

**ВАРЛАМОВА С. А., ЯКУШЕВ М. В., ВЕСЕЛОВ Д. А.  
ПРОГНОЗИРОВАНИЕ КОЛИЧЕСТВА ПАССАЖИРОВ,  
ПЕРЕВЕЗЕННЫХ АВТОБУСАМИ ОБЩЕГО ПОЛЬЗОВАНИЯ  
В ПЕРМСКОМ КРАЕ**

*УДК 656.07:004.942, ВАК 08.00.00, ГРНТИ 06.00.00*

Прогнозирование количества пассажиров, перевезенных автобусами общего пользования в Пермском крае

Forecasting of number of passengers carried by public buses in Perm region

**С. А. Варламова, М. В. Якушев,  
Д. А. Веселов**

**S. A. Varlamova, M. V. Yakushev,  
D. A. Veselov**

Березниковский филиал Пермского национального исследовательского политехнического университета,  
г. Березники

Berezniki Branch of Perm National Research Polytechnic University,  
Berezniki

*В данной статье были рассмотрены способы повышения пассажиропотока в Пермском крае. Были подобраны факторы, влияющие на выбор между общественным и личным транспортом. Полученные в результате данные были пронормированы и использованы для построения факторных и бесфакторных моделей. С помощью сделанных математических моделей сделан прогноз количества перевезенных пассажиров на 3 года.*

*This article examined ways to increase passenger flow in the Perm Territory. The factors influencing the choice between public and private transport were selected. The data obtained as a result were normalized and used to construct factorial and factorless models. Using the mathematical models made, a forecast is made of the number of passengers carried for 3 years.*

**Ключевые слова:** математическое моделирование, прогнозирование, общественный транспорт, Росстат, Пермский край, улучшение.

**Keywords:** mathematical modeling, forecasting, public transport, Rosstat, Perm Territory, improvement

## **Введение**

Одной из важнейших составляющих городской инфраструктуры практически любого большого города является общественный транспорт. Каждый день люди пользуются услугами общественного транспорта с целью добраться до места учёбы, работы, отдыха и возвращения к месту своего проживания [1]. Более обеспеченные социальные группы имеют личный автотранспорт, в то время как более низкие группы вынуждены за неимением средств или возможности пользоваться услугами именно общественного транспорта. Однако, просматривая статистику перевезенных пассажиров автобусами общего пользования заметна

тенденция спада пассажиропотока с 2011 по 2018 года почти на 40% [2]. Причиной этому является рост субъектов малого бизнеса, занимающегося перевозками пассажиров, так и увеличение числа личного транспорта горожан.

В данной ситуации проблемой является ежегодное увеличение количества личного автотранспорта, переход людей от использования общественного транспорта в пользу личного, что, несомненно, значительно влияет на загруженность городских дорог и количество вредных выбросов в атмосферу.

Решение проблемы возможно как с помощью исследования мобильности населения и зависимость ее от качества предоставляемых общественным транспортом услуг, так и контроля их стоимости.

Таким образом, целью данной работы является повышение пассажиропотока за счет исследования факторов, влияющих на выбор человека между личным автотранспортом и общественным.

Данная проблема актуальна не только для Пермского края [3] или России в целом [4-5]. Рост числа личного транспорта приводит к загруженности городских дорог, особенно в час пик. Кроме того, с увеличением числа личных ТС повышается уровень вредных выбросов в атмосферу, что сильно сказывается на экологическом состоянии городов, которое в ряде регионов и без этого далеки от идеала. Проблему снижения пассажирооборота в мире решается множеством способов. Так, например, власти Таллина решили ввести право бесплатного проезда на общественном транспорте для местных жителей [6]. Такие меры могут мотивировать жителей пользоваться общественным транспортом в ущерб личному, хотя на деле данное решение было всё же обусловлено особенностью налогообложения населения Эстонии. Власти Люксембурга же решили ввести бесплатный общественный транспорт для всех желающих, каких оказалось не так мало: 602,000 жителей, 175,000 приграничных работников и около 1,2 миллиона туристов в год. Такое решение было принято для повышения «качества жизни», смещение личного транспорта в пользу общественного и экологичным способом перемещения – вело и пешие прогулки.

Однако, не все считают такие меры действенными. Так, исследователи считают, что обладатели личных ТС «пересядут» на общественный транспорт только при увеличении налога на топливо, введение платных парковок и других мер, направленных на подорожание права управления личным транспортным средством.

Поэтому, для достижения поставленной цели необходимо решить ряд задач:

1. Выяснить, какие факторы наибольшим образом влияют на пассажиропоток.
2. Построить математические модели данного процесса.
3. Выбрать наиболее подходящую по качеству постпрогноза и аппроксимации модель.
4. Исследовать уровень воздействия факторов, как управляемых, так и неуправляемых на изменение пассажиропотока.

## Прогнозные модели

Для исследования воздействия различных управляемых и неуправляемых факторов и дальнейшего прогноза используются прогнозные модели, описывающие зависимость пассажиропотока Пермского края от этих факторов. Модели, в свою очередь, делятся на факторные и бесфакторные. Для более точного понимания их особенностей опишем некоторых из них:

1. Трендовая модель – бесфакторная, описывает изменение прогнозируемого или анализируемого показателя в зависимости только от времени, имеет вид  $y=f(t)$  [7].

2. Авторегрессионная модель – бесфакторная модель временных рядов, в которой значения временного ряда в данный момент линейно зависят от предыдущих значений этого же ряда [8].

3. Линейная многофакторная модель – оценивает количественный уровень влияния взаимосвязи различных факторов на значение реакции системы [9].

4. Модель в пространстве состояний – многофакторная модель, имеющая ряд переменных состояний, т.е. определенный набор значений входных факторов, для каждого из которых существует определенная реакция системы.

## Начальные данные

Для получения данных о пассажироперевозках в Пермском крае и определения из них ряда факторов, влияющих на систему, была использована база Росстата на период с 2011 по 2018 года.

Рассмотренные факторы и их годовые ряды из базы Росстата (Таблица 1):

1. Перевозка пассажиров автобусами,  $y$ , млн. чел.
2. Число эксплуатационных автобусов,  $x_1$ , шт.
3. Средняя стоимость проезда ОТ в г. Пермь,  $x_2$ , руб.
4. Численность населения в Пермском крае,  $x_3$ , млн. чел.
5. Средняя заработная плата в Пермском крае,  $x_4$ , руб.
6. Число погибших в дорожно-транспортных происшествиях,  $x_5$ , млн. чел.
7. Количество автомобилей,  $x_6$ , шт.

Таблица 1. Значения реакции и факторов по годам

Год	$y$	$x_1$	$x_2$	$x_3$	$x_4$	$x_5$	$x_6$
1	402,5	2792	12	2,633	18773	0,0005714	637319
2	402,7	2868	13	2,631	21820	0,0005946	677501
3	384,5	2793	13	2,634	24771	0,0006007	719471
4	311,4	2162	13	2,636	27213	0,0004692	746822
5	303,8	2505	16	2,637	28262	0,0004219	761574
6	284,6	2766	20	2,634	30655	0,0003398	773989
7	239,9	2764	20	2,632	32468	0,0003395	792261
8	238,3	3200	20	2,623	35559	0,0002938	810544

## Нормирование и корреляционный анализ

Для предотвращения влияния размерности факторов было проведено нормирование и корреляционный анализ. Корреляционный анализ был произведен по формуле:

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

где  $\bar{x}$  – среднее значение фактора,  $\bar{y}$  – среднее значение критерия. Получившиеся коэффициенты корреляции представлены в Таблица 2.

Таблица 2. Корреляционный анализ

	$x_1$	$x_2$	$x_3$	$x_4$	$x_5$	$x_6$
$x_1$	1	0,4010	-0,8217	0,2215	-0,1885	0,09116
$x_2$		1	-0,4381	0,8977	-0,9356	0,8532
$x_3$			1	-0,4464	0,3839	-0,3094
$x_4$				1	-0,9253	0,9860
$x_5$					1	-0,8908
$y$	-0,09370	-0,8926	0,3470	-0,9599	0,9696	-0,9452

В результате анализа был отброшен фактор  $x_4$  (средняя заработная плата в Пермском крае), так как он имеет наибольшую корреляцию с другими факторами.

### Линейная многофакторная модель

Построим линейную многофакторную модель нашей системы по формуле:

$$y(\vec{x}) = a_0 + \sum_{i=1}^n a_i \cdot x_i(t),$$

где  $a_0$  – независимый коэффициент,  $a_i$  – коэффициент влияния  $x_i(t)$  на  $y(t)$ ,  $x_i(t)$  – значение фактора.

Для получения коэффициентов минимизируем квадратичное отклонение статистических данных от расчетных по формуле:

$$S = \sum (y(t) - y_{\text{расч}}(t))^2 \rightarrow \min,$$

где  $S$  – квадратичное отклонение;  $y_{\text{расч}}(t)$  – расчетное значение критерия.

Для минимизации воспользуемся встроенной функцией MS Excel мастер «поиска решений». В итоге полученные коэффициенты ЛММ равны:  $a_0 = 0,15568$ ,  $a_1 = 0,38682$ ,  $a_2 = -0,17076$ ,  $a_3 = 0,26181$ ,  $a_5 = 0,50352$ ,  $a_6 = -0,38372$ .

Исходя из того, что наибольшим коэффициентом является  $a_5$ , фактор  $x_5$  имеет наибольшее влияние на систему. Данный фактор является неуправляемым, так как повлиять извне на количество смертельных исходов в результате ДТП крайне сложно, хотя, с развитием систем безопасности автомобиля и принятие определенного ряда мер по контролю водителей ТС их количество должно сокращаться. Фактор  $x_2$  же наоборот имеет наименьшее влияние на систему, т.к.

коэффициент  $a_2$  самый маленький. Видимо, стоимость проезда, устанавливаемая за пользование услугами общественного транспорта, наименьшим образом влияет на решение человека воспользоваться данной услугой, т.к. он просто вынужден заплатить установленную сумму за право быстро и комфортно добраться до необходимого места.

Вычислим квадратичную погрешность аппроксимации по формуле:

$$S = \sum_t (y - y(x))^2$$

Квадратичная погрешность составила  $S = 0,022$ , значит её можно использовать для проведения прогноза.

Авторегрессионная модель является бесфакторной и способна лишь проследить тенденцию развития системы, поэтому не подходит для исследования ее управленческих возможностей и в данном примере не будет рассмотрена.

### Модель в пространстве состояний

Построим модель в пространстве состояний (МПрС) по формулам:

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

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

После проведения расчётов с помощью мастера поиска решений *MS Excel* была получена квадратичная аппроксимация модели  $S = 0,0253$ .

### Постпрогноз

Возвращаясь к цели данной работы – исследованию пассажиропотока общественного транспорта в Пермском крае, необходимо проверить прогнозные возможности ЛММ (Рисунок 1) и МПрС (Рисунок 2) с помощью метода постпрогноза, заключающегося в предугадывании значений исследуемых факторов на основе данных, полученных на предшествующем этапе [10].

Рассмотрев графики постпрогноза ЛММ и МПрС делаем вывод, что ЛММ прогнозирует данные лучше, чем МПС, значит для дальнейшей работы выбираем именно ЛММ. Однако, следует заметить, что ЛММ хорошо прогнозирует только на один год, в то время как прогноз на второй и третий год смещены относительно исходного в порядке возрастания. Возможно, это связано с тенденцией увеличения одного из управляемых факторов - числа автобусов на душу населения после 2014 года, в то время как пассажиропоток стремительно снижался, а число личных ТС возрастало.

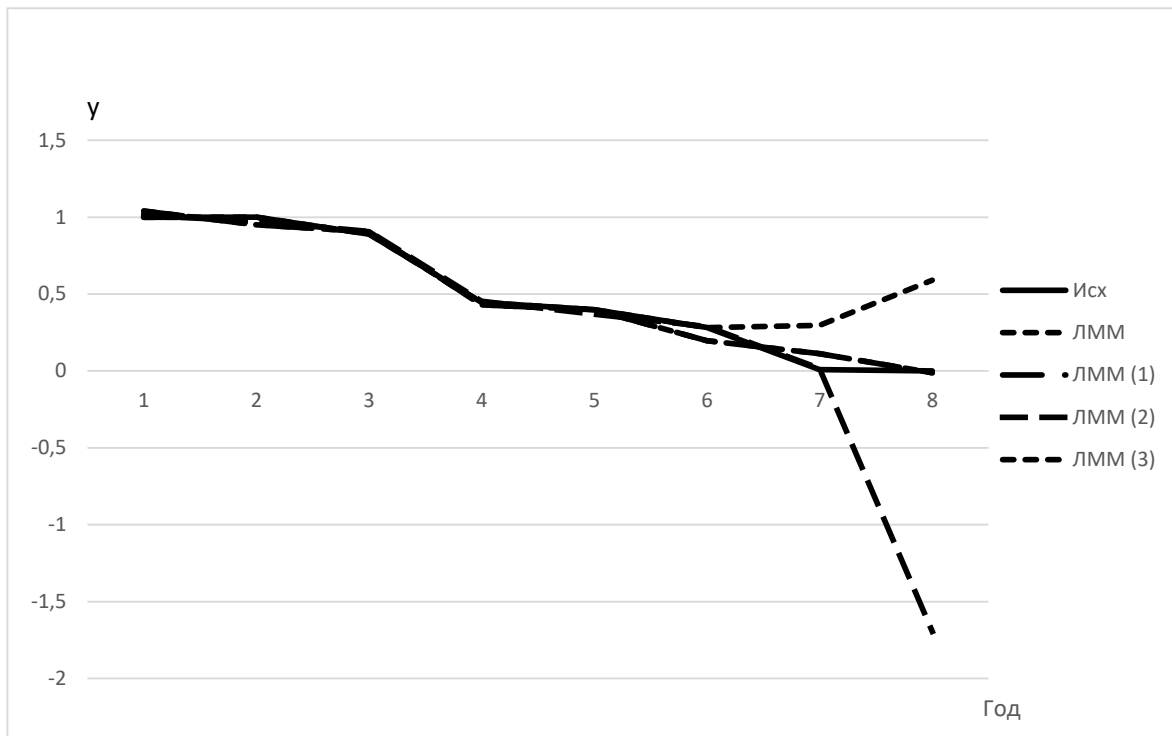


Рисунок 1. Постпрогноз ЛММ

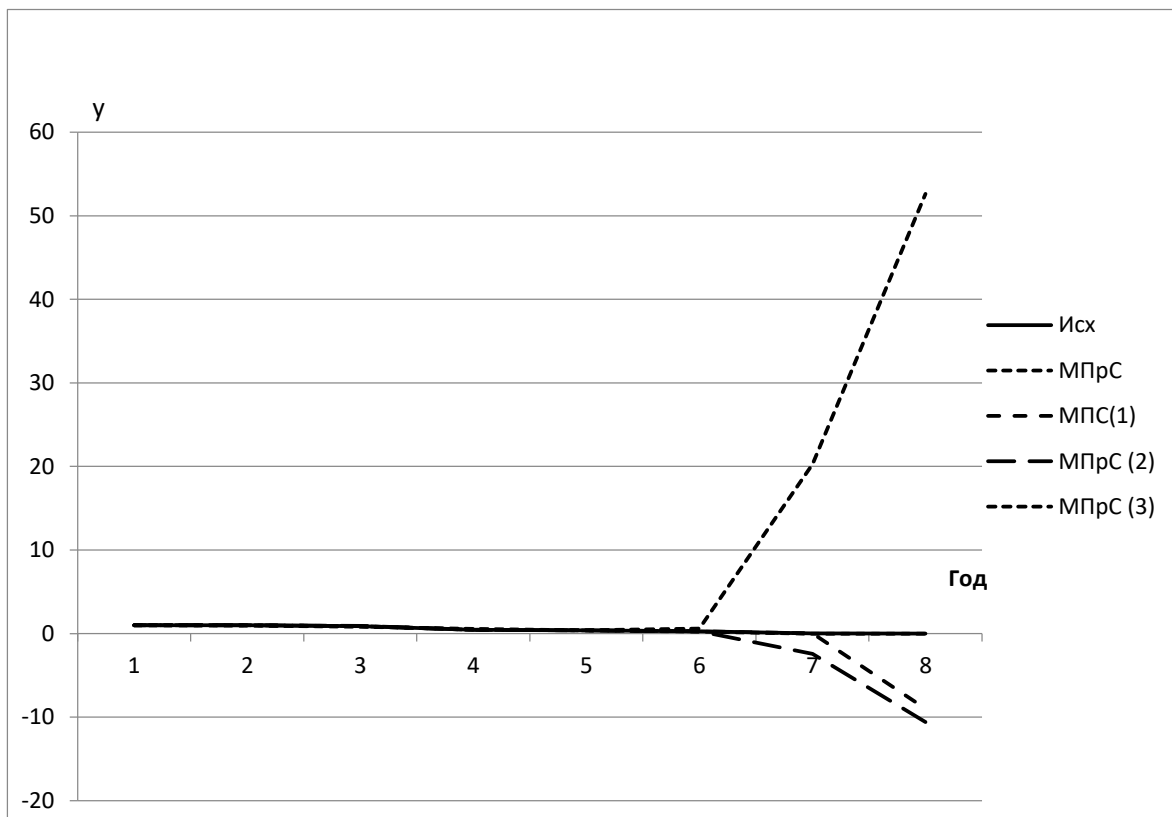


Рисунок 2. Построгноз MPrC

### Изменение управляемых и неуправляемых факторов

Далее следует исследовать развитие системы в зависимости от изменения управляемых и неуправляемых факторов. В качестве неуправляемых факторов были выбраны  $x_3$  и  $x_4$ , численность населения и число ДТП со смертельным исходом. Несмотря на проводимую государством политику по увеличению численности населения, прямым воздействием данный фактор изменить никак не удастся. Второй фактор так же является неуправляемым, поскольку вероятность выживания после попадания в ДТП зависит от очень большого числа факторов, на которые так же прямое воздействие оказать не предоставляется возможным.

Для получения прогноза развития системы следует использовать последние значения выбранных неуправляемых факторов, изменяя их на  $\pm 10\%$  с шагом  $5\%$ .

Таблица 3. Изменение неуправляемых факторов на  $\pm 10\%$

$x_3 \backslash x_5$	-10%	-5%	0	5%	10%
-10%	<b>-0,3776</b>	-0,3872	-0,3968	-0,4064	-0,4160
-5%	-0,3882	-0,3978	-0,4074	-0,4170	-0,4266
0	-0,3988	-0,4084	-0,4180	-0,4276	-0,4372
5%	-0,4094	-0,4190	-0,4286	-0,4382	-0,4478
10%	-0,4200	-0,4296	-0,4392	-0,4488	<b>-0,4585</b>

По данным из Таблица 3 видим, что при уменьшении количества населения вкупе с уменьшением смертельных исходов в результате ДТП уменьшается количество авто, что положительно влияет на пассажиропоток. При обратной ситуации, повышая значения данных факторов, пассажиропоток уменьшается быстрее вслед за ростом числа личного автотранспорта. На самом деле, количество смертельных исходов в результате ДТП настолько мало, что практически не влияет на пассажиропоток, чего нельзя сказать по отношению к численности населения.

Далее исследуем воздействие на систему при изменении управляемых факторов на тот же процент с тем же шагом. В качестве управляемых факторов были выбраны  $x_1$  и  $x_2$  - число автобусов и стоимость проезда соответственно. Количество автобусов, используемых в городских сообщениях контролируется администрацией города в зависимости от загруженности дорог и востребованности каждого отдельного маршрута гражданами. Стоимость проезда также устанавливается администрацией населенного пункта по ряду факторов и контролируется на правовом уровне.

Таблица 4. Изменение управляемых факторов на  $\pm 10\%$

$x_1 \backslash x_2$	-10%	-5%	0	5%	10%
-10%	-0,4507	-0,4640	-0,4772	-0,4904	<b>-0,5037</b>
-5%	-0,4211	-0,4344	-0,4476	-0,4608	-0,4741
0	-0,3915	-0,4048	-0,4180	-0,4312	-0,4445
5%	-0,3619	-0,3752	-0,3884	-0,4016	-0,4149
10%	<b>-0,3324</b>	-0,3456	-0,3588	-0,3721	-0,3853

По аналогии с неуправляемыми факторами проанализируем тенденции развития системы при изменении управляемых факторов.

Варьирование значений, полученных из Таблица 4, понятны и на аналитическом уровне: при увеличении  $x_1$  – числа автобусов на 10%, совместно с уменьшением  $x_2$  – стоимости проезда на те же 10% показатель пассажиропотока максимизируется, при обратной же ситуации – минимизируется. Логично, что чем больше автобусов и меньше плата за их использование – тем выгодней населению их использование. То есть, в данном случае, чётко прослеживается обратная зависимость между выбранными управляемыми факторами.

### **Заключение**

Тем самым можно сделать вывод, что количество перевезенных транспортом общего пользования пассажиров напрямую зависит от управляемых факторов, таких как количество эксплуатационных автобусов на душу населения и плата за их использование.

Подводя итог, указав целью данной работы повышение пассажиропотока путём исследования влияющих на него факторов, можно считать, что цель работы достигнута. Была построена модель в пространстве состояний, исследованы её прогнозные свойства. Проведенное исследование показало, что повышение пассажиропотока в Пермском крае возможна и эффективна за счет изменения управляемых факторов – повышения количества автобусов и снижения платы за их стоимость.

### **Список использованных источников и литературы**

1. Число эксплуатационных автобусов общего пользования на 100 000 человек населения по субъектам Российской Федерации [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://www.gks.ru/folder/23455?print=1> (Дата обращения: 04.04.2020)
2. Перевозка пассажиров автобусами [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://fedstat.ru/indicator/58784> (Дата обращения: 02.04.2020)
3. Разработка прогнозной модели пассажирского транспорта [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://cyberleninka.ru/article/n/razrabotka-prognoznoy-modeli-passazhirskogo-transporta> (Дата обращения: 21.04.2020)
4. Разработка предложений по повышению эффективности работы общественного городского пассажирского транспорта [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://cyberleninka.ru/article/n/razrabotka-predlozheniy-po-povysheniyu-effektivnosti-raboty-obschestvennogo-gorodskogo-passazhirskogo-transporta> (Дата обращения: 27.04.2020)
5. Роль общественного транспорта в развитии современных городов [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://cyberleninka.ru/article/n/rol-obschestvennogo-transporta-v-razvitiy-sovremennyh-gorodov> (Дата обращения: 02.04.2020)



6. Стоимость бесплатного общественного транспорта в Люксембурге [Электронный ресурс] – режим доступа: <https://www.bbc.com/worklife/article/20190128-the-cost-of-luxembourgs-free-public-transport-plan> (Дата обращения: 20.04.2020)

7. Затонский А. В. теоретический подход к управлению социально-техническими системами // Программные продукты и системы. – 2008. № 1. – С. 29-32.

8. Гераськина И. Н., Затонский А. В. Моделирование тренда инвестиционной и строительной деятельности Российской Федерации // Вестник МГСУ. – 2017. – Т. 12, № 11 (110). – С. 1229-1239.

9. Янченко Т. В., Затонский А. В. Определение оптимальной ранжировки частных критериев оценки краевого социального ресурса // Экономика и менеджмент систем управления. – 2013. – № 4 (10). – С. 99-104.

10. Затонский А. В., Сиротина Н. А. Прогнозирование экономических систем по модели на основе регрессионного дифференциального уравнения // Экономика и математические методы. – 2014. – Т. 50. № 1. – С. 91–99.

### List of references

1. The number of operational public buses per 100,000 people in the constituent entities of the Russian Federation, <https://www.gks.ru/folder/23455?print=1>, accessed April 04, 2020.

2. Transportation of passengers by buses, <https://fedstat.ru/indicator/58784>, accessed April 02, 2020.

3. Development of a predictive model of passenger transport, <https://cyberleninka.ru/article/n/razrabotka-prognoznoy-modeli-passazhirskogo-transporta>, accessed April 21, 2020.

4. Development of proposals to improve the efficiency of public urban passenger transport, <https://cyberleninka.ru/article/n/razrabotka-predlozheniy-po-povysheniyu-effektivnosti-raboty-obschestvennogo-gorodskogo-passazhirskogo-transporta>, accessed April 27, 2020.

5. The role of public transport in the development of modern cities, <https://cyberleninka.ru/article/n/rol-obschestvennogo-transporta-v-razvitii-sovremennyh-gorodov>, accessed April 02, 2020.

6. The cost of Luxembourg's free public transport plan, <https://www.bbc.com/worklife/article/20190128-the-cost-of-luxembourgs-free-public-transport-plan>, accessed April 20, 2020.

7. Zatonsky A. V. theoretical approach to the management of socio-technical systems // Software products and systems. – 2008. No. 1. – P. 29-32.

8. Geraskina I. N., Zatonsky A. V. Modeling the trend of investment and construction activities of the Russian Federation // Vestnik MGSU. 2017. – Т. 12, No. 11 (110). – P. 1229-1239.

9. Yanchenko T. V., Zatonsky A. V. Determination of the optimal ranking of particular criteria for evaluating a regional social resource // Economics and Management Systems Management. – 2013. – No. 4 (10). – P. 99-104.

10. Zatonsky A. V., Sirotnina N. A. Forecasting of economic systems according to a model based on a regression differential equation // Economics and Mathematical Methods. – 2014. – Т. 50. No. 1. – P. 91–99.