

DOI 10.23859/1994-0637-2019-3-90-1

УДК 681.518.5,53.083.8, 621.398

© Горчакова Д. А., Шабалов В. А., 2019

Горчакова Дарья АндреевнаАспирант,
Череповецкий государственный университет
(Череповец, Россия)
E-mail: gor-daryana@mail.ru**Gorchakova Daria Andreevna**Post-graduate student,
Cherepovets State University
(Cherepovets, Russia)
E-mail: gor-daryana@mail.ru**Шабалов Виктор Александрович**Кандидат технических наук, доцент,
Череповецкий государственный университет
(Череповец, Россия)
E-mail: shabvic@mail.ru**Shabalov Victor Aleksandrovich**PhD in Technical Sciences,
Associate Professor,
Cherepovets State University
(Cherepovets, Russia)
E-mail: shabvic@mail.ru**НЕЧЕТКАЯ РЕГРЕССИОННАЯ
МОДЕЛЬ ПЛАНИРОВАНИЯ
ПОСТАВОК ПРОДУКЦИИ
МЕТАЛЛУРГИЧЕСКОГО
ПРЕДПРИЯТИЯ****FUZZY REGRESSION MODEL OF
METALLURGICAL PRODUCTS
INDUSTRY SUPPLIES PLANNING**

Аннотация. В данной статье разработана нечеткая регрессионная модель планирования поставок продукции металлургической отрасли. Произведен отбор факторных переменных, поставлена и решена задача линейной регрессии. В результате разработки нечеткой регрессионной модели и оценки коэффициентов выявлены факторные переменные, которые оказывают наибольшее влияние на динамику спроса, а также произведен прогноз поставок на будущие периоды. Применение модели на реальных данных металлургического производства обеспечивает значительное повышение точности прогнозирования в сравнении с существующими подходами (до 79 %).

Ключевые слова: прогнозирование, регрессионный анализ, металлургия, нечеткая модель, факторные переменные, спрос

Abstract. This paper is an expansion of the real fuzzy regression models research and it focuses on features of economical methods and mathematical modeling in demand forecasting. The fuzzy regression model for forecasting demand of metallurgical products industry is described. As a result of the fuzzy regression model development it has been found that the following factors have the greatest effect on the demand in the metallurgical industry. The fuzzy regression model allows forecasting demand for 1–12 months with an accuracy of 79 % and thus indicates a high prediction accuracy of the developed model.

Keywords: forecasting, regression analysis, metallurgy, fuzzy logic, factor variables, demand

Введение

Проблема учета неопределенности, неполноты и противоречивости данных занимает ключевое место в оценке планирования поставок продукции металлургической отрасли. Наиболее распространенным методом прогнозирования является регрессионный анализ [4]. Для получения качественной регрессионной модели необ-

ходима точная числовая статистическая информация. При анализе зависимости динамики спроса на продукцию металлургической отрасли от воздействующих факторов зачастую приходится иметь дело с информацией, которая не может быть задана точно. Для таких данных аппаратом формализации служит теория нечетких множеств Заде. В данном исследовании для оценки и прогноза поставок продукции металлургической отрасли предлагается нечеткая регрессионная модель [3], [5].

Основная часть

В задачах нечеткой регрессии, как и в классической регрессии, необходимо определить функцию зависимости между входными и выходными данными. В первую очередь напишем функцию зависимости в общем виде:

$$\tilde{Y} = f(\tilde{TИ}, \tilde{КД}, \tilde{ИПП}, \tilde{СЦм}, \tilde{ИПУ}, \tilde{СЦр}, \tilde{СЦк}), \quad (1)$$

где

$\tilde{TИ}$ – темпы инфляции

$\tilde{КД}$ – курс доллара

$\tilde{ИПП}$ – индекс промышленного производства

$\tilde{СЦм}$ – средние цены на металл

$\tilde{ИПУ}$ – индекс предпринимательской уверенности организаций по добыче полезных ископаемых

$\tilde{СЦр}$ – средние цены на железную руду

$\tilde{СЦк}$ – средние цены на коксующийся уголь

$\tilde{Y} = f(\tilde{TИ}, \tilde{КД}, \tilde{ИПП}, \tilde{СЦм}, \tilde{ИПУ}, \tilde{СЦр}, \tilde{СЦк})$ функция зависимости спроса от факторных переменных.

Решение нечеткой задачи линейной регрессии состоит из выявления произвольного члена и коэффициентов, описываемых следующей функцией [1], [2]:

$$\hat{Y} = a_0 + a_1 \cdot X_1 + a_2 \cdot X_2 + a_3 \cdot X_3 + a_4 \cdot X_4 + a_5 \cdot X_5 + a_6 \cdot X_6 + a_7 \cdot X_7. \quad (2)$$

Необходимо определять функцию, которая бы наиболее точно описывала значение результирующего показателя Y . Параметры модели $a_0, a_1 \dots a_7$ – нечеткие симметрические доверительные тройки чисел (числа, которые покрывают неизвестный параметр с заданной надежностью):

$$a_i = (a_i - b_i; a_i; a_i + b_i), \quad (3)$$

где a_i – наиболее вероятное значение коэффициента;

b_i – величина, которая описывает ширину размытости коэффициента (см. рис. 1).

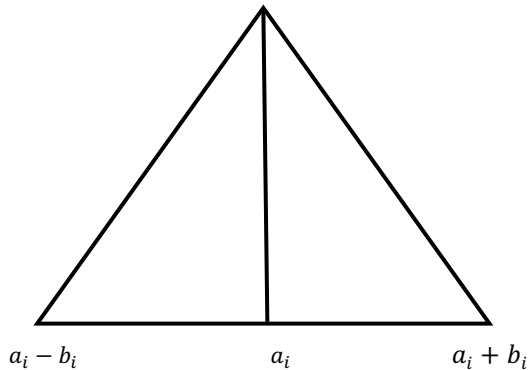


Рис. 1. Представление нечеткого числа a_i

При этом значение динамики поставок также станет нечеткой величиной [7]:

$$Y = (y_{down}, y_{mod}, y_{up}), \tag{4}$$

где

$$y_{down} = a_0 - b_0 + (a_1 - b_1) \cdot X_1 + (a_2 - b_2) \cdot X_2 + (a_3 - b_3) \cdot X_3 + (a_4 - b_4) \cdot X_4 + (a_5 - b_5) \cdot X_5 + (a_6 - b_6) \cdot X_6 + (a_7 - b_7) \cdot X_7;$$

$$y_{mod} = a_0 + a_1 \cdot X_1 + a_2 \cdot X_2 + a_3 \cdot X_3 + a_4 \cdot X_4 + a_5 \cdot X_5 + a_6 \cdot X_6 + a_7 \cdot X_7;$$

$$y_{down} = a_0 + b_0 + (a_1 + b_1) \cdot X_1 + (a_2 + b_2) \cdot X_2 + (a_3 + b_3) \cdot X_3 + (a_4 + b_4) \cdot X_4 + (a_5 + b_5) \cdot X_5 + (a_6 + b_6) \cdot X_6 + (a_7 + b_7) \cdot X_7.$$

В общем виде границы прогноза данных спроса можно записать следующим образом:

$$y_{down} = a_0 + \sum_{i=1}^7 a_i X_j - \left[b_0 + \sum_{i=1}^7 b_i X_j \right], \tag{5}$$

$$y_{mod} = a_0 + \sum_{i=1}^7 a_i X_i, \tag{6}$$

$$y_{up} = a_0 + \sum_{i=1}^7 a_i X_j + \left[b_0 + \sum_{i=1}^7 b_i X_j \right]. \tag{7}$$

С целью планирования поставок используются 3 сценария, ориентированные на различные варианты развития ситуации (средний, оптимистический и пессимистический). Метод среднего сценария является одним из наиболее употребляемых среди всех методов прогнозирования на будущее и позволяет получить достоверные результаты при стабильном развитии. Метод оптимистического сценария дает верные результаты при таком развитии, когда темпы роста стремительно меняются, а метод

пессимистического сценария прогнозирования – при развитии, когда темп спада ускоренно меняется.

Решение задачи планирования поставок сводится к следующим ограничениям [1]:

$$y_{down} \leq y_j \leq y_{up} \quad (8)$$

Для построения нелинейной регрессионной модели используются данные временного ряда (значения факторных переменных и целевого показателя – фактического объема поставок) в период с июня 2016 г. по январь 2019 г.

Решение нелинейной регрессионной модели сводится к решению задачи линейного программирования с пороговым значением (это количественные индикаторы, численно отражающие предельно допустимые с позиции экономических интересов соотношения), 16 неизвестными и 70 ограничениями вида [2], [9]:

$$y_j \geq a_0 + \sum_{i=1}^7 a_i X_j - (1 - h) \left[b_0 + \sum_{i=1}^7 b_i X_j \right], \quad (9)$$

$$y_j \leq a_0 + \sum_{i=1}^7 a_i X_j + (1 - h) \left[b_0 + \sum_{i=1}^7 b_i X_j \right], \quad (10)$$

где h – некоторое заданное наперед пороговое значение.

В качестве примера приведем ограничения для первого наблюдения выборки:

$$19748 \geq a_0 + 0,51a_1 + 31,35a_2 + 105,4a_3 + 20193,2a_4 + 4a_5 + 1759,06a_6 + 1\,674,98a_7 - (1 - h)(b_0 + 0,51b_1 + 31,35b_2 + 105,4b_3 + 20193,2b_4 + 4b_5 + 1759,06b_6 + 1\,674,98b_7);$$

$$19748 \leq a_0 + 0,51a_1 + 31,35a_2 + 105,4a_3 + 20193,2a_4 + 4a_5 + 1759,06a_6 + 1\,674,98a_7 + (1 - h)(b_0 + 0,51b_1 + 31,35b_2 + 105,4b_3 + 20193,2b_4 + 4b_5 + 1759,06b_6 + 1\,674,98b_7).$$

Дальнейшие расчеты были произведены с использованием MS Excel. В зависимости от заданного значения порогового показателя найдены различные решения: чем больше h , тем большую уверенность мы хотим получить, а следовательно, значение нечеткой объясняемой переменной регрессии будет более размытым [6], [8].

Путем решения проблемы линейного программирования с целевой функцией и ограничивающими условиями получаем оценочные интервальные коэффициенты, исследуемые по каждому пороговому значению, которые указаны в таблице.

Оценка нечетких коэффициентов нечеткой регрессионной модели

h	0,2	0,5	0,75
a_0	0	0	0
a_1	8417,32	8417,32	8417,32
a_2	0	0	0
a_3	0	0	0
a_4	0	0	0
a_5	1470,93	1470,93	1470,93
a_6	5,44	5,44	5,44
a_7	0	0	0
b_0	0	0	0
b_1	0	0	0
b_2	0	0	0
b_3	0	0	0
b_4	0	0	0
b_5	895,75	1433,2	2866,4
b_6	0	0	0
b_7	0	0	0

В результате разработки нечеткой регрессионной модели и оценки коэффициентов выявлено, что наибольшее влияние на динамику поставок в металлургической отрасли имеют следующие факторные переменные:

- темпы инфляции;
- индекс предпринимательской уверенности организаций по добыче полезных ископаемых;
- средние цены на железную руду, руб.

Выявлено, что показатель «индекс предпринимательской уверенности организаций по добыче полезных ископаемых» является нечеткой величиной, и определены интервалы нечеткости при различных значениях порогового показателя.

Исходя из данных таблицы, нечеткая регрессионная модель имеет следующий вид:

$$h=0,2; \\ Y = 8417,32 * X_1 + < 575,18; 1470,93; 2366,75 > * X_5 + 5,44 * X_6. \quad (11)$$

$$h=0,5; \\ Y = 8417,32 * X_1 + < 37,73; 1470,93; 2904,13 > * X_5 + 5,44 * X_6. \quad (12)$$

$$h=0,75; \\ Y = 8417,32 * X_1 + < -1395,47; 1470,93; 4337,33 > * X_5 + 5,44 * X_6. \quad (13)$$

Оптимальным для прогнозирования поставок продукции металлургической отрасли является значение порогового показателя 0,2. Данное значение позволяет учесть нечеткость величины в регрессионной модели. Модель с $h=0,2$ лучше описывает изучаемую зависимость.

Результаты прогнозирования поставок с помощью нечеткой регрессионной модели при пороговом значении 0,2 представлены на рис. 2.

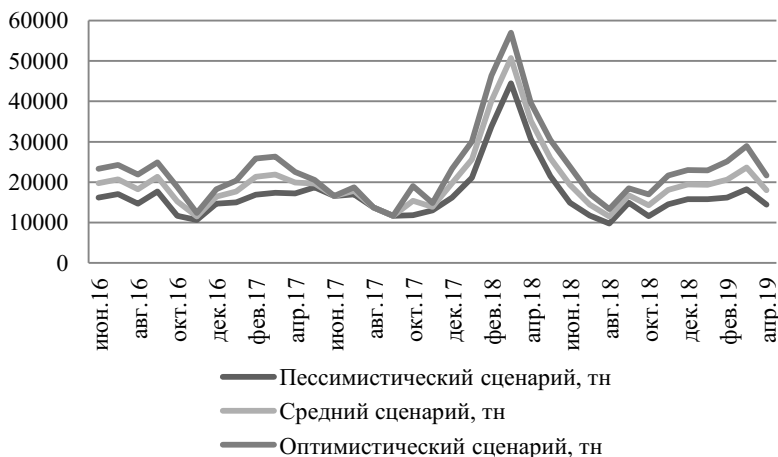


Рис. 2. Динамика поставок с применением нечеткой регрессионной модели

На графике представлен пессимистический, средний и оптимистический сценарии прогнозирования поставок, а также фактический объем поставок за исследуемый период. При расчете используем окончательный вариант трехфакторной нечеткой регрессионной модели. Получаем следующие прогнозные значения по среднему сценарию за февраль – апрель соответственно: 20 619 т, 23 590 т, 18 040 т.

Сравнение реальных и прогнозных значений по среднему, пессимистическому и оптимистическому сценариям спроса на рулон горячекатаный представлено на рис. 3.



Рис. 3. Сравнение прогнозных и фактических данных поставок

Выводы

Анализируя прогнозные данные планирования поставок, можно сделать следующие выводы: в феврале прогнозные значения показателя выше реального на 3,5 %, в марте – выше на 1,1 %, в апреле – ниже на 7 %.

При оценке модели можно отметить, что, согласно влиянию экономических показателей, в марте должен был ожидаться рост поставок на рулон горячекатаный. В данном случае для корректной оценки необходимо влияние производственных возможностей предприятия.

Оценим точность модели прогнозирования путем соотнесения фактических поставок с прогнозом. В целом точность модели прогнозирования (отношения фактических поставок к прогнозу) составляет 79 %, что говорит о высокой точности результата разработанной нечеткой регрессионной модели прогнозирования.

Литература

1. Волкова Е. С., Гисин В. Б. Нечеткая линейная регрессия в оценке недвижимости // Вопросы оценки. 2015. № 1 (79). С. 26–33.
2. Волкова Е. С., Гисин В. Б. Нечеткая линейная регрессия в модели роста технологических знаний // Вестник Финансового университета. 2015. № 5 (89). С. 97–104.
3. Горчакова Д. А., Шабалов В. А. Регрессионная модель прогнозирования спроса на продукцию металлургической отрасли // Научная мысль. 2017. № 1 (23). С. 73–82.
4. Горчакова Д. А., Шабалов В. А. О применении имитационного моделирования для прогнозирования спроса на продукцию металлургической отрасли // Экономика и управление в XXI веке: наука и практика (26–27 мая 2017 г.): материалы V Международной научно-практической очно-заочной конференции. Череповец, 2017. С. 108–116.
5. Горчакова Д. А., Шабалов В. А. Многоподходное имитационное моделирование как средство анализа и прогнозирования спроса на продукцию металлургической отрасли // Череповецкие научные чтения – 2017 (21–22 ноября 2017 г.): материалы Всероссийской научно-практической конференции: в 3 ч. Череповец: Череповецкий государственный университет, 2018. Ч. 3. С. 59–62.
6. Домрачев В. Г., Полещук О. М. О построении регрессионной модели при нечетких исходных данных // Автоматика и телемеханика. 2003. № 11. С. 74–83.
7. Чернов В. Г. Краткосрочное прогнозирование на основе свертки нечетких гипотез // Информационно-управляющие системы. 2005. № 3 (16). С. 50–57.
8. Bardossy A. Note on fuzzy regression // Fuzzy Sets and Systems. 2009. № 37. P. 66–75.
9. Martinetti C. A new approach to the evaluation of well-being and poverty by fuzzy set theory // Giornale Degli Economisti e Annali di Economia. 2014. № 53. P. 367–388.

References

1. Volkova E. S., Gisin V. B. Nechetkaia lineinaia regressiia v otsenke nedvizhimosti [Fuzzy linear regression in property valuation]. *Voprosi Ocenki* [The Appraisal Issues], 2015, no. 1 (79), pp. 26–33.
2. Volkova E. S., Gisin V. B. Nechetkaia lineinaia regressiia v modeli rosta tekhnologicheskikh znanii [The use of fuzzy linear regression in the model of technological knowledge growth]. *Vestnik Finansovogo universiteta* [Finance. Theory and Practice], 2015, no. 5 (89), pp. 97–104.

3. Gorchakova D. A., Shabalov V. A. Regressionnaia model' prognozirovaniia sprosna na produktsiiu metallurgicheskoi otrasli [The regression model for forecasting demand of metallurgical products industry]. *Nauchnaia mysl'* [Scientific thought], 2017, no. 1 (23), pp. 73–82.

4. Gorchakova D. A., Shabalov V. A. O primeneniim imitatsionnogo modelirovaniia dlia prognozirovaniia sprosna na produktsiiu metallurgicheskoi otrasli [Applying simulation modelling for forecasting demand of metallurgical products industry]. *Ekonomika i upravlenie v XXI veke: nauka i praktika (26–27 maia 2017): materialy V Mezhdunarodnoi nauchno-prakticheskoi ochno-zaochnoi konferentsii* [Economics and management in the XXI century: science and practice (26–27 May 2017): Proceedings of V International research and practice conference]. Cherepovets, 2017, pp. 108–116.

5. Gorchakova D. A., Shabalov V. A. Mnogopodkhodnoe imitatsionnoe modelirovanie kak sredstvo analiza i prognozirovaniia sprosna na produktsiiu metallurgicheskoi otrasli [Multimethod simulation modelling as a tool for analysis and forecasting demand of metallurgical products industry]. *Cherepovetskie nauchnye chteniia – 2017 (21–22 noiabria 2017 g.): materialy Vserossiiskoi nauchno-prakticheskoi konferentsii: v 3 ch.* [Cherepovets scientific readings – 2017 (21–22 November 2017): Proceedings of the all-Russian research and practice conference: in 3 vol.]. Cherepovets: Cherepovetskii gosudarstvennyi universitet, 2018, vol. 3, pp. 59–62.

6. Domrachev V. G., Poleshuk O. M. O postroenii regressionnoi modeli pri nechetkikh iskhodnykh dannyykh [A regression model for fuzzy initial data]. *Avtomatika i telemekhanika* [Automation and Remote Control], 2003, no. 11, pp. 74–83.

7. Chernov V. G. Kratkosrochnoe prognozirovanie na osnove svertki nechetkikh gipotez [Short-term forecasting based on the convolution of fuzzy hypotheses]. *Informatsionno-upravliaiushchie sistemy* [Information and Control Systems], 2005, no. 3 (16), pp. 50–57.

8. Bardossy A. Note on fuzzy regression. *Fuzzy Sets and Systems*, 2009, no. 37, pp. 66–75.

9. Martinetti C. A new approach to the evaluation of well-being and poverty by fuzzy set theory. *Giornale Degli Economisti e Annali di Economia*, 2014, no. 53, pp. 367–388.

Для цитирования: Горчакова Д. А., Шабалов В. А. Нечеткая регрессионная модель планирования поставок продукции металлургического предприятия // Вестник Череповецкого государственного университета. 2019. № 3 (90). С. 9–16. DOI: 10.23859/1994-0637-2019-3-90-1

For citation: Gorchakova D. A., Shabalov V. A. Fuzzy regression model of metallurgical products industry supplies planning. *Bulletin of the Cherepovets State University*, 2019, no. 3 (90), pp. 9–16. DOI: 10.23859/1994-0637-2019-3-90-1