

## КУСОЧНО-ЛИНЕЙНЫЕ РЕГРЕССИОННЫЕ МОДЕЛИ ОБЪЕМОВ ПЕРЕВОЗКИ ПассаЖИРОВ ЖЕЛЕЗНОДОРОЖНЫМ ТРАНСПОРТОМ

С. И. Носков<sup>1</sup>, А. А. Хоняков<sup>2</sup>

<sup>1, 2</sup> Иркутский государственный университет путей сообщения, Иркутск, Россия

<sup>1</sup> noskov\_s@irgups.ru, <sup>2</sup> anton\_khonyakov@mail.ru

**Аннотация.** *Актуальность и цели.* Рассматривается проблема моделирования перевозки пассажиров железнодорожным транспортом в зависимости от показателей, характеризующих результаты функционирования туристической отрасли. *Материалы и методы.* Для достижения цели моделирования была применена кусочно-линейная регрессионная модель с минимумом в правой части, называемая также функцией Леонтьева. Для повышения качества аппроксимации моделей был применен способ преобразования регрессоров. Оценка адекватности полученных моделей производилась путем расчета средней относительной ошибки аппроксимации и вектора срабатываний. Исходные данные для моделирования получены из официальных витрин статистических данных. *Результаты.* В результате моделирования были получены кусочно-линейные модели перевозки пассажиров железнодорожным транспортом для Российской Федерации в целом и федеральных округов. *Выводы.* Полученные модели обладают высокой адекватностью и позволяют выявить взаимосвязь показателей деятельности туристической отрасли и объемов перевозки пассажиров железнодорожным транспортом.

**Ключевые слова:** кусочно-линейная регрессия, преобразование регрессоров, задача линейно-булевого программирования, железнодорожный транспорт, перевозка пассажиров

**Для цитирования:** Носков С. И., Хоняков А. А. Кусочно-линейные регрессионные модели объемов перевозки пассажиров железнодорожным транспортом // Модели, системы, сети в экономике, технике, природе и обществе. 2021. № 4. С. 80–89. doi:10.21685/2227-8486-2021-4-7

## PIECEWISE LINEAR REGRESSION MODELS OF PASSENGER TRANSPORTATION VOLUMES BY RAILWAY

S.I. Noskov<sup>1</sup>, A.A. Khonyakov<sup>2</sup>

<sup>1, 2</sup> Irkutsk State Transport University, Irkutsk, Russia

<sup>1</sup> noskov\_s@irgups.ru, <sup>2</sup> anton\_khonyakov@mail.ru

**Abstract.** *Background.* The paper deals with the problem of modeling the transportation of passengers by rail, depending on the indicators characterizing the results of the functioning of the tourism industry. *Materials and methods.* To achieve the goal of modeling, a piecewise linear regression model with a minimum on the right side, also called the Leontief function, was applied. To improve the quality of approximation of the models, the method of transforming regressors was applied. The assessment of the adequacy of the ob-

tained models was carried out by calculating the average relative error of approximation and the vector of operations. The initial data for modeling are obtained from official statistics showcases. *Results.* As a result of modeling, piecewise-linear models of passenger transportation by rail were obtained for the Russian Federation as a whole and for the federal districts. *Conclusions.* The obtained models are highly adequate and make it possible to identify the relationship between the performance indicators of the tourism industry and the volume of passenger transportation by railway.

**Keywords:** piecewise linear regression, regressor transformation, boolean partial boolean linear programming problem, railway transport, passenger transportation

**For citation:** Noskov S.I., Khonyakov A.A. Piecewise linear regression models of passenger transportation volumes by railway. *Modeli, sistemy, seti v ekonomike, tekhnike, prirode i obshchestve* = *Models, systems, networks in economics, technology, nature and society*. 2021;(4):80–89. (In Russ.). doi:10.21685/2227-8486-2021-4-7

### Введение

Согласно официальной статистике [1–3] доля пассажирооборота, которая приходится на перевозки железнодорожным транспортом, за период 2010–2020 гг. в среднем составляет более двадцати процентов, что позволяет сделать вывод о высокой значимости железнодорожных перевозок как для страны в целом, так и для ее отдельных регионов. Однако, если обратить внимание на график, представленный на рис. 1, можно заметить, что за указанный период времени эта доля имеет некоторую тенденцию к снижению.

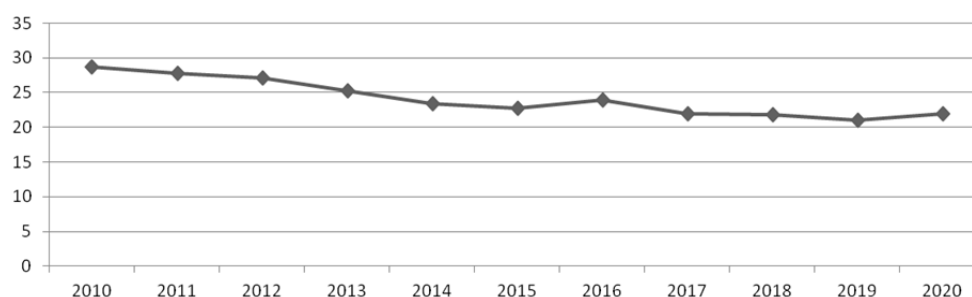


Рис. 1. Доля пассажирооборота железнодорожного транспорта в общем объеме перевозок пассажиров

Моделирование показателей перевозочного процесса на железнодорожном транспорте играет важную роль при анализе и планировании деятельности подразделений ОАО «РЖД». Это обусловлено в том числе тем, что одной из ключевых целей функционирования компании является предоставление качественных и безопасных транспортных услуг населению страны.

При исследовании закономерностей функционирования железнодорожного транспорта успешно применяются методы математического моделирования, в том числе регрессионного анализа. Можно, в частности, указать на зарубежные [4–6] и отечественные [7, 8] работы.

Цель данного исследования – моделирование пассажиропотока на железнодорожном транспорте при помощи кусочно-линейной регрессионной модели, характеризующейся тем отличительным свойством, что значение результирующего показателя в ней ограничено лимитирующим фактором, при

этом любое наращивание других независимых факторов не приводит к росту этого показателя.

### Материалы и методы

В работах С. Н. Носкова и др. [9–12] рассмотрена кусочно-линейная регрессионная модель (функция Леонтьева) вида:

$$y_k = \min\{\alpha_1 x_{k1}, \alpha_2 x_{k2}, \dots, \alpha_m x_{km}\} + \varepsilon_k, \quad k = \overline{1, n}, \quad (1)$$

где  $y$  – зависимая переменная,  $x_i, i = \overline{1, m}$  – независимые переменные,  $\alpha_i, i = \overline{1, m}$  – подлежащие оцениванию параметры,  $\varepsilon_k, k = \overline{1, n}$  – ошибки аппроксимации,  $n$  – количество наблюдений (длина выборки).

Идентификация параметров такой модели может быть осуществлена при помощи метода наименьших модулей, реализация которого сводится к задаче линейно-булевого программирования [10–12].

Верификация модели (1) может быть осуществлена при помощи двух показателей – средней относительной ошибки аппроксимации  $E$ :

$$E = \frac{1}{n} \sum_{k=1}^n \left| \frac{y_k - \min\{\alpha_1 x_{k1}, \alpha_2 x_{k2}, \dots, \alpha_m x_{km}\}}{y_k} \right| 100\%,$$

а также вектора так называемых срабатываний  $\lambda = (\lambda_1, \dots, \lambda_n)$ , где  $\lambda_k = s$ , если  $\min\{\alpha_1 x_{k1}, \alpha_2 x_{k2}, \dots, \alpha_m x_{km}\} = \alpha_s x_{ks}$ . Таким образом,  $k$ -й элемент вектора срабатываний равен номеру переменной, на которой реализовалась операция  $\min$  в модели (1). Вектор срабатываний, который содержит в себе номера всех переменных, указывает на высокое качество модели – каждая из независимых переменных вносит свой вклад в формирование выходного фактора. Если же какая-то из переменных не попадает в вектор срабатываний, она может быть исключена из модели как незначимая.

В качестве исследуемого показателя (зависимой переменной модели (1))  $y$  примем отправление пассажиров железнодорожным транспортом общего пользования в Российской Федерации за период с 2006 по 2019 г. Согласно методологическим пояснениям [13], этот показатель определяется по числу проездных билетов, проданных и выданных бесплатно в данном отчетном периоде с учетом приходящихся на этот период поездок, совершенных по групповым билетам, грузовым документам, по абонементным и другим билетам. К транспорту общего пользования относят транспорт, удовлетворяющий потребности организаций всех видов экономической деятельности и населения в перевозках грузов и пассажиров, перемещающий различные виды продукции между производителями и потребителями, осуществляющий общедоступное транспортное обслуживание населения. В качестве независимых переменных определим показатели, связанные с функционированием туристической отрасли:

- $x_1$  – число турфирм;
- $x_2$  – число мест в санаторно-курортных организациях;
- $x_3$  – число мест в гостиницах и аналогичных средствах размещения.

Таким образом, этот набор факторов в модели должен позволить выяснить, каким образом уровень развития туристической отрасли отражается на интенсивности пассажирских перевозок, осуществляемых железнодорожным транспортом.

Исходные данные для моделирования представлены в табл. 1. Они взяты из официальных витрин статистических данных [1–3], для показателей, представленных в квартальной или месячной разбивке, было проведено их предварительное агрегирование.

Таблица 1

Исходные данные для моделирования

| Год  | $y$       | $x_1$  | $x_2$   | $x_3$     |
|------|-----------|--------|---------|-----------|
| 2006 | 1 338 643 | 5842   | 441 482 | 429 173   |
| 2007 | 1 281 943 | 6639   | 432 725 | 447 126   |
| 2008 | 1 295 567 | 6477   | 445 924 | 498 414   |
| 2009 | 1 136 925 | 6897   | 428 250 | 487 449   |
| 2010 | 946 510   | 9133   | 422 886 | 529 554   |
| 2011 | 993 144   | 10 266 | 424 669 | 571 226   |
| 2012 | 1 058 799 | 10 773 | 419 980 | 617 849   |
| 2013 | 1 079 565 | 11 324 | 407 388 | 675 515   |
| 2014 | 1 076 407 | 11 614 | 443 405 | 814 913   |
| 2015 | 1 024 645 | 11 893 | 447 035 | 922 951   |
| 2016 | 1 039 993 | 12 395 | 445 994 | 1 045 972 |
| 2017 | 1 121 283 | 13 579 | 430 400 | 1 137 335 |
| 2018 | 1 160 425 | 13 674 | 434 089 | 1 299 457 |
| 2019 | 1 201 483 | 12 690 | 437 481 | 1 348 006 |

Возможность применения кусочно-линейной регрессионной модели (1) для выбранного набора переменных можно объяснить тем, что каждый из независимых факторов может ограничивать значение выходного показателя, т.е. возрастание значений зависимой переменной может обеспечиваться только ростом значений всех независимых переменных, а не только какой-то одной из них. Кроме того, все независимые переменные в целом способствуют росту зависимой переменной.

### Результаты

Расчет параметров модели (1) производился в несколько этапов. Прежде всего, на основе соответствующего алгоритмического и программного обеспечения [14, 15] эти параметры были оценены методом наименьших модулей посредством решения иницируемой им задачи линейно-булевого программирования. В результате была получена модель:

$$y = \min(123,2649x_1; 2,65x_2; 1,6019x_3). \quad (2)$$

Для модели (2) ошибка аппроксимации  $E$  составила 16,55 % с вектором срабатываний  $\lambda = (3, 3, 1, 3, 3, 3, 3, 2, 2, 2, 2, 2, 2)$ . Отметим, что высокая ошибка аппроксимации не позволяет считать полученную модель вполне адекватной исследуемому объекту.

Совершенствование модели (2) будем проводить в двух направлениях. Первое из них связано с моделированием пассажиропотока не только для страны в целом, но и для отдельных федеральных округов, поскольку они различаются плотностью населения, сетью железнодорожного транспорта и другими важными показателями. Второе направление связано с использованием при моделировании различных преобразований регрессоров. Этот прием часто применяется при регрессионных исследованиях для повышения качества моделей [16]. Он позволяет, используя элементарные функции, расширять исходный набор независимых переменных, тем самым увеличивая количество альтернативных моделей с последующим выбором лучшей из них для реализации.

Модели пассажиропотоков для федеральных округов РФ, за исключением Северо-Кавказского федерального округа, представлены в табл. 2.

Таблица 2

Модели пассажиропотоков для федеральных округов РФ

| Федеральный округ                 | Модель                                              |
|-----------------------------------|-----------------------------------------------------|
|                                   | Значения критериев адекватности                     |
| Центральный федеральный округ     | $y = \min(269,4418x_1; 12,8493x_2; 3,9192x_3)$      |
|                                   | $E = 10,54 \%$                                      |
|                                   | $\lambda = (1, 3, 1, 3, 3, 3, 3, 1, 1, 1, 2, 2, 1)$ |
| Северо-Западный федеральный округ | $y = \min(197,5707x_1; 3,8312x_2; 1,5266x_3)$       |
|                                   | $E = 13,92 \%$                                      |
|                                   | $\lambda = (1, 2, 2, 2, 2, 2, 2, 2, 2, 2, 2, 2, 2)$ |
| Приволжский федеральный округ     | $y = \min(79,9563x_1; 1,1043x_2; 1,4742x_3)$        |
|                                   | $E = 15,72 \%$                                      |
|                                   | $\lambda = (2, 2, 2, 2, 2, 2, 2, 2, 2, 2, 2, 2, 2)$ |
| Уральский федеральный округ       | $y = \min(89,3226x_1; 1,3518x_2; 1,5445x_3)$        |
|                                   | $E = 14,34 \%$                                      |
|                                   | $\lambda = (3, 2, 2, 2, 2, 2, 2, 2, 2, 2, 2, 2, 2)$ |
| Сибирский федеральный округ       | $y = \min(101,7217x_1; 1,4946x_2; 1,8244x_3)$       |
|                                   | $E = 15,20 \%$                                      |
|                                   | $\lambda = (1, 2, 2, 2, 2, 2, 2, 2, 2, 2, 2, 2, 2)$ |
| Дальневосточный федеральный округ | $y = \min(64,6399x_1; 1,6084x_2; 0,94x_3)$          |
|                                   | $E = 33,79 \%$                                      |
|                                   | $\lambda = (3, 2, 2, 1, 2, 2, 2, 2, 2, 2, 2, 2, 2)$ |
| Южный федеральный округ           | $y = \min(63,749x_1; 0,3021x_2; 0,7218x_3)$         |
|                                   | $E = 17,12 \%$                                      |
|                                   | $\lambda = (3, 2, 2, 3, 2, 2, 2, 2, 2, 2, 2, 2, 2)$ |

Таким образом, наиболее точной можно считать модель для Центрального федерального округа: ошибка аппроксимации имеет допустимое значение (до 15 %), в векторе срабатываний содержатся все независимые переменные. Несмотря на допустимую ошибку аппроксимации моделей для Северо-Западного и Уральского округов, их нельзя считать адекватно описывающими поведение реального объекта из-за того, что вектор срабатываний не содержит в себе срабатывания одной из переменных –  $x_3$  и  $x_1$  соответственно.

Воспользуемся способом преобразования регрессоров для уточнения модели (2), введя обозначения:

$$t_1 = \lg(x_1), \quad t_2 = \frac{x_2}{x_1}, \quad t_3 = \frac{x_3}{x_1}.$$

Данный вариант преобразований был получен в результате проведения так называемого конкурса моделей [17]. Указанные преобразования можно трактовать следующим образом:  $t_2$  – число мест в санаторно-курортных организациях, приходящихся на одну турфирму,  $t_3$  – число мест в гостиницах и аналогичных средствах размещения, приходящихся на одну турфирму.

Тогда после оценивания параметров с помощью упомянутых выше методов модель (2) преобразуется к виду

$$y = \min(339921,255t_1; 29595,92t_2; 17848,638t_3). \quad (3)$$

При этом значения критериев адекватности существенно улучшатся по сравнению с моделью (2):  $E = 7,28 \%$ ,  $\lambda = (1, 3, 1, 3, 3, 3, 3, 3, 2, 2, 2, 2, 2, 2)$ . На рис. 2 приведен график фактических значений зависимой переменной, а также расчетных значений, полученных по моделям (2) и (3), который подтверждает этот вывод.

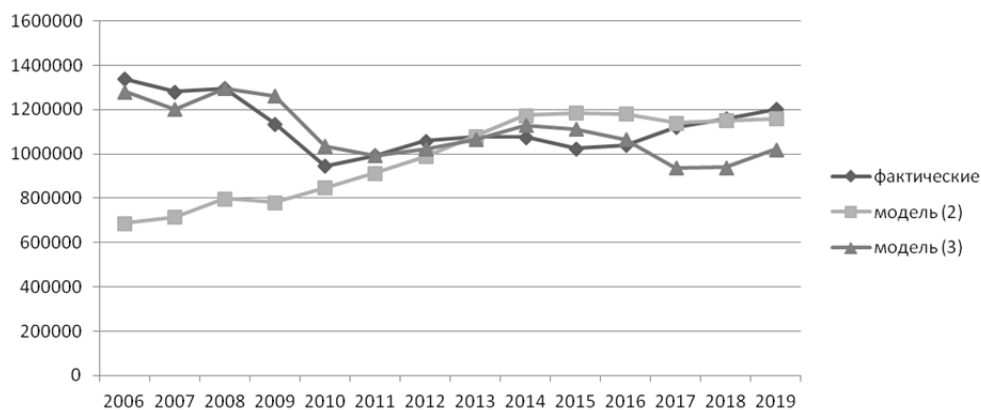


Рис. 2. Фактические и расчетные значения отправления пассажиров железнодорожным транспортом в Российской Федерации

Анализ вектора срабатываний модели (3) показывает, что в последние шесть лет фактором, сдерживающим рост объема пассажирооборота железнодорожного транспорта, был комбинированный показатель  $t_2 = \frac{x_2}{x_1}$ , следова-

тельно, для наращивания значений выходной переменной необходимо в первую очередь увеличивать число мест в санаторно-курортных организациях.

Применим способ преобразования регрессоров для моделей федеральных округов РФ.

Для всех моделей были введены преобразования переменных вида

$$t_1 = x_1, \quad t_2 = \frac{x_2}{x_1}, \quad t_3 = \frac{x_3}{x_1}.$$

Полученные в результате модели представлены в табл. 3.

Таблица 3

Модели пассажиропотоков для федеральных округов РФ  
после преобразования регрессоров

| Федеральный округ                 | Модель                                               |
|-----------------------------------|------------------------------------------------------|
|                                   | Значения критериев адекватности                      |
| Центральный федеральный округ     | $y = \min(403,8488t_1; 35537,8564t_2; 9882,2616t_3)$ |
|                                   | $E = 6,31 \%$                                        |
|                                   | $\lambda = (3, 3, 1, 3, 3, 3, 3, 3, 3, 2, 2, 2)$     |
| Северо-Западный федеральный округ | $y = \min(282,4030t_1; 7268,4926t_2; 1245,3565t_3)$  |
|                                   | $E = 8,09 \%$                                        |
|                                   | $\lambda = (1, 3, 1, 3, 3, 3, 3, 3, 3, 3, 2, 2)$     |
| Приволжский федеральный округ     | $y = \min(125,7418t_1; 2711,8515t_2; 2538,6864t_3)$  |
|                                   | $E = 6,08 \%$                                        |
|                                   | $\lambda = (1, 3, 3, 3, 3, 3, 2, 2, 2, 2, 2, 2)$     |
| Уральский федеральный округ       | $y = \min(90,8785t_1; 1616,8759t_2; 818,5677t_3)$    |
|                                   | $E = 6,18 \%$                                        |
|                                   | $\lambda = (3, 3, 1, 1, 3, 3, 3, 3, 2, 2, 2, 2)$     |
| Сибирский федеральный округ       | $y = \min(182,0338t_1; 2401,3849t_2; 2324,5149t_3)$  |
|                                   | $E = 7,47 \%$                                        |
|                                   | $\lambda = (3, 3, 2, 2, 2, 2, 2, 2, 2, 2, 2, 2)$     |
| Дальневосточный федеральный округ | $y = \min(81,5847t_1; 813,8445t_2; 475,632t_3)$      |
|                                   | $E = 18,29 \%$                                       |
|                                   | $\lambda = (3, 2, 2, 1, 2, 2, 2, 2, 2, 2, 2, 2)$     |
| Южный федеральный округ           | $y = \min(64,1813t_1; 411,6783t_2; 554,108t_3)$      |
|                                   | $E = 9,35 \%$                                        |
|                                   | $\lambda = (1, 3, 3, 3, 3, 2, 2, 2, 2, 2, 2, 2)$     |

Сравнивая данные табл. 2 и 3, можно сделать вывод о том, что применение преобразования регрессоров позволило значительно повысить адекватность всех моделей.

Так, для модели Центрального федерального округа существенно уменьшилась средняя относительная ошибка аппроксимации. Вектора срабатываний для моделей Северо-Западного и Уральского федеральных округов стали включать в себя все задействованные переменные. Модели для Южного и Приволжского округов также можно считать вполне адекватными анализируемым объектам.

И лишь две модели, несмотря на некоторые улучшения значений критериев адекватности, тем не менее нельзя считать вполне приемлемыми – для Сибирского федерального округа (вектор срабатываний содержит не все переменные) и для Дальневосточного федерального округа (все еще высокое значение средней относительной ошибки аппроксимации). Однако такой результат не противоречит реальному положению дел – эти два округа находятся на значительном удалении от центральной части страны и характеризуются низкой плотностью населения и неразвитостью сети железнодорожных магистралей. Поэтому для улучшения качества моделей для этих регионов исследования необходимо продолжать, возможно, в направлении расширения для них круга независимых переменных.

### *Заключение*

В работе выполнено моделирование отправления пассажиров железнодорожным транспортом в зависимости от показателей, характеризующих развитие туристической сферы. Построены регрессионные модели кусочно-линейного типа как для Российской Федерации в целом, так и для отдельных федеральных округов.

Оценка адекватности моделей производилась путем расчета средней относительной ошибки аппроксимации и вектора срабатываний. Для повышения качества моделей был применен способ преобразования регрессоров. Исходные данные для моделирования были получены из официальных источников. Методика применения кусочно-линейной регрессионной модели, а также результаты моделирования могут быть эффективно использованы соответствующими планирующими органами для повышения научной обоснованности принимаемых управленческих решений. Эти решения могут быть, в частности, связаны с увеличением количества подвижного состава, частоты рейсов, необходимых людских и материальных ресурсов.

### *Список литературы*

1. Федеральная служба государственной статистики. URL: <https://rosstat.gov.ru/statistic>
2. Витрина статистических данных статистики. URL: <https://showdata.gks.ru/finder/>
3. Единая межведомственная информационно-статистическая система (ЕМИСС). URL: <https://www.fedstat.ru/>
4. Zhang Y. Linear Regression Model of Railway Passenger Traffic Volume and Its Influencing Factors // Journal of Physics: Conference Series. 2021;(1): 012005. doi: 10.1088/1742-6596/1903/1/012005
5. Arshad M., Ahmed M. Train delay estimation in Indian railways by including weather factors through machine learning techniques // Recent Advances in Computer Science and Communications. 2021. № 14. P. 1300–1307.
6. Wang Z., Chen Z., Shi Y., Huang L. Extracting the relationship and evolutionary rule connecting residents' travel demand and traffic supply using multisource data // Sensors. 2021. Vol. 21, № 6. P. 1–21.
7. Караулова А. В., Базилевский М. П. Применение регрессионного анализа при решении реальных задач технического характера // Молодая наука Сибири. 2020. № 3. С. 229–236.
8. Егорова И. Н., Зубков В. Н. Влияние социально-экономических показателей на прогнозный объем железнодорожных пассажирских перевозок // Вестник Ростовского государственного университета путей сообщения. 2019. № 2. С. 90–97.
9. Носков С. И. Оценивание параметров аппроксимирующей функции с постоянными пропорциями // Современные технологии. Системный анализ. Моделирование. 2013. № 2. С. 135–136.
10. Иванова Н. К., Лебедева С. А., Носков С. И. Идентификация параметров некоторых негладких регрессий // Информационные технологии и проблемы математического моделирования сложных систем. 2016. № 17. С. 107–110.
11. Носков С. И., Лоншаков Р. В. Идентификация параметров кусочно-линейной регрессии // Информационные технологии и проблемы математического моделирования сложных систем. 2008. № 6. С. 63–64.
12. Носков С. И., Хоняков А. А. Программный комплекс построения некоторых типов кусочно-линейных регрессий // Информационные технологии и математическое моделирование в управлении сложными системами. 2019. № 3. С. 47–55.

13. Методологические пояснения. URL: [https://www.gks.ru/bgd/regl/b13\\_14p/IssWWW.exe/Stg/d3/17-15met.htm](https://www.gks.ru/bgd/regl/b13_14p/IssWWW.exe/Stg/d3/17-15met.htm)
14. Свидетельство о государственной регистрации программ для ЭВМ № 2021613936 Программный комплекс построения кусочно-линейных регрессий с максимумом в правой части / С. И. Носков, А. А. Хоняков (Россия); Правообладатель: Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Иркутский государственный университет путей сообщения» (ФГБОУ ВО ИргУПС); заявка № 2021613052 12.03.2021; дата регистр. 16.03.2021
15. Хоняков А. А. Особенности разработки программного обеспечения для построения кусочно-линейных регрессий // Молодая наука Сибири. 2021. № 2. С. 305–312.
16. Носков С. И., Врублевский И. П. Регрессионная модель динамики эксплуатационных показателей функционирования железнодорожного транспорта // Современные технологии. Системный анализ. Моделирование. 2016. № 2. С. 192–197.
17. Носков С. И. Реализация конкурса регрессионных моделей с применением критерия согласованности поведения // Вестник Воронежского государственного университета. Серия: Системный анализ и информационные технологии. 2021. № 2. С. 153–160. doi:10.17308/sait.2021.2/3511

### References

1. *Federal'naya sluzhba gosudarstvennoy statistiki = Federal State Statistics Service.* (In Russ.). Available at: <https://rosstat.gov.ru/statistic>
2. *Vitrina statisticheskikh dannykh statistiki = Showcase of statistics statistics.* (In Russ.). Available at: <https://showdata.gks.ru/finder/>
3. *Edinaya mezhvedomstvennaya informatsionno-statisticheskaya sistema (EMISS) = Unified Interdepartmental Information and Statistical System (EMISS).* (In Russ.). Available at: <https://www.fedstat.ru/>
4. Zhang Y. Linear Regression Model of Railway Passenger Traffic Volume and Its Influencing Factors. *Journal of Physics: Conference Series*. 2021;(1):012005. doi: 10.1088/1742-6596/1903/1/012005
5. Arshad M., Ahmed M. Train delay estimation in Indian railways by including weather factors through machine learning techniques. *Recent Advances in Computer Science and Communications*. 2021;(14):1300–1307.
6. Wang Z., Chen Z., Shi Y., Huang L. Extracting the relationship and evolutionary rule connecting residents' travel demand and traffic supply using multisource data. *Sensors*. 2021;21(6):1–21.
7. Karaulova A.V., Bazilevskiy M.P. Application of regression analysis in solving real problems of a technical nature. *Molodaya nauka Sibiri = The young science of Siberia*. 2020;(3):229–236. (In Russ.)
8. Egorova I.N., Zubkov V.N. The influence of socio-economic indicators on the projected volume of railway passenger traffic. *Vestnik Rostovskogo gosudarstvennogo universiteta putey soobshcheniya = Bulletin of the Rostov State University of Railways*. 2019;(2):90–97. (In Russ.)
9. Noskov S.I. Estimation of parameters of the approximating function with constant proportions. *Sovremennye tekhnologii. Sistemnyy analiz. Modelirovanie = Modern technologies. System analysis. Modeling*. 2013;(2):135–136. (In Russ.)
10. Ivanova N.K., Lebedeva S.A., Noskov S.I. Identification of parameters of some non-smooth regressions. *Informatsionnye tekhnologii i problemy matematicheskogo modelirovaniya slozhnykh sistem = Information technologies and problems of mathematical modeling of complex systems*. 2016;(17):107–110. (In Russ.)
11. Noskov S.I., Lonshakov R.V. Identification of parameters of piecewise linear regression. *Informatsionnye tekhnologii i problemy matematicheskogo modelirovaniya slozhnykh sistem = Information technologies and problems of mathematical modeling of complex systems*. 2008;(6):63–64. (In Russ.)

12. Noskov S.I., Khonyakov A.A. A software package for constructing some types of piecewise linear regressions. *Informatsionnye tekhnologii i matematicheskoe modelirovanie v upravlenii slozhnymi sistemami = Information technologies and mathematical modeling in the management of complex systems*. 2019;(3):47–55. (In Russ.)
13. *Metodologicheskie poyasneniya = Methodological explanations*. (In Russ.). Available at: [https://www.gks.ru/bgd/regl/b13\\_14p/IssWWW.exe/Stg/d3/17-15met.htm](https://www.gks.ru/bgd/regl/b13_14p/IssWWW.exe/Stg/d3/17-15met.htm)
14. Certificate of state registration of computer programs No. 2021613936 A software package for constructing piecewise linear regressions with a maximum in the right part. S.I. Noskov, A.A. Khonyakov (Rossiya); Pravoobladatel': Federal'noe gosudarstvennoe byudzhethnoe obrazovatel'noe uchrezhdenie vysshego obrazovaniya «Irkutskiy gosudarstvennyy universitet putey soobshcheniya» (FGBOU VO IrGUPS); zayavka № 2021613052 12.03.2021; data registr. 16.03.2021. (In Russ.)
15. Khonyakov A.A. Features of software development for constructing piecewise linear regressions. *Molodaya nauka Sibiri = The young science of Siberia*. 2021;(2): 305–312. (In Russ.)
16. Noskov S.I., Vrublevskiy I.P. Regression model of dynamics of operational indicators of railway transport functioning. *Sovremennye tekhnologii. Sistemnyy analiz. Modelirovanie = Modern technologies. System analysis. Modeling*. 2016;(2):192–197. (In Russ.)
17. Noskov S.I. Implementation of the competition of regression models using the criterion of consistency of behavior. *Vestnik Voronezhskogo gosudarstvennogo universiteta. Seriya: Sistemnyy analiz i informatsionnye tekhnologii = Bulletin of the Voronezh State University. Series: System analysis and information technologies*. 2021;(2):153–160. (In Russ.). doi:10.17308/sait.2021.2/3511

#### **Информация об авторах / Information about the authors**

##### **Сергей Иванович Носков**

доктор технических наук, профессор,  
профессор кафедры информационных  
систем и защиты информации,  
Иркутский государственный  
университет путей сообщения  
(Россия, г. Иркутск,  
ул. Чернышевского, 15)  
E-mail: noskov\_s@irgups.ru

##### **Sergey I. Noskov**

Doctor of technical sciences, professor,  
professor of the sub-department  
of information systems  
and information protection,  
Irkutsk State Transport University  
(15 Chernyshevskogo street,  
Irkutsk, Russia)

##### **Антон Андреевич Хоняков**

аспирант,  
Иркутский государственный  
университет путей сообщения  
(Россия, г. Иркутск,  
ул. Чернышевского, 15)  
E-mail: anton\_khonyakov@mail.ru

##### **Anton A. Khonyakov**

Postgraduate student,  
Irkutsk State Transport University  
(15 Chernyshevskogo street,  
Irkutsk, Russia)

**Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов /  
The authors declare no conflicts of interests.**

**Поступила в редакцию/Received 09.11.2021**

**Поступила после рецензирования/Revised 05.12.2021**

**Принята к публикации/Accepted 07.12.2021**