

**М. З. Ахмедов**, ст. препод., e-mail: m\_axmedov@mail.ru,  
Мингечевирский государственный университет, г. Мингечевир, республика Азербайджан

## Решение задачи прогнозирования с применением нечеткой импликации

*Изложен новый метод решения задачи прогнозирования на основе нечетких временных рядов с применением нечетких импликаций. Предложенный метод базируется на применении уравнения с нечетким отношением и излагается на примере решения тестовой задачи. На основе сравнительного анализа результатов, полученных с помощью других методов прогнозирования, установлено, что предложенный метод имеет меньшую усредненную погрешность прогнозирования (AFER).*

**Ключевые слова:** нечеткое множество, нечеткие временные ряды, нечеткое логическое отношение, нечеткая импликация

### Введение

Как известно, прогнозирование играет очень важную роль в повседневной человеческой деятельности и принятии решений в различных областях экономики. В качестве примеров можно привести прогноз погоды, предсказание землетрясений, планирование продаж товаров и т. п., которые оказывают существенное влияние на поведение людей в будущем. Для решения задачи прогнозирования довольно широко используют последовательности упорядоченных во времени данных, и эти данные — временной ряд (*time series*) — рассматривают для прогнозирования будущих значений характеристик на основании наблюдений и измерений, относящихся к настоящим и прошлым моментам времени. Все или почти все известные качественные и количественные методы прогнозирования ставят своей целью увеличение точности прогнозирования.

Традиционные методы нельзя применять к задачам, в которых исторические данные представлены не в привычном числовом виде, а в вербальной (словесной) форме. Нечеткие временные ряды (*fuzzy time series*) позволяют преодолеть эту проблему, открывая реальную перспективу возможности обработки как лингвистических, так и числовых данных. Таким образом, предложения модели нечетких временных рядов было связано с появлением нового направления — нечеткой математики, с помощью которого стало возможным решение задачи прогнозирования при нечеткой исходной информации или в нечеткой среде.

До настоящего времени для решения задачи прогнозирования на основе нечетких временных рядов были предложены различные методы (см., напри-

мер, [1—3, 6, 7, 10]). В основном эти методы были применены для решения тестовой задачи прогнозирования зачислений в университет Алабамы. В предложенных методах прогнозирования на основе нечетких временных рядов как универсальное множество были использованы или исторические данные, или разности исторических данных, без какой-либо предварительной обработки и/или получения дополнительной информации.

Данная статья посвящена методу решения задачи прогнозирования на основе нечетких временных рядов с применением нечеткой импликации. В предложенном методе прогнозирования была использована *time-invariant*-модель прогнозирования, и было установлено, что усредненная погрешность прогнозирования предложенного метода для тестовой задачи меньше по сравнению с известными методами.

### Предварительные сведения

Целесообразно дать краткую информацию о нечетких временных рядах. Предположим, что  $U$  — универсальное множество и было задано следующим образом:  $U = \{u_1, u_2, \dots, u_n\}$ , здесь  $u_i$  ( $i = 1, n$ ) интервалы одинаковой длины [2, 7].

**Определение 1.** Предположим  $Y(t)$  ( $\dots 0, 1, 2, 3, \dots$ ) является подмножеством множества  $R^1$ . Во множестве  $Y(t)$  определяется нечеткое множество  $\mu_t(t)$  ( $t = 1, 2, \dots$ ) и  $Y(t)$  является универсальным множеством для этого нечеткого множества. Определим множество  $F(t)$ , которое состоит из  $\{\mu_t(t) (t = 1, 2, \dots)\}$ , т. е.  $F(t)$  является множеством нечетких множеств. Тогда  $F(t)$  является нечетким временным рядом в универсальном множестве  $Y(t)$  ( $t = \dots 0, 1, 2, \dots$ ).

Понятно что, если мы принимаем  $F(t)$  как лингвистическую переменную, то  $\mu_A(t)$  будет приниматься как возможное лингвистическое значение  $F(t)$ . Кроме того, видно, что функция  $F(t)$  зависит от времени, и это значит что в различное время  $t$  функция  $F(t)$  может принимать различные значения.

**Определение 2.** Если существует такое отношение  $R(t, t - 1)$ , при котором  $F(t) = F(t - 1) \circ R(t, t - 1)$ , мы говорим, что значение  $F(t)$  обусловлено значением  $F(t - 1)$ . Здесь " $\circ$ " — оператор композиции  $\text{Maxmin}$ . Отношение между  $F(t)$  и  $F(t - 1)$  может быть представлено символически как  $F(t - 1) \rightarrow F(t)$ , а  $R(t, t - 1)$  называется моделью нечеткого временного ряда первого порядка.

**Определение 3.** Если для любого момента времени  $t$  временной ряд  $F(t)$  зависит только от  $F(t - 1)$ , т. е. такая связь может быть представлена в виде  $F(t) = F(t - 1) \circ R(t, t - 1)$ , где нечеткое отношение  $R$  инвариантно относительно времени  $t$ , то  $F(t)$  называется стационарным (*time-invariant*) нечетким временным рядом, в противном случае, он называется переменным по времени (*time-variant*) нечетким временным рядом.

Для решения проблемы прогнозирования с помощью нечетких временных рядов было предложено уравнение с неизвестным нечетким отношением [6, 7]:

$$A_i = A_{i-1} \circ R. \quad (1)$$

Здесь  $A_i$  — исторические данные  $i$ -го года, представленные в виде нечетких множеств (результаты прогнозирования);  $A_{i-1}$  — исторические данные  $(i - 1)$ -го года, представленные в виде нечетких множеств (фактические данные);  $\circ$  — символ  $\text{Maxmin}$ -го оператора композиции;  $R$  — нечеткая матрица отношений.

Q. Song и B. S. Chissom [5—7], предлагая метод для решения проблемы прогнозирования, сделали прогноз зачисления в университет Алабамы. Метод, который они предложили, вкратце можно описать следующим образом:

1-й шаг. Определить универсальное множество  $U$ .

2-й шаг. Разделить универсальное множество  $U$  на несколько интервалов, равной длины.

3-й шаг. Определить лингвистическую переменную и некоторые лингвистические термы как возможные значения этой переменной.

4-й шаг. Фаззифицировать исходные данные.

5-й шаг. На основе фаззифицированных исходных данных формировать нечеткие логические правила.

6-й шаг. Используя созданные нечеткие логические правила, вычислить соответствующую матрицу нечетких отношений и на основе этих матриц формировать итоговую матрицу нечетких отношений.

7-й шаг. Используя фаззифицированные исходные данные, прогнозировать зачисления на следующий год.

8-й шаг. Дефаззифицировать полученный результат.

Надо отметить, что для формирования матриц нечетких отношений на основе нечетких логических правил, было использовано правило условного логического вывода:  $P = \text{ЕСЛИ } x \text{ есть } A, \text{ ТО } y \text{ есть } B$ , и оператор Мамдани, а для фаззификации исходных данных — ступенчатая функция принадлежности [6].

В предложенном методе прогнозирования для формирования матриц нечетких отношений используются нечеткие импликации, удовлетворяющие указанным ниже принципам [4].

**Определение 4.** Нечеткой импликацией является функция, определенная как  $[0, 1]^2 \rightarrow [0, 1]$  и удовлетворяющая следующим принципам:

I.1. Если  $a_1 \leq a_3$ , тогда  $I(a_1, a_2) \geq I(a_3, a_2)$ , для любой  $a_1, a_2, a_3 \in [0, 1]$ .

I.2. Если  $a_2 \leq a_3$ , тогда  $I(a_1, a_2) \leq I(a_1, a_3)$ , для любой  $a_1, a_2, a_3 \in [0, 1]$ .

I.3.  $I(0, a_2) = 1$  для любой  $a_2 \in [0, 1]$  (falsity implies anything).

I.4.  $I(a_1, 1) = 1$  для любой  $a_1 \in [0, 1]$  (anything implies tautology).

I.5.  $I(1, 0) = 0$  (Booleanity).

Нечеткие импликации Zadeh, Lukasewich, Goguen, ALI-1, ALI-2, ALI-3 удовлетворяют вышеуказанным принципам. В предложенном методе прогнозирования были использованы указанные выше нечеткие импликации и следующие правила условного логического вывода для формирования матрицы нечетких отношений [9]:

$P = \text{ЕСЛИ } x \text{ есть } A, \text{ ТО } y \text{ есть } B \text{ Иначе } y \text{ есть } C.$

На основе этого правила условного логического вывода для формирования матриц нечетких отношений использованные нечеткие импликации и соответствующие формулы представлены в табл. 1 [9].

Надо отметить, что в экспериментальных исследованиях для фаззификации исходных данных были выбраны треугольная и колоколообразная функции принадлежности.

Отмечая то, что цель предложенного в статье метода прогнозирования — увеличить точность полученных результатов прогнозирования по сравнению с известными методами с использованием нечетких временных рядов, алгоритм предложенного метода можно описать следующим образом.

Шаги 1—5 выполняются аналогично.

6-й шаг. Используя созданные нечеткие логические правила, вычислить соответствующую матрицу нечетких отношений с учетом правила условного логического вывода, ЕСЛИ ... ТО ... ИНАЧЕ ... и с применением выбранных нечетких импликаций.

7-й шаг. Применяется модель (1) вычисления прогнозных значений для каждой матрицы нечетких отношений.

Нечеткие импликации для формирования матрицы нечетких отношений

Нечеткая импликация	Формула	Операция
Zadeh	$a \rightarrow b = \min \left\{ \begin{array}{l} \max[\min(a, b), 1 - a], \\ \max[\min(1 - a, 1 - b), a] \end{array} \right\}$	Конъюнкция
Lukasewich	$a \rightarrow b = \min\{1, \min[(1 - a + b), (1 + a - b)]\}$	Конъюнкция
Goguen	$a \rightarrow b = \begin{cases} \min(1, b/a), & \text{if } a = 1 \\ \min\left(1, \frac{1-b}{2-a}\right), & \text{others} \end{cases}$	$P \wedge Q = \begin{cases} 0, & \text{if } p = 0 \\ \max\left(0, \frac{p+q-1}{p}\right), & \text{if } p > 0 \end{cases}$
ALI-1	$a \rightarrow b = \begin{cases} 1 - b, & \text{if } a < b \\ 1, & \text{if } a = b \\ b, & \text{if } a > b \end{cases}$	$P \wedge Q = \begin{cases} p, & \text{if } p + q < 1 \\ 0, & \text{if } p + q = 1 \\ q, & \text{if } p + q > 1 \end{cases}$
ALI-2	$a \rightarrow b = \begin{cases} \min(a, 1 - b), & \text{if } a < b \\ 1, & \text{if } a = b \\ \min(1 - a, b), & \text{if } a > b \end{cases}$	$P \wedge Q = \begin{cases} 0, & \text{if } p + q \leq 1 \\ \max(p, q), & \text{if } p + q > 1 \end{cases}$
ALI-3	$a \rightarrow b = \begin{cases} \frac{1-b}{1-a+b}, & \text{if } a < b \\ 1, & \text{if } a = b \\ \frac{b}{[a+(1-b)]}, & \text{if } a > b \end{cases}$	$P \wedge Q = \begin{cases} (1-q)/(1-p+q), & \text{if } p < q \\ 1, & \text{if } p = q \\ q/(p+1-q), & \text{if } p > q \end{cases}$

Таблица 2

Сравнительный анализ средних квадратических отклонений

Мощность $N$	Функции принадлежности	Нечеткие импликации					
		Zadeh	Lukasewich	Goguen	ALI-1	ALI-2	ALI-3
5	Треугольная	1605,5	1467,9	***	1488,4	672,3	724,8
	Колоколообразная	1542,4	1338,3	***	1229,5	595,9	635,5
7	Треугольная	1580,2	1361,2	***	1333,8	672,6	505,8
	Колоколообразная	1456,7	1339,1	800,4	1371,1	720,4	534,5
9	Треугольная	1562,3	1329,7	***	1227,5	***	629,7
	Колоколообразная	1445,1	1326,4	904,6	1232,6	555,8	610,9
11	Треугольная	1537,6	1305,8	***	1129,1	638,3	600,7
	Колоколообразная	1434,6	1315,3	799,7	1199,5	628,3	700,6

8-й шаг. Используя результаты вычисления 7-го шага, с применением для выбранной нечеткой импликации соответствующей формулы конъюнкции вычислить конечные прогнозные значения.

9-й шаг. Дефазифицировать полученные результаты.

В результате проведенных экспериментальных исследований с различными значениями мощности нечетких множеств стало известно, что не все нечеткие импликации в универсальном множестве дают корректное решение. Значит, требуется проведение экспериментальных исследований выбора нечетких импликаций для формирования матриц нечетких отношений и выбора функций принадлежности для фаззификации исходных данных. Результаты

проведенных экспериментальных исследований для выбранных нечетких импликаций и сравнительный анализ средних квадратических отклонений результатов прогнозирования для тестовой задачи представлены в табл. 2. Из этой таблицы видно, что самое меньшее среднее квадратичное отклонение получается с применением нечеткой импликации ALI-3, при мощности  $N = 7$  и с выбором треугольной функции принадлежности.

### Описание метода прогнозирования

Формальное описание алгоритма реализации предложенного метода с применением нечеткой импликации ALI-3 для решения тестовой задачи

прогнозирования на базе нечетких временных рядов состоит из следующих шагов:

**Шаг 1** с использованием исторических данных зачислений в университет Алабамы определяется универсум [6,7]:  $U = [13000, 20000]$ .

**Шаг 2.** Это универсальное множество делится на семь интервалов одинаковой длины. Эти интервалы представлены ниже:

$$\begin{aligned} u_1 &= [13000, 14000], u_2 = [14000, 15000], \\ u_3 &= [15000, 16000], u_4 = [16000, 17000], \\ u_5 &= [17000, 18000], u_6 = [18000, 19000], \\ u_7 &= [19000, 20000]. \end{aligned}$$

**Шаг 3.** На универсуме  $U$  надо определить нечеткие множества, которые соответствуют определенным значениям лингвистической переменной [8] "Зачисления студентов". С учетом числа интервалов можно определить следующие лингвистические термы:

$$\begin{aligned} A_1 &= (\text{not many}), A_2 = (\text{not too many}), A_3 = (\text{many}), \\ A_4 &= (\text{many many}), A_5 = (\text{very many}), \\ A_6 &= (\text{too many}), A_7 = (\text{too many many}). \end{aligned}$$

**Шаг 4.** Для фаззификации исходных данных и лингвистических термов в предложенном методе используется треугольная функция принадлежности

$$\mu(x) = \begin{cases} 0 & x \leq a \\ \frac{x-a}{b-a}, & a \leq x \leq b \\ \frac{c-x}{c-b}, & b \leq x \leq c \\ 0 & c \leq x. \end{cases} \quad (2)$$

Здесь  $a, c$  — диапазон изменения переменной;  $b$  — наиболее возможное значение переменной;  $x$  — вектор, для координат которого необходимо рассчитать степени принадлежности.

После фаззификации полученные нечеткие множества представлены следующим образом:

$$\begin{aligned} A_1 &= \{u_1/1,0, u_2/0,85, u_3/0,69, u_4/0,54, \\ &u_5/0,38, u_6/0,23, u_7/0,08\}; \\ A_2 &= \{u_1/0,33, u_2/1,00, u_3/0,82, u_4/0,64, \\ &u_5/0,45, u_6/0,27, u_7/0,09\}; \\ A_3 &= \{u_1/0,20, u_2/0,60, u_3/1,00, u_4/0,78, \\ &u_5/0,56, u_6/0,33, u_7/0,11\}; \\ A_4 &= \{u_1/0,14, u_2/0,43, u_3/0,71, u_4/1,00, \\ &u_5/0,71, u_6/0,43, u_7/0,14\}; \\ A_5 &= \{u_1/0,11, u_2/0,33, u_3/0,56, u_4/0,78, \\ &u_5/1,00, u_6/0,60, u_7/0,20\}; \\ A_6 &= \{u_1/0,09, u_2/0,27, u_3/0,45, u_4/0,64, \\ &u_5/0,82, u_6/1,00, u_7/0,33\}; \\ A_7 &= \{u_1/0,08, u_2/0,23, u_3/0,38, u_4/0,54, \\ &u_5/0,69, u_6/0,85, u_7/1,00\}. \end{aligned} \quad (3)$$

Здесь  $u_i (i = \overline{1,7})$  — интервалы равной длины;  $A_i (i = \overline{1,7})$  — нечеткие множества.

**Шаг 5.** После фаззификации исходных данных для формирования матриц нечетких отношений сформированные нечеткие логические отношения представлены в табл. 3.

**Шаг 6.** Проводится вычисление матриц нечетких отношений. Например, для нечеткого логического отношения  $A_1 \rightarrow A_1$  сформированная на основе нечеткой импликации ALI-3 матрица нечетких отношений представлена в табл. 4.

**Шаг 7.** С применением Махmin-й композиционной операции проводится процесс прогнозирования для каждого нечетких отношений с использованием фаззифицированных исторических данных [1–3, 6, 7]. Для примера на основе фактического показателя 1971 г., результат Махmin-й операции для 1972 г. представлен в табл. 5. Указанная операция над другими историческими данными проводится аналогичным образом.

**Шаг 8.** На этом этапе проводится операция конъюнкции над полученными нечеткими множествами шага 7 с применением формулы соответствующей выбранной нечеткой импликации ALI-3 [9].

**Шаг 9.** Проводится дефаззификация над полученными результатами шага 8 для получения реальных прогнозных значений. Дефаззификация результатов прогнозирования проводится методом центра тяжести [6, 7]. Результаты прогнозирования с применением нечеткой импликации ALI-3 представлены в табл. 6.

Таблица 3

Нечеткие логические отношения

$A_1 \rightarrow A_1$	$A_1 \rightarrow A_2$	$A_2 \rightarrow A_3$	$A_3 \rightarrow A_3$	$A_3 \rightarrow A_4$
$A_4 \rightarrow A_4$	$A_4 \rightarrow A_3$	$A_4 \rightarrow A_6$	$A_6 \rightarrow A_6$	$A_6 \rightarrow A_7$

Таблица 4

Нечеткая матрица отношения R1

	1,00	0,85	0,69	0,54	0,38	0,23	0,08
1,00	1	0,73	0,53	0,37	0,23	0,13	0,04
0,85	0	1	0,60	0,41	0,26	0,14	0,04
0,69	0	0,13	1	0,47	0,29	0,16	0,05
0,54	0	0,12	0,27	1	0,33	0,18	0,05
0,38	0	0,11	0,24	0,40	1	0,20	0,06
0,23	0	0,10	0,21	0,35	0,53	1	0,07
0,08	0	0,09	0,19	0,32	0,47	0,67	1

Таблица 5

Результат Махmin-й операции для матрицы R1

0,99	0,73	0,53	0,37	0,24	0,13	0,04
0	0,04	0,04	0,04	0,04	0,04	0,04
0	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02
0	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02
0	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01
0	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01
0	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01
<b>0,99</b>	<b>0,73</b>	<b>0,53</b>	<b>0,37</b>	<b>0,24</b>	<b>0,13</b>	<b>0,04</b>

Результаты прогнозирования с применением ALI-3

Годы	Факт	Нечеткие множества							Прогноз	Погрешность, %
1971	13055									
1972	13563	1,00	0,98	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	13995	3,18
1973	13867	1,00	0,99	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	13997	0,94
1974	14696	0,99	0,99	0,93	0,00	0,00	0,00	0,00	14479	1,47
1975	15460	0,98	1,00	0,99	0,95	0,00	0,00	0,00	14987	3,06
1976	15311	0,95	1,00	1,00	1,00	0,97	0,00	0,00	15508	1,29
1977	15603	0,96	1,00	1,00	0,99	0,94	0,00	0,00	15490	0,73
1978	15861	0,00	1,00	1,00	1,00	0,98	0,00	0,00	15992	0,83
1979	16807	0,00	0,99	1,00	1,00	0,99	0,96	0,00	16486	1,91
1980	16919	0,00	0,97	0,99	1,00	1,00	0,99	0,98	16504	2,45
1981	16388	0,00	0,95	0,99	1,00	1,00	1,00	0,99	17019	3,85
1982	15433	0,00	0,99	1,00	1,00	1,00	0,99	0,00	16500	6,91
1983	15497	0,95	1,00	1,00	0,99	0,96	0,00	0,00	15502	0,03
1984	15145	0,95	1,00	1,00	1,00	0,97	0,00	0,00	15508	2,40
1985	15163	0,95	1,00	1,00	0,99	0,00	0,00	0,00	15015	0,97
1986	15984	0,96	1,00	1,00	0,99	0,00	0,00	0,00	15011	6,08
1987	16859	0,00	0,99	1,00	1,00	0,99	0,97	0,00	16490	2,19
1988	18150	0,00	0,96	0,99	1,00	1,00	0,99	0,99	17013	6,27
1989	18970	0,00	0,00	0,00	0,00	0,99	1,00	1,00	18503	2,46
1990	19328	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,99	1,00	19003	1,68
1991	19337	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,97	0,99	19005	1,72
1992	18876									
Не прогнозировано										
Усредненная погрешность прогнозирования										
										2,52

Таблица 7

Сравнительный анализ прогнозных значений

Годы	Факт, значение	Song	Chen	Mamdani	Goguen	Zadeh	Lukasewich	ALI-1	ALI-2	ALI-3
1971	13055									
1972	13563	14000	14000	14000	13500	14500	13500	14000	14000	13995
1973	13867	14000	14000	14000	13500	15000	14000	14000	14500	13997
1974	14696	14000	14000	14000	13500	15000	14000	14000	14500	14479
1975	15460	15500	15500	15500	14500	16500	16000	15500	15000	14987
1976	15311	16000	16000	16000	17250	16500	16000	16500	16000	15508
1977	15603	16000	16000	16000	16000	16500	16000	16500	16000	15490
1978	15861	16000	16000	16000	16500	16500	16000	16500	16000	15992
1979	16807	16000	16000	16000	16500	16500	17000	16500	16000	16486
1980	16919	16813	16833	16833	17500	16500	17000	17500	17000	16504
1981	16388	16813	16833	16833	17500	16500	17000	17500	17000	17019
1982	15433	16789	16833	16833	17500	16500	17000	17500	17000	16500
1983	15497	16000	16000	16000	16500	16500	16000	16500	16000	15502
1984	15145	16000	16000	16000	17500	16500	16000	16500	16000	15508
1985	15163	16000	16000	16000	15500	16500	16000	16500	16000	15015
1986	15984	16000	16000	16000	15500	16500	16000	16500	16000	15011
1987	16859	16000	16000	16833	16500	16500	17000	17000	16000	16490
1988	18150	16813	16833	16833	17500	16500	17000	17500	17000	17013
1989	18970	19000	19000	19000	19500	19500	18500	19500	18500	18503
1990	19328	19000	19000	19000	19500	19500	19500	19500	18500	19003
1991	19337	19000	19000	19000	19500	19500	19500	18500	19000	19005
1992	18876	Not Forecasted	Not Forecasted	Not Forecasted	Not Forecasted	Not Forecasted	Not Forecasted	Not Forecasted	Not Forecasted	Not Forecasted
<b>AFER, %</b>		<b>3,22</b>	<b>3,23</b>	<b>2,99</b>	<b>4,98</b>	<b>4,83</b>	<b>2,95</b>	<b>4,60</b>	<b>3,68</b>	<b>2,52</b>

На рисунке показан результат прогнозирования тестовой задачи с применением предложенного метода.

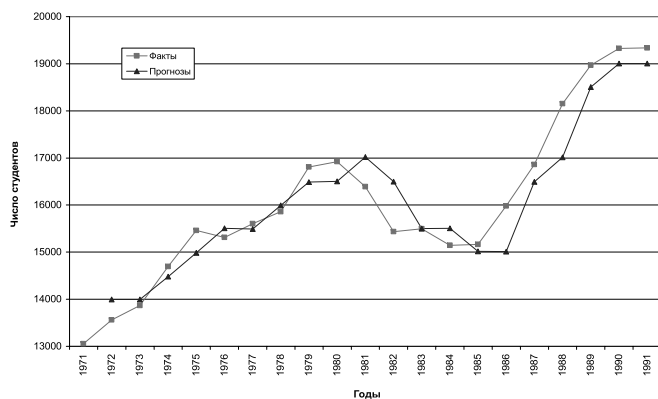
В табл. 7 приведены данные для сравнительного анализа результатов прогнозирования, полученных с помощью предложенного метода, с результатами, полученными с помощью других методов и с применением других нечетких импликаций.

Для сравнения была использована усредненная погрешность прогнозирования (*average forecasting error rate (AFER)*), определяемая следующим образом:

$$AFER = \frac{\sum_{i=1}^n |A_i - F_i| / A_i}{n} \cdot 100 \%, \quad (4)$$

где  $A_i$  — актуальные значения исторических данных;  $F_i$  — прогнозные значения;  $n$  — число наблюдений.

Зачисления студентов



### Результат прогнозирования

Таким образом, на основе анализа и сравнения полученных результатов с лучшими результатами предыдущих методов можно сказать, что предложенный метод дает меньшую усредненную погрешность. На основе алгоритма предложенного метода была разработана программа в среде программирования C++Builder 6.0.

### Заключение

В настоящей работе предложен метод прогнозирования на основе модели нечетких временных рядов с применением нечетких импликаций. В частности, описывается алгоритм предложенного

метода для прогнозирования тестовой задачи на примере использования правила условного логического вывода, ЕСЛИ...ТО...ИНАЧЕ... для формирования матрицы нечеткого отношения и с применением нечеткой импликации АЛІ-З. Сравнение полученных результатов прогнозирования с результатами других методов показывает, что предложенный метод имеет меньшую усредненную погрешность прогнозирования (AFER).

### Список литературы

1. **Chen S. M., Hsu C. C.** A new method to forecasting enrollments using fuzzy time series // *International Journal of Applied Science and Engineering*. 2004. N. 2, 3. P. 234—244.
2. **Chen S. M.** Forecasting enrollments based on fuzzy time series // *Fuzzy Sets and Systems*. 1996. Vol. 81. P. 311—319.
3. **Hsu C. C., Chen S. M.** A new method for forecasting enrollments based on fuzzy time series // *Proceedings of the Seventh Conference on Artificial Intelligence and Applications*, Taichung, Taiwan, Republic of China, 2004. P. 17—22.
4. **Rutkowski L., Spalka K.** Flexible Neuro-Fuzzy Systems // *IEEE Transactions on Neural Networks*. May 2003. Vol. 14, N. 3.
5. **Song Q., Chissom B. S.** Fuzzy time series and its models // *Fuzzy Sets and Systems*. 1993. Vol. 54. P. 269—277.
6. **Song Q., Chissom B. S.** Forecasting enrollments with fuzzy time series. Part I. // *Fuzzy Sets and Systems*. 1993. Vol. 54. P. 1—9.
7. **Song Q., Chissom B. S.** Forecasting enrollments with fuzzy time series. Part I. // *Fuzzy Sets and Systems*. 1994. Vol. 62. P. 1—8.
8. **Zadeh L. A.** The concept of a linguistic variable and its application to approximate reasoning. Part I—III // *Inf. Sci.* 1975. N. 8. P. 199—249; 1975. N. 8. P. 301—357; 1975. N. 9. P. 43—80.
9. **Алиев Р. А., Алиев Р. Р.** Теория интеллектуальных систем. Баку: Чашыоглы, 2001. 719 с.
10. **Ахмедов М. З.** Новый вариант решения проблемы прогнозирования с помощью нечетких временных рядов // *Ученые записки НАН Азербайджана*, № 3. Баку, 2001.

**M. Z. Ahmedov**, Senior Teacher, m\_axmedov@mail.ru,  
Mingechevir Government University, Mingechevir city, Azerbaijan republic

## Handling Forecasting Problem with Applying Fuzzy Implication

*In this paper, the new forecasting method based fuzzy time series, with applying fuzzy implication described, with which help the best result in the decision of forecasting problems received. The suggested method based on relational equations approach, have shown better results of fuzzy time series forecasting. For the proof the known task — forecasting university enrollments of Alabama used. In the paper the comparative analysis of the received results on a background of results received by the above named authors is given. In result, minimal known, that average forecasting error (AFER) in all bases of forecasting in comparison with other methods.*

**Keywords:** Fuzzy set, Fuzzy time series, Fuzzy logical relation, Fuzzy implication

### References

1. **Chen S. M., Hsu C. C.** A new method to forecasting enrollments using fuzzy time series, *International Journal of Applied Science and Engineering*, 2004, vol. 2, 3, pp. 234—244.
2. **Chen S. M.** Forecasting enrollments based on fuzzy time series, *Fuzzy Sets and Systems*, 1996, vol. 81, pp. 311—319.
3. **Hsu C. C., Chen S. M.** A new method for forecasting enrollments based on fuzzy time series, *Proceedings of the Seventh Conference on Artificial Intelligence and Applications*, Taichung, Taiwan, Republic of China, 2004, pp. 17—22.
4. **Rutkowski L., Spalka K.** Flexible Neuro-Fuzzy Systems. *IEEE Transactions on Neural Networks*, May 2003, vol. 14, no. 3.
5. **Song Q., Chissom B. S.** Fuzzy time series and its models, *Fuzzy Sets and Systems*, 1993, vol. 54, pp. 269—277.
6. **Song Q., Chissom B. S.** Forecasting enrollments with fuzzy time series Part I. *Fuzzy Sets and Systems*, 1993, vol. 54, pp. 1—9.
7. **Song Q., Chissom B. S.** Forecasting enrollments with fuzzy time series Part II. *Fuzzy Sets and Systems*, 1994, vol. 62, pp. 1—8.
8. **Zadeh L. A.** The concept of a linguistic variable and its application to approximate reasoning, part I—III, *Inf. Sci.*, 1975, no. 8, pp. 199—249; 1975, no. 8, pp. 301—357; 1975, no. 9, pp. 43—80.
9. **Aliiev R. A., Aliiev R. R.** *Teorija intellektual'nyh system* (Theory of the intellectual systems), Baku, Chashyogly, 2001. 719 p.
10. **Ahmedov M. Z.** Novyj variant reshenija problemy prognozirovaniya s pomoshh'ju nechetkih vremennyh rjadov (New variant of the decision of forecasting problems using fuzzy time series), *Uchenye zapiski*, no. 3, NAN Azerbaijan, Baku, 2001, pp. 96—103.