

УДК 656.11

**МОДЕЛИРОВАНИЕ И АНАЛИЗ МАТРИЦ
КОРРЕСПОНДЕНЦИЙ МЕЖДУ СТАНЦИЯМИ
МЕТРОПОЛИТЕНА (НА ПРИМЕРЕ САНКТ-ПЕТЕРБУРГА).**

Л.А. Лосин, Н.В. Булычева

В работе на примере Петербургского метрополитена показаны возможности использования методов расчета матриц межрайонных корреспонденций для определения базовых параметров потокораспределения на сети метрополитена для различных временных периодов.

In this study the possibilities of using the methods of calculation of inter-district correspondence matrices for determining the basic parameters of flow distribution over the underground net in different time intervals are shown for the example of St. Petersburg underground.

«Таким образом, от значения параметра γ (в совр. формулировке) зависит степень целесообразности коллективного поведения жителей в процессе обменов, и если эта степень целесообразности достаточно велика, то стремление каждого жителя уменьшить свое время поездки на работу путем обмена жильем приводит к статистически вырабатываемой общей тенденции минимизировать среднее по всем жителям время поездки на работу». Питтель Б. Г. [1].

Матрица межрайонных корреспонденций – распределение передвижений между всеми парами транспортных районов, осуществляемое, как правило, с определенными целями, например, с трудовыми. При моделировании корреспонденций предполагается, что каждый житель города осуществляет выбор района прибытия, возможность реализации которого ограничена численностью рабочих мест выбираемых местах приложения труда, и каждый житель в условиях влияния поведения всех участников передвижений в транспортной системе принимает решение о выборе пути следования в соответствии со своими целями и априорными предпочтениями.

Формирование межрайонных корреспонденций носит достаточно стихийный характер, происходит объединение отдельных жителей, имеющих идентичный спрос на передвижения. Процессом это-

го формирования нельзя непосредственно управлять, но, изменяя структуру транспортной системы, можно влиять на него.

Процесс моделирования межрайонных корреспонденций можно представить следующим образом. Все жители города распределяются с учетом заданных ограничений, не обращая внимания на априорные предпочтения, а затем им предоставляется возможность меняться друг с другом местами в соответствии с их предпочтениями, но так, чтобы не нарушалось выполнение ограничений. При таких обменах должно получиться распределение, в большой степени отвечающее априорным предпочтениям жителей. Такой многошаговый обменный процесс приводит к некоторому распределению, которое является ближайшим к априорному в смысле специальной меры близости – «взвешенной» энтропии распределения. Нахождение расчетного распределения сводится к решению специальной задачи на отыскание максимума «взвешенной» энтропии распределения при заданных ограничениях.

Практическое использование «энтропийного» подхода возникло задолго до его теоретического рассмотрения. Алгоритм получения матриц корреспонденций Шацкого-Шелейховского [2,3] приводит к матрице, являющейся решением задачи выпуклого программирования на максимизацию «взвешенной» энтропии [4] при ограничениях на численность работающих жителей и количество рабочих мест в каждом транспортном районе.

В 1960–70-е годы впервые в ленинградской градостроительной практике при разработке Генерального плана был проведен расчет матрицы межрайонных корреспонденций. Результаты моделирования были использованы для схем организации движения и развития городского пассажирского транспорта. Расчет матрицы корреспонденций на перспективу с применением «энтропийного» подхода позволил спрогнозировать распределение потоков при различных вариантах развития города [5].

Общая постановка задачи [6], решаемой при построении матриц корреспонденций, выглядит следующим образом:

$$\sum_{ij} x_{ij} \ln(y_{ij}/x_{ij}) \Rightarrow \max, \quad (1)$$

$$\sum_j x_{ij} = P_i, \quad i = 1, \dots, nr, \quad (2)$$

$$\sum_i x_{ij} = Q_j, \quad j = 1, \dots, nr, \quad (3)$$

$$x_{ij} \geq 0.$$

Здесь i, j – номера транспортных районов;

x_{ij} – элементы искомым матриц корреспонденций;

$\sum x_{ij} \ln(y_{ij}/x_{ij})$ – «взвешенная» энтропия распределения;

P_i – объем отправлений из района i ;

Q_j – объем прибытий в район j . Естественно предполагается, что

$$\sum P_i = \sum Q_j.$$

Значения y_{ij} связаны с величиной вероятности реализации корреспонденции между районами i и j . На практике убывание вероятности совершения корреспонденции с ростом затрат времени описывают так называемой, «кривой расселения», в качестве которой обычно принимают функцию вида $\exp(-\gamma t)$, где $\gamma > 0$ – «параметр расселения», связанный с семейной структурой расселения, профессиональными предпочтениями при выборе места работы и т.п. в конкретном городе, и который калибруется по результатам обследований передвижений. Таким образом, $y_{ij} = \exp(-\gamma t_{ij})$, где t_{ij} – затраты времени на передвижение из района i в район j .

Вместо функции тяготения вида $p(t) = \exp(-\gamma t)$ В.Г. Шелейховский использовал нормальную шкалу расселения в зависимости от времени. В любом случае при построении матриц корреспонденций должны определяться затраты времени на межрайонные передвижения (или иные факторы) на основании общих характеристик транспортной системы[7].

В предлагаемой работе в качестве центров транспортных районов, для которых задаются отправления и прибытия, выступают точки входов и выходов метро. Связь между ними осуществляется посредством графа метрополитена со всеми видами передвижений внутри сети. В качестве элементов матрицы затрат времени принимаются кратчайшие времена между каждой парой входов и выходов, т.е. не учитываются задержки при движении по сети из-за перегрузки. Объемы отправлений P_i со станции i и объемы прибытий Q_j на станцию j получены на основе информации учета по входам и выходам на станциях Петербургского метрополитена по состоянию на 2013 год.

По данным статистики, суммарный вход в метро в утренний час пик составляет 0,1 от транспортного контингента города (работающие, студенты и школьники).

Таблица 1 – Корреспонденции пассажиров между станцией пр. Ветеранов (вход) и некоторыми станциями метрополитена

Вход на пр. Ветеранов (чел.) (до всех станций)	11732 чел. 7-8 ч	15421 чел. 8-9 ч	10971 чел. 9-10 ч	38124 чел. 7-10 ч	Сумма выходов со всех станций
Выходы на станциях метрополитена, прибывших со станции пр. Ветеранов (чел.)	период 7.15- 8.15	период 8.15- 9.15	период 9.15- 10.15	период 7.15- 10.15	7.15- 10.15
Ленинский проспект	508	588	475	1570	5902
Кировский завод	788	716	419	1898	10094
Нарвская	967	1246	802	3010	21851
Балтийская	531	799	498	1831	16824
Чернышевская	416	765	484	1678	24071
По 23 выходам (с наиболее значительным объемом потока)	6064	9310	6505	22351	
Среднее время передвижения от пр. Ветеранов (мин)	49,05	54,32	55,53	53,24	
Среднее время передвижения от всех станций (мин)	47,18	50,83	51,06	49,92	

Были проведены расчеты для каждого часа из интервала от 7 ч до 10 ч утра и для периода в три утренних часа. Полученные матрицы корреспонденций позволяют выделить наиболее вероятные связи между станциями в эти периоды. В качестве примера в таблице 1 приведены самые значительные корреспонденции между станцией пр. Ветеранов (вход) и несколькими станциями (выход) в разные периоды.

В таблице 2 для иллюстрации расчетной модели представлен учетный входной поток для некоторых станций за три утренних часа, максимальный часовой поток внутри этого периода, начало периода с максимальным потоком и доля этого часа в трехчасовом периоде, а также корреспонденции между ст. Чернышевская и этими станциями.

Расчеты матриц корреспонденций для метрополитена можно использовать и для перспективных станций на прогнозный период, задав для них экспертные значения входа и выхода.

Таблица 2 – Корреспонденции пассажиров между некоторыми станциями метрополитена (вход) и ст. Чернышевская

Станция	Трехчасовой по-ток по входу, пасс.	Максимальный интервал, пасс.	Начало макс. интервала	Доля макс. часа	Вход с 7-8 ч до Чернышевской	Вход с 8-9 ч. до Чернышевской	Вход с 9-10 ч до Чернышевской	Вход с 7-10 ч до Чернышевской
Ломоносовская	13047	5520	7,45	0,42	170	266	141	580
ул. Дыбенко	20994	9559	7,45	0,46	228	420	217	867
Рыбацкое	13715	6145	7,45	0,45	158	266	155	585
пр. Большевиков	24654	11072	7,45	0,45	283	486	245	1016
Ладожская	21611	8666	7,45	0,40	281	389	225	903
Пр. Просвещения	29148	12214	7,45	0,42	201	325	186	718
Гражданский пр.	23104	10609	7,45	0,46	358	685	334	1378
Пл. Ленина	10187	4137	8,00	0,41	306	413	185	901
Пионерская	23805	9879	7,45	0,41	204	295	137	635
Пл. Мужества	7797	3582	8,00	0,46	146	256	97	493
Политехническая	7304	3307	7,45	0,45	131	221	101	452
Академическая	20360	8853	7,45	0,43	352	595	282	1228
Балтийская	9044	3861	8,00	0,43	137	209	92	436
Автово	17285	7151	7,45	0,41	240	334	162	736
Парк Победы	11366	4988	7,45	0,44	132	198	79	404
Купчино	15973	6546	8,00	0,41	157	245	132	537
Приморская	14052	6108	7,45	0,43	192	295	122	604
Василеостровская	9202	3833	8,00	0,42	147	195	81	420
Комендантский пр.	27274	11919	7,45	0,44	248	420	227	899
Пр. Ветеранов	38124	11324	7,45	0,30	469	737	399	1616
Пл. Восстания	6789	2715	7,45	0,40	146	174	76	394
Международная	13406	6137	7,45	0,46	159	284	132	574

Литература

1. Питтель, Б.Г. Одна простейшая вероятностная модель коллективного поведения / Б.Г. Питтель // Проблемы передачи информации. – 1967. 3, 3. – С. 37–52.
2. Шелейховский, Г.В. Композиция городского плана как проблема транспорта / Г.В. Шелейховский. – М.: ГИПРОГОР, 1946. – 129 с.
3. Шацкий, Ю.А. Методы расчета расселения в генеральном плане города / Ю.А. Шацкий // Вопросы городского транспорта.

Вып. 3. – Киев: Будівельник, 1970, с. 71–84 (В помощь проектировщику-градостроителю).

4. Брэгман, Л.М. Разверстка и оптимизация в задачах распределения / Л.М. Брэгман, И.В. Романовский // Исследование операций и статистическое моделирование. – Л., 1975. – Вып. 3. – С. 137–162.

5. Дынкин, А.Г. Методология расчета перспективных пассажиропотоков / А.Г. Дынкин, Э.П. Мовчан // Применение матем. методов и ЭВМ в градостроительстве. – Киев: Будівельник, 1966.

6. Математические методы в управлении городскими транспортными системами. – Л.: Наука, 1979. – 152 с.

7. Федоров В.П. Методы математического моделирования для проектирования городской транспортной системы на досетевом уровне / В.П. Федоров, Л.А. Лосин // Транспорт Российской Федерации. – 2012. – № 2 (39). – С. 42–45.

Поступила 11 декабря 2016 года

УДК332:625. 656:711

**ПЕРВООЧЕРЕДНЫЕ ЗАДАЧИ НИР: ФОРМИРОВАНИЕ
ПЕРЕЧНЯ АКТУАЛЬНЫХ НАУЧНО-ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИХ
РАБОТ В СФЕРЕ ТРАНСПОРТНЫХ СИСТЕМ ГОРОДОВ**

М.Я. Блинкин, С.А. Ваксман, К.Ю. Трофименко

*Самыми строгими критериями науки являются:
достоверность – объяснение известных явлений
плюс предсказание новых, эмпиричность – перепроверяемость разными
исследователями в различные время и местонахождение,
открытость для исследователей и широкой публики
Эфраим Элиав*

Статья является попыткой возродить дискуссию в данной области, и совместно задуматься о том, какие задачи в сфере науки о ТСГ могут быть интересны, перспективны с точки зрения практической применимости результатов либо восполнения «пробелов в базе знаний».

The article is an attempt to revive the debate in this area, and together to think about what tasks in the sphere of science about TSC can be