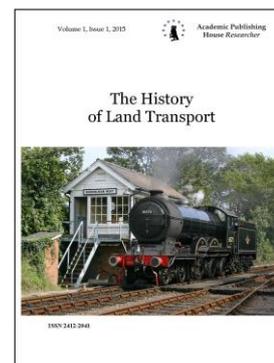


Copyright © 2018 by Academic Publishing House Researcher s.r.o.



Published in the Slovak Republic
The History of Land Transport
Has been issued since 2015.
E-ISSN: 2413-760X
2018, 4(1): 18-25

DOI: 10.13187/hlt.2018.1.18
www.ejournal38.com



Forecasting of Passenger Transportation by Public Transport in Russian Federation on the Basis of Mathematical Multi-Factor Models

Mariya N. Mihaleva ^a, Victoriya A. Chekulaeva ^a

^a Berezniki Branch of the Perm National Research Polytechnic University, Russian Federation

Abstract

It justifies urgency of the study of the dependence of the number of passengers transported by public transport of the Russian Federation on various factors. The type of model is chosen and a linear multi-factor model of the dependence of the number of passenger traffic on the length of roads, population, average income, diesel fuel prices, the number of air traffic and the dollar rate is built. The tendencies of development of all factors are defined, their forecasting is made. Based on the forecast of these factors, the forecast of the number of passenger traffic in the Russian Federation is obtained, the dependence of the forecast on the trends in the development of factors is determined. The regularities of changes in the number of passengers transported in the Russian Federation, depending on the population.

Keywords: transportation, public transport, modeling, linear-multifactor models (LMM), forecasting.

1. Введение

Перевозки пассажиров играют важную роль в работе транспорта. С каждым годом увеличивается протяженность дорог и количество автотранспорта. Регионы РФ за 2016 год потратили на содержание дорог более 700 миллиардов рублей ([Бюджет регионов РФ...](#)). В связи с этим приобретает актуальность вопрос о выявлении факторов, оказывающих влияние на количество перевозок пассажиров в России.

Тарифы на перевозки пассажиров являются важным рыночным индикатором пропорциональности развития спроса и предложения на рынке услуг пассажирского транспорта. Также от уровня тарифов зависит финансовая стабильность предприятий транспорта, их выживаемость в условиях жесткой конкуренции. В настоящее время в городах транспортный рынок представлен автобусными, троллейбусными, трамвайными сообщениями, метрополитеном и железнодорожным транспортом. Пассажиروоборот транспорта общего пользования исторически был распределен почти равномерно между автомобильным, железнодорожным и воздушным транспортом – примерно 30 % каждый. Однако в последние годы тенденция изменилась. По данным 2013 г. в структуре пассажируоборота в России доля воздушного транспорта составила 41,7 %, железнодорожного – 25,6 % и автомобильного – 22 % ([Экономика и жизнь](#)).

Целью данной исследовательской работы является прогнозирование пассажирских перевозок, при котором следует учитывать динамику изменения макроэкономических показателей социально-экономического развития страны: численность и средние доходы населения, цены на дизельное топливо, протяженность дорог, количество авиаперевозок, курс доллара. Выбранные факторы могут влиять на количество перевезенных пассажиров.

2. Материалы и методы

Одним из методов исследования социально-экономических систем является построение моделей. Так, например, в статье (Турпищева, 2011) с помощью имитационной модели, используя программу Any Logic, были рассмотрены методы моделирования транспортных систем с целью обеспечения качества пассажирских перевозок и были рассмотрены методы моделирования транспортных систем с целью обеспечения качества пассажирских перевозок.

В основном, при моделировании систем используются:

- линейно-многочленные модели (ЛММ) – позволяют дать количественную оценку влияния различных факторов на критерий [**Ошибка! Источник ссылки не найден.**]

- модели в пространстве состояний (МПС) – позволяют применить к исходной модели широкий спектр стандартных процедур, включая оценивание и прогнозирование (Затонский, 2013).

- трендовые модели (ТрМ) – основная цель которых сделать прогноз о тенденции изучаемого процесса на предстоящий промежуток времени. Все трендовые модели подразделяются на те, которые подтверждают тренд и те, которые предупреждают о смене тренда (Иванова, Затонский, 2009).

- авторегрессионные модели (АвРМ) – являются исключительно полезными для описания некоторых встречающихся на практике временных рядов. В этих моделях текущее значение выражается как конечная линейная совокупность предыдущих значений (Копотева, Затонский, 2013).

Наиболее подходящими для задач прогнозирования считаются факторные модели: линейная многофакторная модель и модель в пространстве состояний. Прогнозирование по модели предполагает следующие действия: определение критерия, факторов, цели прогнозирования; формирование гипотез и принятие допущений; сбор необходимой информации; выбор модели; анализ модели; прогнозирование; проверка адекватности модели.

3. Результаты

Для построения прогнозной модели в качестве критерия выберем y – количество перевозок пассажиров транспортом общего пользования в РФ (млн. чел.). Факторы, влияющие на количество, были указаны выше, это: x_1 – протяженность дорог (тыс. км), x_2 – средние доходы населения (тыс. руб.), x_3 – цены на дизельное топливо (руб./литр), x_4 – численность населения (млн. чел), x_5 – количество авиаперевозок (млн. чел.), x_6 – курс доллара (руб./\$). Статические данные были взяты с сайта Росстата (Федеральная служба...), где находятся в открытом доступе (Таблица 1).

Таблица 1. Критерия и факторов

Год	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016
y	26,6	25,2	24,9	22,8	21,9	21,8	21,3	19,5	19,4	19	18,5
x_1	794,4	840,7	847,7	886,2	918,6	1020,5	1371,6	1489,9	1545,8	1575,1	1593,4
x_2	12,9	13,4	14,9	16,9	18,9	20,8	23,2	26	27,8	30,5	30,7
x_3	20,15	21,9	22,84	25	25,4	28,4	28,24	29	35,07	35,22	37,9
x_4	142,8	142,2	142	142	142,9	142,9	143,1	143,3	143,7	146,3	146,5
x_5	40	47	51	47	59	66	76	86	95	94	91
x_6	26,33	24,54	30	31,74	30,37	29,38	30,84	31,84	38,38	60,66	60,65

Проведем нормирование выше указанных критериев и факторов для того, чтобы исключить влияние размерности, по формуле:

$$\tilde{y}(t) = \frac{y(t) - \min_t(y(t))}{\max_t(y(t)) - \min_t(y(t))}$$

где $\min_t y(t)$ – это минимум из критерия y ; $\max_t y(t)$ – максимум из критериев.

Аналогичным образом нормируются факторы. В итоге получаем: $\langle \tilde{x}, \tilde{y} \rangle \in [0, 1]$. Тильду дальше не используем для краткости записи формул.

Проанализируем выбранные факторы на наличие у них взаимной корреляции (Таблица 2). В результате этого анализа из ЛММ исключаются факторы с высокой взаимной корреляцией. Корреляция рядов рассчитывается по формуле:

$$r_{xy} = \frac{\sum((x_i - \bar{x}) \cdot (y_i - \bar{y}))}{\sqrt{\sum(x_i - \bar{x})^2 \cdot \sum(y_i - \bar{y})^2}}$$

где x_i – значения переменной x ; y_i – значения переменной y ; \bar{x} – среднее значение фактора x , рассчитывающееся по формуле:

$$\bar{x} = \frac{1}{n} \sum_{k=1}^n x_k$$

\bar{y} – среднее значение критерия y .

Таблица 2. Коэффициенты парной корреляция критерия и факторов

	x_1	x_2	x_3	x_4	x_5	x_6
x_1	1	0,97	0,92	0,83	0,98	0,74
x_2		1	0,97	0,83	0,98	0,82
x_3			1	0,76	0,94	0,85
x_4				1	0,77	0,96
x_5					1	0,73
x_6						1
y	-0,92	-0,97	-0,94	-0,71	-0,94	-0,73

Анализ парной корреляции факторов (Таблица 2) показал, что из числа выбранных можно исключить факторы «Цены на дизельное топливо (за литр в руб.)» (x_3) и «Количество человек на авиаперевозках (млн. чел)» (x_5), имеющие высокую корреляцию с x_1 (Протяженность дорог) и x_2 (Средние доходы населения). Несмотря на то, что факторы x_4 (Численность населения) и x_6 (Курс доллара) имеют высокую взаимную корреляцию (0,96), мы их оставляем, потому что они по своей природе не могут зависеть друг от друга, и высокая корреляция между ними случайна.

Построим линейную многофакторную модель (ЛММ) динамики количества перевезенных пассажиров в РФ вида:

$$y(t) = a_0 + \sum a_i \cdot x_i(t),$$

где: a_0 , – независимый коэффициент модели, a_i – коэффициент значимости i -го фактора на критерий $y(t)$, $x_i(t)$ – значение фактора.

В результате получили коэффициенты линейной многофакторной модели: $a_0 = 0,8840$, $a_1 = 0,4292$, $a_2 = -1,6470$, $a_4 = 0,3740$, $a_6 = -0,0041$. Квадратичная погрешность аппроксимации ЛММ $S = 0,0204$.

Из полученных коэффициентов следует, что фактор x_2 является наиболее значащим, т.к. средние доходы населения играют наиболее важную роль в формировании пассажиропотока. Отсюда следует, что рост доходов влияет на приобретение личных автомобилей, а курс доллара оказывает негативное влияние на данную модель, что вполне реально. Ведь чем больше курс доллара, тем выше стоимость пассажирских перевозок.

Основываясь на результатах ЛММ, можно сказать, что, действительно, при увеличении протяженности дорог (при росте фактора x_1) количество перевезенных пассажиров увеличивается. Та же зависимость наблюдается и при увеличении численности населения

(рост фактора x_4) ,что вполне разумно, т. к. при росте населения увеличивается и пассажирооборот.

Модель ЛММ неплохо аппроксимирует данные, и ее можно использовать для проведения прогноза.

Проверим возможность использования других распространенных моделей.

Построим авторегрессионные модели (АвРМ) 1-ого, 2-ого и 3-ого порядков. Модели имеют вид:

$$Y(t_i) = a + \sum_j^N a_j Y(t_{i-j}),$$

где a – независимый коэффициент, a_j – коэффициенты влияния i - j -го расчетного значения критерия системы, N – порядок.

Проведя расчеты, также при помощи *MS Excel* «поиск решения» получаем коэффициенты для моделей:

- 1-го порядка $a_0 = -0,0565$, $a_1 = 0,9032$ и квадратичную погрешность $S_1 = 0,0220$;
- 2-го порядка $a_0 = -0,0522$, $a_1 = 0,9108$, $a_2 = -0,0161$ и квадратичную погрешность $S_2 = 0,0218$;
- 3-го порядка $a_0 = -0,0391$, $a_1 = -0,8630$, $a_2 = 0,0726$, $a_3 = -0,0691$ и квадратичную погрешность $S_3 = 0,0197$.

Как видим, в результате данный вид модели хорошо аппроксимирует наши данные, это видно на (Рисунок 1). Погрешности аппроксимации $S_1 = 0,0220$, $S_2 = 0,0218$, $S_3 = 0,0197$ высокие, но АвРМ непригодна для использования в данной системе, т.к. нам для прогнозирования нужна факторная модель. На Рисунок 1 обозначения АвРМ1, АвРМ2 и АвРМ3 – соответствуют моделям 1-го, 2-го и 3-го порядков.

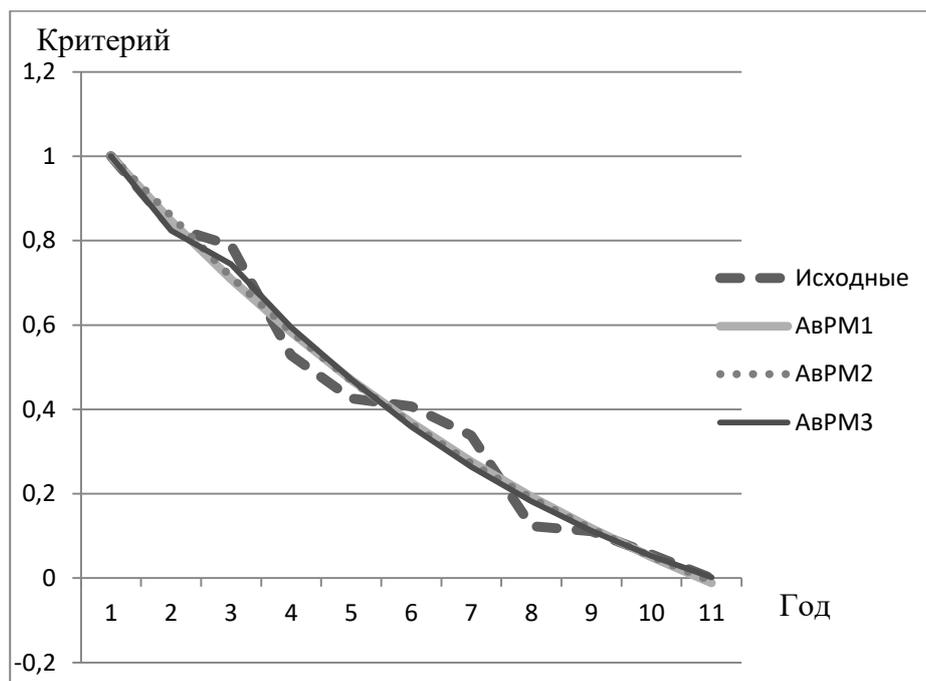


Рис. 1. Графики исходной и авторегрессионных моделей

Рассмотрим МПС – модель в пространстве состояний, которая имеет вид:

$$\begin{aligned} x'(n+1) &= a + b \cdot x'(n) \\ y(n) &= c + d \cdot x(n) \end{aligned}$$

где x' – вектор состояния, a – вектор функции перехода, b – матрица перехода, c и d – векторы функции выхода.

Аналогично всем моделям выше, найдем коэффициенты. Получена квадратичная погрешность аппроксимации $S = 0,0705$, показатель близок к линейной многофакторной модели, который неплохо аппроксимирует статистические данные. Далее нам придется определиться с выбором между МПС и ЛММ.

Поскольку целью данной работы является прогнозирование пассажирских перевозок, нас интересуют прогнозные свойства полученных моделей. Для проверки качества прогнозирования применим метод постпрогноза, широко применяемый на практике (Затонский, Копотева, 2013). Метод постпрогноза заключается в расчете при известных факторах реакции системы на протяжении нескольких лет. Увеличение интервала постпрогноза также позволяет определить горизонт прогнозирования.

Для ЛММ (линейной многофакторной модели) и МПС (модель в пространстве состояний), произведены расчеты постпрогнозов на 1, 2 и 3 года (Рисунки 2, 3).

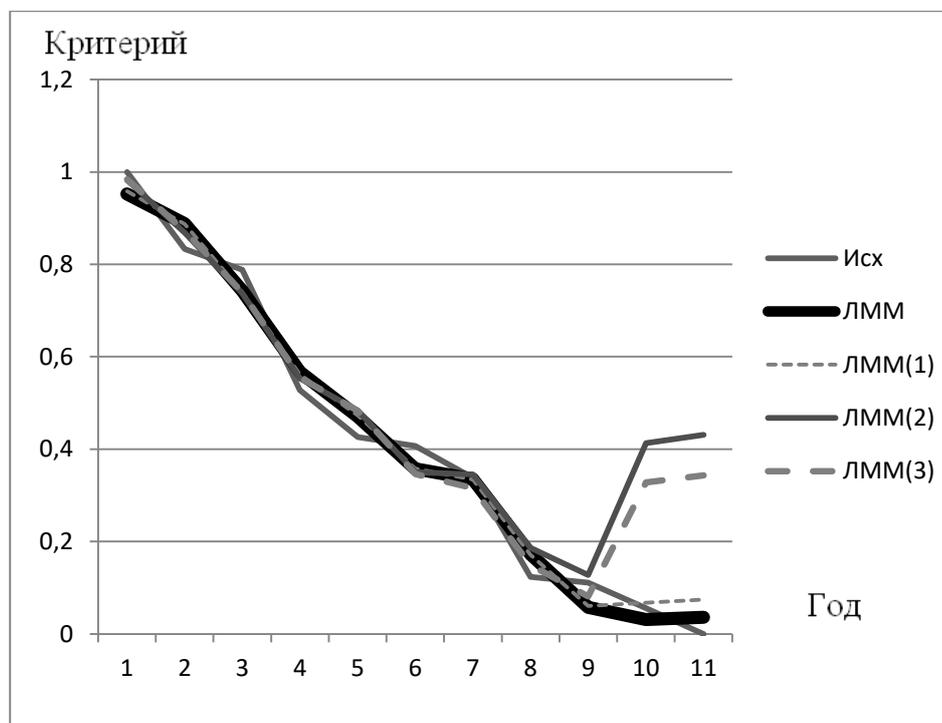


Рис. 2. Графики исходной модели, ЛММ и постпрогнозов ЛММ

На Рисунке 2 обозначения ЛММ(1), ЛММ(2) и ЛММ(3) соответствуют моделям постпрогноза на 1, 2 и 3 года.

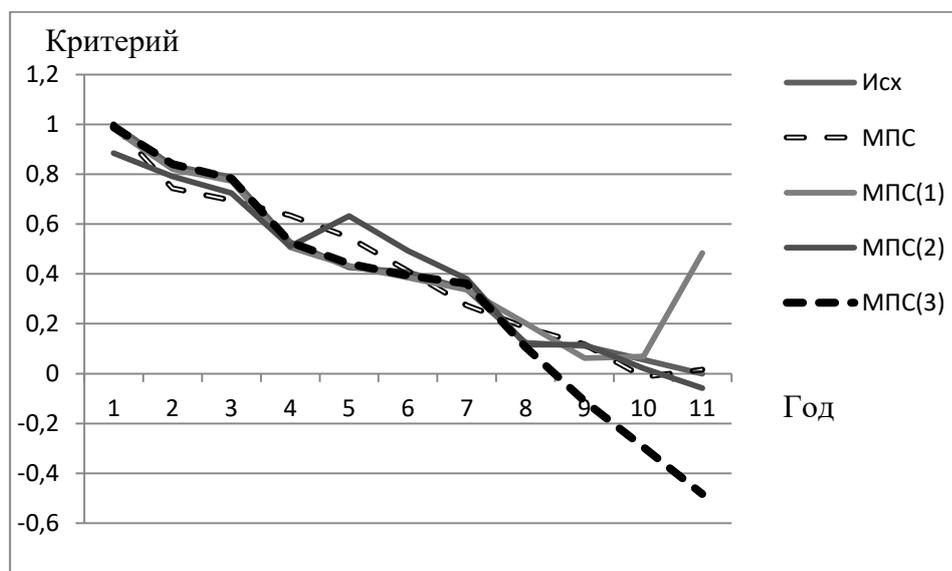


Рис. 3. Графики исходной модели, МПС и постпрогнозов МПС

На [Рисунке 3](#) обозначения МПС(1), МПС(2) и МПС(3) соответствуют моделям построения на 1, 2 и 3 года.

Получены следующие абсолютные погрешности построения по моделям в зависимости от интервала времени ([Таблица 3](#)).

Таблица 3. Абсолютная погрешность построения

	1 год	2 года	3 года
ЛММ	0,074	0,431	0,343
МПС	0,483	-0,058	-0,483

Стоит отметить, что погрешность построения на длительное время у МПС немного ниже, чем у ЛММ. Однако величина того же показателя при построении на 1 год оказывается в 6 раз больше. Следовательно, значения, спрогнозированные с помощью модели в пространстве состояний, будут в меньшей степени соответствовать реальным данным, в отличие от линейной многофакторной модели. ЛММ на короткий промежуток времени прогнозирует лучше, а на средний – с меньшей разницей, чем МПС за 1 год, в связи с чем мы и выбираем для дальнейших исследований линейную многофакторную модель.

Далее определим и будем изменять неуправляемые факторы, для исследования прогнозов развития системы. Выберем в качестве неуправляемых факторов x_4 (численность населения), x_6 (курс доллара), потому что мы не можем непосредственно повлиять на рост численности населения, а также на курс доллара.

Получим прогнозы развития системы на три года, изменяя на $\pm 5\%$ тенденцию развития неуправляемых факторов ([Таблица 4](#)).

Таблица 4. Изменение неуправляемых факторов

	$x_6-5\%$	x_6-0	$x_6+5\%$
$x_4-5\%$	-0,2584	-0,2585	-0,2586
x_4-0	-0,2481	-0,2482	-0,2483
$x_4+5\%$	-0,2378	-0,2379	-0,2380

Наихудшее сочетание неуправляемых факторов: $x_4-5\%$ и $x_6+5\%$, при этом прогноз оценки системы снижается до минимального.

Исследуем возможность лица, принимающего решения (ЛПР), по компенсации негативного влияния неуправляемых факторов путем изменения управляемых факторов x_1 (протяженность дорог) и x_2 (средние доходы населения). Факторы x_1 и x_2 являются управляемыми, потому что на них можно повлиять. Например, государство может увеличить или уменьшить пенсию или зарплату населения. Для управляемых факторов определили тенденцию развития, также как и у неуправляемых. Изменяя на ($\pm 5\%$) тенденцию развития фактора получили прогноз развития системы на 3 года ([Таблица 5](#)) вследствие решений ЛПР.

Таблица 5. Изменение управляемых факторов

	$x_2-5\%$	x_2-0	$x_2+5\%$
$x_1-5\%$	-0,1918	-0,2942	-0,3965
x_1-0	-0,1562	-0,2586	-0,3610
$x_1+5\%$	-0,1206	-0,2230	-0,3254

Наилучшим сочетанием управляемых факторов является: x_1+5 %, x_2-5 %, при которых значения критерия становится равно $-0,1206$, что в два раза больше, чем при прогнозе изменения неуправляемых факторов.

4. Заключение

Полученные результаты вполне адекватны. При снижении численности населения (x_4-5 %) и одновременно увеличении курса доллара (x_6+5 %), количество пассажироперевозок значительно уменьшится. Чем ниже численность населения, тем меньше количество перевозок, что вполне логично. Также чем выше курс доллара, тем дороже цены на топливо, отсюда следует, что и стоимость проезда будет больше. Возможно, не совсем адекватным результатом является зависимость между уменьшением средних доходов населения (x_2-5 %) и ростом количества перевезенных пассажиров, при единовременном увеличении протяженности дорог (x_1+5 %). Однако, чем меньше доходы у населения, тем чаще они начинают пользоваться транспортом общего пользования, т.к. обслуживание личного автомобиля обходится дороже, чем пользование услугами общественного транспорта. Т.к. цель данной работы заключалась в прогнозировании количества перевезенных пассажиров транспортом общего пользования с учетом влияния рассмотренных факторов, цель достигнута.

Литература

Бюджет регионов РФ... – Бюджет регионов РФ на строительство дорог на 2016 год [Электронный ресурс]. URL: <https://rueconomics.ru/221289-stalo-izvestno-skolko-regiony-rf-potratili-na-dorogi-v-2016-godu>

Затонский и др., 2012 – Затонский А.В., Сиротина Н.А., Янченко Т.В. Об аппроксимации факторов дифференциальной модели социально-экономической системы // *Современные исследования социальных проблем (электронный научный журнал)*. 2012. № 11. С. 6.

Затонский, 2013 – Затонский А.В. Программные средства глобальной оптимизации систем автоматического регулирования. М.: ИЦ РИОР, 2013. 136 с.

Затонский, Копотева, 2013 – Затонский А.В., Копотева А.В. Методы принятия решения о приобретении конкурентоспособной инновационной продукции // *Современная наука: актуальные проблемы теории и практики. Серия: Экономика и право*. 2013. № 3-4. С. 8-15.

Иванова, Затонский, 2009 – Иванова Е.В., Затонский А.В. Оценка и моделирование научно-исследовательской работы студентов как многоагентной системы // *Современные наукоемкие технологии*. 2009. № 7. С. 75-78.

Копотева, Затонский, 2013 – Копотева А.В., Затонский А.В. Регрессионный анализ издержек мировых производителей калийной продукции // *Горный информационно-аналитический бюллетень (научно-технический журнал)*. 2013. № 11. С. 224-234.

Макаров, Митюков, 2000 – Макаров С.С., Митюков Н.В. Имитационное моделирование гидромеханических процессов в энергетических установках // *Газоструйные импульсные системы*. Ижевск: Ижевский государственный технический университет, Уральское отделение Российской академии наук, Институт прикладной механики, 2000. С. 214-224.

Турпищева, 2011 – Турпищева М.С. Разработка логистической модели пассажирских перевозок методами имитационного моделирования // *Вестник АГТУ*. 2011. № 2. С. 83-87.

Федеральная служба... – Федеральная служба государственной статистики [Электронный ресурс]. URL: <http://www.gks.ru/>

Экономика и жизнь – Экономика и жизнь. Снижение спроса на услуги пассажироперевозок [Электронный ресурс]. URL: <https://www.eg-online.ru/article/259951/>

References

Byudzheth regionov RF... – Byudzheth regionov RF na stroitel'stvo dorog na 2016 god [The budget of the regions of the Russian Federation for the construction of roads in 2016]. [Elektronnyi resurs]. URL: <https://rueconomics.ru/221289-stalo-izvestno-skolko-regiony-rf-potratili-na-dorogi-v-2016-godu> [in Russian]

Экономика и жизнь – Экономика и жизнь. Snizhenie sprosa na uslugi passazhiroperevozok [Economy and life. Reducing the demand for passenger transportation services]. [Elektronnyi resurs]. URL: <https://www.eg-online.ru/article/259951/> [in Russian]

Federal'naya sluzhba... – Federal'naya sluzhba gosudarstvennoi statistiki [Federal State Statistics Service]. [Elektronnyi resurs]. URL: <http://www.gks.ru/> [in Russian]

Ivanova, Zatonskii, 2009 – Ivanova, E.V., Zatonskii, A.V. (2009). Otsenka i modelirovanie nauchno-issledovatel'skoi raboty studentov kak mnogoagentnoi sistemy [Evaluation and modeling of research work of students as a multi-agent system]. *Sovremennye naukoemkie tekhnologii*. № 7. pp. 75-78. [in Russian]

Kopoteva, Zatonskii, 2013 – Kopoteva, A.V., Zatonskii, A.V. (2013). Regressionnyi analiz izderzhok mirovykh proizvoditelei kaliinoi produktsii [Regression analysis of costs of global potash producers]. *Gornyi informatsionno-analiticheskii byulleten' (nauchno-tekhnicheskii zhurnal)*. № 11. pp. 224-234. [in Russian]

Makarov, Mityukov, 2000 – Makarov, S.S., Mityukov, N.V. (2000). Imitatsionnoe modelirovanie gidromekhanicheskikh protsessov v energeticheskikh ustanovkakh [Simulation modeling of hydromechanical processes in power plants]. *Gazostruinye impul'snye sistemy*. Izhevsk: Izhevskii gosudarstvennyi tekhnicheskii universitet, Ural'skoe otdelenie Rossiiskoi akademii nauk, Institut prikladnoi mekhaniki, pp. 214-224. [in Russian]

Turpishcheva, 2011 – Turpishcheva, M.S. (2011). Razrabotka logisticheskoi modeli passazhirsikh perevozok metodami imitatsionnogo modelirovaniya [Development of a logical model of passenger transportation using simulation methods]. *Vestnik AGTU*. № 2. pp. 83-87. [in Russian]

Zatonskii i dr., 2012 – Zatonskii, A.V., Sirotina, N.A., Yanchenko, T.V. (2012). Ob approksimatsii faktorov differentsial'noi modeli sotsial'no-ekonomicheskoi sistemy [On approximation of the factors of the differential model of the socio-economic system]. *Sovremennye issledovaniya sotsial'nykh problem (elektronnyi nauchnyi zhurnal)*. № 11. pp. 6. [in Russian]

Zatonskii, 2013 – Zatonskii, A.V. (2013). Programmnye sredstva global'noi optimizatsii sistem avtomaticheskogo regulirovaniya [Software tools for global optimization of automatic control systems]. M.: ITs RIOR, 136 p. [in Russian]

Zatonskii, Kopoteva, 2013 – Zatonskii, A.V., Kopoteva, A.V. (2013). Metody prinyatiya resheniya o priobrenenii konkurentosposobnoi innovatsionnoi produktsii [Methods of deciding on the acquisition of competitive innovative products]. *Sovremennaya nauka: aktual'nye problemy teorii i praktiki. Seriya: Ekonomika i pravo*. № 3-4. pp. 8-15. [in Russian]

Прогнозирование перевозок пассажиров транспортом общего пользования в РФ на основе математических многофакторных моделей

Мария Н. Михалева ^a, Виктория А. Чекулаева ^a

^a Березниковский филиал Пермского национально-исследовательского политехнического университета, Российская Федерация

Аннотация. Обоснована актуальность исследования зависимости количества перевезенных пассажиров транспортом общего пользования РФ от различных факторов. Выбран вид модели и построена линейная многофакторная модель зависимости количества перевозок пассажиров от протяженности дорог, численности населения, средних доходов, цен дизельного топлива, количества авиаперевозок и курса доллара. Определены тенденции развития всех факторов, произведено их прогнозирование. На основании прогноза перечисленных факторов получен прогноз количества пассажирских перевозок в РФ, определена зависимость прогноза от изменения тенденций развития факторов. Выявлены закономерности изменения количества перевезенных пассажиров РФ в зависимости от численности населения.

Ключевые слова: перевозки, транспорт общего пользования, моделирование, линейные многофакторные модели, прогнозирование.