

DOI: 10.12731/2227-930X-2020-4-40-57

УДК 656

ОЦЕНКА ЭЛАСТИЧНОСТИ ТРАНСПОРТНОГО СПРОСА НА ОСНОВЕ МОДЕЛЕЙ ВЫБОРА СПОСОБА ПЕРЕДВИЖЕНИЯ В ГОРОДАХ

Литвинов А.В., Донченко В.В.

При разработке мероприятий по управлению транспортным спросом возникает потребность в оценке эластичности спроса на передвижения определенным способом по стоимости или характеристике качества транспортного обслуживания. Оценка эластичности транспортного спроса может быть осуществлена на основе моделей выбора способа передвижения.

***Цель исследования** – описание и применение подхода к оценке эластичности транспортного спроса на основе моделей выбора способа передвижения в городах.*

***Материалы и методы исследования:** подход к оценке эластичности транспортного спроса основывается на математическом моделировании выбора способа передвижения в городах. Эмпирической базой для разработки моделей и проведения модельных экспериментов являлись результаты социологического исследования подвижности населения города Южно-Сахалинска, а также данные о стоимости передвижений и характеристиках качества транспортного обслуживания каждым способом передвижения.*

***Результаты:** описан и апробирован подход к оценке эластичности спроса по стоимостным и качественным характеристикам транспортного обслуживания на краткосрочную перспективу (до двух лет).*

***Применение результатов исследования:** результаты исследования могут использоваться для оценки эластичности транспортного спроса при разработке мероприятий по управлению транспортным спросом в городах.*

Ключевые слова: транспортный спрос; эластичность; выбор способа передвижения; модель дискретного выбора; мультиномиальный логит; управление транспортным спросом.

ESTIMATION OF ELASTICITIES OF TRAVEL DEMAND BASED ON URBAN TRAVEL MODE CHOICE MODELS

Litvinov A.V., Donchenko V.V.

To develop travel demand management measures there is a need to estimate the travel cost and level-of-service attribute elasticities of travel demand for a certain mode. Estimation of travel demand elasticities can be carried out on the basis of urban travel mode choice models.

The purpose of the study was to describe and test an approach to estimate the elasticities of travel demand based on urban travel mode choice models.

Materials and methods: the approach to estimate the elasticities of travel demand is based on mathematical modeling of urban travel mode choices. The empirical data for model development and conduction of model experiments were the results of household travel survey within the city of Yuzhno-Sakhalinsk, as well as data on the travel cost and level-of-service attributes of each travel mode.

Results: the approach was described and tested to estimate the travel cost and level-of-service attribute elasticities of travel demand for the short term (up to 2 years).

Practical implications. The results of the study can be used to estimate the elasticities of transport demand in the development of travel demand management measures in cities.

Keywords: travel demand; elasticity; travel mode choice; discrete choice model; multinomial logit; travel demand management.

Введение

За последние 25 лет (с 1995 по 2020 год) уровень автомобилизации населения России вырос более чем в 2,5 раза и продолжает

расти. Подвижность населения на городском общественном транспорте за тот же период снизилась более чем на 60%. В России реализуется так называемый «порочный» круг городского транспорта, сопровождающийся перераспределением спроса от общественно-го транспорта к индивидуальному. Массовое использование личных автомобилей для осуществления передвижений вызывает ряд негативных последствий, связанных с образованием транспортных заторов, ростом затрат на передвижения людей и доставку товаров, увеличением выбросов вредных веществ в атмосферу и т.п.

Для снижения таких негативных воздействий городскими властями могут быть разработаны и реализованы мероприятия по управлению транспортным спросом (управлению мобильностью населения), направленные на повышение привлекательности общественного транспорта и немоторизированных способов передвижения (пешком и на велосипеде) по сравнению с использованием автомобилей. Управление транспортным спросом осуществляется, в том числе, путем целенаправленного воздействия на стоимостные и качественные характеристики транспортного предложения различных способов передвижения.

Для оценки изменений транспортного поведения в результате изменений стоимости топлива, тарифов за проезд на общественном транспорте или характеристик качества транспортного обслуживания определенным способом передвижения органами власти и операторами общественного транспорта может быть использован метод, основанный на анализе эластичности. Данный метод является удобным инструментом для предварительной экспресс-оценки эффективности мероприятий по управлению транспортным спросом.

Развитие подходов к оценке эластичности транспортного спроса является актуальной научно-практической задачей.

Состояние вопроса

В общем случае эластичность – это мера реагирования одной (зависимой) переменной на изменение другой. Эластичность количественно оценивается с помощью коэффициента эластичности.

Коэффициент эластичности зависимой переменной y по независимой переменной x_i представляет собой отношение относительного (процентного) изменения зависимой переменной к относительному (процентному) изменению рассматриваемой независимой переменной:

$$E_{y, x_i} = \frac{\partial y}{\partial x_i} \frac{x_i}{y}. \quad (1)$$

Как правило, принимается допущение, что прочие независимые переменные не изменяются. Коэффициент точечной эластичности спроса (формула 1) можно считать постоянным только при небольшом изменении независимой переменной. При более значительном изменении независимой переменной может использоваться средний коэффициент эластичности спроса в рассматриваемом диапазоне (коэффициент дуговой эластичности).

В общем случае коэффициент эластичности может быть как положительным, так и отрицательным. Если значение коэффициента эластичности отрицательное, то это свидетельствует от том, что изменения зависимой и независимой разнонаправлены, то есть рост независимой переменной приводит к снижению зависимой. Если коэффициент эластичности (по модулю) превышает единицу, то спрос эластичный, если от 0 до 1, то спрос неэластичный. Так, например, если коэффициент эластичности спроса на передвижения на общественном транспорте по уровню тарифа за проезд на общественном транспорте составляет -0,3, это означает, что при увеличении тарифа на 10% спрос на передвижения на общественном транспорте снизится на 3%. Спрос в данном случае неэластичный.

Эластичность спроса на передвижения определенным способом по характеристикам данного способа передвижения (например, спроса на передвижения на общественном транспорте по тарифу за проезд на общественном транспорте) является прямой эластичностью, по характеристикам альтернативных способов передвижения (например, спроса на передвижения на общественном транспорте по времени передвижения на автомобиле) – перекрестной.

С учетом того, что пользователи транспортной системы не сразу адаптируются к некоторым изменениям стоимостных и каче-

ственных характеристик транспортного обслуживания выделяют краткосрочную (до двух лет) и долгосрочную эластичность. В краткосрочном периоде при изменении характеристик транспортного обслуживания, как правило, учитываются только изменения в выборе способа передвижения. Для более длительного периода необходимо также учитывать изменения в выборе пунктов назначения и частоте осуществления передвижений, а в долгосрочной перспективе (более 5–10 лет) также изменения мест жительства, работы и т.п. Коэффициент долгосрочной эластичности, как правило, больше (по модулю) коэффициента краткосрочной эластичности, то есть спрос является более эластичным в долгосрочной перспективе [14].

Подробные обзоры результатов зарубежных исследования эластичности спроса на передвижения различными способами по стоимостным и качественным характеристикам транспортного обслуживания представлены в работах [5, 6, 8, 9, 10, 12, 14].

В исследовании [8] предпринята попытка сформировать однородные сегменты транспортного спроса, коэффициенты эластичности для которых можно считать одинаковыми.

Таблица 1.

Результаты исследования эластичности спроса на передвижения на автомобиле и на общественном транспорте по стоимости топлива [8]

Цель передвижения	Автомобиль			Общественный транспорт		
	$0 < P_B \leq 0,15$	$0,15 < P_B \leq 0,5$	$P_B > 0,5$	$0 < P_B \leq 0,15$	$0,15 < P_B \leq 0,5$	$P_B > 0,5$
Коэффициенты краткосрочной эластичности:						
Трудовая	-0,08	-0,20	-0,32	+0,78	+0,26	+0,13
Деловая	-0,02	-0,04	-0,06	+1,62	+0,54	+0,27
На учебу	-0,08	-0,20	-0,32	+0,03	+0,01	+0,01
Прочее	-0,13	-0,33	-0,54	+0,63	+0,21	+0,10
Всего	-0,09	-0,14	-0,36	+0,32	+0,16	+0,08
Коэффициенты долгосрочной эластичности:						
Трудовая	-0,08	-0,20	-0,32	+0,36	+0,18	+0,09
Деловая	-0,03	-0,08	-0,12	+0,72	+0,24	+0,12
На учебу	-0,15	-0,36	-0,58	+0,03	+0,01	+0,01
Прочее	-0,14	-0,35	-0,56	+0,36	+0,12	+0,06
Всего	-0,11	-0,28	-0,44	+0,36	+0,12	+0,06

Примечание: P_B – вероятность передвижения на общественном транспорте.

В таблице 1 представлены результаты исследований эластичности спроса на передвижения на автомобилях и общественном транспорте по ценам на топливо в европейских городах с уровнем автомобилизации от 250 до 450 легковых автомобилей на 1000 жителей в зависимости от рассматриваемого периода (краткосрочный / долгосрочный), цели передвижения, существующего распределения транспортного спроса между способами передвижения.

В разрезе различных видов общественного транспорта эластичность спроса может существенно отличаться. Так, на основе данных исследований в Великобритании коэффициент эластичности спроса на передвижения на автобусе по уровню тарифа за проезд составляет примерно $-0,4$ в краткосрочной перспективе и $-1,0$ в долгосрочной, в то время как коэффициент эластичности спроса на передвижения на метро составляет $-0,3$ в краткосрочной перспективе и $-0,6$ в долгосрочной. Коэффициент эластичности спроса на передвижения на автобусе по уровню тарифа за проезд ниже в часы пик ($-0,24$), чем в непиковые периоды ($-0,51$) [14].

На основе данных исследований в 23 городах Великобритании коэффициент эластичности спроса на передвижения на автобусе по времени ожидания транспорта на остановочном пункте составляет $-0,64$, по времени движения в транспортном средстве – около $-0,4$ [6].

Альтернативным подходом к оценке эластичности на основе моделей спроса является оценка эластичности на основе анализа временных рядов [11]. В российской практике транспортного планирования эластичность транспортного спроса оценивается, как правило, на основе анализа временных рядов, за рубежом широко используются оба подхода.

Цель исследования – описание и применение подхода к оценке эластичности транспортного спроса на основе моделей выбора способа передвижения в городах.

Задачи исследования:

- описание подхода к оценке эластичности транспортного спроса на основе моделей выбора способа передвижения в городах;

- применение данного подхода для оценки эластичности спроса на примере передвижений из дома на работу и обратно в городе Южно-Сахалинске;
- анализ эластичности спроса применительно к разработке мероприятий по управлению транспортным спросом в городах.

Материалы и методы исследования

Подход к оценке эластичности транспортного спроса основывается на математическом моделировании выбора способа передвижения в городах. Модель выбора способа передвижения представляет собой модель, отражающую зависимость между вероятностью выбора способа передвижения пользователем транспортной системы и характеристиками, влияющими на этот выбор.

В общем виде модель может быть представлена в следующем виде:

$$P_{mq} = f_m(\mathbf{x}_q), \forall A_m \in \mathbf{A}(q), \mathbf{A}(q) \in \mathbf{A}, \quad (2)$$

где P_{mq} – вероятность выбора способа передвижения A_m пользователем q ;

\mathbf{x}_q – вектор характеристик, влияющих на выбор пользователя q ;

$\mathbf{A}(q)$ – множество способов передвижения, доступных пользователю q ,

\mathbf{A} – множество способов передвижения $\mathbf{A} = \{A_1, \dots, A_j, \dots, A_J\}$.

В качестве функциональной формы модели выбора способа передвижения обычно используются модели дискретного выбора, базирующиеся на теории случайной полезности.

Наиболее простой и распространенной функциональной формой модели дискретного выбора является мультиномиальный логит [3, 4, 7]:

$$P_{mq} = \frac{e^{V_{mq}}}{\sum_{A_j \in \mathbf{A}(q)} e^{V_{jq}}}, \quad (3)$$

где V_{jq} – систематическая составляющая полезности способа передвижения A_j для пользователя q .

В случае значительной корреляции случайных составляющих полезностей различных способов передвижений вместо модели

мультиномиального логита может использоваться модель иерархического логита или другие модели дискретного выбора без ограничений, вызванных свойствами независимости от нерелевантных альтернатив [13].

Функция систематической полезности может быть представлена в линейном виде:

$$V_{mq} = \sum_k \beta_{km} X_{kmq}, \tag{4}$$

где X_{kmq} – k -ая характеристика способа передвижения A_m (временные и стоимостные затраты на передвижение и т.п.); β_{km} – параметры модели, оцениваемые на основе данных.

Коэффициент прямой эластичности вероятности выбора способа передвижения A_m пользователем q по характеристике X_{kmq} :

$$E_{P_{mq}, X_{kmq}} = \frac{\partial P_{mq}}{\partial X_{kmq}} \frac{X_{kmq}}{P_{mq}}. \tag{5}$$

Коэффициент перекрестной эластичности вероятности выбора способа передвижения A_m пользователем q по характеристике X_{kjq} способа передвижения A_j :

$$E_{P_{mq}, X_{kjq}} = \frac{\partial P_{mq}}{\partial X_{kjq}} \frac{X_{kjq}}{P_{mq}}. \tag{6}$$

Для модели мультиномиального логита с линейным видом функции систематической полезности коэффициенты прямой и перекрестной эластичности имеют вид:

$$E_{P_{mq}, X_{kmq}} = (1 - P_{mq}) \beta_{km} X_{kmq}, \tag{7}$$

$$E_{P_{mq}, X_{kjq}} = -P_{jq} \beta_{kj} X_{kjq}. \tag{8}$$

Агрегированные коэффициенты эластичности (по всей выборке Q) могут быть получены как средневзвешенное индивидуальных коэффициентов эластичности:

$$E_{P_m, X_{km}} = \frac{\sum_{q \in Q} (P_{mq} \cdot E_{P_{mq}, X_{kmq}})}{\sum_{q \in Q} P_{mq}}, \tag{9}$$

$$E_{P_m, X_{kj}} = \frac{\sum_{q \in Q} (P_{mq} \cdot E_{P_{mq}, X_{kjq}})}{\sum_{q \in Q} P_{mq}}. \quad (10)$$

Данный подход был применен для оценки коэффициентов эластичности спроса на передвижения (туры) из дома на работу и обратно в городе Южно-Сахалинске. Основные исходные данные для разработки модели выбора способа передвижения в городе Южно-Сахалинске – данные исследования подвижности населения (выборочного социологического опроса), включающие информацию об индивидуальных характеристиках респондента и обо всех совершенных передвижениях за предыдущие сутки (цель передвижения, дата и время его начала, адреса начальных и конечных пунктов, выбранный способ передвижения, продолжительность передвижения и другие характеристики).

На основе информации о начальных и конечных пунктах передвижений и периоде суток осуществления передвижения с помощью модели транспортной сети определены временные и стоимостные затраты на передвижения каждым способом. Разработанные модели выбора способа передвижения имеют функциональную форму мультиномиального логита. Данная форма по результатам статистических тестов более предпочтительна по сравнению с иерархическим логитом. Для оценки эластичности спроса рассмотрены две спецификации модели.

В модели 1 функции систематической полезности включают временные затраты в виде общих временных затрат и имеют вид:

$$V_{Cq} = \beta_{Tl,C} \cdot T_{lCq} + \beta_{Cl,C} \cdot C_{lCq} + \beta_{Dl} \cdot Dl_q + \beta_{Nc/Nh} \cdot (Nc_q / Nh_q), \quad (11)$$

$$V_{Bq} = \beta_{Tl,B} \cdot T_{lBq} + \beta_{Cl,B} \cdot C_{lBq} + \beta_{Gd \times Sm} \cdot Gd_q \cdot Sm_q + \beta_{ASA,B}, \quad (12)$$

$$V_{Wq} = \beta_{Tl,W} \cdot T_{lWq} + \beta_{ASA,W}. \quad (13)$$

Обозначения переменных и параметров модели представлены в таблице 2. Индекс «В» соответствует общественному транспорту (автобусу); индекс «С» – индивидуальному транспорту (автомобилу), индекс «W» – способу передвижения пешком.

Таблица 2.

**Переменные и параметры моделей выбора способа передвижения
для туров из дома на работу и обратно в Южно-Сахалинске**

Переменная / константа модели	Параметр	Модель 1	Модель 2	
Переменные модели (функции переменных):				
Общее время передвижения на автомобиле (мин.)	T_{TC}	$\hat{\beta}_{T_{TC}}$	-0,051*** (0,011)	–
Общее время передвижения на автобусе (мин.)	T_{TB}	$\hat{\beta}_{T_{TB}}$	-0,051*** (0,011)	–
Общее время передвижения пешком (мин.)	T_{TW}	$\hat{\beta}_{T_{TW}}$	-0,071*** (0,012)	-0,068*** (0,011)
Время движения непосредственно в автомобиле (мин.)	T_{bC}	$\hat{\beta}_{T_{b,C}}$	–	-0,037** (0,015)
Время движения пешком до остановочного пункта и от него (мин.)	T_{aB}	$\hat{\beta}_{T_{a,B}}$	–	-0,068*** (0,011)
Время ожидания автобуса на остановочном пункте (мин.)	T_{wB}	$\hat{\beta}_{T_{w,B}}$	–	-0,068*** (0,011)
Время движения непосредственно в автобусе (мин.)	T_{bB}	$\hat{\beta}_{T_{b,B}}$	–	-0,037** (0,015)
Стоимостные затраты на передвижение на автомобиле (руб.)	C_{TC}	$\hat{\beta}_{C_{TC}}$	-0,017*** (0,004)	-0,016*** (0,004)
Стоимостные затраты на передвижение на автобусе (руб.)	C_{TB}	$\hat{\beta}_{C_{TB}}$	-0,017*** (0,004)	-0,016*** (0,004)
Половозрастная характеристика	$Gd \times Sm$	$\hat{\beta}_{Gd \times Sm}$	1,70*** (0,38)	1,67*** (0,37)
Наличие водительских прав	DI	$\hat{\beta}_{DI}$	2,23*** (0,47)	2,29*** (0,49)
Удельное количество автомобилей в домохозяйстве (ед.)	$\frac{Nc}{Nh}$	$\hat{\beta}_{Nc/Nh}$	3,74*** (0,73)	3,78*** (0,75)
Константы модели:				
Константа для способа «На автобусе»	ASA_B	$\hat{\beta}_{ASA,B}$	2,83*** (0,55)	3,84*** (0,60)
Константа для способа «Пешком»	ASA_W	$\hat{\beta}_{ASA,W}$	4,52*** (0,72)	5,18*** (0,70)
Функциональная форма и статистика модели:				
Функциональная форма модели		МНЛ	МНЛ	
Количество оцениваемых параметров		8	8	
Количество наблюдений		333	333	
$\ln L(0)$		-344,7537	-344,7537	

Окончание табл. 2.

$\ln L(\beta)$	-174,3258	-173,5392
ρ^2	0,494	0,497
$\overline{\rho^2}$	0,471	0,473

Примечание: МНЛ – мультиномиальный логит. В скобках указаны стандартные ошибки. * обозначает значимость на 10%-м уровне; ** – на 5%-м уровне; *** – на 1%-м уровне. Приняты допущения для модели 1: $\beta_{Ct,C} = \beta_{Ct,B}$, $\beta_{Tt,C} = \beta_{Tt,B}$; для модели 2: $\beta_{Tt,W} = \beta_{Ta,B} = \beta_{Tt,B}$, $\beta_{Ct,C} = \beta_{Ct,B}$, $\beta_{Tt,C} = \beta_{Tt,B}$. Данные допущения проверены с помощью статистических тестов.

В модели 2 функции систематической полезности включают временные затраты в виде составляющих (время движения в транспортном средстве, время ожидания на остановочном пункте, время движения пешком до / от остановочного пункта) и имеют вид:

$$V_{Cq} = \beta_{Tb,C} \cdot T_{bCq} + \beta_{Ct,C} \cdot C_{tCq} + \beta_{Dl} \cdot Dl_q + \beta_{Nc/Nh} \cdot (Nc_q / Nh_q), \quad (14)$$

$$V_{Bq} = \beta_{Tb,B} \cdot T_{bBq} + \beta_{Ta,B} \cdot T_{aBq} + \beta_{Tw,B} \cdot T_{wBq} + \beta_{Ct,B} \cdot C_{tBq} + \beta_{Gd \times Sm} \cdot Gd_q \cdot Sm_q + \beta_{ASA,B} \quad (15)$$

$$V_{Wq} = \beta_{Tt,W} \cdot T_{tWq} + \beta_{ASA,W} \quad (16)$$

Характеристики пользователя (пол, возраст, наличие водительских прав, количество автомобилей в домохозяйстве и др.) также учтены в модели выбора способа передвижения. Эти переменные слабо поддаются воздействию мероприятий по управлению транспортным спросом в краткосрочной перспективе и поэтому при анализе эластичности не рассматриваются. Однако, поскольку эти переменные (Dl_q , Nc_q / Nh_q , $Gd_q \cdot Sm_q$) влияют на выбор способа передвижения, их ввод обеспечивает несмещенность оценок для всех параметров β .

Подробное описание подготовки исходных данных и построения моделей выбора способа передвижения представлено в работах [1, 2]. Переменные и параметры моделей выбора способа передвижения, использованных для оценки эластичности транспортного спроса для туров из дома на работу и обратно в Южно-Сахалинске, представлены в таблице 2.

Результаты и обсуждение

Результаты оценки коэффициентов эластичности спроса по стоимостным и качественным характеристикам передвижений для туров из дома на работу и обратно в городе Южно-Сахалинске представлены в таблице 3.

Таблица 3.

Коэффициенты эластичности спроса на передвижения (туры) из дома на работу и обратно в Южно-Сахалинске

Характеристика способа передвижения	Модель 1			Модель 2			
	P_C	P_B	P_W	P_C	P_B	P_W	
Общие временные затраты на передвижения							
Общее время передвижения на автомобиле (мин.)	T_{iC}	-0,48	+0,76	+0,38	–	–	–
Общее время передвижения на автобусе (мин.)	T_{iB}	+0,54	-1,48	+0,31	–	–	–
Общее время передвижения пешком (мин.)	T_{iW}	+0,32	+0,46	-1,35	+0,30	+0,44	-1,29
Составляющие временных затрат на передвижения							
Время движения непосредственно в автомобиле (мин.)	T_{bC}	–	–	–	-0,28	+0,45	+0,20
Время движения непосредственно в автобусе (мин.)	T_{bB}	–	–	–	+0,22	-0,59	+0,10
Время движения пешком до остановочного пункта и от него (мин.)	T_{aB}	–	–	–	+0,20	-0,57	+0,15
Время ожидания автобуса на остановочном пункте (мин.)	T_{wB}	–	–	–	+0,12	-0,33	+0,08
Стоимостные затраты на передвижения							
Стоимостные затраты на передвижение на автомобиле (на топливо) (руб.)	C_{iC}	-0,24	+0,44	+0,10	-0,23	+0,42	+0,10
Стоимостные затраты на передвижение на автобусе (на оплату проезда) (руб.)	C_{iB}	+0,09	-0,26	+0,07	+0,08	-0,25	+0,07

Примечание: P_C, P_B, P_W – вероятность передвижения на автомобиле, на автобусе и пешком соответственно. Жирным шрифтом указаны значения прямой эластичности, обычным – перекрестной.

Для правильной интерпретации результатов оценки эластичности спроса необходимо учитывать, что коэффициент эластичности описывает относительное (процентное) изменение спроса при относительном (процентном) изменении характеристики, влияющей на спрос. Относительное изменение сильно зависит от величины начального абсолютного значения (эффект базы). По результатам исследований исходная доля передвижений из дома на работу и обратно в Южно-Сахалинске на автомобиле составляет 54,7%, на автобусе – 24,3% и пешком – 21,0%. Одинаковому изменению доли передвижения каждым способом в относительном выражении (например, на 10%) соответствует различное изменение доли в абсолютном выражении (5,5%, 2,4% и 2,1% соответственно), поскольку доли передвижений каждым способом не равны между собой. Это также относится и к независимым переменным.

Поэтому для сравнения между собой коэффициентов эластичности спроса в разрезе различных способов передвижения или независимых переменных необходимо принимать во внимание начальные абсолютные значения спроса и переменных.

Различные составляющие временных затрат по-разному воспринимаются пользователями транспортной системы. Так, стоимостная оценка времени движения непосредственно в транспортном средстве для туров из дома на работу и обратно в городе Южно-Сахалинске составляет 2,3 руб./мин [2], а времени движения пешком до / от остановочного пункта и времени ожидания на остановочном пункте – 4,3 руб./мин. С учетом наблюдаемых отличий в восприятии различных составляющих временных затрат пользователями транспортной системы использование модели 2, учитывающей отдельные составляющие временных затрат, более предпочтительно по сравнению с использованием модели 1. Значения коэффициентов эластичности спроса по общим временным затратам (модель 1) примерно равна сумме значений соответствующих коэффициентов эластичности спроса по составляющим временных затрат (модель 2) (таблица 3).

Коэффициент прямой эластичности спроса на передвижения на автомобиле по затратам на топливо, полученный на основе мо-

дели 2, составил $-0,23$. Это означает, что с увеличением затрат на топливо на 10% спрос на передвижения на автомобилях снизится на 2,3%. При этом коэффициент перекрестной эластичности спроса на передвижения на автобусе и пешком составили $+0,42$ и $+0,10$ соответственно. То есть с увеличением затрат на топливо на 10% спрос на передвижения на автобусе и на передвижения пешком вырастет на 4,2% и 1,0% соответственно.

Коэффициент эластичности спроса на передвижения на автобусе по времени движения непосредственно в автобусе составляет $-0,59$, то есть сокращение времени движения непосредственно в автобусе на 10%, например, в случае обеспечения приоритета проезда для общественного транспорта, вызывает рост спроса на передвижения на автобусе на 5,9%. Спрос на передвижения пешком и на передвижения на автомобиле при этом снижается на 1,0% и 2,2% соответственно. Аналогичным образом могут быть интерпретированы другие значения коэффициентов эластичности, представленные в таблице 3.

Поскольку полученные значения коэффициентов эластичности спроса напрямую связаны с теми условиями, для которых они определены, использовать значения коэффициентов эластичности рекомендуется только для схожих условий с теми, в которых они получены. Для российских городов напрямую использовать в расчетах результаты исследований эластичности спроса, полученные для зарубежных городов, не рекомендуется ввиду существенных различий условий, в том числе демографических и социально-экономических.

На основе полученных значений коэффициентов эластичности могут быть спрогнозированы краткосрочные (на период до двух лет) изменения спроса на передвижения различными способами от реализации мероприятий по управлению транспортным спросом.

Для прогнозирования изменения транспортного спроса в результате реализации мероприятия по управлению транспортным спросом на основе коэффициентов эластичности необходимо оценить, насколько изменится независимая переменная в результате данного

мероприятия. Например, в случае повышения акцизов на топливо (изменение фискальной политики) необходимо пересчитать как изменятся затраты на топливо для конечных потребителей. При этом необходимо учитывать вид используемого топлива (бензин, дизельное топливо, сжиженный природный газ и т.п.), инфляцию, а также изменение топливной эффективности автомобилей во времени.

Мероприятия по управлению транспортным спросом могут касаться тарифной и фискальной политики, организации дорожного движения, организации транспортного обслуживания населения общественным транспортом и других направлений.

Выводы

В данном исследовании описан подход к оценке эластичности транспортного спроса на основе моделей выбора способа передвижения. На основе данного подхода определены коэффициенты эластичности транспортного спроса по стоимостным и качественным характеристикам различных способов передвижения в краткосрочной перспективе.

Подход апробирован для оценки эластичности спроса на передвижения (туры) из дома на работу и обратно в городе Южно-Сахалинске. Полученные значения коэффициентов эластичности позволяют прогнозировать изменение транспортного спроса каждым способом передвижения в результате реализации мероприятий по управлению транспортным спросом.

Определенные на основе анализа эластичности наиболее перспективные мероприятия затем могут быть проанализированы с использованием более продвинутых (сложных и дорогостоящих) инструментов.

Список литературы

1. Литвинов А.В. Метод оценки распределения транспортного спроса между способами передвижения на основе дезагрегированных моделей. Вестник Московского автомобильно-дорожного государственного технического университета (МАДИ). 2020. № 4 (63). [В печати]

2. Литвинов А.В. Стоимостная оценка времени передвижения на основе моделей выбора способа передвижения. Транспорт: наука, техника, управление. Научный информационный сб. 2020. № 11. С. 45–48.
3. Ben-Akiva M., Lerman S.R. Discrete choice analysis: theory and application to travel demand. 1985. 390 p.
4. Cascetta E. Transportation Systems Engineering: Theory and Methods. Kluwer Academic Publishers, 2011. 742 p.
5. Dargay J., Gately D. Demand for Transportation Fuels: Imperfect Price-Reversibility? Transportation Research B, Vol. 31, No. 1, 1997, pp. 71–82.
6. The Demand for Public Transit: A Practical Guide, Transportation Research Laboratory, Report TRL 593, 2004. 246 p.
7. Domencich T.A., McFadden D. Urban travel demand. A behavioral analysis. North-Holland Publishing Company, 1975. 215 p.
8. Elasticity Handbook: Elasticities for Prototypical Contexts (TRACE), European Commission, 1999. 50 p.
9. Goodwin P., Dargay J., Hanly M. Elasticities of Road Traffic and Fuel Consumption With Respect to Price and Income: A Review. Transport Reviews, Vol. 24, No. 3, 2004, pp. 275–292.
10. Litman T. Transit Price Elasticities and Cross-Elasticities. Journal of Public Transportation, Vol. 7, No. 2, 2004, pp. 37–58.
11. Ortúzar J. de L., Willumsen L.G. Modelling Transport. John Wiley & Sons Ltd., 2011. 586 p.
12. Paulley N., Balcombe R., Mackett R. et al. The demand for public transport: The effects of fares, quality of service, income and car ownership. Transport Policy, 13(4), 2006, pp. 295–306.
13. Train K.E. Discrete choice methods with simulation. Cambridge University Press, 2009. 388 p.
14. Transport elasticities: impacts on travel behaviour. Understanding transport demand to support sustainable travel behaviour. Sustainable urban transport technical document #11. GIZ, 2013. 40 p.

References

1. Litvinov A.V. Metod ocenki raspredelenija transportnogo sprosa mezhdu sposobami peredvizhenija na osnove dezagregirovannyh modelej [Meth-

- od of estimation of travel modal shares based on disaggregate models]. *Vestnik Moskovskogo avtomobil'no-dorozhnogo gosudarstvennogo tehničeskogo universiteta (MADI)*, No. 4 (63), 2020. [In print].
2. Litvinov A.V. Stoimostnaja ocenka vremeni peredvizhenija na osnove modelej vybora sposoba peredvizhenija [Estimation of value of travel time based on the travel mode choice models]. *Transport: nauka, tehnika, upravlenie. Nauchnyj informacionnyj sbornik*. No. 11, 2020, pp. 45–48.
 3. Ben-Akiva M., Lerman S.R. Discrete choice analysis: theory and application to travel demand, 1985. 390 p.
 4. Cascetta E. Transportation Systems Engineering: Theory and Methods. Kluwer Academic Publishers, 2011. 742 p.
 5. Dargay J., Gately D. Demand for Transportation Fuels: Imperfect Price-Reversibility? *Transportation Research B*, Vol. 31, No. 1, 1997, pp. 71–82.
 6. The Demand for Public Transit: A Practical Guide, Transportation Research Laboratory, Report TRL 593, 2004. 246 p.
 7. Domencich T.A., McFadden D. Urban travel demand. A behavioral analysis. North-Holland Publishing Company, 1975. 215 p.
 8. Elasticity Handbook: Elasticities for Prototypical Contexts (TRACE), European Commission, 1999. 50 p.
 9. Goodwin P., Dargay J., Hanly M. Elasticities of Road Traffic and Fuel Consumption With Respect to Price and Income: A Review. *Transport Reviews*, Vol. 24, No. 3, 2004, pp. 275–292.
 10. Litman T. Transit Price Elasticities and Cross-Elasticities. *Journal of Public Transportation*, Vol. 7, No. 2, 2004, pp. 37–58.
 11. Ortúzar J. de L., Willumsen L.G. Modelling Transport. John Wiley & Sons Ltd., 2011. 586 p.
 12. Paulley N., Balcombe R., Mackett R. et al. The demand for public transport: The effects of fares, quality of service, income and car ownership. *Transport Policy*, No. 13(4), 2006, pp. 295–306.
 13. Train K.E. Discrete choice methods with simulation. Cambridge University Press, 2009. 388 p.
 14. Transport elasticities: impacts on travel behaviour. Understanding transport demand to support sustainable travel behaviour. Sustainable urban transport technical document #11. GIZ, 2013. 40 p.

ДАННЫЕ ОБ АВТОРАХ

Литвинов Александр Владимирович, аспирант

ОАО «НИИАТ»

125480, Россия, г. Москва, ул. Героев Панфиловцев, 24

alitvinov85@gmail.com

Донченко Вадим Валерианович, научный руководитель инсти-

тута, кандидат технических наук

ОАО «НИИАТ»

125480, Россия, г. Москва, ул. Героев Панфиловцев, 24

donchenko@niiat.ru

DATA ABOUT THE AUTHORS

Litvinov Alexander Vladimirovich, PhD student

JSC NIAT

24, Geroyev Panfilovtsev Str., Moscow, 125480, Russian Federation

alitvinov85@gmail.com

Donchenko Vadim Valerianovich, Research Director, PhD in Technical Sciences

JSC NIAT

24, Geroyev Panfilovtsev Str., Moscow, 125480, Russian Federation

donchenko@niiat.ru