УДК 711:656.2

© Е. А. Шестеров, канд. техн. наук, доцент
(Санкт-Петербургский государственный
архитектурно-строительный университет,
Санкт-Петербург, Россия)

E-mail: eashest@rambler.ru

© Н. А. Калюжный, канд. техн. наук

© Л. А. Лосин, канд. техн. наук

(Институт проблем региональной экономики РАН,
Санкт-Петербург, Россия)

E-mail: nicholaskalyuzhny@gmail.com,

nipigrad@yandex.ru

DOI 10.23968/1999-5571-2020-17-2-45-50

© Е. А. Shestеров, PhD in Sci. Tech., Associate Professor
(Saint Petersburg State University of Architecture
and Civil Engineering, St. Petersburg, Russia)

E-mail: eashest@rambler.ru

© N. A. Kalyuzhnyi, PhD in Sci. Tech.

© L. A. Losin, PhD in Sci. Tech.

(Institute for Study of Regional Economy
Problems RAS, St. Petersburg, Russia)

E-mail: nicholaskalyuzhny@gmail.com,

nipigrad@yandex.ru

АКТУАЛЬНОСТЬ НАУЧНОГО НАСЛЕДИЯ М. С. ФИШЕЛЬСОНА* ДЛЯ РЕШЕНИЯ ЗАДАЧ ТРАНСПОРТНОГО ПЛАНИРОВАНИЯ

THE RELEVANCE OF THE SCIENTIFIC HERITAGE OF M. S. FISHELSON FOR SOLVING PROBLEMS OF TRANSPORT PLANNING

Рассматривается научное наследие М. С. Фишельсона, изучавшего закономерности городского расселения применительно к решению практических задач развития транспортных систем городов. Проведен анализ теории расселения, разработанной М. С. Фишельсоном, а также сравнение предложенной им «кривой расселения» с графиками, полученными при расчетах с помощью современных информационно-программных комплексов по прогнозированию транспортного спроса и интенсивности потоков распределения. Подтверждена актуальность и применимость данной теории в современных условиях.

Ключевые слова: М. С. Фишельсон, теория расселения, кривая расселения.

The paper considers the scientific heritage of M. S. Fishelson, who studied the regularities of the city settlement system in regard to the practical task of the city transportation system development. There has been carried out an analysis of the settlement theory developed by M. S. Fishelson, as well as a comparison study of the «settlement curve» proposed by the scientist with the graphs obtained during calculations using modern information software complexes for predicting transport demand and traffic flow distribution intensity. The relevance and applicability of this theory in modern conditions has been substantiated.

Keywords: M. S. Fishelson, city settlement theory, settlement curve.

В 2020 году исполняется 110 лет со дня рождения Михаила Самуиловича (Семеновича) Фишельсона. М. С. Фишельсон (1910–1995) — доктор технических наук, профессор, выдающийся инженер-транспортник, градостроитель, автор около 300 научных работ, учебников и учебных пособий, с 1955 по 1991 годы работал в Ленинградском инженерно-строительном институте

в разных должностях, в том числе заведующим кафедрой «Городское строительство». Под его руководством в разные годы были защищены 18 кандидатских диссертаций.

Основные направления научной деятельности М. С. Фишельсона были связаны с разработкой новых и совершенствованием существующих методов расчета и проектирования городских транспортных систем, а также с организацией движения транспорта и пешеходов на городской улично-дорожной сети.

Наиболее значительные разработки послужили основой для учебников, которые были неод-

* Работа выполнена в рамках темы НИР «Исследование согласованного развития городов, регионов и природной среды методами математического моделирования, направленное на устойчивое развитие городской среды, промышленности и транспортной инфраструктуры с использованием методов анализа данных», №ГР. АААА-А19-119021390164-1.

нократно переизданы и по которым учатся до сих пор специалисты, а также студенты при изучении дисциплин в области проектирования системы городского транспорта и городских путей сообщения. Наиболее значимые из них «Планировка улиц» (1938); «Городской транспорт» (1-е издание 1960) совместно с А. Е. Страментовым и В. Г. Сосянцем; «Городское движение» (1-е издание 1963) совместно с А. Е. Страментовым; «Городское движение» (2-е издание 1965) совместно с А. Е. Страментовым; «Городские пути сообщения» (1967); «Городской транспорт» (2-е издание 1969) совместно с А. Е. Страментовым и В. Г. Сосянцем; «Городской транспорт» (1976) совместно с Е. В. Овечниковым; «Городские пути сообщения» (2-е издание 1980); «Транспортная планировка городов» (1985).

В 2010 году к 100-летию со дня рождения М. С. Фишельсона были опубликованы «Материалы к биобиблиографии специалистов транспортных систем городов и организации городского движения» [7], составленные под руководством С. А. Ваксмана, организатора Международной интернет-ассоциации «Транспортные системы городов и зон их влияния», и ставшие первым выпуском в серии изданий о выдающихся ученых-транспортниках нашей страны. В этом издании изложены биографические и би-

блиографические сведения о Михаиле Семеновиче Фишельсоне.

Несомненным вкладом в развитие теоретических основ транспортно-градостроительных моделей стала предложенная ученым гипотеза трудового расселения (рис. 1), которая базировалась на известной ранее гипотезе расселения Г. В. Шелейховского [13]. Подход, предложенный М. С. Фишельсоном, дополняет эту гипотезу: доля расселяющихся в транспортном районе прямо пропорциональна его селитебной емкости и обратно пропорциональна квадрату трудности сообщения с фокусом тяготения [9].

Предложенная М. С. Фишельсоном «идея расселения» основана на статистической обработке большого количества информации по крупным городам СССР. Указанная по оси ординат доля расселяющихся получена как интегральный показатель для городов с различной численностью и плотностью населения. Под величиной трудности сообщения здесь понимаются затраты времени на передвижение жителей города между местом проживания и местом приложения труда (при использовании общественного транспорта).

На основе данной зависимости при известном уровне подвижности населения на общественном транспорте может быть определено часовое,

Затраты времени на передвижение, мин	0–15	16–25	26–35	36–45	46–55	56–65	Всего
Вероятность расселения (Р)	0,18	0,28	0,19	0,15	0,11	0,09	1

Рис. 1. Гипотеза расселения по М. С. Фишельсону [9]

суточное и годовое количество передвижений по разным временным диапазонам доступности.

Следует отметить, что массовое поведение населения в городах обладает рядом устойчивых характеристик, в частности, относительным постоянством средних затрат времени на трудовые передвижения в течение длительного периода (в моделях отношение к средним затратам времени описывается параметром тяготения γ).

В основе современных математических моделей расчета спроса на передвижения в городах лежит гипотеза расселения относительно мест приложения труда, что хорошо коррелирует с результатами исследований М. С. Фишельсона [12]. В частности, предложенные им закономерности расселения (вероятность или доля расселения) лежат в основе алгоритмов расчета транспортного спроса информационно-программного комплекса Citraf [8]. Они представлены зависимостью количества корреспонденций в час пик от затрат времени на передвижения — на рис. 2 приведены расчетные «кривые расселения», построенные для ряда городов РФ с разной численностью населения и различной планировочной структурой [6]. Эти кривые получены в результате моделирования спроса на передвижения в данных городах (агломерациях) в условиях заданных ограничений по территориальному распределению мест проживания и мест приложения труда (пунктов отправления и прибытия).

При этом в качестве априорных предпочтений выбора населением пунктов прибытия относительно пунктов отправления при ежедневных корреспонденциях выступала функция тяготения, характеризующая обобщенную оценку населением условий связи мест жительства с местами приложения труда [8]. Функция тяготения в таких моделях имеет вид:

$$P = e^{-\gamma t},$$

где P — вероятность (доля) осуществления корреспонденций; t — затраты времени на осуществление корреспонденций; γ — параметр тяготения.

В практике транспортного планирования городов подобные кривые могут быть получены как расчетным путем, так и по результатам статистической обработки социологических исследований передвижений пассажиров. Можно заметить, что форма таких кривых во многом повторяет вероятностную гипотезу расселения людей по отношению к местам приложения труда, предложенную М. С. Фишельсоном.

Разные города Российской Федерации в силу исторических причин, географического положения и происходящих социально-экономических процессов могут быть как моноцентрическими, так и полицентрическими. Подобную специфику пространственной организации можно заметить при анализе современных «кривых расселения» (см. рис. 2), например, на «кривой расселения»

Рис. 2. Расчетные «кривые расселения» по некоторым городам РФ

г. Сочи имеются два «пика» корреспонденций, что свидетельствует об определенной степени полицентричности города (агломерации). М. С. Фишельсон в ряде научных работ также упоминал о возможном влиянии полицентризма на закономерности передвижения в городах.

При анализе представленных на графике «кривых расселения» в сравнении с гипотезой расселения М. С. Фишельсона видно, что максимум вероятности расселения сместился для большинства городов в сторону больших значений. Максимальные же значения, соответствующие гипотезе М. С. Фишельсона, находятся в диапазоне 15–25 минут, что характерно для таких городов, как Петрозаводск и Сочи, т. е. городов с населением менее 500 тысяч жителей. Сдвиг максимальных значений для крупных и крупнейших городов можно объяснить изменениями в функциональной и планировочной структуре, а также в транспортном поведении населения, произошедших с периода изучения М. С. Фишельсоном закономерностей передвижения в городах.

Сравнивая значения трудности сообщения, соответствующие максимальной доле корреспонденций по «кривым расселения» (см. рис. 2), с расчетными средними затратами времени на передвижения по городам (см. таблицу), можно заметить, что сравниваемые показатели достаточно близки (с определенной долей погрешности).

Стоит отметить, что теория расселения, предложенная М. С. Фишельсоном, до сих пор актуальна как для крупных городов, так и для малых, тем более что методика моделирования потоков пассажиров и транспорта практически полностью перешла в плоскость энтропийных моделей (основы такого подхода в петербургской практи-

ке транспортно-градостроительного моделирования были заложены Б. Г. Питтелем и В. П. Федоровым [10, 14]). Их общая постановка задачи, решаемой при построении матриц корреспонденций, выглядит следующим образом:

$$\begin{aligned} \sum_{i,j} x_{ij} \ln(y_{ij} \cdot x_{ij}) &\Rightarrow \max, \\ \sum_j x_{ij} &= P_i, i = 1, \dots, nr, \\ \sum_i x_{ij} &= Q_j, j = 1, \dots, nr, \\ x_{ij} &\geq 0. \end{aligned}$$

Здесь i, j — номера транспортных районов; x_{ij} — элементы искомым матриц корреспонденций; $\sum_{i,j} x_{ij} \ln(y_{ij} \cdot x_{ij})$ — «взвешенная» энтропия распределения; P_i — объем отправок из района i ; Q_j — объем прибытий в район j ; $y_{ij} = p(t_{ij})$ — функция тяготения.

Естественно предполагается, что $\sum P_i = \sum Q_j$.

С учетом сказанного, для ряда городов представляется возможным использовать в качестве параметра $p(t_{ij})$ в показанном алгоритме «кривые расселения», предложенные М. С. Фишельсоном [5], особенно при решении задач построения матриц корреспонденций и синтеза сети общественного транспорта на досетевом уровне, при которых может быть сформирован каркас транспортной сети на долгосрочную перспективу.

Выводы

1. Проведен ретроспективный анализ развития подходов к формированию матриц корреспонденций при моделировании транспортных систем городов на основе закономерностей расселения.

2. Показана возможность применения «кривой расселения», предложенной М. С. Фишельсоном, при решении задач моделирования го-

Сравнительный анализ затрат времени на передвижения

Город	Значение трудности сообщения, соответствующее максимальной доле корреспонденций по «кривым расселения», мин	Расчетные средние затраты времени на поездки, мин	Отклонение от средних затрат времени, %
Санкт-Петербург	40	42,6	6,10
Пермь	30	35,8	16,20
Краснодар	32	31,8	0,63
Сочи	20	34,0	41,18
Петрозаводск	20	25,2	20,63

родских транспортных систем на сетевом и до-сетевом уровнях.

3. Проведенный сравнительный анализ современных расчетных «кривых расселения» по различным городам с результатами проведенных М. С. Фишельсоном исследований закономерностей расселения в городах показал их актуальность на современном этапе транспортного планирования.

4. Разработанные современные математические модели, в основе которых лежит и теория расселения, предложенная М. С. Фишельсоном, получили значимый практический выход. С использованием таких моделей произведены транспортно-градостроительные расчеты при разработке последнего действующего генерального плана г. Санкт-Петербурга, а также генеральных планов таких городов, как Пермь, Краснодар, Астрахань, Петрозаводск.

Библиографический список

1. Гольц Г. А. Транспорт и расселение. М.: Наука, 1981. 248 с.
2. Горбанев Р. В. Городской транспорт. М.: Улей, 2017. 245 с.
3. Горев А. Э. Основы теории транспортных систем. СПб.: СПбГАСУ, 2010. 214 с.
4. Ефремов И. С., Кобозев В. М., Юдин В. А. Теория городских пассажирских перевозок. М.: Высшая школа, 1980. 536 с.
5. Лосин Л. А., Федоров В. П. Методы математического моделирования для проектирования городской транспортной системы на досетевом уровне // Транспорт Российской Федерации. 2012. № 2 (39). С. 42–45.
6. Лосин Л. А. Моделирование транспортных систем городов на основе досетевого расчета матриц межрайонных передвижений: дис. ... канд. техн. наук: 05.22.01 / Лосин Леонид Андреевич; [Место защиты: Петерб. гос. ун-т путей сообщ.]. СПб., 2015. 173 с.
7. Михаил Семенович Фишельсон. Материалы к биобиблиографии специалистов транспортных систем городов и организации городского движения. Вып. 1 / сост. С. А. Ваксман, Е. А. Шестеров. СПб.: Невская жемчужина, 2010. 60 с.
8. Мягков В. Н., Пальчиков Н. С., Федоров В. П. Математическое обеспечение градостроительного проектирования / отв. ред. Б. Л. Овсевич. Л.: Наука. Ленингр. отд-ние, 1989. 144 с.
9. Овечников Е. В. Городской транспорт / Е. В. Овечников, М. С. Фишельсон. М.: Высшая школа, 1976. 352 с.

10. Питтель Б. Г. Случайное размещение с ограничениями и принцип максимума взвешенной энтропии // Доклады АН СССР. 1972. Т. 207, № 6. С. 1281–1283.

11. Семенов В. В., Ермаков А. В. Исторический анализ моделирования транспортных процессов и транспортной инфраструктуры // Препринты ИПМ им. М. В. Келдыша. 2015. № 3. 36 с.

12. Федоров В. П., Пахомова О. М., Горная А. А., Булычева Н. В. Утренний час «пик» в Санкт-Петербурге вчера и сегодня // Материалы XI междунар. науч.-практ. конф. «Социально-экономические проблемы развития городов и зон их влияния». Екатеринбург, 2005. С. 195–199.

13. Шелейховский Г. В. Композиция городского плана как проблема транспорта. М.: Гипрогор, 1946. 129 с.

14. Экономико-математические исследования: математические модели и информационные технологии // сб. тр. Санкт-Петербургского экономико-математического института РАН. № 9. Математические модели в исследовании процессов развития городской среды. СПб.: Нестор-История, 2015. 84 с.

15. Якимов М. Р. Транспортное планирование: создание транспортных моделей городов. М.: Логос, 2013. 188 с.

References

1. Gol'ts G. A. *Transport i rasselenie* [Transport and settlement]. Moscow, Nauka Publ., 1981, 248 p.
2. Gorbaney R. V. *Gorodskoy transport* [City transport]. Moscow, Uley Publ., 2017, 245 p.
3. Gorev A. E. *Osnovy teorii transportnykh sistem* [Fundamentals of the theory of transport systems]. St. Petersburg, SPbGASU Publ., 2010, 214 p.
4. Efremov I. S., Kobozev V. M., Yudin V. A. *Teoriya gorodskikh passazhirskikh perevozok* [Theory of urban passenger transportation]. Moscow, Vysshaya shkola Publ., 1980, 536 p.
5. Losin L. A., Fedorov V. P. *Metody matematicheskogo modelirovaniya dlya proektirovaniya gorodskoy transportnoy sistemy na dosetevom urovne* [Methods of mathematical modeling for designing urban transport systems at the pre-network level]. *Transport Rossiyskoy Federatsii – Transport of the Russian Federation*, 2012, no. 2 (39), pp. 42–45.
6. Losin L. A. *Modelirovanie transportnykh sistem gorodov na osnove dosetevogo rascheta matrity mezhrayonnykh peredvizheniy*. Diss. kand. tekhn. nauk [Modeling of transport systems of cities based on pre-network calculation of matrices of inter-district movements. PhD in Sci. Tech. diss.]. St. Petersburg, 2015, 173 p.

7. Mikhail Semenovich Fishel'son. *Materialy k biobibliografii spetsialistov transportnykh sistem gorodov i organizatsii gorodskogo dvizheniya* [Mikhail Semyonovich Fishelson. Materials for biobibliography of specialists in urban transport systems and urban traffic organization]. Iss. 1. Comp. by Waxman S. A., Shestev E. A. St. Petersburg, Nevskaya Zhemchuzhina Publ., 2010, 60 p.

8. Myagkov V. N., Palchikov N. S., Fedorov V. P. *Matematicheskoe obespechenie gradostroitel'nogo proektirovaniya* [Mathematical support for urban planning design]. Ed. by Ovsievich B. L. Leningrad, Nauka Publ., 1989, 144 p.

9. Ovechnikov E. V., Fishelson M. S. *Gorodskoy transport* [City transport]. Moscow, Vysshaya shkola Publ., 1976, 352 p.

10. Pittel' B. G. *Sluchaynoe razmeshchenie s ogranicheniyami i printsip maksimuma vzveshennoy entropii* [Random placement with restrictions and the principle of maximum balanced entropy]. *Doklady AN SSSR – Reports of the USSR Academy of Sciences*, 1972, vol. 207, no. 6, pp. 1281–1283.

11. Semenov V. V., Ermakov A. V. *Istoricheskiy analiz modelirovaniya transportnykh protsessov i transportnoy infrastruktury* [Historical analysis of transport processes and transport infrastructure modeling]. *Preprinty IPM im. M. V. Keldysha – Preprints of the IPM named after M. V. Keldysh*, 2015, no. 3, 36 p.

12. Fedorov V. P., Pakhomova O. M., Gornaya A. A., Bulycheva N. V. *Utrenniy chas «pik» v Sankt-Peterburge*

vchera i segodnya [Morning rush hour in Saint Petersburg yesterday and today]. *Trudy XI mezhdunar. nauch.-prakt. konf. «Sotsial'no-ekonomicheskie problemy razvitiya gorodov i zon ikh vliyaniya»* [Proceedings of the XI Int. scientific-practical conf. "Socio-economic problems of urban development and zones of their influence"]. Ekaterinburg, 2005, pp. 195–199.

13. Sheleykhovskiy G. V. *Kompozitsiya gorodskogo plana kak problema transporta* [Composition of the city plan as a problem of transport]. Moscow, Giprogor Publ., 1946, 129 p.

14. *Ekonomiko-matematicheskie issledovaniya: matematicheskie modeli i informatsionnye tekhnologii* [Economic and mathematical research: mathematical models and information technologies]. *Trudy Sankt-Peterburgskogo ekonomiko-matematicheskogo instituta RAN no. 9. Matematicheskie modeli v issledovanii protsessov razvitiya gorodskoy sredy* [Proceedings of the Saint Petersburg Economic and Mathematical Institute of the Russian Academy of Sciences, no. 9. Mathematical models in the study of urban environment development processes]. St. Petersburg, Nestor-Istoriya Publ., 2015, 84 p.

15. Yakimov M. R. *Transportnoe planirovanie: sozдание transportnykh modeley gorodov* [Transport planning: creating transport models of cities]. Moscow, Logos Publ., 2013, 188 p.