

DOI: 10.21122/2227-1031-2017-16-5-437-443

УДК 656.081

Формализация гравитационной модели для расчета параметров междугородних пассажирских корреспонденций

Канд. техн. наук К. В. Доля¹⁾¹⁾Харьковский национальный университет городского хозяйства имени А. Н. Бекетова (Харьков, Украина)© Белорусский национальный технический университет, 2017
Belarusian National Technical University, 2017

Реферат. Рассмотрена возможность применения гравитационных моделей для расчетов междугородних пассажирских транспортных корреспонденций, реализуемых при помощи общественного транспорта. В качестве объекта исследования была выбрана пассажирская транспортная система Украины, что расширяет возможности применения полученных результатов. При прогнозировании пассажирских транспортных корреспонденций большое значение имеют величины калибровочных коэффициентов, используемых в расчете указанных корреспонденций. Формализация данных коэффициентов необходима для каждой транспортной системы, для которой производится расчет пассажирских транспортных корреспонденций. Актуальной задачей является поиск фактических параметров калибровочных и других коэффициентов как составляющих гравитационных моделей. Значительную роль в этой проблеме играет выбор варианта гравитационной модели. Разработанные на данный момент способы расчетов пассажирских транспортных корреспонденций предлагают их использование на разных типах транспорта и для разных типов поездов. В результате проведенного изучения исследован процесс оказания услуг по перевозке пассажиров на маршрутах общего пользования. Полученные характеристики функционирования рассмотренной системы позволили оценить возможность применения известных способов расчета пассажирских корреспонденций и качество их применения. Эмпирическим способом подобраны калибровочные коэффициенты используемых при расчете указанных корреспонденций способом применения гравитационного моделирования. Формализация ранее неизученных параметров составляющих гравитационных моделей обеспечивает возможность применения рассмотренного подхода к расчету пассажирских корреспонденций в рамках изученной транспортной системы. Это обеспечивает возможность в планировании и взаимодействии функционирования различных видов транспорта и дает новые знания об изученной системе.

Ключевые слова: транспортная система, функция тяготения, фактор сопротивления, отправления, прибытия, пассажиропоток, калибровочный коэффициент, расстояние

Для цитирования: Доля, К. В. Формализация гравитационной модели для расчета параметров междугородних пассажирских корреспонденций / К. В. Доля // *Наука и техника*. 2017. Т. 16, № 5. С. 437–443. DOI: 10.21122/2227-1031-2017-16-5-437-443

Gravity Model Formalization for Parameter Calculation of Intercity Passenger Transport Correspondence

С. V. Dolya¹⁾¹⁾О. М. Бекетов National University of Urban Economy in Kharkiv (Kharkiv, Ukraine)

Abstract. The paper considers a possibility to apply gravity models for calculation of intercity passenger transport correspondences which are implemented with the help of public transport. The Ukraine transportation system has been selected as an object of investigation and this approach extends application possibilities of the obtained results. Calibration coefficients

Адрес для переписки

Доля Константин Викторович
Харьковский национальный университет
городского хозяйства имени А. Н. Бекетова
ул. Маршала Бажанова, 17,
61022, г. Харьков, Украина
Тел.: +38 099 291-81-60
k.dolya@inbox.ru

Address for correspondence

Dolya Constantine V.
O. M. Beketov National University
of Urban Economy in Kharkiv
17 Marshal Bazhanov str.,
61022, Kharkiv, Ukraine
Tel.: +38 099 291-81-60
k.dolya@inbox.ru

used in calculation of the indicated correspondences are rather important and significant in case of forecasting passenger transport correspondences. Formalization of these factors is necessary for every transportation system if a calculation of passenger transport correspondences has been made for it. In this case searching for actual calibration parameters and other coefficients as components of gravitational models is a relevant objective of the given paper. Selection of the gravity model variant plays rather significant role in solution of this problem. The developed methods for calculation of passenger transport correspondences are proposed for their application in respect of various transport and trip types. The executed research works have made it possible to investigate a process pertaining to providing of services for passenger transportation while using public routes. The obtained characteristics on functioning of the studied system have allowed to assess the possibility for application of the known methods for calculation of passenger correspondences and analyze the quality of their application. Calibration coefficients have been empirically selected for calculation of the indicated correspondences while using method of gravity modeling. Formalization of previously unexplored parameters of gravity model component provides the possibility to apply the considered approach for calculation of passenger correspondences within the framework of the investigated transportation system. This makes it possible to plan and arrange interaction of various transport types and provides new data and knowledge on the studied system.

Keywords: transport system, gravity function, resistance factor, departure, arrival, passenger flow, calibration coefficient, distance

For citation: Dolya C. V. (2017) Gravity Model Formalization for Parameter Calculation of Intercity Passenger Transport Correspondence. *Science and Technique*. 16 (5), 437–443. DOI: 10.21122/2227-1031-2017-16-5-437-443 (in Russian)

Введение

Роль транспорта в обеспечении потребностей общества сложно переоценить. Не вызывает сомнения тот факт, что транспортировка есть неотъемлемая составляющая каждого производственного процесса и жизнедеятельности любого человека. Важность наличия своевременной реализации потребности общества в транспортировке не вызывает сомнений. Однако своевременность не определяющий фактор. Кроме своевременности потребитель транспортных услуг – пассажир – требует комфортности, быстроты перемещения, регулярности и доступной стоимости услуги. Параметры комфортности перемещения пассажиров в транспорте общего пользования, безусловно, должны вносить свои коррективы в деятельность организаций-перевозчиков. Следует отметить, что транспортные предприятия не всегда имеют возможность полностью удовлетворять требования пассажиров в вопросах интервалов движения, расписания или типа подвижного состава. Это связано с высокой стоимостью самих транспортных средств.

Для обеспечения планирования деятельности транспортного предприятия в части закупок транспортных средств, расчетов основных технико-экономических показателей деятельности транспортного предприятия и потребления ресурсов необходимо прогнозировать параметры корреспонденций пассажиров. К таким параметрам можно отнести объемы прибытия и отправки пассажиров по отношению к каждому

транспортному узлу и характеристики корреспонденций пассажиров между узлами.

Учеными уже рассматривался вопрос расчета пассажирских корреспонденций. Так, в [1] предложено рассчитать пассажирскую корреспонденцию между городами за год по следующей зависимости:

$$H_{ij} = \frac{KP_{ij}^a}{F_{ij}^b}, \quad (1)$$

где H_{ij} – корреспонденция между городами i и j соответственно; K , a , b – калибровочные коэффициенты; P_{ij} – привлекательность городов i и j ; F_{ij} – фактор сопротивления поездке между городами i и j .

К недостатку данных исследований можно отнести отсутствие определенных способов расчета привлекательности городов и фактора сопротивления поездке. При этом данная модель рассматривалась авторами как гравитационная.

В [2] предложено использовать следующий вариант гравитационной модели:

$$H_{ij} = k \frac{(A_i A_j)^\alpha}{d_{ij}^\gamma}, \quad (2)$$

где A_i , A_j – факторы привлекательности городов i и j ; k – константа; γ – параметр, контролирующий сопротивление расстояния фактору привлекательности; α – параметр контроля влияния фактора привлекательности.

Следует отметить, что авторами работы предлагается использовать данную модель не

для пассажирской транспортной системы в целом, а только для авиационных перевозок. Не приняты и способы определения как контролирующих параметров, так и константы. В свою очередь это затрудняет использование предложенной зависимости.

Авторами [3] рассмотрена классическая гравитационная модель Ньютона в качестве основы для расчета корреспонденции пассажиров между городами по предложенной ими зависимости

$$H_{ij} = \frac{GDP_i \cdot Pop_i \cdot GDP_j \cdot Pop_j}{(d_{ij} \cdot AirFare_{ij})^2}, \quad (3)$$

где GDP_i , GDP_j – внутренний валовой продукт городов i и j ; Pop_i , Pop_j – население городов i и j ; d_{ij} – расстояние между городами i и j ; $AirFare_{ij}$ – стоимость перелета.

В предложенном способе расчета учтены уровень благосостояния и количество населения городов, а расстояние и стоимость играют роль сопротивления корреспонденции аналогично функции (1). Однако следует заметить, что модель предложена для авиационного транспорта, где стоимость значительно отличается от стоимости на наземном, что может привести к невозможности применения данной модели ко всей пассажирской транспортной системе. Необходимо отметить, что в этой модели учитывается внутренний валовой продукт городов.

В [4] для прогнозирования количества поездок (корреспонденции) пассажиров из региона в регион авторы предложили использовать следующую зависимость:

$$H_{ij} = H_{ei} \frac{P_j F_{ij} K_{ij}}{\sum_i A_j F_{ij} K_{ij}}, \quad (4)$$

где H_{ei} – количество отправок из города i .

В предложенной модели калибровочный коэффициент K_{ij} рассматривается для балансирования социально-экономических характеристик регионов i и j соответственно. Данная модель разработана для расчета корреспонденций между странами, где наблюдается необходимость учитывать разные уровни их развития, что не применимо для корреспонденций внутри одной страны.

В [5, 6] предложены способы прогнозирования распределения корреспонденции пассажиров между видами транспорта. Это позволяет планировать взаимодействие разных видов транспорта для корректировки параметров функционирования пассажирской транспортной системы. Так, авторами предполагается использовать результаты исследований для оптимизации расписаний и типов транспортных средств, что влияет на комфортность поездки.

В [7] изучено влияние стоимости пользования транспортной услугой на социально-экономические факторы развития общества, вопрос изменения объемов перевозок пассажиров в системе при варьировании стоимости транспортных услуг для населения, а также изменение корреспонденции пассажиров при варьировании длины средней поездки. Это подтверждает выводы предыдущих исследователей о влиянии стоимости и расстояния поездки на количественные показатели пассажирской транспортной корреспонденции.

Авторами [8] предлагается проводить обследование существующих пассажирских корреспонденций для установления фактических значений эмпирических констант, факторов сопротивления и балансировочных коэффициентов. Следует отметить, что в [9] также предлагается провести обследование существующих потоков пассажиров, установив фактические значения в предлагаемых ими функциях для прогнозирования корреспонденций.

Для установления корреспонденции пассажиров предложено использовать гравитационную модель в ее классической интерпретации [10]

$$H_{ij} = \frac{d_{ij} H_{ei} H_{ni}}{L_{ij}^x}, \quad (5)$$

где H_{ij} – количество прибытий в город j ; L_{ij} – расстояние между городами i и j ; d_{ij} – функция тяготения между городами i и j ; x – калибровочный коэффициент фактора расстояния.

По результатам проведенного анализа современных подходов к решению проблемы о расчете пассажирских транспортных корреспонденций установлены:

- возможность применения гравитационных моделей в области рассматриваемой проблематики;

- количественные показатели корреспонденции прямо пропорциональны количеству жителей, отправок или прибытий пассажиров и обратно пропорциональны стоимости проезда и расстоянию между городами.

При этом установление количественных значений калибровочных коэффициентов является нерешенным вопросом. Такие результаты проведенного анализа ставят задачи по:

- рассмотрению возможности применения методов гравитационного моделирования при расчетах пассажирских транспортных корреспонденций в рамках пассажирской транспортной системы Украины;

- установлению значения калибровочных коэффициентов для выбранной гравитационной модели;

- оценке точности проводимых расчетов при использовании полученных значений калибровочных коэффициентов.

По результатам проведенной работы возможно получение новых сведений о пассажирской транспортной системе Украины, что в свою очередь дополнит имеющиеся данные. В отличие от достижений рассмотренных авторов, проведенное исследование будет учитывать корреспонденции пассажиров на маршрутах общего пользования всех видов транспорта.

Основная часть исследования

Для прогнозирования корреспонденций пассажиров выбрана зависимость (5). В ней предложено рассмотреть функцию тяготения как комплексную

$$d_{ij} = \frac{a}{L_{ij}^x}, \quad (6)$$

где a – эмпирическая константа.

Вследствие преобразования (5) принимает вид

$$H_{ij} = \frac{a}{L_{ij}^x} (H_{ei} H_{ni}). \quad (7)$$

Данная интерпретация дает возможность учитывать влияние на расчетные показатели пассажирской корреспонденции длины маршрута, скорректированной калибровочным ко-

эффициентом для фактора расстояния. Фактор стоимости поездки принято не учитывать, так как он зависит от длины поездки, а значит, уже учитывается.

Для установления возможности использования зависимости (7) в расчетах применительно к пассажирским транспортным системам Украины было проведено обследование сложившихся корреспонденций между городами. В рассматриваемых пассажирских транспортных корреспонденциях предусмотрено, что пассажиры совершают поездки на транспорте общего пользования без учета других способов перемещения. Как известно, междугородние перевозки пассажиров на маршрутах общего пользования предусматривают станционное обслуживание. Это позволяет установить количественные показатели корреспонденций между городами Украины, используя станционную информацию железнодорожного и автомобильного транспорта.

На следующем этапе был проведен расчет потенциальной корреспонденции между городами i и j в соответствии с предлагаемой зависимостью (7). Для расчетов выбрали следующие значения эмпирической константы: 1; 5; 35; 65; 95; 125 и 155. Калибровочный коэффициент фактора расстояния принимался: –0,8; 1,0; 1,2; 1,4; 1,6; 1,8; 1,9 и 2,5. Расстояние между городами принято равным длине автобусных маршрутов, соединяющих данные населенные пункты. Для проведения расчетов матрицы кратчайших расстояний областными центрами были присвоены номера (Винница – 1, Ковель – 2 и т. п.).

Расчетные данные корреспонденции между городами i и j (H_{ij}) сведены в табл. 1.

Соответствие и оценка значения расчетной потенциальной корреспонденции H'_{ij} между городами i и j по отношению к фактическому значению реализованы по зависимости

$$\varepsilon = \frac{|H_{ij} - H'_{ij}|}{H_{ij}}. \quad (8)$$

Значение ε – удельное отклонение полученного расчетного количественного показателя – дает возможность в совершении анализа качества использования комбинации значения константы a и значения калибровочного коэффициента x . Результаты расчетов по зависимости (8) сведены в табл. 2.

Таблица 1

Значения потенциальной корреспонденции пассажиров, рассчитанные по (7)
 Potential passenger correspondence values calculated according to (7)

№ п/п	№ транспортного узла		H'_{ij} при			H'_{ij} при			
	i	j	$a = 1,$ $x = -0,8$	$a = 1,$ $x = 1,0$	...	$a = 155,$ $x = 1,6$	$a = 155,$ $x = 1,8$	$a = 155,$ $x = 1,9$	$a = 155,$ $x = 2,5$
1	8	22	20,53	19,31	...	16,83	15,79	15,23	11,57
2	8	15	67,13	71,07	...	63,99	60,46	58,52	45,52
3	13	14	103,37	111,57	...	102,22	97,15	94,29	73,83
4	13	8	20,31	33,70	...	35,44	35,50	35,41	32,98
5	13	15	22,37	40,82	...	45,14	46,14	46,52	46,95
6	13	22	69,26	30,35	...	19,22	16,11	14,69	8,05
7	14	8	468,76	538,10	...	579,49	594,78	602,50	645,12
8	14	20	24,17	16,45	...	12,36	11,09	10,47	7,19
...
20	20	18	1,16	10,61	...	63,40	61,52	60,43	52,03
21	20	15	12,02	3,92	...	90,33	102,66	108,95	147,21
22	22	14	607,86	464,50	...	3,36	2,68	2,38	1,05
23	22	8	22,69	146,24	...	0,83	0,66	0,59	0,28
24	22	13	32,21	11,38	...	0,61	0,44	0,38	0,13
25	20	18	31,15	14,31	...	15,17	15,84	16,10	17,00
26	20	15	16,36	6,12	...	6,42	5,31	4,81	2,51

Таблица 2

Удельное отклонение значений расчетных показателей корреспонденции пассажиров
 между городами от фактических показателей
 Specific deviation of values for calculated indices of passenger correspondence
 between towns from actual indices

№ п/п	№ транспортного узла		ϵ при			ϵ при			
	i	j	$a = 1,$ $x = -0,8$	$a = 1,$ $x = 1,0$	...	$a = 155,$ $x = 1,6$	$a = 155,$ $x = 1,8$	$a = 155,$ $x = 1,9$	$a = 155,$ $x = 2,5$
1	8	22	0,26	0,18	...	0,03	0,03	0,07	0,29
2	8	15	0,04	0,11	...	0,00	0,06	0,09	0,29
3	13	14	0,02	0,10	...	0,01	0,04	0,07	0,27
4	13	8	0,39	0,02	...	0,07	0,07	0,07	0,00
5	13	15	0,33	0,22	...	0,35	0,38	0,39	0,40
6	13	22	0,57	0,31	...	0,57	0,64	0,67	0,82
7	14	8	0,21	0,09	...	0,03	0,00	0,01	0,09
8	14	20	1,10	0,43	...	0,08	0,04	0,09	0,38
...
20	20	18	0,92	0,29	...	0,07	0,01	0,01	0,13
21	20	15	7,58	1,80	...	0,18	0,16	0,29	0,76
22	22	14	0,44	0,10	...	0,00	0,04	0,05	0,18
23	22	8	0,90	0,38	...	0,06	0,04	0,09	0,36
24	22	13	5,71	1,37	...	0,12	0,15	0,27	0,72
25	20	18	2,62	0,66	...	0,06	0,11	0,18	0,54
26	20	15	5,29	1,35	...	0,23	0,04	0,16	0,63
27	22	14	0,33	0,03	...	0,02	0,02	0,03	0,05
28	22	8	2,23	0,79	...	132,81	135,32	136,55	143,47
$\epsilon_{\text{ср}}$			2,09	0,58	...	0,11	0,10	0,15	0,41

Полученное значение $\epsilon_{\text{ср}}$ демонстрирует среднее отклонение расчетных показателей от фактических при использовании определенных сочетаний a и x . При наличии в каждом опыте количественных показателей a , x и $\epsilon_{\text{ср}}$ получаем возможность в построении по-

верхности зависимости $\epsilon_{\text{ср}}$ от переменных a и x (рис. 1).

Для визуализации влияния константы a на расчетный показатель пассажирской корреспонденции построим точечный график распределения значений $\epsilon_{\text{ср}}$ от a (рис. 2).

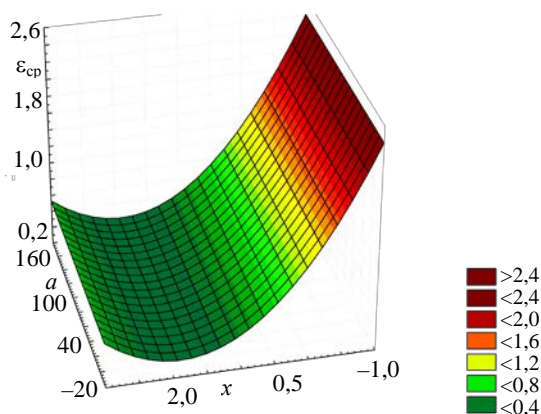


Рис. 1. Поверхность зависимости $\epsilon_{ср}$ от переменных a и x
 Fig. 1. Surface dependence $\epsilon_{ср}$ on a and x variables

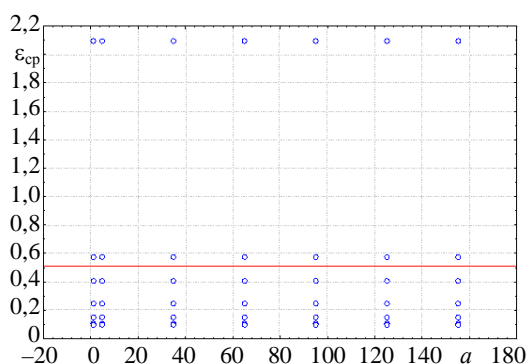


Рис. 2. Зависимость распределения значений $\epsilon_{ср}$ от a
 Fig. 2. Dependence of $\epsilon_{ср}$ -value distribution on a

Из рис. 2 следует, что при изменении эмпирической константы в интервале от 1 до 155 не происходит изменений расчетных значений корреспонденции. Полученные результаты позволяют принять в формуле (7) $a = 1$.

Для графического интерпретирования зависимости отклонения полученного расчетного количественного показателя от фактического построим аналогичный график распределения значений $\epsilon_{ср}$ от x (рис. 3).

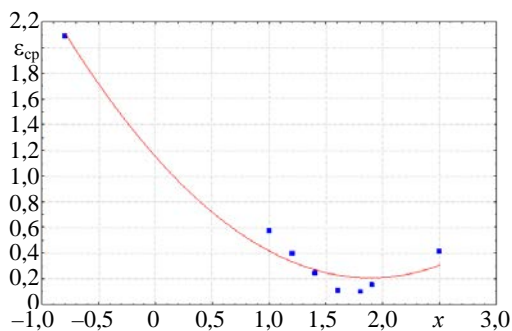


Рис. 3. Зависимость распределения значений $\epsilon_{ср}$ от x
 Fig. 3. Dependence of $\epsilon_{ср}$ -value distribution on x

На рис. 3 отображено, что значения расчетной пассажирской транспортной корреспонденции максимально приближаются к фактическим показателям при $x = 1,8$. Основываясь на данных расчетов, приведенных в табл. 2, а также на рис. 1 и 3, можно утверждать, что наименьшее среднее удельное отклонение полученного расчетного количественного показателя от фактического составляет 10 % и получено при использовании значения калибровочного коэффициента $x = 1,8$.

Согласно результатам расчетов, приведенным в табл. 2, можно предположить, что в исследованном процессе оказания услуг по перевозке пассажиров на маршрутах общего пользования имеют место корреспонденции, которые можно рассчитать с применением гравитационной модели, приведенной в (7). При этом доказано, что значение эмпирической константы не влияет на результаты расчетов. В связи с изложенным (7) принимает следующий вид:

$$H_{ij} = \frac{H_{ei} H_{ni}}{L_{ij}^x} \quad (9)$$

Данные, полученные в результате исследований, являются доказательством возможности применения выбранной гравитационной модели для междугородних пассажирских корреспонденций на Украине.

ВЫВОДЫ

1. Рассмотрена возможность применения методов гравитационного моделирования при проведении расчетов пассажирских транспортных корреспонденций в рамках пассажирской транспортной системы Украины. Выбранный способ требует дополнительных обследований сложившихся корреспонденций в рассматриваемой системе для формализации фактических значений калибровочного коэффициента и эмпирической константы.

2. Найдено значение калибровочного коэффициента для выбранной гравитационной модели. В результате этого функция расчета транспортных корреспонденций пассажиров между областными центрами на Украине принимает следующий вид:

$$H_{ij} = \frac{H_{ei} H_{ni}}{L_{ij}^{1,8}}$$

3. Анализом точности проводимых расчетов при использовании значений калибровочных коэффициентов установлена возможность прогнозирования показателей транспорт-

ных корреспонденций пассажиров с точностью до 10 %. Следует отметить, что полученные результаты применимы только к исследованной пассажирской транспортной системе Украины.

ЛИТЕРАТУРА

1. Cohen, G. Intercity Rail Travel Models' / G. Cohen, N. S. Earlbaum, D. T. Hartgen // *Transportation Research Record*. 1978. No 673. P. 21–25.
2. Grosche, T. Gravity Models for Airline Passenger Volume Estimation / T. Grosche, F. Rothlauf, A. Heinzl // *Air Transp. Manag.* 2007. Vol. 13, No 4. P. 175–183. DOI: 10.1016/j.jairtraman.2007.02.001.
3. Terekhov, I. A Concept of Forecasting Origin-Destination Air Passenger Demand between Global City Pairs Using Future Socio-Economic Development Scenarios / I. A. Terekhov, R. Ghosh, V. Gollnick // *Proceedings of 53rd AIAA Aerospace Sciences Meeting*. Kissimmee, Florida, USA. 2015. DOI: 10.2514/6.2015-1640.
4. Forecasting Model for Air Taxi, Commercial Airline, and Automobile Demand in the United States / H. Baik [et al.] // *Transportation Research Record: Journal of the Transportation Research Board*. 2008. Vol. 2052. P. 9–20. DOI: 10.3141/2052-02.
5. Григорова, Т. М. Разработка моделей распределения объемов перевозок пассажиров между видами пригородного транспорта / Т. М. Григорова, Ю. О. Давидич, В. К. Доля // *Восточно-Европейский журнал передовых технологий*. 2015. Т. 3, № 3. С. 10–14. DOI: 10.15587/1729-4061.2015.43381.
6. Tao, Li. A Demand Estimator Based on a Nested Logit Model / Li Tao // *Transportation Science*. 2016. P. 41–59. DOI: 10.1287/trsc.2016.0671.
7. Вакуленко, Е. Е. Особенности управления городским пассажирским транспортом / Е. Е. Вакуленко, К. В. Доля. Харьков: Харьков. нац. ун-т гор. хоз-ва имени А. Н. Бекетова, 2015. 259 с.
8. Prasolenko, O. The Human Factor in Road Traffic City / O. Prasolenko, O. Lobashov, A. Galkin // *International Journal of Automation, Control and Intelligent Systems*. 2015 Vol. 1, No 3. P. 77–84. Available at: <http://files.aiscience.org/journal/article/html/70100035.html>.
9. Grigорова, T. Transport Fatigue Simulation of Passengers in Suburban Service / T. Grigорова, Yu. Davidich, V. Dolya // *International Journal of Automation, Control and Intelligent Systems*. 2015. Vol. 1, No 2. P. 87–99. Available at: <http://www.aiscience.org/journal/paperInfo/ijacis?paperId=1240>.
10. Grigорова, T. Assessment of Elasticity of Demand for Services of Suburban Road Passenger Transport / T. Grigорова, Yu. Davidich, V. Dolya // *Technology Audit and Production Reserves*. 2015. Vol. 3, No 2. P. 13–16. DOI: 10.15587/2312-8372.2015.44768/

Поступила 03.02.2017

Подписана в печать 10.04.2017

Опубликована онлайн 29.09.2017

REFERENCES

1. Cohen G., Earlbaum N. S., Hartgen D. T. (1978) Intercity Rail Travel Models'. *Transportation Research Record*, (673), 21–25.
2. Grosche T., Rothlauf F., Heinzl A. (2007) Gravity Models for Airline Passenger Volume Estimation. *Journal of Air Transport Management*, 13 (4), 175–183. DOI: 10.1016/j.jairtraman.2007.02.001.
3. Terekhov I. A., Ghosh R., Gollnick V. (2015) Concept of Forecasting Origin-Destination Air Passenger Demand between Global City Pairs Using Future Socio-Economic Development Scenarios. *Proceedings of 53rd AIAA Aerospace Sciences Meeting*. Kissimmee, Florida, USA. DOI: 10.2514/6.2015-1640.
4. Baik H., Trani A., Hinze N., Swingle H., Ashiabor S., Seshadri A. (2008) Forecasting Model for Air Taxi, Commercial Airline, and Automobile Demand in the United States. *Transportation Research Record: Journal of the Transportation Research Board*, 2052, 9–20. DOI: 10.3141/2052-02.
5. Grigорова T. M., Davidich Yu. O., Dolya V. K. (2015) Development of Distribution Model of Passenger Transportation Volumes Among Suburban Transport Modes. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*, 3 (3), 10–14. DOI: 10.15587/1729-4061.2015.43381.
6. Tao Li. (2016) A Demand Estimator Based on a Nested Logit Model. *Transportation Science*, 41–59. DOI: 10.1287/trsc.2016.0671.
7. Vakulenko E. E., Dolya V. K. (2015) Peculiar Features in Control Over of Urban Passenger Transport. Kharkov, O. M. Beketov National University of Urban Economy in Kharkiv. 259 (in Russian).
8. Prasolenko O., Lobashov O., Galkin A. (2015) The Human Factor in Road Traffic City. *International Journal of Automation, Control and Intelligent Systems*, 1 (3), 77–84. Available at: <http://files.aiscience.org/journal/article/html/70100035.html>.
9. Grigорова T., Davidich Yu., Dolya V. (2015) Transport Fatigue Simulation of Passengers in Suburban Service. *International Journal of Automation, Control and Intelligent Systems*, 1 (2), 87–99. Available at: <http://www.aiscience.org/journal/paperInfo/ijacis?paperId=1240>.
10. Grigорова T., Davidich Yu., Dolya V. (2015) Assessment of Elasticity of Demand for Services of Suburban Road Passenger Transport. *Technology Audit and Production Reserves*, 3 (2), 13–16. DOI: 10.15587/2312-8372.2015.44768.

Received: 03.02.2017

Accepted: 10.04.2017

Published online: 29.09.2017