков в транспортной сети города может осуществляться в соответствии с методами статистической физики, направленные на измерение энтропии системы [8].

Высокая степень важности рассматриваемой модели выражается в том, что в ней происходит процесс формализации гипотезы о случайном характере поведения различных элементов системы при становлении основных её состояний. Существование подобной гипотезы объясняет тот факт, что наиболее приемлемой является такая обстановка в системе, при которой значение показателя энтропии будет стремиться к максимуму. Таким образом, в исследуемой структуре происходит поиск не только равновесного состояния, но и состояния, при котором модель отражает наиболее реалистичное положение в транспортной сети города с учётом потребительских предпочтений. Желания пассажиров в данном виде моделей задаются в качестве функции распределения соответствующих вероятностей a_{ij} , т.е. общее количество передвижений индивидуума из района i в точку j . Общий вид энтропийной модели выглядит следующим образом:

$$\min_{T_{ij}} \left(\sum_i^n \sum_j^m T_{ij} c_{ij} + \beta \sum_i^n \sum_j^m \ln T_{ij} \right), \quad (29)$$

$$\sum_j^m T_{ij} = S_i, \quad \sum_i^n T_{ij} = D_j, \quad (30)$$

$$T_{ij} \geq 0, \quad (31)$$

где T_{ij} – корреспонденция из i в j ;

β – средняя цена поездки;

c_{ij} – цена проезда одной единицы потока;

S_i – суммарный поток из пункта i ;

D_j – общее количество прибывших в район j .

Математическую запись (29) возможно привести к следующему виду:

$$\max_{T_{ij}} \sum_i^n \sum_j^m T_{ij} \ln \frac{T_{ij}^0}{T_{ij}}, \quad (32)$$

$$T_{ij}^0 = \exp\left(\frac{c_{ij}}{\beta}\right), \quad (33)$$

где T_{ij}^0 – совокупное размежевание корреспонденций при отсутствии различных ограничений.

Также формализованную форму записи энтропийной модели можно представить в данном виде:

$$\max_{T_{ij}} \sum_i^n \sum_j^m T_{ij} \ln \frac{a_{ij}}{T_{ij}}, \quad (34)$$

Значение вероятности a_{ij} определяют с помощью функции распределения. Запись модели (34) возможно увеличить, предположив, что каждый отдельно взятый пассажир имеет доступ к одному из двух представленных видов транспортных средств. В таком случае модель выглядит следующим образом:

$$\max_{T_{ij}^k} \sum_i^n \sum_j^m \sum_k^2 T_{ij}^k \ln \frac{a_{ij}^k}{T_{ij}^k}, \quad (35)$$

$$\sum_i^n \sum_j^m T_{ij}^k = Y^k, \quad k=1,2, \quad (36)$$

$$\sum_j^m \sum_k^2 T_{ij}^k = S_i, \quad i=1..n, \quad (37)$$

$$\sum_i^n \sum_k^2 T_{ij}^k = D_j, \quad j=1..m. \quad (38)$$

В данном случае параметр a_{ij}^k характеризует условную вероятность того, что определённый пассажир будет передвигаться из района i в район j на конкретном виде транспортного средства k . В свою очередь Y^k определяет всю совокупность поездок людьми на транспорте k . Значение a_{ij}^k , как правило, определяется с использованием функций, которые зависят от времени перемещения из i -й части города в j -ю на k -м транспорте. Данная функция строится на основании статистических исследований.

Алгоритм создания матрицы межрайонных корреспонденций с помощью описанной модели базируется на балансирующем методе, т.е. на каждом этапе происходит процесс балансировки строк или столбцов попеременно. В конечном итоге, получается абсолютно сбалансированная матрица. Алгоритм составления матрицы корреспонденций на основании энтропийной модели состоит из 6 этапов.

1. Определяем начальное приближение в виде матричной структуры, которая характеризует затраты времени $T^0 = \exp^V$. Предположим, что $r=0$.

2. Перемножаем столбцы матрицы T^r и полученный коэффициент так, чтобы получилось верное равенство (39):

$$\sum_j^m T_{ij}^r = S_i, \quad i=1..n. \quad (39)$$

3. Пусть полученная матрица будет обозначаться T^{r+1} , а $r=r+1$.

4. Если равенство (40) выполняется, то процедуру прекращают.

$$\sum_i^n T_{ij}^r = D_j, \quad j=1..m, \quad (40)$$

В противном случае реализуется пятый этап.

5. Строки матрицы T^r поочередно умножаем на коэффициент, чтобы условие (40) выполнялось.

6. Обозначаем новую матрицу как T^{r+1} , а $r=r+1$ и возвращаемся ко второму этапу.

Результатом работы данного алгоритма является матричная структура T^r , а индекс r характеризует количество математических итераций.

Описанные выше математические модели позволяют построить адекватную матрицу корреспонденций, которая является базисом при исследовании транспортных проблем современных городов. Предлагаемая методика вычисления даёт возможность осуществить распределение различных потоков по городской сети с учётом аппроксимации вводимых данных, что позволяет существенно снизить уровень погрешности.

Современное развитие мировой экономики базируется на ряде основополагающих принципов, сущность которых заключается в интеграции единого экономического пространства, специализации региональных отраслей, структуризации производственных процессов [6]. В результате по всем этим направлениям трудно недооценивать роль транспортной системы. От транспорта во многом зависят возможность и эффективность экономического развития региона. Уровень современного развития экономики требует от транспортной отрасли не только выполнения своих основных функций по перемещению грузов и пассажиров, но и глубокой его интеграции в различные производственные и сбытовые процессы [9]. Под влиянием данных требований транспортные городские системы значительно усложняются, что, естественно, составляет определённые трудности при адаптации к ним. В настоящее время социум требует от транспорта не просто обеспечения необходимого уровня мобильности людей и грузов, но и высокой степени доступности всего спектра транспортных услуг. Таким образом, требуется постоянная модернизация существующих транспортных сетей для повышения уровня физической доступности транспорта, и значительное увеличение функциональной эффективности транспортных систем и их приоритетная направленность на социальные параметры развития общества в экономическом аспекте.

Литература

1. Алиев А.С., Стрельников А.И., Швецов В.И. Моделирование транспортных потоков в крупном городе с применением к московской агломерации // Автоматика и телемеханика. 2005. №11.
2. Асланов М. Системный анализ и принятие решений в деятельности учреждений реального сектора экономики, связи и транспорта / М. Асланов, А. Шатраков. М.: Экономика, 2010.
3. Белоусова Н.И., Васильева Е.М., Бушанский С.П. Моделирование оценок перегруженности транспортной сети и вариантов ее развития // Экономический анализ: теория и практика. 2013. №48.
4. Гасников А.В. Введение в математическое моделирование транспортных потоков: учеб. пособие / Гасников А.В., Кленов С.Л., Нурминский Е.А., Холодов Я.А., Шамрай Н.Б.; приложения: Бланк М.Л., Гасникова Е.В., Замятин А.А., Малышев В.А., Колесников А.В., Райгородский А.М.; под ред. А.В. Гасникова. М.: МФТИ, 2010.
5. Горев А.Э. Основы теории транспортных систем: учеб. пособие. СПб.: СПбГАСУ, 2010.
6. Давыдова Л.В., Ильминская С.А. Проблемы и перспективы развития городского пассажирского транспорта // Финансовая аналитика: проблемы и решения. 2014. №12.
7. Егорова Т.П. Методологические аспекты разработки стратегии инновационного развития региональной транспортной системы // Региональная экономика: теория и практика. 2012. №20.
8. Киселенко А.Н., Сундуков Е.Ю. Методы анализа и моделирования развития транспортной системы региона // Региональная экономика: теория и практика. 2010. №11.
9. Лобанов Е.М. Транспортные проблемы современных больших городов // Транспорт Российской Федерации. М., 2005. №1.
10. Майоров Н.Н., Фетисов В.А. Моделирование транспортных процессов. М.: ГУАП, 2013..
11. Маторин И.С., Жихарев А.Г., Зайцева Н.О., Четвериков С.Н. Системный подход «Узел–Функция–Объект» при моделировании транспортных потоков // Труды ИСА РАН. 2014. №1.
12. Пакляченко М.Ю. Сравнительный анализ моделей систем передачи данных и транспортных систем: модели формирования матрицы корреспонденций // Theoretical & Applied Science. 2014. № 4.
13. Славин О.А., Соловьев А.В. Разработка методологии создания логико-математической модели движения транспорта на этапе создания концепции умного города // Труды ИСА РАН. 2013. № 3.
14. Спирина С.Г., Калайдин Е.Н. Формализация задач оптимизации управления социально-трудовыми отношениями с качественной категорией цели // Экономика устойчивого развития. 2012. №10.

15. Трифанов В.Н. Инвариантный статистический анализ и управление в транспортных системах. М.: Элмор, 2014.
16. Федоров В.П., Лосин Л.А. Методы математического моделирования для проектирования городской транспортной системы на досетевом уровне // Транспорт российской федерации. – С-Петербург: ООО Т-Пресса. 2012. № 2.
17. Швецов В.И. Алгоритмы распределения транспортных потоков // Автоматика и телемеханика. 2009. № 10.
18. Швецов В.И. Математическое моделирование транспортных потоков // Автоматика и телемеханика. 2003. № 11.

УДК [336.6](#)

М.В. Альгина, В.А. Боднар

ВЕКТОР РАЗВИТИЯ ИНСТИТУЦИОНАЛЬНОЙ СРЕДЫ В СФЕРЕ ФИНАНСОВОГО АУДИТА

M.V. Algina, V.A. Bodnar

VECTOR OF DEVELOPMENT OF THE INSTITUTIONAL ENVIRONMENT IN THE SPHERE OF FINANCIAL AUDIT

Ключевые слова: финансовый аудит, регулирование

Keywords: financial audit, regulation, integrated management system

Институциональная среда аудита – в соответствии с определением теории институционализма представляет совокупность основополагающих политических, социальных и юридических правил, образующих базис для производства и распределения аудиторских услуг в экономической среде.

Цель аудита системы управления финансовыми потоками организации – подтверждение достоверности годовой бухгалтерской отчетности организации, по которой ее акционеры и участники (учредители) будут судить о результатах деятельности за прошедший год, представленных в универсальных финансовых измерителях, а её контрагенты и связанные стороны – принимать экономические решения, основывающиеся на уверенности в достоверности годовой бухгалтерской отчетности организации о результатах деятельности организации в финансовых показателях.

Однако в ходе аудита происходит не только подтверждение достоверности годовой бухгалтерской отчетности о результатах деятельности организации, но и выявление ошибок в бухучете, исправляемых с помощью аудиторов, но и выявление искажений в налоговом учете, выработка мер к их устранению как своевременное предотвращение штрафных санкций и пеней со стороны ИФНС в адрес организации, когда такие ошибки выявят непосредственно в ходе налоговой проверки.

Регулярный обязательный аудит годовой бухгалтерской отчетности обеспечивает понимание деятельности организации в ретроспективе и создает обоснованную уверенность в непрерывности её бизнеса в будущем.

Обязательный аудит годовой бухгалтерской отчетности подавляющего большинства российских предприятий до настоящего времени осуществлялся, в основном, отечественными аудиторскими организациями, характеризующимися в нормативно- правовом отношении как субъекты малого предпринимательства.

Функция обязательного аудита стоит особняком в институциональных отношениях современного общества. Заказчиком выполнения функции является законодатель. Государству необходимо создавать условия для непрерывности деятельности социально значимых экономических объектов, транспарентности результатов их функционирования для обеспечения полноты сбора налогов.