

**Для цитирования:** Бизянов Е.Е., Гутник А.А. Метод получения параметров функций принадлежности нечетких множеств на основе реальных данных для систем автоматизированной обработки информации. Вестник Дагестанского государственного технического университета. Технические науки. 2019;46 (3): 79-86. DOI:10.21822/2073-6185-2019-46-3-79-86.

**For citation:** E. E. Bisyanov, A. A. Gutnik. Method for obtaining the parameters of membership functions of fuzzy sets based on real data for automated information processing systems. Herald of Daghestan State Technical University. Technical Sciences. 2019; 46 (3): 79-86. (In Russ.) DOI:10.21822/2073-6185-2019-46-3-79-86

## ИНФОРМАТИКА, ВЫЧИСЛИТЕЛЬНАЯ ТЕХНИКА И УПРАВЛЕНИЕ

УДК 681.3

DOI:10.21822/2073-6185-2019-46-3-79-86

### МЕТОД ПОЛУЧЕНИЯ ПАРАМЕТРОВ ФУНКЦИЙ ПРИНАДЛЕЖНОСТИ НЕЧЕТКИХ МНОЖЕСТВ НА ОСНОВЕ РЕАЛЬНЫХ ДАННЫХ ДЛЯ СИСТЕМ АВТОМАТИЗИРОВАННОЙ ОБРАБОТКИ ИНФОРМАЦИИ

**Бизянов Е.Е., Гутник Е.Е.**

Донбасский государственный технический университет,  
94204, ЛНР, г. Алчевск, пр. Ленина, 16, Украина

**Резюме.** Цель. Разработка метода выбора типа функции принадлежности и получения ее параметров, который позволил бы исключить субъективное влияние человека при автоматизированной обработке информации. **Метод.** В работе рассмотрены и проанализированы существующие методы построения функций принадлежности. Исследование основано на методах нечеткой логики и анализа данных. **Результат.** Предложен метод получения параметров функций принадлежности нечетких множеств, использующий реальные данные. Предложено для определения ядра нечеткого числа использовать данные, полученные от исследуемого объекта, а для носителя — теоретические сведения об объекте. Рассматриваются треугольная, трапециевидальная, колоколообразная и гауссова функции принадлежности. Внешний вид функции принадлежности предложено определять с помощью критерия – отношения ядра к носителю нечеткого множества. Приведены результаты расчетов при использовании предложенного метода для получения функций принадлежности на основании данных о мощности, потребляемой электродвигателями различного типа. **Вывод.** Разработанный метод может найти применение как в системах поддержки принятия решений, так и в автоматизированных системах управления технологическими процессами. Предложенные в статье значения критерия могут быть пересмотрены при необходимости учета значений, входящих в множество измеренных реальных данных, или исходя из требования упрощения процедуры автоматизированной обработки. В дальнейших исследованиях планируется применение описанного метода для получения термов лингвистических переменных.

**Ключевые слова:** данные, нечеткое множество, носитель, ядро, функция принадлежности

## METHOD FOR OBTAINING THE PARAMETERS OF MEMBERSHIP FUNCTIONS OF FUZZY SETS BASED ON REAL DATA FOR AUTOMATED INFORMATION PROCESSING SYSTEMS

*E.E. Bisyanov, A.A. Gutnik*

*Donbas State Technical University,  
16 Lenin Ave., LNR, Alchevsk 94204, Ukraine*

**Abstract Objectives** Development of a method for selecting the type of accessory function and obtaining its parameters to allow subjective personal influences in automated information processing to be excluded. **Method.** Existing methods for constructing membership functions were analysed. The research was based on the methods of fuzzy logic and data analysis. **Results.** A method for obtaining the parameters of membership functions of fuzzy sets using real data is suggested. It is proposed to use the data obtained from the object under study to determine the kernel of the fuzzy number, as well as derive theoretical information about the object for the carrier. Triangular, trapezoidal, bell-shaped and Gaussian membership functions are considered. The appearance of the membership function can be defined using the criterion of the relations of the kernel to the carrier of a fuzzy set. The results of calculations for obtaining the membership functions based on data on the power consumption of electric motors of different types are given. **Conclusion.** The developed method can be used both in decision support systems as well as in automated systems for controlling technological processes. If necessary, the values of the criterion proposed in the article can be revised to take the values included in the set of measured real data into account or to simplify the procedure of automated processing. Further research will use the described method to obtain the terms of linguistic variables.

**Keywords:** data, fuzzy set, medium, kernel, membership function

**Введение.** Увеличение объемов данных, хранящихся в базах данных информационных систем, приводит к необходимости постоянного совершенствования методов их обработки. В автоматизированных системах обработки информации данные поступают в основном в оцифрованном виде, в то время как человек привык оперировать лингвистическими понятиями.

Однако включение человека в процесс обработки данных вносит субъективность в процесс обработки данных, что может увеличить неопределенность [1], и, как следствие, привести к неверным результатам. В [1] приведены следующие виды неопределенностей информации, которые можно анализировать с использованием теории нечетких множеств: статистическая, субъективная, экспертные оценки, предпочтения, лингвистическая, конфликтующая, недостаточность информации.

Одним из эффективных инструментов для обработки информации в условиях неопределенности является математический аппарат теории нечетких множеств [2].

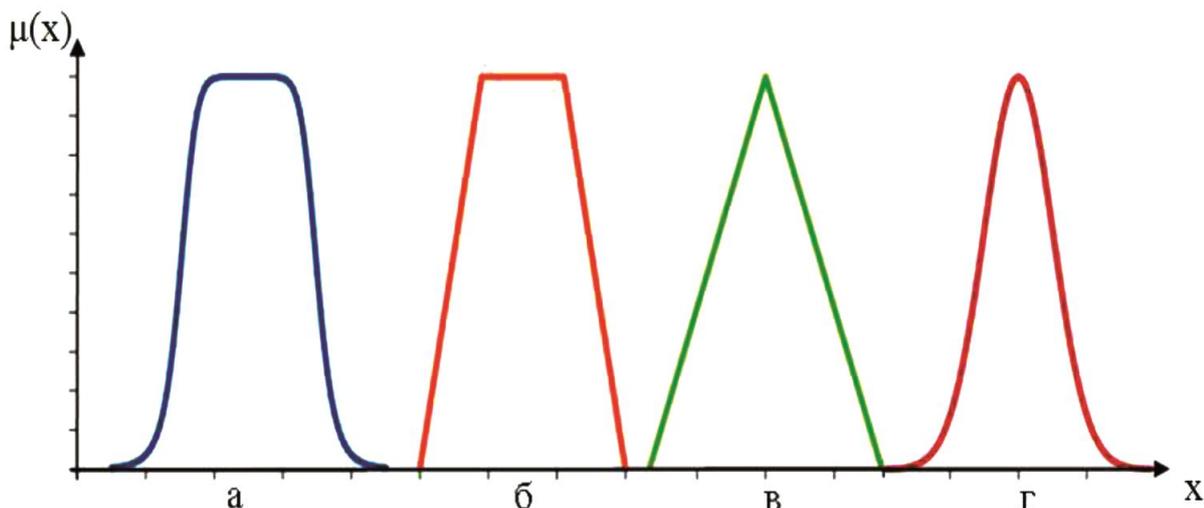
Нечеткая логика и нечеткая математика в настоящее время используются во многих областях человеческой деятельности: в технике, медицине, экономике, биологии и пр., что обусловлено наличием неопределенностей во входных данных: неточностью или недостаточностью данных, приблизительным характером рассуждений людей при принятии решений, неподтвержденной достоверностью поступающей информации.

Нечеткое множество (НМ) часто представляют в виде функции принадлежности (ФП), которая ставит в соответствие каждому значению из некоторого множества число — степень принадлежности из заданного интервала [2].

Особенностью использования теории нечетких множеств является то, что ФП нечеткого множества должна быть сформирована вне теории, что приводит к сложностям в проверке её адекватности [3].

**Постановка задачи.** Выбор ФП в значительной мере зависит от объемов и достоверности поступающей на обработку информации [2].

При малом объеме входной информации используют простые ФП [3, 4], для которых требуется небольшое количество параметров: колоколообразную, трапецевидную, треугольную и гауссову, представленные на рис. 1.



**Рис. 1. Внешний вид функций принадлежности**  
**Fig. 1. The form of membership functions**

Колоколообразная (рис.1, а) и трапецевидная ФП (рис.1, б) имеют схожую форму, также как треугольная (рис.1, в) и гауссова (рис.1, г) ФП, отличаясь плавностью переходов в точках перелома, что проявляется при их дифференцировании [2].

ФП колоколообразной формы и гауссова хорошо подходят для неопределенности, задаваемой людьми, т.к. соответствуют интервальным значениям, возникающим при поиске решения путем экспертного оценивания [2, 5], а трапецевидная и треугольная ФП наиболее пригодны для использования в системах автоматизированной обработки информации.

При построении функции принадлежности нечеткого множества исследователи используют: метод экспертных оценок [3, 7-8], критериальные оценки [4], кластеризацию [6] и теорию вероятности [7].

Чаще всего для получения функции принадлежности нечеткого множества используют экспертные оценки. Так, в [3] приведен обзор более 10 методов получения ФП, в [8] – еще 4 метода получения ФП на основе экспертных оценок, а в работе [7] предложено совместить экспертные оценки с теорией вероятности.

Ограничением методов, использующих экспертные оценки, является их субъективность, проявляющаяся в проявлении экспертами субъективной тенденции сдвигать оценки объектов в направлении концов оценочной шкалы [3].

При этом возникают догмы согласованности и одномерности, приводящие к необходимости отсеивания экспертов, использования подхода «квалиметрии» [9], а также «размытость» в постановке задачи.

Поэтому задача разработки метода получения функций принадлежности, который позволил бы исключить субъективное влияние человека при автоматизированной обработке информации, является актуальной.

Целью статьи является разработка метода выбора типа функции принадлежности нечеткого множества и расчета ее параметров, пригодного для использования в системах автоматизированной обработки информации в условиях неопределенности.

**Методы исследования.** Будем рассматривать функции принадлежности, имеющие треугольную и трапецевидную формы, для построения которых требуется минимальное количество данных, они могут быть модифицированы при изменении входной информации, а также

обеспечивают условие разбиения единицы [2], при этом обладая наглядной графической интерпретацией.

Сходность ФП треугольной формы и гауссовой, а также колоколообразной и трапециевидной позволит распространить полученные результаты на все виды ФП, приведенные на рис. 1.

Примем, что все рассматриваемые функции принадлежности – нормированы, т.е. для них соблюдается условие  $\mu_{max} = 1$  [2].

Пусть имеются значения параметра  $X$ , полученные в различные моменты времени (интервалы между соседними значениями могут быть различными):

$$X = \{x_1(t_1), x_2(t_2) \dots x_n(t_n)\} \quad (1)$$

Так как все элементы множества  $X$  — это реальные значения, для которых уровень возможности всегда равен единице, в качестве границ ядра нечеткого множества примем максимальное  $X_{max}$  и минимальное  $X_{min}$  значения из множества  $X$ .

В качестве границ носителя НМ примем теоретические значения минимума  $X_{min}^T$  и максимума  $X_{max}^T$  для анализируемого параметра, которые определим исходя из особенностей предметной области: например, для уровня потребления электроэнергии на предприятии минимальным значением будет 0 (все оборудование выключено), а максимальным — мощность, потребляемая при включении всего оборудования.

В качестве критерия выбора формы ФП примем отношение ядра к носителю нечеткого множества:

$$R = (X_{max} - X_{min}) / (X_{max}^T - X_{min}^T) \quad (2)$$

Так как ядро всегда меньше или равно носителю нечеткого множества, всегда будет выполняться условие  $R \leq 1$ . Примем, что при  $R < 0.05$  ФП может быть представлена треугольной формой, при  $0.05 \leq R \leq 0.2$  — функцией Гаусса, а при  $R > 0.2$  — трапециевидной формой.

Предложенные граничные значения для критерия могут быть пересмотрены исследователем исходя из необходимости учета входящих в множество измеренных реальных значений данных  $X$ , или исходя из требования упрощения процедуры автоматизированной обработки: треугольные и гауссовы ФП обрабатывать проще, чем трапециевидные или колоколообразные.

Таким образом, при  $R > 0.2$ , задав значения  $X_{max}$ ,  $X_{min}$ ,  $X_{min}^T$  и  $X_{max}^T$ , сразу получаем трапециевидную функцию принадлежности.

Для задания треугольной или гауссовой ФП требуются три опорные точки: границы носителя нечеткого числа ( $X_{min}^T$  и  $X_{max}^T$ ) и ядро.

Ядро НМ для треугольной или гауссовой ФП зададим средним квадратическим  $X_{cp.кв}$  элементов множества  $X$ .

Выбор средней квадратической оценки из всех возможных вариантов средних [10] обусловлен тем, что ее значение наиболее приближено к середине интервала  $[X_{min}; X_{max}]$ , особенно при неравномерном разбросе значений внутри множества  $X$ .

**Обсуждение результатов.** Рассмотрим примеры построения функций принадлежности нечетких множеств с использованием предложенного метода.

Представим в форме нечеткого множества ток, потребляемый трехфазным асинхронным двигателем закрытого типа с короткозамкнутым ротором МЗВР 400 ЛКВ [11]. Значения тока, измеренные в произвольные моменты времени в стационарном режиме работы двигателя, приведены в табл. 1.

Найдем параметры ФП для представления тока, потребляемого двигателем МЗВР 400 ЛКВ, в виде нечеткого множества:

- максимальное значение потребляемого тока  $I_{max} = 1,1$  кА;
- минимальное значение потребляемого тока  $I_{min} = 1$  кА;
- теоретический максимум (значение пускового тока)  $I_{max}^T \approx 8,2$  кА [11];
- теоретический минимум (ток холостого хода)  $I_{min}^T = 0,22$  кА [11];

Рассчитаем критерий  $R$  по формуле (2):

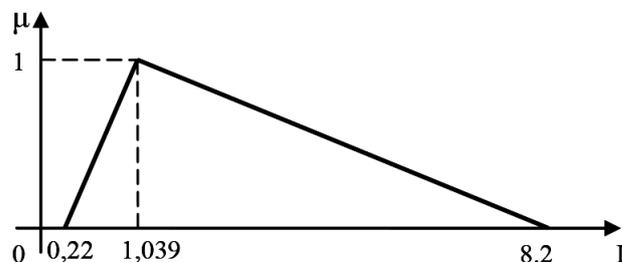
$$R = (I_{max} - I_{min}) / (I_{max}^T - I_{min}^T) = (1,1 - 1) / (8,2 - 0,22) = 0,01.$$

**Таблица 1. Потребляемый ток двигателя МЗВР 400 ЛКВ**  
**Table 1. Current consumed by the motor — МЗВР 400 LKB**

Время Time	Значение тока Current, кА	Время Time	Значение тока Current, кА
t <sub>1</sub>	1,00	t <sub>9</sub>	1,08
t <sub>2</sub>	1,05	t <sub>10</sub>	1,06
t <sub>3</sub>	1,03	t <sub>11</sub>	1,04
t <sub>4</sub>	1,06	t <sub>12</sub>	1,04
t <sub>5</sub>	1,00	t <sub>13</sub>	1,03
t <sub>6</sub>	1,01	t <sub>14</sub>	1,02
t <sub>7</sub>	1,07	t <sub>15</sub>	1,00
t <sub>8</sub>	1,10	t <sub>16</sub>	1,04

Так как значение критерия  $R < 0.05$ , выбираем треугольную функцию принадлежности, после чего находим ядро нечеткого множества — среднее квадратическое потребляемого тока  $I_{\text{ср.кв.}} = 1,039$  кА.

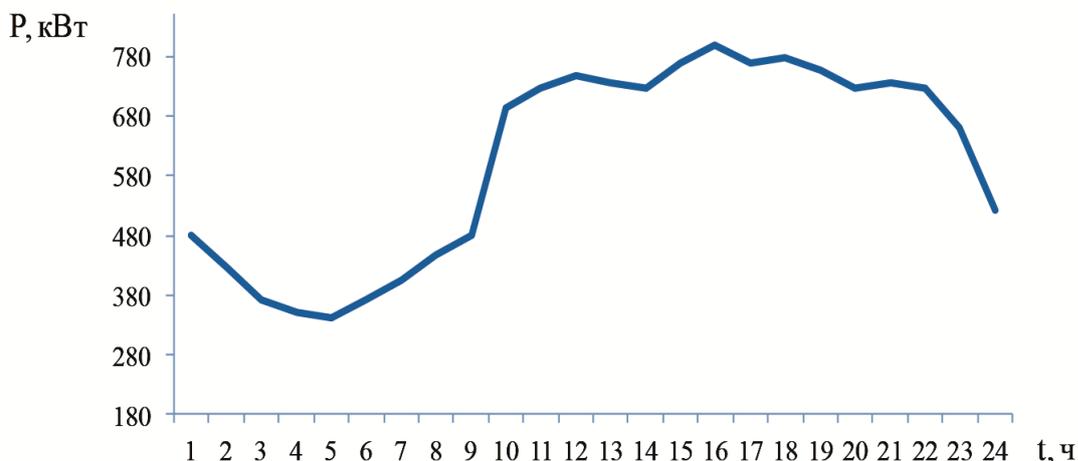
Полученная функция принадлежности для тока, потребляемого двигателем МЗВР 400 ЛКВ, приведена на рис. 2.



**Рис. 2. Функция принадлежности для тока, потребляемого двигателем МЗВР 400 ЛКВ**  
**Fig. 2. Membership function for current consumed by the motor — МЗВР 400 LKB**

Представим в форме нечеткого числа среднечасовую активную потребляемую мощность для двигателя ВАО2-560-630-4, установленного в насосной установке водоотлива угледобывающей шахты.

Гипотетический график мощности, потребляемой двигателем, показан на рис. 3.



**Рис. 3. График активной мощности, потребляемой насосом водоотлива шахты**  
**Fig. 3. Chart of active power consumed by the mine drainage pump**

Используя технические характеристики двигателя ВАО2-560-630-4 [12] и данные графика, приведенного на рис. 3, найдем параметры функции принадлежности:

- максимальное значение мощности  $P_{\max} = 800,1$  кВт;
- минимальное значение мощности  $P_{\min} = 341,376$  кВт;
- теоретический максимум (при  $\eta = 95\%$ ,  $\cos\varphi = 0,9$ )  $P_{\max}^T = 1066,8$  кВт;
- теоретический минимум (мощность холостого хода)  $P_{\min}^T = 85,2$  кВт;

Рассчитаем величину критерия  $R$  по формуле (2):

$$R = (P_{\max} - P_{\min}) / (P_{\max}^T - P_{\min}^T) = (800,1 - 341,376) / (1066,8 - 85,2) = 0,43.$$

Так как значение  $R > 0,2$ , выбираем трапецидальную функцию принадлежности. Полученная функция принадлежности потребляемой мощности приведена на рис. 4.

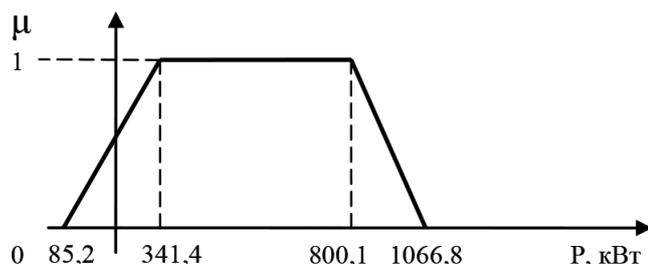


Рис. 4. Функция принадлежности для среднечасовой мощности, потребляемой двигателем VAO2-560-630-4

Fig. 4. Membership function for the hourly average power consumed by the engine – VAO2-560-630-4

Таким образом, предлагаемый метод позволяет выбирать вид функции принадлежности нечеткого множества и задавать ее параметры в автоматическом режиме, без привлечения человека, основываясь на реальных данных объектов и процессов.

**Вывод.** Проведенный анализ известных методов построения функций принадлежности нечетких множеств показал, что большинство из них использует экспертные оценки, что вносит субъективность в результаты и усложняет процесс автоматизации обработки данных.

Для автоматизированного получения функций принадлежности предложен метод, в котором для определения параметров ядра нечеткого множества предлагается использовать реальные данные, полученные от исследуемого объекта или процесса, а для определения носителя – теоретический диапазон возможных значений представляемого нечетким множеством параметра исследуемого объекта или процесса.

В качестве критерия, определяющего вид функции принадлежности нечеткого множества, предложено использовать соотношение его ядра и носителя.

Предложенные в статье граничные значения для критерия могут быть пересмотрены исследователем исходя из необходимости учета значений, входящих в множество измеренных реальных данных, или исходя из требования упрощения процедуры автоматизированной обработки. В дальнейших исследованиях планируется применение описанного метода для получения термов лингвистических переменных.

#### Библиографический список:

1. Левицкий С.И. Модели управления проектами в нестабильной экономической среде: монография / С. И. Левицкий, Ю. Г. Лысенко, А. В. Филиппов и др.; под ред. чл.-кор. НАН Украины, д-ра экон. наук, проф. Ю. Г. Лысенко. — 2-е изд., перераб. и доп. — Донецк: Юго-Восток, 2009. — 354 с.
2. Пегат А. Нечеткое моделирование и управление / А. Пегат; пер. с англ. — 3-е изд. — М.: БИНОМ. Лаборатория знаний, 2015. — 801 с.
3. Нечеткие множества в моделях управления и искусственного интеллекта / Под ред. Д. А. Поспелова. М.: Наука. Гл. ред. физ.-мат. лит., 1986. 312 с. (Проблемы искусственного интеллекта).
4. Башвеев Ю.А., Сальников И.И. Функция принадлежности в системе поддержки принятия решения по выбору микроконтроллера // XXI век: итоги прошлого и проблемы настоящего плюс. 2016. №3 (31). С. 89-100
5. Орлов А.И. Теория принятия решений. Учебное пособие / А.И.Орлов. М.: Издательство «Экзамен», 2005. 656 с.

6. E. Bas, U. Yoclu, E. Egrioglu, Cagdas Hakan Aladag A Fuzzy Time Series Forecasting Method Base on Operation of Union and Feed Forward Artificial Neuron Network // American Journal of Intelligent Systems. 2015. Vol. 5(3). pp. 81-91
7. Нечеткие множества и теория возможностей. Последние достижения / Пер. с англ. / Под ред. Р.Р. Ягера.— М.: Радио и связь, 1986. 408 с.
8. Chameau J.L., Santamarina J.C., Membership function I: Comparing methods of Measurement // International Journal of Approximate Reasoning. 1987. Vol. 1. pp.287-301
9. Орлов А.И. Экспертные оценки. // Журнал «Заводская лаборатория». 1996. Т.62. № 1. С.54-60.
10. Берестов В.Л. Статистика: Учебное пособие. / В.Л. Берестов, Е.П. Жиленкова, С.Г. Кузнецов — Брянск: Брян.гос.инж.-техн.акад., 2014. — 244 с.
11. Низковольтные электродвигатели промышленного назначения [Электронный ресурс] – URL: [http://www.com-sol.ru/katalog/elektrodvigateli/abb/kat/nv\\_dvigateli\\_promishlennogo\\_naznacheniya.pdf](http://www.com-sol.ru/katalog/elektrodvigateli/abb/kat/nv_dvigateli_promishlennogo_naznacheniya.pdf) (дата обращения: 27.09.2019).
12. Справочник по электрическим машинам. В 2 т. Т. 2. / Под общ. ред. И.П. Копылова, Б.К. Клокова. М.: Энергоатомиздат, 1989. 688 с.

#### References:

1. Levitskiy S.I. Modeli upravleniya proektami v nestabil'noy ekonomicheskoy srede : monografiya / S. I. Levitskiy, Yu. G. Lysenko, A. V. Filippov i dr.; pod red. chl.-kor. NAN Ukrainy, d-ra ekon. nauk, prof. Yu. G. Lysenko. — 2-e izd., pererab. i dop. — Donetsk : Yugo-Vostok, 2009. 354 s. [Levickii S.I. Project management models in an unstable economic environment: monograph / S.I. Levickii, Y.G. Lisenko, A.V. Filippov and others; under the editorship of Corresponding Member of NAS of Ukraine, Dr. Sci. Econ., Professor Y.G. Lisenko. 2nd edition, revised and enlarged. Donetsk : Southeast, 2009. 354 p. (in Russ)]
2. Pegat A. Nechetkoe modelirovanie i upravlenie / A. Pegat; per. s angl. 3-e izd. — М. : BINOM. Laboratoriya znaniy, 2015. — 801 s. [Piegat A. Fuzzy modeling and control / A. Piegat; translation from the English language. — 3rd edition — М.: Binom-press. Knowledge lab, 2015. 801 p. (in Russ)]
3. Nechetkiye mnozhestva v modelyakh upravleniya i iskusstvennogo intellekta/ Pod red. D. A. Pospelova. М.: Nauka. Gl. red. fiz.-mat. lit., 1986. 312 s. (Problemy iskusstvennogo intellekta). [Fuzzy sets in control and artificial intelligence models / Ed. D.A. Pospelova. М. : Science. Ch. ed. Phys.-Math. lit., 1986. 312 p. (Problems of artificial intelligence) (in Russ)]
4. Bashveev Yu.A., Sal'nikov I.I. Funktsiya prinadlezhnosti v sisteme podderzhki prinyatiya resheniya po vyboru mikrokontrollera // XXI vek: itogi proshlogo i problemy nastoyashchego plyus. 2016. №3 (31). S. 89-100 [Bashveev Y.A., Salnikov I.I. The membership functions of decision support system software choosing a microcontroller // XXI century: resumes of the past and challenges of the present plus. 2016. No. 3 (31). pp. 89-100 (in Russ)]
5. Orlov A.I. Teoriya prinyatiya resheniy. Uchebnoe posobie / A.I.Orlov. М.: Izdatel'stvo «Ekzamen», 2005. 656 s. [Orlov A.I. Decision theory. Study guide / A.I. Orlov. М.: Publishing «Exam», 2005. 656 p. (in Russ)]
6. E. Bas, U. Yoclu, E. Egrioglu, Cagdas Hakan Aladag A Fuzzy Time Series Forecasting Method Base on Operation of Union and Feed Forward Artificial Neuron Network // American Journal of Intelligent Systems. — 2015. Vol. 5(3). pp. 81-91
7. Nechetkie mnozhestva i teoriya vozmozhnostey. Poslednie dostizheniya / Per. s angl. / Pod red. R.R. Yagera. М.: Radio i svyaz', 1986. — 408 s. [Fuzzy set and possibility theory. Recent Development / Edited by R.R.Yager. М.: Radio and communication, 1986. 408 p. (in Russ)]
8. Chameau J.L., Santamarina J.C., Membership function I: Comparing methods of Measurement // International Journal of Approximate Reasoning. 1987. Vol. 1. pp.287-301
9. Орлов А.И. Экспертные оценки. // Журнал «Заводская лаборатория». 1996. Т.62. № 1. С.54-60. [Orlov A.I. Theory of expert estimates in our country // Industrial Laboratory. 1996. Vol. 62. No. 1. pp. 54-60 (in Russ)]
10. Berestov V.L. Statistika: Uchebnoe posobie. / V.L. Berestov, E.P. Zhilenkova, S.G. Kuznetsov Bryansk: Bryan.gos.inzh.-tekh.n.akad., 2014. — 244 s. [Berestov V.L. Statistics: Study guide / V.L. Berestov, E.P. Zhilenkova, S.G. Kuznetsov — Bryansk: BSTAЕА, 2014. — 244 p. (in Russ)]
11. Low-voltage electric motors for industrial use [Electronic resource] - Available at: [http://www.com-sol.ru/katalog/elektrodvigateli/abb/kat/nv\\_dvigateli\\_promishlennogo\\_naznacheniya.pdf](http://www.com-sol.ru/katalog/elektrodvigateli/abb/kat/nv_dvigateli_promishlennogo_naznacheniya.pdf) (accessed 27.09.2019) (in Russ)]
12. Spravochnik po elektricheskim mashinam. V 2 t. Т. 2. / Pod obshch. red. I.P. Kopylova, B.K. Klokova. — М.: Energoatomizdat, 1989. 688 s. [Handbook of electric machines. Vol. 2 of 2 / Edited by I.P. Kopylova, B.K. Klokova. М.: Energoatomizdat, 1989. 688 p. (in Russ)]

#### Сведения об авторах:

Бизянов Евгений Евгеньевич, доктор экономических наук, кандидат технических наук, доцент, профессор кафедры «Специализированные компьютерные системы»; e-mail: [bpееlecs@gmail.com](mailto:bpееlecs@gmail.com)

Гутник Артур Альбертович, аспирант кафедры «Специализированные компьютерные системы»; e-mail: [hutnik.aa@gmail.com](mailto:hutnik.aa@gmail.com)

#### Information about the authors:

Evgeny E. Bisyanov, Dr. Sci. (Economy), Cand. Sci. (Technical), Prof., Prof., Department of Specialized Computer Systems; e-mail: **bpeeecs@gmail.com**  
Arthur A. Gutnik, Graduate Student Department of Specialized Computer Systems;  
e-mail: **hutnik.aa@gmail.com**

**Конфликт интересов**

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

**Поступила в редакцию** 19.08.2019.

**Принята в печать** 21.09.2019.

**Conflict of interest.**

The authors declare no conflict of interest.

**Received** 19.08.2019.

**Accepted for publication** 21.09.2019.