



Международный журнал информационных технологий и энергоэффективности

Сайт журнала:

<http://www.openaccessscience.ru/index.php/ijcse/>



УДК 004.89

## РЕШЕНИЕ ЗАДАЧИ ПРОГНОЗИРОВАНИЯ РАЗВИТИЯ ТРАНСПОРТА С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ НЕЧЕТКОЙ ЛОГИКИ

**Маренкова А.В.**

*ФГОБУ ВО "ФИНАНСОВЫЙ УНИВЕРСИТЕТ ПРИ ПРАВИТЕЛЬСТВЕ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ", Москва, Россия (125167, город Москва, Ленинградский проспект, д. 49/2), e-mail: 212173@edu.fa.ru*

**В работе исследуется прогнозирование развития транспортных потоков. В качестве данных для моделирования были взяты изменчивые в течении исследуемых периодов пассажиропотоки – железнодорожный и воздушный. Проведено сравнение методов нечёткой и четкой регрессии. Показаны результаты моделирования транспортных потоков на четких и нечетких переменных.**

Ключевые слова: Нечеткие числа, моделирование транспортных потоков, регрессия.

## SOLVING THE PROBLEM OF FORECASTING THE DEVELOPMENT OF TRANSPORT USING FUZZY LOGIC

**Marenkova A.V.**

*FINANCIAL UNIVERSITY UNDER THE GOVERNMENT OF THE RUSSIAN FEDERATION, Moscow, Russia (125167, Moscow, Leningradsky Prospekt, 49/2), e-mail: 212173@edu.fa.ru*

**The paper examines the forecasting of the development of traffic flows. As data for modeling, passenger flows that were variable during the studied periods – rail and air - were taken. Fuzzy and clear regression methods are compared. The results of modeling traffic flows on clear and fuzzy variables are shown.**

Keywords: fuzzy numbers, traffic flow modeling, regression.

Теоретические аспекты моделирования транспортных потоков, специфика видов транспорта и применяемых для них методов моделирования были описаны ранее в работе [1]. В данной работе будут рассмотрены практические результаты применения нечёткой логики для потоков. Исходные данные были взяты с основных открытых источников по статистике – Федеральной службы государственной статистики (Росстат) [2] и Единой межведомственной информационно-статистическая система (ЕМИСС) [3]. Динамика пассажиропотока отражена на Рисунке 1. Водный транспорт и городской общественный транспорт (трамваи, троллейбусы и метрополитен) имеет небольшие изменения как в течение года (Рисунок 1а), так и на протяжении периода 1970-2023 гг., автобусы имеют определённую стабильность в последние годы, железнодорожный и воздушный транспорты динамичны в течении года и рассматриваемых периодов, ввиду чего они будут взяты для исследования.

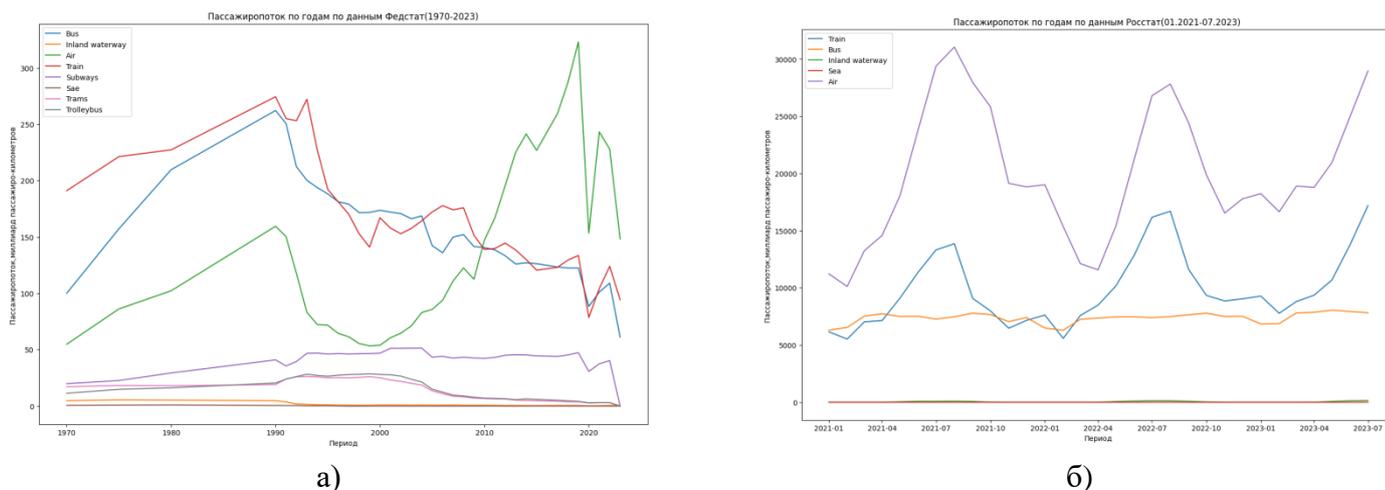


Рисунок 1 – Пассажиропоток по годам: а) данные Росстат; б) данные Федстат

Углубляясь в математический смысл используемых методов регрессии, можно сказать, что четкая регрессия усредняет данные по линейному закону, где значения функции в определённый момент напрямую зависят от одного коэффициента и может иметь ненулевое отклонение при  $t=0$ , как видно по формуле:

$$Y_t = a * t + b, \tag{1}$$

где  $t$  – расчетный период;

$Y_t$  – величина тренда периода  $t$ ;

$a$  и  $b$  – коэффициенты ( $a$  выражает степень зависимости исследуемого показателя  $Y_t$  от влияющего фактора  $t$ ,  $b$  представляет собой смещение регрессии).

Функция нечёткой регрессии  $\tilde{f}$  в отличие от четкой имеет зависимость от нечеткого вектора параметров модели  $\tilde{A}$ , отклоняясь от прямой закономерной зависимости:

$$\tilde{f}(X) = \tilde{A}_0 x_0 + \tilde{A}_1 x_1 + \dots + \tilde{A}_N x_N \tag{2}$$

где  $X = (x_0 \dots x_N)$  - объясняющие независимые переменные.

Задача программирования нечёткой регрессии требует определения уровня нечеткости, списка ограничений и целевой функции, в свою очередь нечеткие числа могут иметь треугольную форму, в усложненных случаях могут быть четырехуровневыми [4].

В качестве инструмента для моделирования транспортных потоков был выбран Python. Благодаря применению модуля `matplotlib.pyplot`[5] и `sklearn.linear_model.LinearRegression` [6] были построены графики линейной регрессии для наборов данных воздушного (Рисунок 2а-б) и железнодорожного (Рисунок 2в-г) транспорта. Воздушный пассажирооборот растет с годами (Рисунок 2а), при этом в последние периоды на фоне сезонности рост не велик (Рисунок 2б), железнодорожный имеет отличную тенденцию – он снижается (Рисунок 2в), но в рамках сезонности последних лет наблюдается рост (Рисунок 2г), что видно по линии тренда (красная линия на графиках).

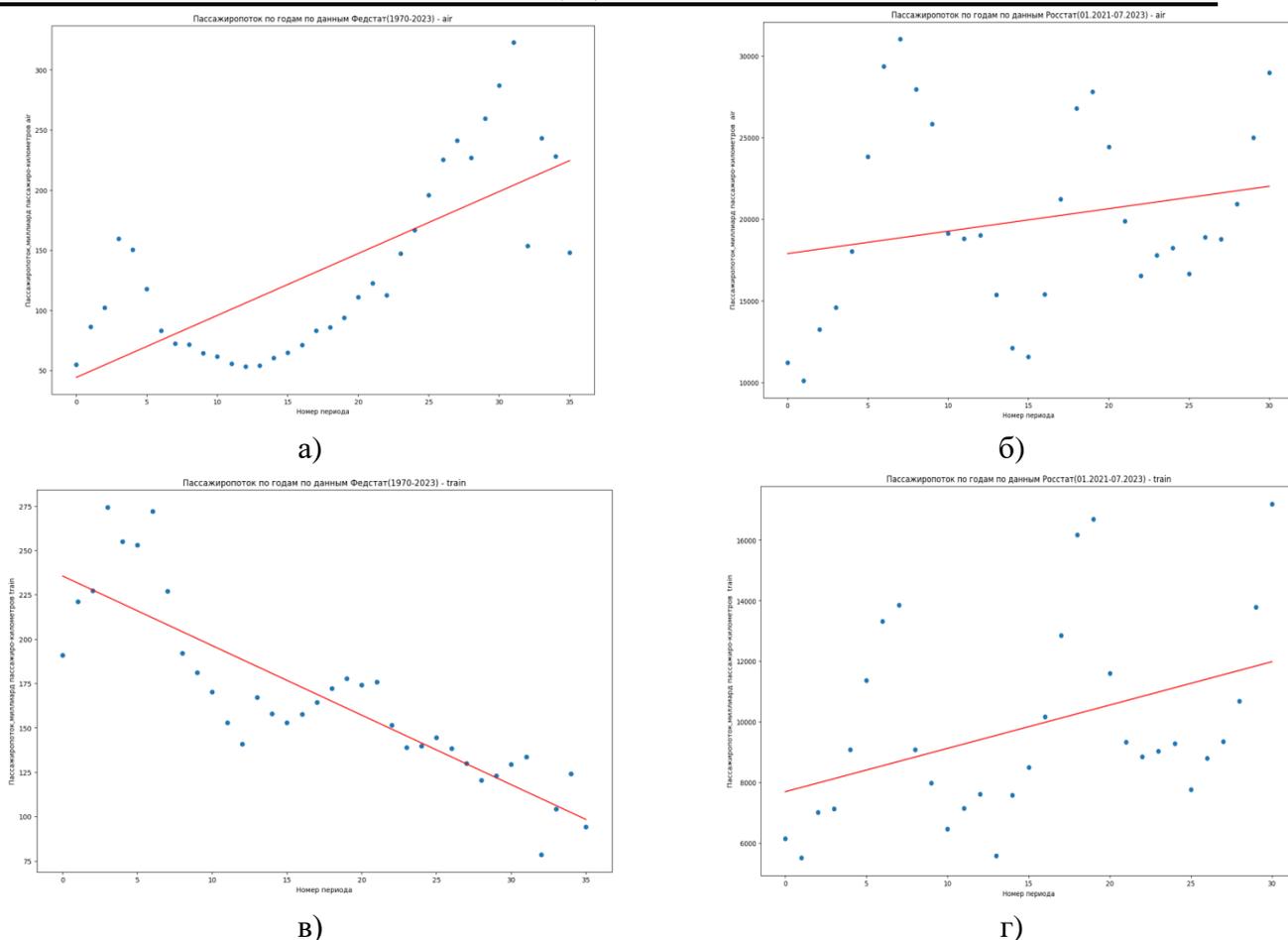


Рисунок 2 – Линейная регрессия: а) данные Федстат, воздушный; б) данные Росстат, воздушный; в) данные Федстат, железнодорожный; г) данные Росстат, железнодорожный

Нечёткая линейная регрессия была построена с применением модуля `svxhорт.modeling[7]` (Рисунок 3). Уровень нечёткости был взят 0.6, наиболее возможная оценка прогноза – линейная регрессия рассчитанная ранее, нижняя и верхняя оценка прогноза – границы в пределах, которых могут колебаться данные с учётом неопределённости.

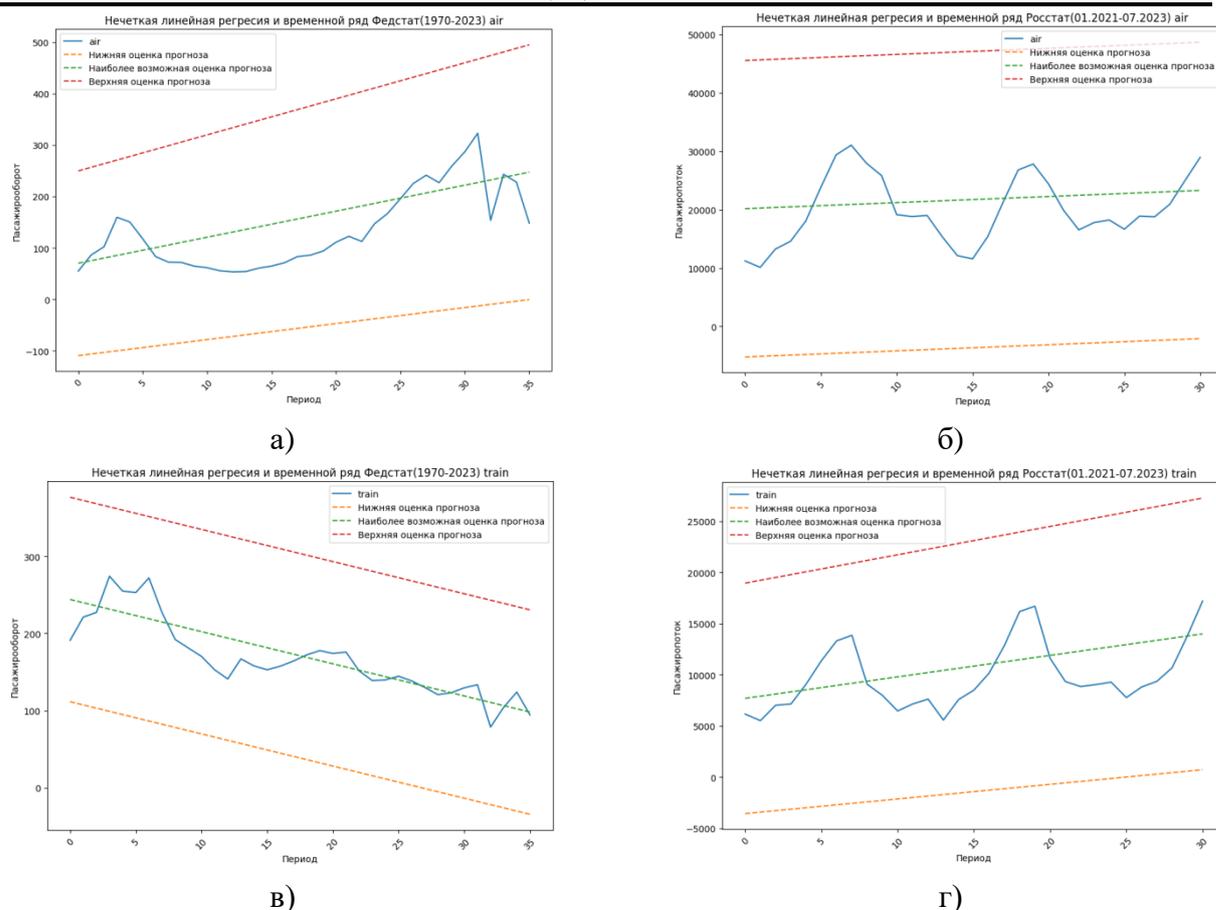


Рисунок 3 – Нечёткая регрессия: а) данные Федстат, воздушный; б) данные Росстат, воздушный; в) данные Федстат, железнодорожный; г) данные Росстат, железнодорожный

Результаты применяемых методов – линейной и нечёткой регрессии – показали тенденции развития видов транспорта. Различия методов заключается в том, что линейная даёт основное направление, а нечёткая регрессия даёт ещё и границы с учётом заданной неопределенности. Как видно на Рисунке 3, по данным Росстата, где наблюдается сезонность более широкие границы, по данным Федстата, границы у железнодорожного транспорта почти параллельны центральным наблюдениям, а у воздушного транспорта границы расширяются в последних периодах.

В заключение можно сделать вывод о том, что нечёткая регрессия применяется в тех случаях, где есть некая неопределённость данных, степень которой может быть оценена после проведения моделирования.

## Список литературы

1. Маренкова, А. В. Моделирование транспортных потоков с использованием нечетких переменных / А. В. Маренкова // Международный журнал информационных технологий и энергоэффективности. – 2023. – Т. 8, № 9(35). – С. 4-10. – EDN FPTBGC.
2. Росстат Транспорт [Электронный ресурс] – URL: <https://rosstat.gov.ru/statistics/transport> (дата обращения: 13.11.2023)

3. Пассажирооборот по видам транспорта общего пользования [Электронный ресурс] – URL: <https://www.fedstat.ru/indicator/31313> (дата обращения: 13.11.2023)
4. Souhir Charfeddine, Felix Mora-Camino, Marc de Coligny Fuzzy linear regression : application to the estimation of airtransport demand/ Souhir Charfeddine, Felix Mora-Camino, Marc de Coligny [Электронный ресурс]://[сайт]. — URL:<https://enac.hal.science/hal-01022443> (дата обращения: 13.11.2023).
5. matplotlib.pyplot [Электронный ресурс] – URL: [https://matplotlib.org/stable/api/pyplot\\_summary.html](https://matplotlib.org/stable/api/pyplot_summary.html) (дата обращения: 13.11.2023)
6. sklearn.linear\_model.Линейная регрессия [Электронный ресурс] – URL: [https://scikit-learn.org/stable/modules/generated/sklearn.linear\\_model.LinearRegression.html](https://scikit-learn.org/stable/modules/generated/sklearn.linear_model.LinearRegression.html) (дата обращения: 13.11.2023)
7. Modeling□[Электронный ресурс] – URL: <https://cvxopt.org/userguide/modeling.html> (дата обращения: 13.11.2023)

## References

1. Marenkova, A.V. Modeling of transport flows using fuzzy variables / A.V. Marenkova // International Journal of Information Technology and Energy Efficiency. – 2023. – Vol. 8, No. 9(35). – pp. 4-10. – EDN FPTBGC.
  2. Rosstat Transport [Electronic resource] – URL: <https://rosstat.gov.ru/statistics/transport> (accessed: 13.11.2023)
  3. Passenger turnover by types of public transport [Electronic resource] – URL: <https://www.fedstat.ru/indicator/31313> (accessed: 13.11.2023)
  4. Souhir Charfeddine, Felix Mora-Camino, Marc de Coligny Fuzzy linear regression : application to the estimation of airtransport demand / Souhir Charfeddine, Felix Mora-Camino, Marc de Coligny [Electronic resource] // : [website]. — URL: <https://enac.hal.science/hal-01022443> (accessed: 13.11.2023).
  5. matplotlib.pyplot [Electronic resource] – URL: [https://matplotlib.org/stable/api/pyplot\\_summary.html](https://matplotlib.org/stable/api/pyplot_summary.html) (accessed: 13.11.2023)
  6. sklearn.linear\_model.Linear regression [Electronic resource] – URL: [https://scikit-learn.org/stable/modules/generated/sklearn.linear\\_model.LinearRegression.html](https://scikit-learn.org/stable/modules/generated/sklearn.linear_model.LinearRegression.html) (accessed: 13.11.2023)
  7. Modeling□[Electronic resource] – URL: <https://cvxopt.org/userguide/modeling.html> (accessed: 13.11.2023)
-