Теоретические вопросы информатики, прикладной математики, компьютерных наук и когнитивно-информационных технологий

УДК 510.22 DOI 10.25559/SITITO.2017.3.499

Исаев Р.А., Подвесовский А.Г.

Брянский государственный технический университет, г. Брянск, Россия

ОЦЕНКА СОГЛАСОВАННОСТИ СУЖДЕНИЙ ЭКСПЕРТА ПРИ ПОСТРОЕНИИ ФУНКЦИИ ПРИНАДЛЕЖНОСТИ НЕЧЕТКОГО МНОЖЕСТВА МЕТОДОМ МНОЖЕСТВ УРОВНЯ

Аннотация

В статье рассмотрен один из экспертных методов построения функции принадлежности нечеткого множества – метод множеств уровня, предложенный Р. Ягером. Обоснована целесообразность усовершенствования данного метода путем введения в него процедуры оценки согласованности суждений эксперта. С этой целью предложен подход, основанный на определении степени согласованности суждений в отношении каждого элемента нечеткого множества в отдельности. Получен и обоснован критерий оценки достаточности степени согласованности. Приведены примеры применения предложенного подхода.

Ключевые слова

Нечеткое множество; функция принадлежности; построение функции принадлежности; метод множеств уровня; согласованность экспертных суждений.

Isaev R.A., Podvesovskii A.G.

Bryansk State Technical University, Bryansk, Russia

EVALUATION OF EXPERT JUDGEMENTS CONSISTENCY WHEN CONSTRUCTING A MEMBERSHIP FUNCTION OF FUZZY SET USING THE METHOD OF LEVEL SETS

Abstract

The article deals with one of the expert methods for construction of a membership function of fuzzy set – method of level sets, developed by R. Yager. The feasibility of improving of this method, by adding a procedure for evaluation of consistency of expert judgements, is justified. With this purpose an approach is proposed, which is based on evaluation of judgements consistency degree for each element of fuzzy set separately. The criterion for evaluation of sufficiency of consistency degree is obtained and justified. The examples of application of the described approach are made.

Keywords

Fuzzy set; membership function; membership function construction; method of level sets; consistency of expert judgements.

Введение

Одним из основополагающих понятий нечеткой логики является понятие функции принадлежности нечеткого множества. Известно множество методов построения функции принадлежности на основе экспертной информации. Их подробный обзор и классификацию можно найти, например, в классической монографии [1]. С современным состоянием данного вопроса можно ознакомиться, в частности, с помощью работы [2].

Среди экспертных методов построения функции принадлежности принято выделять две группы: прямые и косвенные. Прямые методы характеризуются тем, что эксперт непосредственно задает правила определения значений функции принадлежности $\mu_A(x)$ для нечеткого множества A, задающего формализуемое понятие, для каждого элемента области определения $x \in X$. Как правило, прямые методы используются в тех случаях, когда описываемое понятие характеризуется измеримыми свойствами (высота, объем, скорость и т.п.).

Косвенные методы построения функции принадлежности основаны на разбиении общей задачи определения степени принадлежности $\mu_A(x)$ для каждого элемента области определения на ряд более простых подзадач и могут использоваться в том числе и в случаях, когда элементарные измеримые свойства отсутствуют. Они более трудоемки, чем прямые, но их преимущество состоит в устойчивости к случайным ошибкам в результатах экспертного опроса и нарушениям внутренней согласованности суждений эксперта. Наибольшую известность среди косвенных методов приобрел метод парных сравнений, предложенный Т. Саати в [3].

В 1982 г. Р. Ягером в статье [4] был предложен еще один косвенный метод построения функции принадлежности – метод множеств уровня. В 1986 г. данная статья была переведена на русский язык [5]. Тем не менее, за время своего существования предложенный метод так и не обрел широкую известность. В зарубежных публикациях он, как правило, упоминается вскользь, лишь в качестве одного из возможных методов построения функции принадлежности (см., например, [6, 7]). В русскоязычных публикациях метод множеств уровня упоминается еще реже, но можно выделить работы [8, 9], где затрагиваются вопросы практического применения данного метода.

Следует отметить, что в отличие от метода парных сравнений Саати, важной частью которого является формальная, теоретически обоснованная процедура оценки согласованности суждений эксперта (что может служить определенной мерой доверия к полученным значениям степеней принадлежности), для метода множеств уровня такая процедура, по всей видимости, отсутствует. В исходной работе Р. Ягера содержится лишь упоминание о том, что «… если несогласованность будет очень велика, то можно просить человека пересмотреть свой выбор, сообщив ему о результатах расчетов» [5 : 77]. Таким образом, осмысленность и достоверность результатов, получаемых с помощью метода множеств уровня, не контролируется в рамках самого метода и определяется в основном степенью компетентности и добросовестности эксперта, а также уровнем его внимательности при вынесении суждений.

В настоящей работе делается попытка устранить указанный недостаток метода множеств уровня: предлагается процедура оценки согласованности суждений эксперта, и вводится критерий оценки достаточности степени согласованности. Значения данного критерия могут служить индикатором целесообразности пересмотра и корректировки экспертом своих суждений.

Описание метода множеств уровня

Приведем вначале краткое описание самого метода множеств уровня. Метод использует понятие множества α-уровня (α-среза) нечеткого множества. Множеством α-уровня нечеткого множества A называется четкое подмножество A_α универсального множества (области определения) X, все элементы которого принадлежат нечеткому множеству A, со степенью, не меньшей α:

$$A_\alpha = \{x \mid \mu_A(x) \ge \alpha, \quad x \in X\}.$$

Обозначим $\mu_A(x_j) = a_j$ ($j = 1, \ldots, n$), и предположим, не нарушая общности, что

$$a_1 \le a_2 \le \ldots \le a_n.$$

Значения a_j являются искомыми.

Метод множеств уровня основывается на следующем *стохастическом эксперименте*: вначале случайным образом выбирается значение $\alpha \in (0, 1]$, затем, также случайно, элемент из соответствующего множества α-уровня. Вероятность выбора конкретного элемента x_j в данном эксперименте обозначим через $P(x_j)$. Связь значений $P(x_j)$ и a_j определяется следующим образом:

$$P(x_1) = \frac{a_1}{n},$$

$$P(x_2) = P(x_1) + \frac{a_2 - a_1}{n-1},$$

$$P(x_3) = P(x_2) + \frac{a_3 - a_2}{n-2},$$

$$\ldots$$

$$P(x_{n-1}) = P(x_{n-2}) + \frac{a_{n-1} - a_{n-2}}{2},$$

$$P(x_n) = P(x_{n-1}) + (a_n - a_{n-1}),$$

$$P\{\text{невозможно выбрать ни один элемент}\} = 1 - a_n.$$

Очевидно, что $P(x_1) \le P(x_2) \le \ldots \le P(x_n)$.

Преобразуя эту систему, получаем:

$$a_k = (n - k + 1)P(x_k) + \sum_{j=1}^{k-1} P(x_j); \quad k = 1, 2, \ldots, n. \quad (1)$$

Тем самым, для вычисления искомых значений a_j необходимо каким-то образом оценить значения $P(x_j)$. Для оценки можно использовать следующий подход.

Пусть на отрезке [0, 1] задан конечный набор $\{\alpha_1, \alpha_2, ..., \alpha_M\}$ различных значений уровня α. Обозначим через k_i число элементов, принадлежащих множеству уровня $A_{\alpha i}$.

Тогда используемые в описанном выше эксперименте вероятности можно оценить следующим образом:

$$P\{\text{выбрано } \alpha_i\} = \frac{1}{M};$$

$$P\{x_j \mid \text{выбрано } \alpha_i\} = \begin{cases} \frac{1}{k_i}, & \text{если } x_j \in A_{\alpha i}, \\ 0, & \text{иначе,} \end{cases}$$

откуда следует (по формуле полной вероятности):

$$P(x_j) = \sum_{i=1}^{M} P\{\text{выбрано } \alpha_i\} \cdot P\{x_j \mid \text{выбрано } \alpha_i\} = \frac{1}{M} \sum \frac{1}{k_i},$$

где суммирование ведется по тем значениям i, при которых $x_j \in A_{\alpha i}$.

С учетом этого, приходим к следующему *алгоритму* нахождения значений степеней принадлежности a_j.

1. С каждым элементом x_j области определения связывается величина T_i, первоначально равная нулю.

2. Определяется объем выборки M (значение M не должно быть очень малым).

3. На отрезке [0, 1], начиная с его правой границы, выбираются M равноотстоящих точек, множество которых будем обозначать через S. Например, если $M = 25$, то $S = \{1; 0{,}96; 0{,}92; ...; 0{,}08; 0{,}04\}$.

4. Случайным образом *без возвращения* из множества S выбирается элемент α_i.

5. Эксперт отвечает на вопрос, какие элементы x_j, по его мнению, принадлежат множеству уровня α_i искомого нечеткого множества A, т.е. *имеют степень принадлежности, не меньшую* α_i.

6. Если элемент x_i был включен экспертом в множество уровня $A_{\alpha i}$, построенное на шаге 5, то

$$T_j = T_j + \frac{1}{k_i},$$

где k_i – общее число элементов, включенное экспертом в это множество.

7. Шаги 4–6 повторяются до тех пор, пока множество S не окажется пустым.

8. Для всех x_j вычисляются оценки $P(x_j)$ по формуле $P(x_j) = T_j / M$.

9. Элементы x_j переупорядочиваются таким образом, чтобы выполнялось соотношение $P(x_1) \le P(x_2) \le ... \le P(x_n)$.

10. По формуле (1) определяются значения a_j степеней принадлежности элементов x_j нечеткому множеству A.

В исходной работе отмечается, что данная методика «более приемлема в эмоциональном плане, чем процедура прямого назначения степеней принадлежности» [5 : 77]. По всей видимости, автор имеет в виду, что человеку психологически проще определить принадлежность элемента к ряду множеств уровня, чем назвать степень его принадлежности к нечеткому множеству.

В сравнении с другими косвенными методами задания функции принадлежности, метод множеств уровня интересен тем, что он не требует априорного введения каких-либо аксиом и предположений относительно сравниваемых по принадлежности нечеткому множеству элементов области определения. Например, упоминавшийся ранее метод парных сравнений Саати исходит из предпосылки, что сравниваемые элементы связаны мультипликативным метризованным отношением, поэтому применение данного метода становится затруднительным в тех случаях, когда нет оснований предполагать наличие такого отношения. Тем самым, метод множеств уровня является в этом плане более универсальным.

Хорошо известно, что из определения множества уровня явным образом следует свойство монотонности таких множеств относительно вложенности:

$$\alpha_1 > \alpha_2 \Rightarrow A_{\alpha_1} \subset A_{\alpha_2}. \qquad (2)$$

Однако в рамках рассматриваемого метода к эксперту не предъявляются требования, согласно которым его суждения должны быть согласованы с этим условием. В исходной работе также отмечается, что даже в случае наличия несогласованности в суждениях эксперта метод «все равно приведет к определению степеней принадлежности» [5 : 77]. При этом, как уже отмечалось ранее, в работе не представлено никакой методики оценки согласованности суждений, а также соображений о том, в каких случаях степень несогласованности можно считать достаточной для того, чтобы она служила основанием для пересмотра и корректировки экспертных суждений.

Далее приведем описание предлагаемого подхода к оценке согласованности суждений эксперта и определению ее достаточности.

Процедура оценки согласованности суждений эксперта

Исходя из сути метода множеств уровня, суждения эксперта следует считать полностью согласованными, если выполняется условие (2). Соответственно, для оценки степени согласованности необходимо оценить степень отклонения фактических данных, полученных от эксперта, от ситуации полной согласованности, описываемой с помощью (2). Для дальнейшего описания будет целесообразно перейти к более наглядной форме представления суждений эксперта (табл. 1).

Табл. 1. Представление суждений эксперта с помощью бинарной матрицы

α	x_1	x_2	**...**	x_n
α_1	$B_{1,1}$	$B_{1,2}$	...	$B_{1,n}$
α_2	$B_{2,1}$	$B_{2,2}$	...	$B_{2,n}$
...	...	...	...	...
α_m	$B_{m,1}$	$B_{m,2}$	...	$B_{m,n}$

Тем самым, на выходе метода, помимо самих данных, имеем бинарную матрицу B, строки которой соответствуют уровням, столбцы – элементам нечеткого множества. Элемент матрицы b_{ij} равен 1, если эксперт указал на принадлежность элемента x_j множеству уровня α_i, и равен 0 в противном случае.

С учетом условия (2), можно сформулировать условие согласованности суждений эксперта относительно отдельного элемента области определения. Будем считать, что суждения являются согласованными *относительно элемента* x_j, если

$$\forall i,k\ (B_{i,j}=1)\wedge(B_{k,j}=0)\Rightarrow i<k. \qquad (3)$$

Иными словами, в соответствующем столбце матрицы B ни один единичный элемент не находится ниже, чем нулевой.

Пример полностью согласованных суждений приведен в табл. 2.

Табл. 2. Пример полностью согласованных суждений

α	x_1	x_2	x_3	x_4
0,1	1	1	1	1
0,2	1	1	1	1
0,3	0	1	1	1
0,4	0	1	1	1
0,5	0	1	1	1
0,6	0	0	1	1
0,7	0	0	1	1
0,8	0	0	0	1
0,9	0	0	0	1
1	0	0	0	0

Интересной особенностью метода множеств уровня является то, что в процессе расчетов никак не учитывается, *в какие конкретно* множества уровня был помещен экспертом тот или иной элемент – учитывается лишь то, сколько раз он был выбран, и в каких комбинациях с другими элементами он выбирался. Это обстоятельство приводит к следующему эффекту: результаты применения метода (т.е. вычисленные степени принадлежности элементов нечеткого множества) инвариантны относительно перестановок строк матрицы B. Так, путем перестановки строк матрицы, приведенной в табл. 2, можно получить результат, представленный в табл. 3.

Табл. 3. Результат перестановки строк

α	x_1	x_2	x_3	x_4
0,1	0	1	1	1
0,2	0	0	1	1
0,3	0	1	1	1
0,4	0	0	0	1
0,5	1	1	1	1
0,6	0	0	0	0
0,7	0	1	1	1
0,8	0	0	0	1
0,9	0	0	1	1
1	1	1	1	1

При этом вычисленные степени принадлежности останутся прежними, то есть 0,2; 0,5; 0,7 и 0,9 соответственно. Подобная нечувствительность метода к осмысленности входных данных является дополнительной причиной целесообразности наличия процедуры для оценки согласованности суждений эксперта.

Приведем описание предлагаемой процедуры. Для простоты будем оценивать согласованность суждений эксперта относительно каждого элемента нечеткого множества в отдельности (т.е. отдельно каждый столбец матрицы). При этом можно считать, что если в отношении хотя бы одного элемента допущена сильная несогласованность, то ставится под сомнение осмысленность полученных результатов в целом (даже если суждения обо всех остальных элементах полностью согласованы). Пример такой ситуации представлен в табл. 4 (вычисленные степени принадлежности соответственно равны 0,27; 0,67; 0,97; 1).

Табл. 4. Пример несогласованности суждений в отношении одного из элементов

α	x_1	x_2	x_3	x_4
0,1	1	1	1	0
0,2	1	1	1	0
0,3	0	1	1	0
0,4	0	1	1	1
0,5	0	1	1	0

0,6	0	0	1	1
0,7	0	0	1	0
0,8	0	0	0	1
0,9	0	0	0	1
1	0	0	0	1

Процедура основана на оценке количества перестановок элементов в столбце матрицы, приводящих к выполнению условия (3), и включает следующие шаги.

1. Элементу нечеткого множества x_j ставится в соответствие величина m_j, изначально равная 0.

2. Столбец матрицы просматривается сверху вниз на предмет обнаружения ситуаций нарушения согласованности: $B_{ij} = 0$, но $B_{i+1,j} = 1$ (т.е. обнаружения единицы под нулем). Если такая ситуация не обнаружена, то процедура завершается, и полученное значение m_j характеризует степень согласованности суждений относительно элемента x_j. Иначе осуществляется переход к следующему шагу.

3. Выполняется обмен местами значений 0 и 1 в обнаруженных позициях, значение m_j увеличивается на 1, и осуществляется возврат к шагу 2.

В качестве примера рассмотрим результаты применения описанной процедуры для случая с пятью множествами уровня. В табл. 5 приведены все 32 возможные в данном случае комбинации суждений. Для компактности эти комбинации представлены горизонтально (каждая строка соответствует одному из возможных вариантов суждений, уровни возрастают слева направо) и сгруппированы в два столбца. Список комбинаций упорядочен по возрастанию значения m_j.

Табл. 5. Возможные варианты экспертных суждений при использовании пяти множеств уровня и степени их согласованности

Варианты суждений					m_j	Варианты суждений					m_j
0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	3
1	0	0	0	0	0	0	1	0	1	0	3
1	1	0	0	0	0	0	1	1	1	0	3
1	1	1	0	0	0	1	0	0	0	1	3
1	1	1	1	0	0	1	0	1	0	1	3
1	1	1	1	1	0	1	0	1	1	1	3
0	1	0	0	0	1	0	0	0	0	1	4
1	0	1	0	0	1	0	0	1	1	0	4
1	1	0	1	0	1	0	1	0	0	1	4
1	1	1	0	1	1	0	1	1	0	1	4
0	0	1	0	0	2	0	1	1	1	1	4
0	1	1	0	0	2	1	0	0	1	1	4
1	0	0	1	0	2	0	0	1	0	1	5
1	0	1	1	0	2	0	1	0	1	1	5
1	1	0	0	1	2	0	0	0	1	1	6
1	1	0	1	1	2	0	0	1	1	1	6

Можно заметить, что величина m_j характеризуется следующими свойствами:

а) $m_j = 0$ в случае полностью согласованных суждений;

б) $m_j > 0$ при наличии несогласованности;

в) m_j принимает максимальное значение в случае «антиупорядоченности» суждений, т.е. если элемент x_j содержится во всех множествах выше некоторого уровня, но не содержится во всех множествах ниже него;

г) m_j принимает сравнительно небольшие значения в случаях, когда нарушение согласованности можно объяснить случайной ошибкой эксперта.

Максимально возможное значение величины m_j определяется количеством уровней M, а именно:

- равно $\left(\frac{M}{2}\right)^2$, если M – четное;
- равно $\left\lfloor\frac{M}{2}\right\rfloor\cdot\left\lfloor\frac{M}{2}+1\right\rfloor$, если M – нечетное.

Оценка достаточности степени согласованности

Далее необходимо определить, какое значение m_j следует считать критическим, при превышении которого требуется пересмотр суждений. За основу можно взять подход, который используется в методе парных сравнений Саати [3] и основан на нахождении среднего значения индекса согласованности как случайной величины.

Рассмотрим процедуру, состоящую из следующих шагов.

1. Сгенерировать все возможные для заданного значения M комбинации суждений. Очевидно, что число уникальных комбинаций равно 2^M.

2. Рассчитать величину m_j для каждой из полученных комбинаций.

3. Вычислить среднее арифметическое всех найденных значений m_j. Полученную величину обозначим m_{cp}. Она является математическим ожиданием величины m_j для случайного набора суждений при заданном M.

С помощью описанной процедуры были найдены значения m_{cp} для значений M от 2 до 20. Результаты, представленные на графике (рис. 1), аппроксимировались различными зависимостями. Наилучшая достоверность аппроксимации ($R^2 = 1$) была получена при использовании квадратичной зависимости $y = 0{,}125x^2 - 0{,}125x$. Таким образом, значение m_{cp} может быть также вычислено по формуле

$$m_{cp} = \frac{M(M-1)}{8}.$$

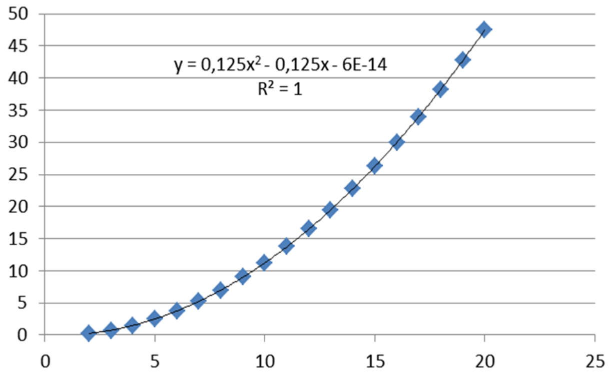

Рис. 1. Значения величины m_{cp} при различных значениях M

Тем самым, можно с уверенностью утверждать, что наборы суждений, для которых значение m_j приближается к m_{cp} (для соответствующего M), следует пересматривать, поскольку они статистически неотличимы от случайно сгенерированных. Тем более необходимо пересматривать наборы, для которых значение m_j превышает среднее значение – такая ситуация соответствует тенденции к «антиупорядоченности» суждений.

Рассчитаем m_j для элементов из примеров, которые приводились выше. Так, для примера из табл. 3 получаем, что $m_1 = 12$, $m_2 = 11$, $m_3 = 9$, $m_4 = 4$. Для примера из табл. 4 получаем значения $m_1 = 0$, $m_2 = 0$, $m_3 = 0$, $m_4 = 22$. Учитывая, что при $M = 10$ среднее значение согласованности $m_{cp} = 11{,}25$, делаем вывод, что в обоих случаях можно говорить о необходимости пересмотра и корректировки суждений эксперта.

Приведем также пример, когда степень несогласованности суждений сравнительно невелика и можно обойтись без пересмотра суждений (табл. 6).

Табл. 6. Пример допустимой степени несогласованности суждений

	x_1	x_2	x_3	x_4
0,1	1	1	1	1
0,2	0	1	1	1
0,3	1	1	1	1
0,4	0	1	1	1
0,5	0	0	0	1
0,6	0	0	1	1
0,7	0	1	1	1
0,8	0	0	0	0
0,9	0	0	1	1
1	0	0	0	1
m_j	*1*	*2*	*4*	*2*

Заключение

Авторы выражают надежду, что предложенная доработка метода множеств уровня Р. Ягера, с добавлением в него процедуры оценки согласованности суждений эксперта будет способствовать повышению интереса специалистов к данному методу и, таким образом, росту его популярности при решении практических задач.

Литература

1. Нечеткие множества в моделях управления и искусственного интеллекта / Под ред. Д.А. Поспелова. – М.: Наука. Гл. ред. физ.-мат. лит., 1986. – 312 с.
2. Dubois D., Prade H. Fundamentals of Fuzzy Sets. – Springer Science & Business Media, 2012. – 647 p.
3. Saaty T.L. Exploring the interface between hierarchies, multiple objectives and fuzzy sets // Fuzzy Sets and Systems, 1978, Vol 1 (1). – P. 57-68.
4. Yager R.R. Level sets for membership evaluation of fuzzy subset / R.R. Yager // Fuzzy Sets and Possibility Theory: Recent Developments (R.R. Yager, ed.) – Pergamon, NewYork, 1982. – P. 90-97.
5. Ягер Р.Р. Множества уровня для оценки принадлежности нечетких подмножеств // Нечеткие множества и теория

возможностей. Последние достижения: пер. с англ. / под ред. Р.Р. Ягера. – М.: Радио и связь, 1986. – С. 71-78.
6. Bauters K., Liu W., Godo L. Anytime algorithms for solving possibilistic MDPs and hybrid MDPs // Foundations of Information and Knowledge Systems, 2016, P. 24-41.
7. Dubois D., Prade H., Smets P. A definition of subjective possibility // International Journal of Approximate Reasoning, 2008, Vol. 48 (2) – P. 352-364.
8. Андрющенко В.А. Метод моделирования непрерывных нечетких величин по экспериментальным данным // Наука и прогресс транспорта. Вестник Днепропетровского национального университета железнодорожного транспорта, 2008, №24. – С. 146-149.
9. Ерохин, Д.В. Стратегическое управление инновационной деятельностью предприятия: монография / Д.В. Ерохин, Д.Г. Лагерев, Е.А. Ларичева, А.Г. Подвесовский. – Брянск: БГТУ, 2010. – 196 с.

References

1. Nechetkie mnozhestva v modeljah upravlenija i iskusstvennogo intellekta / Pod red. D.A. Pospelova. – M.: Nauka. Gl. red. fiz.-mat. lit., 1986. – 312 s.
2. Dubois D., Prade H. Fundamentals of Fuzzy Sets. – Springer Science & Business Media, 2012. – 647 p.
3. Saaty T.L. Exploring the interface between hierarchies, multiple objectives and fuzzy sets // Fuzzy Sets and Systems, 1978, Vol 1 (1). – P. 57-68.
4. Yager R.R. Level sets for membership evaluation of fuzzy subset / R.R. Yager // Fuzzy Sets and Possibility Theory: Recent Developments (R.R. Yager, ed.) – Pergamon, NewYork, 1982. – P. 90-97.
5. Jager R.R. Mnozhestva urovnja dlja ocenki prinadlezhnosti ne-chetkih podmnozhestv // Nechetkie mnozhestva i teorija vozmozhnostej. Poslednie dostizhenija: per. s angl. / pod red. R.R. Jagera. – M.: Radio i svjaz', 1986. – S. 71-78.
6. Bauters K., Liu W., Godo L. Anytime algorithms for solving possibilistic MDPs and hybrid MDPs // Foundations of Information and Knowledge Systems, 2016, P. 24-41.
7. Dubois D., Prade H., Smets P. A definition of subjective possibility // International Journal of Approximate Reasoning, 2008, Vol. 48 (2) – P. 352-364.
8. Andrjushhenko V.A. Metod modelirovanija nepreryvnyh nechetkih velichin po jeksperimental'nym dannym // Nauka i progress transporta. Vestnik Dnepropetrovskogo nacional'nogo universiteta zheleznodorozhnogo transporta, 2008, №24. – S. 146-149.
9. Erohin, D.V. Strategicheskoe upravlenie innovacionnoj dejatel'nost'ju predprijatija: monografija / D.V. Erohin, D.G. Lagerev, E.A. Laricheva, A.G. Podvesovskij. – Brjansk: BGTU, 2010. – 196 s.

Поступила: 30.09.2017

Об авторах:

Исаев Руслан Александрович, аспирант кафедры «Информатика и программное обеспечение», Брянский государственный технический университет, Ruslan-Isaev-32@yandex.ru

Подвесовский Александр Георгиевич, кандидат технических наук, доцент, заведующий кафедрой «Информатика и программное обеспечение», Брянский государственный технический университет, apodv@tu-bryansk.ru

Note on the authors:

Isaev Ruslan A., postgraduate student of Informatics and Software Engineering department, Bryansk State Technical University, Ruslan-Isaev-32@yandex.ru

Podvesovskii Aleksandr G., Candidate of Engineereing Sciences, Associate Professor, head of Informatics and Software Engineering department, Bryansk State Technical University, apodv@tu-bryansk.ru