

УДК 330.1

doi:10.18720/SPBPU/2/id24-521

*Нгуен Тхи Тху Зунг*<sup>1</sup>,  
аспирант;

*Черненко Людмила Васильевна*<sup>2</sup>,  
профессор, д-р техн. наук, ст. науч. сотр.

## **ИНТУИЦИОНИСТСКАЯ НЕЧЕТКАЯ СИСТЕМА ВЫВОДА**

<sup>1,2</sup> Россия, Санкт-Петербург,  
Санкт-Петербургский политехнический университет Петра Великого,  
<sup>1</sup> thudung.mta.tb@gmail.com, <sup>2</sup> chern\_lv@spbstu.ru

**Аннотация.** В настоящее время системы нечеткого вывода находят разнообразное и эффективное применение в различных областях, таких как: управление, поддержка принятия решений, прогнозирование и др. Вместе с тем возникла интуиционистская нечеткая теория, которая применяется для повышения эффективности систем нечетких выводов. Разработка интуиционистских нечетких систем рассуждений достаточно нова и требует разработки моделей для увеличения результативности. Поэтому в данной статье предлагается интуиционистская нечеткая система рассуждений с использованием весов признаков для повышения эффективности работы с многофакторными системами.

**Ключевые слова:** интуиционистская нечеткая система вывода, интуиционистская нечеткая система правил, интуиционистская дефаззификация, интуиционистская нечеткая логика, веса атрибутов.

*Nguyen Thi Thu Dung*<sup>1</sup>,  
Postgraduate Student;  
*Liudmila V. Chernenkaya*<sup>2</sup>,  
Professor, Doctor of Technical Sciences

## INTUITIONISTIC FUZZY INFERENCE SYSTEM

<sup>1,2</sup> Peter the Great St.Petersburg Polytechnic University, St. Petersburg, Russia,  
<sup>1</sup> thudung.mta.tb@gmail.com, <sup>2</sup> chern\_lv@spbstu.ru

**Abstract.** Nowadays, fuzzy inference systems find diverse and effective applications in various fields such as: control, decision making support, forecasting. Along with this, intuitionistic fuzzy theory has emerged and is applied to improve the efficiency of fuzzy inference systems. The development of intuitionistic fuzzy reasoning systems is still quite new and requires the development of models to increase the performance. Therefore, this paper proposes an intuitionistic fuzzy reasoning system using feature weights to improve the performance of multifactor systems.

**Keywords:** intuitionistic fuzzy inference system, intuitionistic fuzzy rule system, intuitionistic defuzzification, intuitionistic fuzzy logic, attribute weighting.

### **Введение**

Люди склонны выражать свои знания с помощью естественного языка, а некоторые слова описывают абстрактные объекты или опыт в нечетких терминах. По этой причине нечеткие множества предложены для моделирования данных и представления знаний [1, 2]. С другой стороны, системы нечеткого вывода (FIS) применимы для построения систем управления и распознавания образов, также основанных на нечетких данных. Тем не менее, иногда возникают ситуации, когда традиционная FIS не может правильно моделировать определенные наборы данных из-за высокого уровня неопределенности, присутствующей в данных (например, шума). По этой причине нечеткие множества расширены до интуиционистских нечетких множеств (IFS). В основном элемент, принадлежащий IFS, описывается степенью принадлежности ( $\mu$ ) и степенью непринадлежности ( $\delta$ ). Можно выразить, насколько хорошо элемент принадлежит нечеткому множеству и насколько хорошо элемент не принадлежит этому нечеткому множеству. Как следствие, сумма значений принадлежности и непринадлежности не всегда равна 1, а  $1 - (\mu + \delta)$  будет называться неопределенностью, которая обозначается символом  $\pi$ . Системы интуиционистских нечетких выводов (IFIS), реализующие интуиционистские нечеткие множества, имеют как минимум два преимущества:

1) могут работать с большей неопределенностью, чем традиционные FIS, и могут обрабатывать свои выводы до четких значений практически без влияния на производительность ресурсов;

2) обеспечивают более высокую эффективность, чем обычные системы вывода.

Однако применение интуиционистской нечеткой теории все еще достаточно ново и ограничено представлено в литературе. Поэтому в данной статье предлагается система нечеткого вывода, основанная на интуиционистской теории нечеткости, с улучшениями для повышения результативности, в частности, в задаче прогнозирования [3–5].

### 1. Предложенная интуиционистская нечеткая система выводов

Предложенная интуиционистская нечеткая система вывода построена на основе интуиционистской нечеткой теории. В частности, система модифицирована таким образом, чтобы подходить для многоатрибутных объектов с определением весов атрибутов с помощью метода анализа главных компонент, и, в то же время, в предлагаемой системе применяется метод интуиционистской нечеткой кластеризации С-средних для интуитивно-фаззификации данных. Предложенная интуиционистская нечеткая система выводов используется в качестве основы для построения модели прогнозирования (см. рис. 1).

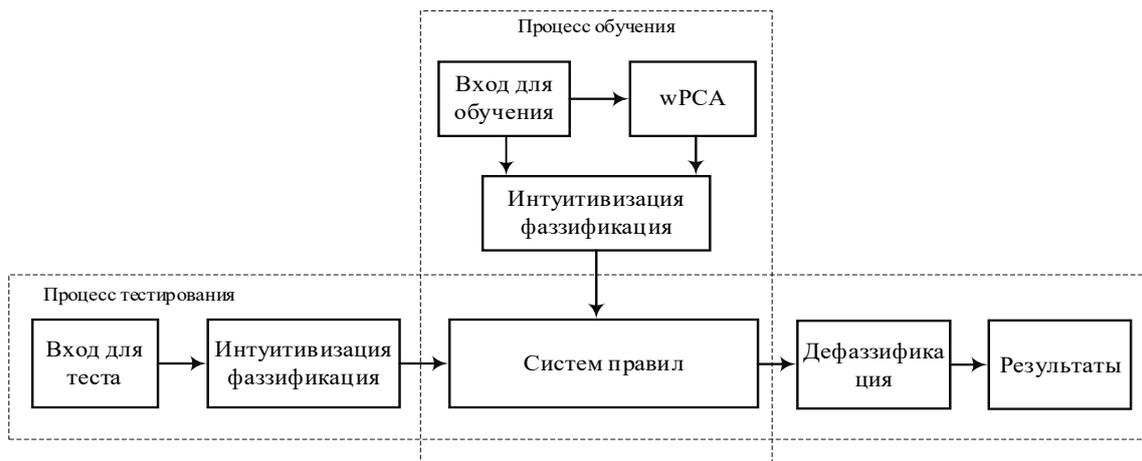


Рис. 1. Предложенная интуиционистская нечеткая система выводов

### 2. Процесс внедрения предлагаемой модели

Алгоритм предложенной модели реализуется в соответствии со следующими этапами.

#### 2.1. Процесс обучения

**Шаг 1.** Ввод исходных обучающих данных с  $n$  элементами  $X$  в  $s$ -мерном пространстве и  $n$  соответствующими элементами  $Y$ .

$$X = \begin{bmatrix} x_{11} & x_{12} & \dots & x_{1s} \\ x_{21} & x_{22} & \dots & x_{2s} \\ \dots & \dots & \dots & \dots \\ x_{n1} & x_{n2} & \dots & x_{ns} \end{bmatrix}; Y = \begin{bmatrix} y_1 \\ y_2 \\ \vdots \\ y_n \end{bmatrix}$$

**Шаг 2.** Определение весов главных компонент. Веса компонент, соответствующих размерности  $X$ , определяются методом весов главных компонент, упомянутым на фазе  $\Phi - W$ .

$$\bar{X} = \begin{bmatrix} \bar{x}_{11} & \bar{x}_{12} & \cdots & \bar{x}_{1m} \\ \bar{x}_{21} & \bar{x}_{22} & \cdots & \bar{x}_{2m} \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ \bar{x}_{n1} & \bar{x}_{n2} & \cdots & \bar{x}_{nm} \end{bmatrix};$$

веса атрибутов  $\omega = [\omega_1 \ \omega_2 \ \cdots \ \omega_m]$ .

**Шаг 3.** Фаззификация. Определяются степени принадлежности и непринадлежности и коэффициент колебаний входных данных  $X$ , соответствующих каждому измерению, к интуиционистским нечетким множествам (соответственно кластерам).

$$A_c^i = \left\{ \left( \bar{x}_j, \mu_{A_c^i}(\bar{x}_j), \delta_{A_c^i}(\bar{x}_j), \pi_{A_c^i}(\bar{x}_j) \right) \mid \bar{x}_j \in \bar{X} \right\},$$

где  $i = \overline{1, m}$ ;  $j = \overline{1, n}$ ;  $c$  – количество интуиционистских нечетких множеств.

**Шаг 4.** Построение системы нечетких правил. Нечеткая система правил включает компонент условия «ЕСЛИ» и компонент решения «ТО», которые определяются следующим образом:

**Под-шаг 4.1.** Система условий «ЕСЛИ» соответствует значениям  $X$ , определяются лингвистические переменные, соответствующие нечетким множествам для случая принадлежности и для случая непринадлежности.

	<b>Для <math>IFIS^\mu</math>:</b>					<b>Для <math>IFIS^\delta</math>:</b>			
$IFIS^\mu$	1	2	...	$m$	$IFIS^\delta$	1	2	...	$m$
$R_1^\mu$	$A_1^{\mu,1}$	$A_2^{\mu,1}$	...	$A_m^{\mu,1}$	$R_1^\delta$	$A_1^{\delta,1}$	$A_2^{\delta,1}$	...	$A_m^{\delta,1}$
$R_2^\mu$	$A_1^{\mu,2}$	$A_2^{\mu,2}$	...	$A_m^{\mu,2}$	$R_2^\delta$	$A_1^{\delta,2}$	$A_2^{\delta,2}$	...	$A_m^{\delta,2}$
$\vdots$	$\vdots$	$\vdots$	$\ddots$	$\vdots$	$\vdots$	$\vdots$	$\ddots$	$\vdots$	$\vdots$
$R_n^\mu$	$A_1^{\mu,n}$	$A_2^{\mu,n}$	...	$A_m^{\mu,n}$	$R_n^\delta$	$A_1^{\delta,n}$	$A_2^{\delta,n}$	...	$A_m^{\delta,n}$

<p><b>ЕСЛИ</b> <math>\omega_1 x_1</math> является <math>A_1^{\mu,j}</math> <b>И</b> <math>\omega_2 x_2</math> является <math>A_2^{\mu,j}</math> <b>И</b> ... <b>И</b> <math>\omega_i x_i</math> является <math>A_i^{\mu,j}</math> <b>И</b> ... <b>И</b> <math>\omega_m x_m</math> является <math>A_m^{\mu,j}</math> <b>ТО</b></p> <p><math>y_j^\mu = a_{1,j}^\mu x_1 + \dots + a_{i,j}^\mu x_i + \dots + a_{m,j}^\mu x_m + b^\mu.</math></p>	<p><b>ЕСЛИ</b> <math>\omega_1 x_1</math> является <math>A_1^{\delta,j}</math> <b>И</b> <math>\omega_2 x_2</math> является <math>A_2^{\delta,j}</math> <b>И</b> ... <b>И</b> <math>\omega_i x_i</math> является <math>A_i^{\delta,j}</math> <b>И</b> ... <b>И</b> <math>\omega_m x_m</math> является <math>A_m^{\delta,j}</math> <b>ТО</b></p> <p><math>y_j^\delta = a_{1,j}^\delta x_1 + \dots + a_{i,j}^\delta x_i + \dots + a_{m,j}^\delta x_m + b^\delta.</math></p>
--	---

**Под-шаг 4.2.** Компонента решения «ТО» соответствует значениям  $Y$  и определяется линейными уравнениями  $y_j^\mu$  для принадлежности и  $y_j^\delta$  для непринадлежности. Параметры системы уравнений определяются через  $\theta_j^\mu$  для принадлежности и  $\theta_j^\delta$  для непринадлежности. Во-первых, матрица значений принадлежности и непринадлежности элементов  $x_j$  ( $j = \overline{1, n}$ ) для интуиционистских нечетких множеств в системе правил «ЕСЛИ» выражается следующим образом:

*Для IFIS<sup>μ</sup>:*

$$\begin{array}{ccccc}
 (X^j) & 1 & 2 & \dots & m \\
 R_1^\mu & \mu_j^{A_1^{\mu,1}} & \mu_j^{A_2^{\mu,1}} & \dots & \mu_j^{A_m^{\mu,1}} \\
 R_2^\mu & \mu_j^{A_1^{\mu,2}} & \mu_j^{A_2^{\mu,2}} & \dots & \mu_j^{A_m^{\mu,2}} \\
 \vdots & \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\
 R_n^\mu & \mu_j^{A_1^{\mu,n}} & \mu_j^{A_2^{\mu,n}} & \dots & \mu_j^{A_m^{\mu,n}}
 \end{array}$$

*Для IFIS<sup>δ</sup>:*

$$\begin{array}{ccccc}
 (X^j) & 1 & 2 & \dots & m \\
 R_1^\delta & \delta_j^{A_1^{\delta,1}} & \delta_j^{A_2^{\delta,1}} & \dots & \delta_j^{A_m^{\delta,1}} \\
 R_2^\delta & \delta_j^{A_1^{\delta,2}} & \delta_j^{A_2^{\delta,2}} & \dots & \delta_j^{A_m^{\delta,2}} \\
 \vdots & \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\
 R_n^\delta & \delta_j^{A_1^{\delta,n}} & \delta_j^{A_2^{\delta,n}} & \dots & \delta_j^{A_m^{\delta,n}}
 \end{array}$$

По данным операторов Gödel  $t$ -нормы, веса правила  $R_k^\mu$  определяются следующим образом:

*Для IFIS<sup>μ</sup>:*

$$\sigma_k^\mu = \bigwedge_{i=1,m} (\omega_i \cdot \mu_{k,i}^j) = \min_{i=1,m} (\omega_i \cdot \mu_{k,i}^j)$$

$\sigma^\mu$	$\sigma^\mu(X_1)$	$\sigma^\mu(X_2)$	$\dots$	$\sigma^\mu(X_m)$
$R_1^\mu$	$\sigma_1^\mu(X_1)$	$\sigma_1^\mu(X_2)$	$\dots$	$\sigma_1^\mu(X_m)$
$R_2^\mu$	$\sigma_2^\mu(X_1)$	$\sigma_2^\mu(X_2)$	$\dots$	$\sigma_2^\mu(X_m)$
$\vdots$	$\vdots$	$\vdots$	$\ddots$	$\vdots$
$R_n^\mu$	$\sigma_n^\mu(X_1)$	$\sigma_n^\mu(X_2)$	$\dots$	$\sigma_n^\mu(X_m)$

*Для IFIS<sup>δ</sup>:*

$$\sigma_k^\delta = \bigvee_{i=1,m} (\omega_i \cdot \delta_{k,i}^j) = \max_{i=1,m} (\omega_i \cdot \delta_{k,i}^j)$$

$\sigma^\delta$	$\sigma^\delta(X_1)$	$\sigma^\delta(X_2)$	$\dots$	$\sigma^\delta(X_m)$
$R_1^\delta$	$\sigma_1^\delta(X_1)$	$\sigma_1^\delta(X_2)$	$\dots$	$\sigma_1^\delta(X_m)$
$R_2^\delta$	$\sigma_2^\delta(X_1)$	$\sigma_2^\delta(X_2)$	$\dots$	$\sigma_2^\delta(X_m)$
$\vdots$	$\vdots$	$\vdots$	$\ddots$	$\vdots$
$R_n^\delta$	$\sigma_n^\delta(X_1)$	$\sigma_n^\delta(X_2)$	$\dots$	$\sigma_n^\delta(X_m)$

Затем матрица степени выполнения  $W_j$  соответствующего правила  $R_k$  определяется следующим образом:

*Для IFIS<sup>μ</sup>:*

$$W_j^\mu = \sum_{j=1,n} \sigma_j^\mu(X_1) \quad \sum_{j=1,n} \sigma_j^\mu(X_2) \quad \dots \quad \sum_{j=1,n} \sigma_j^\mu(X_n)$$

$\sigma_1^\mu(X_j)$	$\beta_{11}^\mu(X_j)$	$\beta_{12}^\mu(X_j)$	$\dots$	$\beta_{1n}^\mu(X_j)$
$\sigma_2^\mu(X_j)$	$\beta_{21}^\mu(X_j)$	$\beta_{22}^\mu(X_j)$	$\dots$	$\beta_{2n}^\mu(X_j)$
$\vdots$	$\vdots$	$\vdots$	$\ddots$	$\vdots$
$\sigma_n^\mu(X_j)$	$\beta_{n1}^\mu(X_j)$	$\beta_{n2}^\mu(X_j)$	$\dots$	$\beta_{nn}^\mu(X_j)$

*Для IFIS<sup>δ</sup>:*

$$W_j^\delta = \sum_{j=1,n} \sigma_j^\delta(X_1) \quad \sum_{j=1,n} \sigma_j^\delta(X_2) \quad \dots \quad \sum_{j=1,n} \sigma_j^\delta(X_n)$$

$\sigma_1^\delta(X_j)$	$\beta_{11}^\delta(X_j)$	$\beta_{12}^\delta(X_j)$	$\dots$	$\beta_{1n}^\delta(X_j)$
$\sigma_2^\delta(X_j)$	$\beta_{21}^\delta(X_j)$	$\beta_{22}^\delta(X_j)$	$\dots$	$\beta_{2n}^\delta(X_j)$
$\vdots$	$\vdots$	$\vdots$	$\ddots$	$\vdots$
$\sigma_n^\delta(X_j)$	$\beta_{n1}^\delta(X_j)$	$\beta_{n2}^\delta(X_j)$	$\dots$	$\beta_{nn}^\delta(X_j)$

Далее определяются параметры  $k$ -го правила:

*Для IFIS<sup>μ</sup>:*

$$\theta_j^\mu = (a_{1,j}^\mu, a_{2,j}^\mu, \dots, a_{i,j}^\mu, \dots, a_{m,j}^\mu, b_j^\mu) = [\bar{X}^T \cdot W_j^\mu \cdot \bar{X}]^{-1} \bar{X}^T \cdot W_j^\mu \cdot Y.$$

*Для IFIS<sup>δ</sup>:*

$$\theta_j^\delta = (a_{1,j}^\delta, a_{2,j}^\delta, \dots, a_{i,j}^\delta, \dots, a_{m,j}^\delta, b_j^\delta) = [\bar{X}^T \cdot W_j^\delta \cdot \bar{X}]^{-1} \bar{X}^T \cdot W_j^\delta \cdot Y.$$

По аналогии с другими правилами в системе, реализованными подобным образом, мы получили следующий вывод:

*Для IFIS<sup>μ</sup>:*

$$\begin{array}{cccccc}
FIS^\mu & 1 & 2 & \dots & m & y^* \\
R_1^\mu & A_1^{\mu,1} & A_2^{\mu,1} & \dots & A_m^{\mu,1} & y_1^\mu = a_{1,1}^\mu x_1 + a_{2,1}^\mu x_2 + \dots + a_{i,1}^\mu x_i + \dots + a_{m,1}^\mu x_m + b^\mu \\
R_2^\mu & A_1^{\mu,2} & A_2^{\mu,2} & \dots & A_m^{\mu,2} & y_2^\mu = a_{1,2}^\mu x_1 + a_{2,2}^\mu x_2 + \dots + a_{i,2}^\mu x_i + \dots + a_{m,2}^\mu x_m + b^\mu \\
\vdots & \vdots & \vdots & \ddots & \vdots & \dots \\
R_n^\mu & A_1^{\mu,n} & A_2^{\mu,n} & \dots & A_m^{\mu,n} & y_n^\mu = a_{1,n}^\mu x_1 + a_{2,n}^\mu x_2 + \dots + a_{i,n}^\mu x_i + \dots + a_{m,n}^\mu x_m + b^\mu
\end{array}$$

Для  $IFIS^\delta$ :

$$\begin{array}{cccccc}
FIS^\delta & 1 & 2 & \dots & m & y^* \\
R_1^\delta & A_1^{\delta,1} & A_2^{\delta,1} & \dots & A_m^{\delta,1} & y_1^\delta = a_{1,1}^\delta x_1 + a_{2,1}^\delta x_2 + \dots + a_{i,1}^\delta x_i + \dots + a_{m,1}^\delta x_m + b^\delta \\
R_2^\delta & A_1^{\delta,2} & A_2^{\delta,2} & \dots & A_m^{\delta,2} & y_2^\delta = a_{1,2}^\delta x_1 + a_{2,2}^\delta x_2 + \dots + a_{i,2}^\delta x_i + \dots + a_{m,2}^\delta x_m + b^\delta \\
\vdots & \vdots & \vdots & \ddots & \vdots & \dots \\
R_n^\delta & A_1^{\delta,n} & A_2^{\delta,n} & \dots & A_m^{\delta,n} & y_n^\delta = a_{1,n}^\delta x_1 + a_{2,n}^\delta x_2 + \dots + a_{i,n}^\delta x_i + \dots + a_{m,n}^\delta x_m + b^\delta
\end{array}$$

## 2.2. Процесс тестирования:

**Шаг 1.** Ввод исходного значения  $X^*$  для нахождения значения решения  $Y^*$ .

**Шаг 2.** Фаззификация входного значения  $X^*$  с помощью метода IFCM, основанного на определении степени принадлежности, непринадлежности и неопределенности коэффициентов для нечетких множеств (интуиционистских нечетких кластеров).

**Шаг 3.** Дефаззификация. На этом шаге вычисляется выходное значение  $Y^*$  путем дефаззификации следующим образом:

**Под-шаг 3.1.** Интуиционистская дефаззификация для вычисления выходного значения  $y_\mu^*$  принадлежности:

$$y_1^{\mu*} = \frac{\sum_{j=1}^n (y_j^{\mu*} \times \min_{i=1,m}(\omega_i \times \mu_1^{A_i^{\mu,j}}))}{\sum_{j=1}^n \min_{i=1,m}(\omega_i \times \mu_1^{A_i^{\mu,j}})} .$$

**Под-шаг 3.2.** Интуиционистская дефаззификация для вычисления выходного значения  $y_\mu^*$  непринадлежности:

$$y_1^{\delta*} = \frac{\sum_{j=1}^n (y_j^{\delta*} \times \min_{i=1,m}(\omega_i \times (1 - \pi_1^{A_i^{\delta,j}})))}{\sum_{j=1}^n \min_{i=1,m}(\omega_i \times (1 - \pi_1^{A_i^{\delta,j}}))} .$$

**Под-шаг 3.3.** Дефаззификация вычисляет значение  $Y^*$ .

Выходное значение  $y^*$  для входного значения  $X^*$  определяется следующим образом:

$$y_1^* = (1 - \vartheta)y_1^{\mu*} + \vartheta y_1^{\delta*} ,$$

где  $\vartheta$  – вес выхода непринадлежности  $y_\delta^*$ .

## 3. Результат эксперимента и оценка эффективности модели

В данной статье модель прогнозирования, основанная на предложенной системе интуитивного нечеткого вывода, применяется для прогнозирования индекса социально-экономического развития 63 провинций Вьетнама. Используя данные 2019 года в качестве данных для обучения и

данные 2020 года для тестирования. Результаты прогнозирования представлены на рисунке 2.

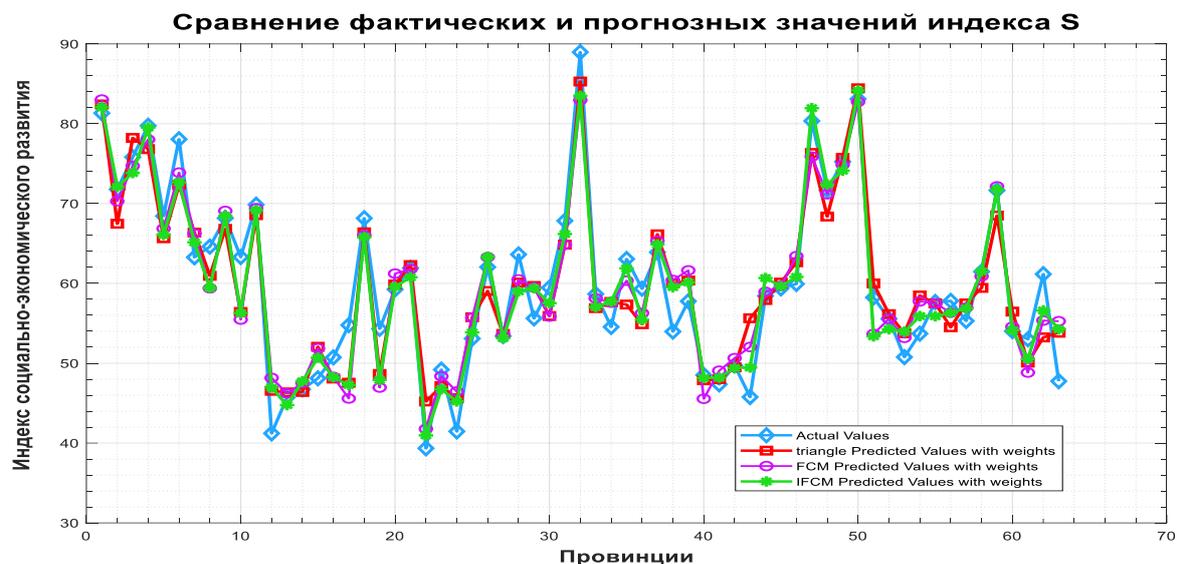


Рис. 2. Фактические и прогнозные значения индекса S

В таблице 1 приведено сравнение прогнозируемых результатов методов с помощью метрик.

Таблица 1

**Сравнение прогнозируемых результатов**

Модель прогнозирования	Для тестирования							
	без веса				с весом			
Методом регрессии	MSE	RMSE	MAPE	CORR	MSE	RMSE	MAPE	CORR
Линейного TSK IFIS	11,15	4,33	5,64	0,93				
с помощью модифицированного треугольника	10,8	3,27	4,55	0,93	10,7	3,22	4,54	0,95
с использованием функции Гаусса	8,29	2,89	3,31	0,94	8,27	2,88	3,3	0,95
с помощью метода FCM	6,36	2,52	3,5	0,96	6,33	2,52	3,46	0,96
предложенная модель	5,51	2,35	3,06	0,97	5,32	2,30	3,00	0,98

Результаты показывают, что предлагаемый метод более эффективен, чем традиционные методы. На графике можно увидеть, что фактические и прогнозные значения по предложенной модели близки друг к другу. Для

тестовых данных, прогнозов на 2020 год, модели, использующие веса атрибутов, показали лучшие результаты, чем модели без весов, и лучше, чем метод регрессионного анализа, в частности, для модели, использующей предложенную IFCM, использование весов лучше, чем не использование весов на 3,4 % по MSE, 2,1 % по RMSE, 1,7 % по MAPE и 1 % по CORR. При тестировании данных предложенная модель показала лучшие результаты по сравнению с остальными моделями. По сравнению с моделью с наилучшими показателями (модель, использующая FCM), предложенная модель показывает на 16 % лучшие результаты по MSE, на 8,7 % по RMSE, на 13,3 % по MAPE и на 2 % по CORR.

### **Заключение**

В данной работе предложена интуиционистская нечеткая система вывода, построенная на основе интуиционистской нечеткой теории. В частности, система модифицирована таким образом, чтобы она могла подходить для многоатрибутных объектов с определением весов атрибутов с помощью метода анализа главных компонент. В то же время в предлагаемой системе применяется метод интуиционистской нечеткой кластеризации Средних для интуитивно-фаззификации данных. Предложенная интуиционистская нечеткая система выводов используется в качестве основы для построения модели прогнозирования. Модель прогнозирования, основанная на предложенной системе интуиционистского нечеткого вывода, применяется для прогнозирования индекса социально-экономического развития 63 провинций Вьетнама. Проанализированные и оцененные результаты показывают, что предлагаемый метод более эффективен, чем традиционные методы.

### **Список литературы**

1. Лэ В. Х., Нгуен Т. Т. З., Черненькая Л. В. Выбор квазиоптимальных значений параметра регуляризации при решении обратной задачи // Системный анализ в проектировании и управлении: сб. науч. трудов XXVI Междунар. науч.-практ. конф., Санкт-Петербургский политехн. ун-т Петра Великого, 13–14 октября 2022 г.: в 3-х частях. – СПб.: Изд-во «Федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего образования «Санкт-Петербургский политехнический университет Петра Великого», 2023. – Ч. 3. – С. 128–138.

2. Нгуен Т. Т. З., Черненькая Л. В., Лэ В. Х. Модели для анализа факторов, влияющих на развитие экономики // Системный анализ в проектировании и управлении: сб. науч. трудов XXVI Междунар. науч.-практ. конф., Санкт-Петербургский политехн. ун-т Петра Великого, 13–14 октября 2022 г.: в 3-х частях. – СПб.: Изд-во «Федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего образования «Санкт-Петербургский политехнический университет Петра Великого», 2023. – Ч. 3. – С. 215–222.

3. Нгуен Т. Т. З., Черненькая Л. В. Системный анализ в управлении развитием территориальных комплексов Вьетнама // Системный анализ в проектировании и управлении: сб. науч. трудов XXV Междунар. науч. и учеб.-практ. конф., Санкт-Петербургский политехн. ун-т Петра Великого, 13–14 октября 2021 г.: в 3-х частях. – СПб.: Политех-Пресс, 2021. – Ч. 3. – С. 346–352.

4. Нгуен Т. Т. З. Модели для анализа развития экономики нескольких районов Вьетнама на основе математических методов многомерной статистики / Научный руководитель: Л. В. Черненькая // В сборнике: Импульс организационных инноваций. Сборник конкурсных работ 1 межвузовского конкурса студентов, магистрантов и аспирантов. – М.: Общество с ограниченной ответственностью «Русайнс», 2020. – Т. 2. – С. 301–324.

5. Нгуен Т. Т. З., Черненькая Л. В. Модель для анализа развития экономики района Тхай-Бинг (Вьетнам) на основе математических методов многомерной статистики // Системный анализ в проектировании и управлении: сб. науч. трудов XXIV Междунар. науч. и учеб.-практ. конф., Санкт-Петербургский политехн. ун-т Петра Великого, 13–14 октября 2020 г.: в 3-х частях. – СПб.: Изд-во «Федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего образования «Санкт-Петербургский политехнический университет Петра Великого», 2020. – Ч. 3. – С. 497–505.