

К.С. Перфильева

Иркутский государственный университет путей сообщения, г. Иркутск, Российская Федерация

## МОДЕЛИРОВАНИЕ ГРУЗООБОРОТА НА АВТОМОБИЛЬНОМ ТРАНСПОРТЕ С ПОМОЩЬЮ МЕТОДА СМЕШАННОГО ОЦЕНИВАНИЯ РЕГРЕССИОННЫХ УРАВНЕНИЙ

**Аннотация.** В статье представлено применение программного обеспечения для построения линейных регрессионных моделей с помощью метода смешанного оценивания на примере моделирования грузооборота автомобильного транспорта Российской Федерации за период 2007-2020 г.г.. Зависимыми факторами выступают: протяженность автомобильных дорог общего пользования федерального, регионального или межмуниципального и местного значения; количество грузовых автомобилей по видам топлива в организациях всех видов экономической деятельности; объем погрузки основных видов грузов на автомобильном транспорте. Рассмотрены особенности применения метода на основании расчета некоторых критериев адекватности регрессионных уравнений, представлен интерфейс программного комплекса моделирования регрессионных уравнений с помощью метода смешанного оценивания параметров регрессионных уравнений.

**Ключевые слова:** линейная регрессия, метод смешанного оценивания, метод наименьших модулей, антиробастное оценивание, программный комплекс.

К. S. Perfilava

Irkutsk State Transport University, Irkutsk, the Russian Federation

## MODELING OF CARGO TURNOVER IN ROAD TRANSPORT USING THE METHOD OF MIXED ESTIMATION OF REGRESSION EQUATIONS

**Abstract.** The article presents the use of software for building linear regression models using the mixed estimation method on the example of modeling the freight turnover of road transport in the Russian Federation for the period 2007-2020. The dependent factors are: the length of public roads of federal, regional or intermunicipal and local significance; the number of trucks by type of fuel in organizations of all types of economic activity; the volume of loading of the main types of cargo in road transport. The features of the application of the method based on the calculation of some criteria for the adequacy of regression equations are considered, the interface of the software package for modeling regression equations using the method of mixed estimation of the parameters of regression equations is presented.

**Keywords:** linear regression, mixed estimation method, least-modulus method, anti-robust estimation, software package.

### Введение

Для построения статистических моделей в различных областях знаний чаще всего используется регрессионный анализ, позволяющий определить аналитические формы связи, изменение резульативного признака в которых обусловлено влиянием одного или нескольких факторов [1]. В настоящей работе поставлена задача моделирования грузооборота автомобильного транспорта с помощью метода смешанного оценивания [2].

Регрессионную модель в общем виде можно записать так:

$$y_k = \sum_{i=1}^m a_i x_{ki} + \varepsilon_k, k = \overline{1, n}$$

где  $y_k$  и  $x_{ki}$ ,  $k = \overline{1, n}$ ,  $i = \overline{1, m}$  - значения зависимой и независимых переменных соответственно;

$a_i$ ,  $i = \overline{1, m}$  - подлежащие оцениванию параметры;

$\varepsilon_k$ ,  $k = \overline{1, n}$  - ошибки аппроксимации.

Для моделирования были использованы данные за 2007 – 2020 г.г. (таблица 1) на основе официальной статистики [3] по следующим показателям:

- $y$  - грузооборот транспорта РФ, млрд, тонн-км.;
- $x_1$  - протяженность автомобильных дорог общего пользования федерального, регионального или межмуниципального и местного значения, тыс. км;
- $x_2$  - количество грузовых автомобилей по видам топлива в организациях всех видов экономической деятельности, тыс. штук;
- $x_3$  - объем погрузки основных видов грузов на автомобильном транспорте, тыс. т.

Таблица 1. Исходные данные

Год	$y$	$x_1$	$x_2$	$x_3$
2007	194	701	751	6685
2008	199	747	735	6753
2009	206	754	747	6861
2010	216	792	741	6893
2011	180	825	751	5241
2012	199	927	735	5236
2013	223	1278	747	5663
2014	249	1396	741	5842
2015	250	1451	737	5635
2016	247	1480	705	5417
2017	247	1498	635	5357
2018	248	1507	604	5397
2019	255	1531	592	5404
2020	259	1542	589	5544

### Моделирование грузооборота на автомобильном транспорте.

С помощью соответствующего программного обеспечения [4] построим регрессионную модель, иллюстрации интерфейса программного комплекса будут представлены на соответствующих этапах: результаты разбиения на подвыборки и значения зависимой переменной и критериев для выбранной модели.

Вносим исходные данные в текстовый файл и загружаем их в программу, после чего выбираем нужный метод оценивания параметров регрессионных уравнений и зависимую переменную.

Для использования метода смешанного оценивания требуется разбить исходную выборку на две части. Программный комплекс построения линейных регрессионных уравнений предоставляет возможность увидеть все возможные варианты разбиения. Отметим, что среди всех вариантов разбиения рекомендуется выбрать то уравнение, для которого значение критерия смещения будет наибольшим.

На рисунке 1 частично представлены результаты, отсортированные по убыванию значения критерия смещения. В столбце «alfa» можно увидеть вектор найденных параметров регрессионного уравнения, в столбце «eps» ошибки аппроксимации, далее относительная ошибка аппроксимации и значение критерия смещения. В столбцах N1 и N2 находятся векторы индексов, которые попали в первую и вторую подвыборку соответственно.

#	alfa	E	Оценка критерия смещения	N1	N2	
1	[4.2399604, 0.1, 0.03, 0.01]	1.68	46.89	[1, 2, 4, 7, 8, 11, 12]	[3, 5, 6, 9, 10, 13, 14]	Применить
2	[-8.2040876, 0.1, -0.03, 0.02]	2.0	46.46	[1, 2, 3, 6, 8, 10, 12]	[4, 5, 7, 9, 11, 13, 14]	Применить
3	[-5.2147811, 0.1, -0.03, 0.02]	2.02	46.26	[1, 2, 3, 6, 9, 10, 12]	[4, 5, 7, 8, 11, 13, 14]	Применить
4	[-26.359131, 0.1, 0.02, 0.02]	1.47	45.79	[1, 3, 5, 6, 7, 8, 12]	[2, 4, 9, 10, 11, 13, 14]	Применить
5	[-26.193374, 0.1, 0.02, 0.02]	1.47	45.71	[1, 3, 5, 6, 7, 9, 12]	[2, 4, 8, 10, 11, 13, 14]	Применить

Рис. 1. Результаты разбиения на подвыборки

Таким образом, в результате применения метода смешанного оценивания был получен вектор найденных параметров для построения модели с наибольшим значением критерия смещения. Полученная модель:

$$y = 4.21 + 0.097x_1 + 0.031x_2 + 0.015x_3$$

$$n_{\text{см}} = 46,89, \varepsilon = 1.68$$

Помимо этого, программный комплекс позволяет оценить некоторые другие критерии для каждой из полученных моделей и сравнить расчетные и фактические значения зависимой переменной, как представлено на рисунке 2.

#### Значения зависимой переменной

#	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14
МСО	194.005	199.000	201.640	205.631	184.812	194.188	235.048	249.000	251.187	249.822	248.552	249.070	251.145	254.188
y	194.0	199.0	206.0	216.0	180.0	199.0	223.0	249.0	250.0	247.0	247.0	248.0	255.0	259.0

#### Критерии

#	E	M	K	O	Ф
МСО	1.68	51.70	368.93	12.05	87.00

Рис. 2. Значения зависимой переменной и критериев модели

Отметим, что диапазоны значений используемых критериев для всех построенных регрессионных моделей составляют:

$$n_{\text{см}} \in [0.91; 46.89]$$

$$\varepsilon \in [1.41; 2.25]$$

Критерии М (сумма модулей ошибок), К (сумма квадратов ошибок), О (максимальная по модулю ошибка), Ф (обобщенный критерий согласованности поведения) пригодятся исследователю при сравнении модели, полученной с помощью метода смешанного оценивания с моделями, полученными с помощью других методов оценивания параметров регрессионных уравнений [5,6].

**Заключение.** В работе поставлена задача выявления закономерности влияния некоторых показателей на ключевой результирующий фактор деятельности автомобильного транспорта – объем погрузки основных видов грузов. С помощью программного комплекса, кото-

рый осуществляет метод смешанного оценивания были смоделированы все возможные уравнения регрессий с целью построения модели с максимальным значением критерия смещения.

## БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Носков С.И. Технология моделирования объектов с нестабильным функционированием и неопределенностью в данных. Иркутск: Облформпечать.-1996. -320с.
2. Носков С.И. О методе смешанного оценивания параметров линейной регрессии// Информационные технологии и математическое моделирование в управлении сложными системами»: электрон. науч. журн. – 2019. – №1. – С. 14-20 .
3. Сайт Федеральной службы государственной статистики. - <https://www.gks.ru/>
4. Свидетельство о государственной регистрации программ для ЭВМ № 2021613497 Программный комплекс построения регрессионных уравнений методом смешанного оценивания с использованием критерия смещения / С.И. Носков, К.С. Перфильева (Россия); Правообладатель: Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Иркутский государственный университет путей сообщения» (ФГБОУ ВО ИРГУПС); заявка № 2021612560 01.03.2021; дата регистр. 09.03.2021
5. Носков С.И., Перфильева К.С. Эмпирический анализ некоторых свойств метода смешанного оценивания параметров линейного регрессионного уравнения// Наука и бизнес. 2020. №6. с.62-66.
6. Носков С.И., Перфильева К.С. Моделирование объема погрузки на железнодорожном транспорте методом смешанного оценивания// Известия тульского государственного университета. Технические науки. – 2021. – №2. –с. 148-153.

## REFERENCES

1. Noskov S. I. Technology of modeling objects with unstable functioning and uncertainty in the data. Irkutsk: Oblinformpechat. -1996. - 320s.
2. Noskov S. I. On the method of mixed estimation of linear regression parameters // Information technologies and mathematical modeling in the management of complex systems": electron. scientific journal-2019. - No. 1. - p. 14-20 .
3. Website of the Federal State Statistics Service. - <https://www.gks.ru/>
4. Certificate of state registration of computer programs No. 2021613497 Software package for constructing regression equations by the method of mixed estimation using the displacement criterion / S. I. Noskov, K. S. Perfileva (Russia); Owner: Federal State Budgetary Educational Institution of Higher Education "Irkutsk State University of Railway Engineering" (FSBEI VO IRGUPS); application No. 2021612560 01.03.2021; date register. 09.03.2021
5. Noskov S. I., Perfileva K. S. Empirical analysis of some properties of the method of mixed estimation of parameters of a linear regression equation// Science and Business. 2020. No. 6. pp. 62-66.
6. Noskov S. I., Perfileva K. S. Modeling of the volume of loading on railway transport by the method of mixed estimation// Proceedings of the Tula State University. Technical sciences. - 2021. - No. 2. - pp. 148-153.

## Информация об авторе

*Карина Сергеевна Перфильева* – аспирант, кафедра «Информационные системы и защита информации», Иркутский государственный университет путей сообщения, г. Иркутск, e-mail: 552649-171233@mail.ru

## Information about the author

*Karina Sergeevna Perfileva*-post-graduate student, Department "Information systems and information security", Irkutsk State Transport University, Irkutsk, e-mail: 552649-171233@mail.ru