

УДК 614.8

ЗАДАЧА РАСПРЕДЕЛЕНИЯ ПОСТРАДАВШИХ ОТ ПОЖАРОВ ЗДАНИЙ ПО КЛАССАМ

В.Б. Вилков, кандидат физико-математических наук, доцент.

**Военная академия материально-технического обеспечения им. генерала
армии А.В. Хрулева.**

А.К. Черных, доктор технических наук, доцент;

Е.Е. Горшкова.

Санкт-Петербургский университет ГПС МЧС России

Рассмотрена задача распределения пострадавших от огня зданий по классам, связанным с очередностью их тушения, известная как задача классификации. В основе решения задачи лежит подход, основанный на применении теории нечётких множеств и нечёткой логики. Предложен метод решения указанной задачи, основанный на методологии нечёткого логического вывода. Приведён пример, иллюстрирующий предложенные теоретические положения.

Ключевые слова: пожар в результате чрезвычайной ситуации, задача распределения пострадавших от огня зданий по классам, методика нечёткого логического вывода, нечёткая логика, нечёткое множество

TASK OF DISTRIBUTING BUILDINGS AFFECTED BY FIRE BY CLASS

V.B. Vilkov. Military academy of logistics behalf of the army general A.V. Khrulyov.

A.K. Chernykh; E.E. Gorshkova.

Saint-Petersburg university of State fire service of EMERCOM of Russia

The article considers the problem of distribution of buildings affected by fire by classes related to the order of their extinguishing, known as the classification problem. The solution of the problem is based on an approach based on the application of fuzzy set theory and fuzzy logic. A method for solving this problem based on the fuzzy inference methodology is proposed. An example illustrating the proposed theoretical positions is given.

Keywords: fire as a result of an emergency, problem of distributing buildings affected by fire by class, method of fuzzy inference, fuzzy logic, fuzzy set

Природные пожары, техносферные происшествия, авиакатастрофы и другие чрезвычайные ситуации (ЧС), произошедшие в последнее время в мире, представляют собой ЧС, связанные с непредсказуемостью возникновения событий, последствия от которых приводят к возникновению пожаров, разрушению жилых домов, гибели людей. Так, например, в 2014–2019 гг. число погибших людей в результате таких ЧС составило, в некоторых случаях, десятки человек [1, 2], что определяет несомненную актуальность подхода, связанного с классификацией пострадавших от огня зданий, предложенного в данной статье.

Указанные обстоятельства обусловили необходимость рассмотрения следующей задачи.

В результате ЧС произошли пожары (различной интенсивности) в некоторых зданиях. Требуется распределить эти здания по классам, связанным с очередностью их тушения. Поскольку данные о характере пожаров не определены однозначно, то есть носят нечёткий характер, то для решения указанной задачи будут привлечены теоретические положения

теории нечётких множеств и нечёткая логика [3–5]. Решение задачи основано на идеях Мамдани [6–8], что, с точки зрения авторов, придаёт статье новизну и актуальность.

Для формулировки и решения указанной задачи в рамках используемого математического аппарата необходимо задать следующие исходные данные.

1. Список входных и выходных переменных с указанием их областей изменения и единиц измерения (универсальных множеств). Все переменные являются лингвистическими, необходимо для каждой из них указать ее терм-множество и его элементы – термы. Для описания терма надо задать функцию принадлежности нечёткого множества, формализующую этот терм.

2. Базу знаний удобнее представить в виде таблицы. Эта таблица содержит информацию о соответствии термов выходных переменных всем возможным сочетаниям термов входных переменных.

Приведём понятия и результаты теории нечётких множеств и нечёткой логики, которые будут использоваться в дальнейших рассуждениях [9–14].

Нечёткие множества задаются на обычных множествах, называемых универсальными. Например, если используется нечёткое множество «число пострадавших при пожаре», то в качестве универсального множества можно использовать множество чисел из отрезка $[0, k]$, где k – заданное в исходных данных число.

Совокупность пар $(\mu_{\hat{A}}(u), u)$ называется нечётким множеством \hat{A} на универсальном множестве U . В указанной совокупности функция $\mu_{\hat{A}}(u)$ представляет собой степень принадлежности элемента $u \in U$ к нечёткому множеству \hat{A} , то есть число из отрезка $[0, b]$. Во многих случаях полагают $b=1$.

В работах [9, 10] представлены некоторые приемы построения функций принадлежности.

Рассмотрим, например, нечёткое множество «рядом с эпицентром», определенное на универсальном множестве всех возможных значений расстояний до эпицентра (в качестве универсального здесь можно взять и другое множество, например, все вообще возможные значения расстояний, интервал $[0, \infty)$ и т.п.). Предположив, что эпицентр находится на расстоянии 160 м от начала отсчёта, возможный график функции принадлежности этого множества можно представить на рис. 1.

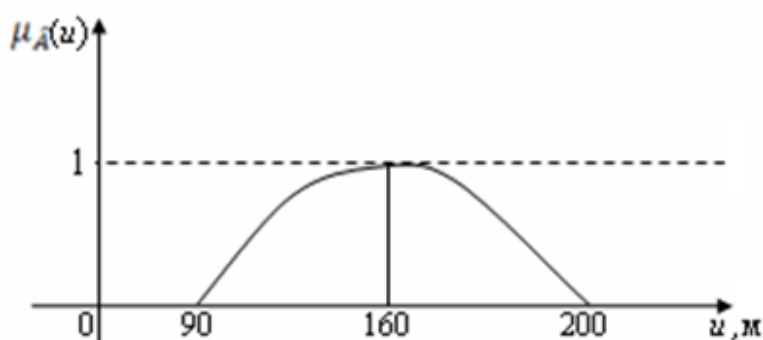


Рис. 1. График функции принадлежности нечёткого числа

Отметим, что вместо словосочетания «значение функции принадлежности» можно использовать словосочетание «надежность», а также словосочетание «степень принадлежности».

Нечёткой величиной называется нечёткое множество, определенное на универсальном множестве, являющемся числовым множеством. Нечёткая величина, функция принадлежности которой имеет единственный максимум, называется числом. Треугольное

нечёткое число \hat{A} есть тройка $\langle a, b, c \rangle$, $a \leq b \leq c$ действительных чисел. Функция принадлежности $\mu_{\hat{A}}(u)$ этого нечёткого числа задается формулой:

$$\mu_{\hat{A}}(u) = \begin{cases} \frac{u-a}{b-a}, & \text{если } u \in [a, b], \\ \frac{c-u}{c-b}, & \text{если } u \in [b, c], \\ 0, & \text{иначе.} \end{cases} \quad (1)$$

В формуле (1) предполагается, что $a < b < c$.

В качестве иллюстрации формулы (1) представим график функции принадлежности треугольного числа $\langle 90, 160, 200 \rangle$ на рис. 2.

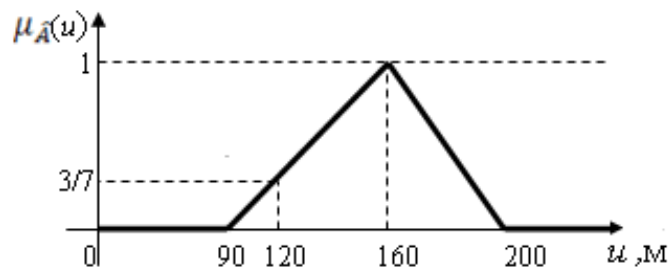


Рис. 2. График функции принадлежности нечёткого треугольного числа

Заметим, что для задания функции принадлежности нечёткого числа $\langle a, b, c \rangle$ надо указать «чёткое» значение рассматриваемого числа – b и его степень нечёткости (размытости) – минимально и максимально возможные его значения – a и c соответственно.

Необходимо отметить, что для задания функции принадлежности можно использовать также трапецеидальные числа. Возможные графики их функций принадлежности приведены на рис. 3.

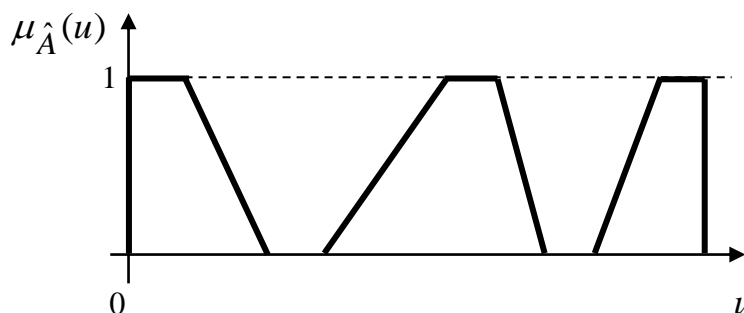


Рис. 3. Три графика функций принадлежности трапецеидальных чисел

Над нечёткими множествами вводятся операции, основными (исходя из наших потребностей) являются операции объединения и пересечения. Определим необходимые нечёткие операции.

Пересечением нечётких множеств \tilde{A} и \tilde{B} , заданных на U , называется нечёткое множество $\tilde{C} = \tilde{A} \cap \tilde{B}$ с функцией принадлежности:

$$\mu_{\tilde{C}} = \min\{\mu_{\tilde{A}}, \mu_{\tilde{B}}\} \quad (2)$$

для всех $u \in U$ (рис. 4).

Объединением нечётких множеств \tilde{A} и \tilde{B} , заданных на U , называется нечёткое множество $\tilde{D} = \tilde{A} \cup \tilde{B}$ с функцией принадлежности:

$$\mu_{\tilde{D}} = \max\{\mu_{\tilde{A}}, \mu_{\tilde{B}}\} \quad (3)$$

для всех $u \in U$ (рис. 5).

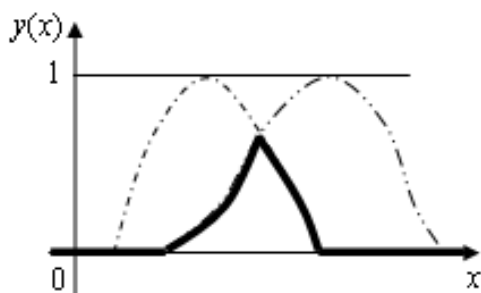


Рис. 4. Пересечение нечётких множеств

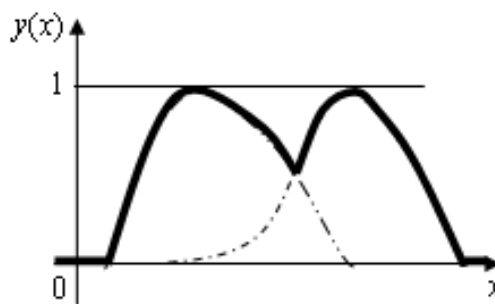


Рис. 5. Объединение нечётких множеств

В дальнейшем потребуются операции преобразования чёткого множества в нечёткое и преобразование нечёткого множества в чёткое число. Эти операции называются соответственно фаззификацией и дефаззификацией [7].

Фаззификация – установление степени принадлежности заданного значения рассматриваемой переменной заданному нечёткому множеству. Например, на рис. 2 видно, что с надёжностью $3/7$ расстояние в 120 м относим к нечёткому множеству «рядом с эпицентром».

Процедура преобразования нечёткого множества в чёткое число называется дефаззификацией. В рамках статьи для дефаззификации будем использовать, например, метод центра тяжести. В соответствии с этим методом дефаззификация нечёткого множества с конечным числом элементов (значений) выполняется по формуле:

$$\alpha = \frac{\sum_{i=1}^k u_i \cdot \mu_{\hat{A}}(u_i)}{\sum_{i=1}^k \mu_{\hat{A}}(u_i)}, \quad (4)$$

где k – число граф в табл. 1.

Осуществим, например, дефаззификацию нечёткого множества \hat{A} – «число пострадавших – среднее» (около пяти) с функцией принадлежности, заданной табл. 1.

Таблица 1. Функция принадлежности множества \hat{A} (m – число пострадавших)

m	2	3	4	5	6	7	8	9
$\mu_{\hat{A}}(m)$	0,1	0,3	0,8	1,0	0,9	0,7	0,2	0,1

Осуществляя дефаззификацию по методу центра тяжести, получаем, что нечёткое множество \hat{A} преобразуется в число α :

$$\alpha = \frac{2 \cdot 0,1 + 3 \cdot 0,3 + 4 \cdot 0,8 + 5 \cdot 1,0 + 6 \cdot 0,9 + 7 \cdot 0,7 + 8 \cdot 0,2 + 9 \cdot 0,1}{0,1 + 0,3 + 0,8 + 1,0 + 0,9 + 0,7 + 0,2 + 0,1} = \frac{22,1}{4,1} \approx 5,39.$$

В дальнейшем изложении будем использовать понятия: нечётких высказываний, нечёткие логические операции И (конъюнкция) и ИЛИ (дизъюнкция), для которых выполняются расчеты по формулам (2, 3); лингвистической переменной; терм-множеств и термов, которые приведены, например, в работе [8].

Следует отметить, что в теории нечётких множеств терм формализуется нечётким множеством с помощью функции принадлежности. В дальнейшем часто, если это не приводит к недоразумениям, терм и нечёткое множество его формализующее будем обозначать одинаково.

Отметим, что с лингвистической переменной тесно связана «обычная» переменная, принимающая значения из универсального множества, на котором определены нечёткие множества, формализующие термы рассматриваемой лингвистической переменной (4).

В качестве примера рассмотрим лингвистическую переменную «расстояние до эпицентра» с термами «в эпицентре», «рядом с эпицентром», «близко к эпицентру» и универсальным множеством – множество значений возможных расстояний в метрах. Возможные графики функций принадлежности нечётких множеств, формализующих эти термы (в дальнейшем просто термов), приведены на рис. 6.



Рис. 6. Графики функций принадлежности нечётких множеств, формализующих термы лингвистической переменной «расстояние до эпицентра»

Анализ графика показывает, что, находясь на расстоянии 200 м от эпицентра, с надёжностью 0,33 считаем, что мы рядом с ним, и с надёжностью 0,5, что мы близки к эпицентру.

Вернемся к задаче по определению очередности тушения термически пораженных зданий. Для решения этой задачи предлагается использовать методологию нечёткого логического вывода, с помощью которой решается задача определения по заданным значениям факторов x_1, x_2, \dots, x_n (входных переменных) значения параметра Y (выходной переменной), при этом используется метод, основными операциями которого являются следующие:

1. Осуществить фаззификацию исходных значений факторов, то есть по заданным значениям факторов определить их степень принадлежности различным термам соответствующих лингвистических переменных.

2. Используя базу знаний операции над нечёткими множествами, найти степень истинности термов выходной переменной при рассматриваемых значениях факторов.

3. Рассматриваемое здание предлагается отнести к классу, определяемому термом выходной переменной, имеющим максимальную надёжность.

Введём обозначения, необходимые для решения задачи: X – лингвистическая переменная «число зарегистрированных жильцов в здании» (входная переменная); \hat{A}_1 («большое»), \hat{A}_2 («среднее»), \hat{A}_3 («небольшое») – термы лингвистической переменной X , которые заданы на универсальном множестве $[0, 1000]$, графики их функций принадлежности приведены на рис. 7.



Рис. 7. Графики функций принадлежности термов переменной «число зарегистрированных жильцов в здании»

Y – лингвистическая переменная «расстояние до эпицентра» (входная переменная); \hat{B}_1 («в эпицентре»), \hat{B}_2 («рядом с эпицентром»), \hat{B}_3 (« близко к эпицентру») – термы лингвистической переменной Y , которые заданы на универсальном множестве – множестве значений возможных расстояний в метрах – числовой интервал $[0, 300]$, графики их функций принадлежности приведены на рис. 8.

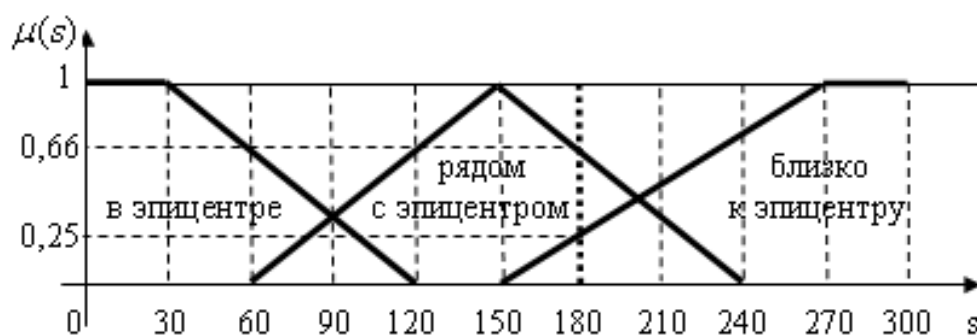


Рис. 8. Графики функций принадлежности нечётких множеств, формализующих термы лингвистической переменной «расстояние до эпицентра»

Z – лингвистическая переменная «срочность», которая определяет очерёдность тушения пожаров в различных зданиях (выходная переменная); \hat{C}_1 («первоочередная»), \hat{C}_2 («второй очереди»), \hat{C}_3 («третьей очереди») – термы лингвистической переменной Z , которые заданы на универсальном множестве – предполагаемое число пострадавших

жильцов в здании (n), множество целых чисел от 0 до 50, графики их функций принадлежности приведены на рис. 9.

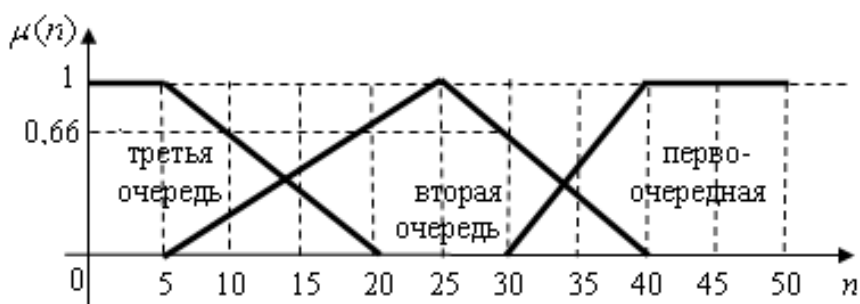


Рис. 9. Графики функций принадлежности термов переменной «срочность»

$\mu_{\hat{A}_i}$, $\mu_{\hat{B}_j}$, $i, j=1, 2, 3$ – функции принадлежности соответствующих термов.

База знаний, представлена в табл. 2.

Таблица 2. Срочность в зависимости от расстояния до эпицентра и числа зарегистрированных жильцов в здании

Число зарегистрированных жильцов в здании	Расстояние до эпицентра		
	«в эпицентре» (\hat{B}_1)	«рядом с эпицентром» (\hat{B}_2)	«близко к эпицентру» (\hat{B}_3)
«большое» (\hat{A}_1)	«первоочередная»	«первоочередная»	«второй очереди»
«среднее» (\hat{A}_2)	«первоочередная»	«второй очереди»	«второй очереди»
«небольшое» (\hat{A}_3)	«второй очереди»	«второй очереди»	«третьей очереди»

Если, например, здание находится «рядом с эпицентром» и число зарегистрированных жильцов в нем «среднее», то принимается решение о том, что «срочность» имеет нечёткое значение «второй очереди».

Для входных переменных: число зарегистрированных жильцов в здании равно 120 чел.; расстояние от здания до эпицентра равно 180 м (табл. 3) найдем степени истинности нечётких высказываний:

– переменная Y – «расстояние до эпицентра» приняла значение \hat{B}_j , $j=1, 2, 3$ (вторая строка табл. 3), эти значения вычисляются по данным графика на рис. 7;

– переменная X – «число зарегистрированных жильцов в здании» приняла значение \hat{A}_i , $i=1, 2, 3$ (второй столбец табл. 3), эти значения вычисляются по данным графика на рис. 6;

– переменная «число зарегистрированных жильцов в здании» приняла значение \hat{A}_i , $i=1, 2, 3$ и переменная «расстояние до эпицентра» приняла значение \hat{B}_j , $j=1, 2, 3$ (остальные значения табл. 3), вычисляются на основании правила нечёткой конъюнкции.

Например, значение на пересечении четвертого столбца и пятой строки в табл. 3 выражает надёжность того, что значением переменной X является терм \hat{A}_3 и значением переменной Y – терм \hat{B}_2 . В соответствии с правилом нечёткой конъюнкции эта степень равна меньшему из чисел 0,50 и 0,66.

Таблица 3. Степень истинности соответствующих термов и их сочетаний

	$\mu_{\hat{A}_i}(120)$	\hat{B}_1	\hat{B}_2	\hat{B}_3
$\mu_{\hat{B}_j}(180)$	–	0	0,66	0,25
\hat{A}_1	0	0	0	0
\hat{A}_2	0,33	0	0,33	0,25
\hat{A}_3	0,50	0	0,50	0,25

Так как надо отнести рассматриваемое здание к одному из трёх имеющихся классов, то, анализируя табл. 2 и 3, находим, что с максимальной надёжностью рассматриваемое здание относится к классу «второй очереди». Из табл. 3 видно, что при рассматриваемых значениях входных переменных максимальной надёжностью обладает сочетание термов \hat{A}_3 и \hat{B}_2 , которому согласно табл. 2 соответствует терм «второй очереди» выходной переменной.

Следует отметить, что в случае необходимости упорядочивания зданий по показателю «срочность», требуется осуществить заключительные операции нечёткого логического вывода, приведённые в работе [8], включающие определение надёжности выходных термов для заданных исходных данных и дефаззификацию прогнозных оценок числа пострадавших в зданиях в результате пожара по формуле (4).

В качестве заключения отметим, что несомненным достоинством предлагаемого метода является его алгоритмическая простота, позволяющая использовать компьютерную программу при принятии оперативного решения на применение пожарных формирований при тушении [15, 16] возникших в результате ЧС пожаров.

Литература

1. Новости Кыргызстана и Бишкека. URL: <https://kaktus.media/350893> (дата обращения: 04.02.2020).
2. Ria.ru >20181113/1532686839. Html (дата обращения: 14.03.2020).
3. Piegat A. Fuzzy Modeling and Control. New York: Springer, 2001.
4. Zadeh L.A. Fuzzy sets. Information and Control. 1965. Vol. 8. № 3. p. 338–353.
5. Яхьяева Г.Э. Нечеткие множества и нейронные сети. М.: Бином, 2006.
6. Орловский С.А. Проблемы принятия решений при нечеткой исходной информации. М.: Наука. Главная редакция физико-математической литературы, 1981.
7. Оценка качества решений на применение внутренних войск на основе многокритериальной оптимизации / В.Б. Вилков [и др.] // Вопросы оборонной техники. 2016. Сер. 16. № 1-2 (91-92). С. 43–50.
8. Вилков В.Б., Черных А.К., Флегонтов А.В. Теория и практика оптимизации решений на основе нечетких множеств и нечёткой логики: монография. СПб.: Изд-во РГПУ им. А.И. Герцена, 2017.
9. Леоненков А.В. Нечеткое моделирование в среде MATLAB и fuzzyTECH. СПб.: БХВ-Петербург, 2005.
10. Mamdani E.H., Assilian S. An Experiment in Linguistic Synthesis with Fuzzy Logic Controller // Int. J. Man-Machine Studies. 1975. Vol. 7. № 1. p. 1–13.
11. Mamdani E.H. Advances in the linguistic synthesis of fuzzy controllers // International Journal of Man-Machine Studies. 1976. Vol. 8. p. 669–678.
12. Черных А.К., Козлова И.В., Вилков В.Б. Вопросы прогнозирования материально-технического обеспечения с использованием нечётких математических моделей // Проблемы управления рисками в техносфере. 2015. № 4 (36). С. 107–117.

13. Заде Л. Понятие лингвистической переменной и его применение к принятию приближенных решений. М.: Мир, 1976.
14. Черных А.К., Вилков В.Б. Управление безопасностью транспортных перевозок при организации материального обеспечения сил и средств МЧС России в условиях чрезвычайной ситуации // Пожаровзрывобезопасность. 2016. Т. 25. № 9. С. 52–59.
15. Мониторинг и прогнозирование чрезвычайных ситуаций природного и техногенного характера объектов экономики / Е.Е. Горшкова [и др.] // Неделя науки в СПбПУ: материалы Науч. конф. с междунар. участием. СПб.: СПб гос. политех. ун-т Петра Великого. Институт военно-технического образования и безопасности, 2016. С. 11–14.
16. Горшкова Е.Е., Крутолапов А.С. Инженерно-технические мероприятия гражданской обороны, мероприятия по предупреждению чрезвычайных ситуаций и пожарной безопасности в документах территориального планирования // Безопасность в чрезвычайных ситуациях: сб. науч. трудов Всерос. науч.-практ. конф. СПб.: С.-Петерб. политехнический университет Петра Великого, 2015. С. 239–245.

References

1. Novosti Kyrgyzstana i Bishkeka. URL: <https://kaktus.media/350893> (data obrashcheniya: 04.02.2020).
2. Ria.ru >20181113/1532686839. Html (data obrashcheniya: 14.03.2020).
3. Piegat A. Fuzzy Modeling and Control. New York: Springer, 2001.
4. Zadeh L.A. Fuzzy sets. Information and Control. 1965. Vol. 8. № 3. p. 338–353.
5. Yah"yaeva G.E. Nechetkie mnozhestva i nejronnye seti. M.: Binom, 2006.
6. Orlovskij S.A. Problemy prinyatiya reshenij pri nechetkoj iskhodnoj informacii. M.: Nauka. Glavnaya redakciya fiziko-matematicheskoy literatury, 1981.
7. Ocenka kachestva reshenij na primenenie vnutrennih vojsk na osnove mnogokriterial'noj optimizacii / V.B. Vilkov [i dr.] // Voprosy oboronnoj tekhniki. 2016. Ser. 16. № 1-2 (91-92). S. 43–50.
8. Vilkov V.B., Chernyh A.K., Flegontov A.V. Teoriya i praktika optimizacii reshenij na osnove nechetkih mnozhestv i nechyotkoj logiki: monografiya. SPb.: Izd-vo RGPU im. A.I. Gercena, 2017.
9. Leonenkov A.V. Nechetkoe modelirovanie v srede MATLAB i fuzzyTECH. SPb.: BHV-Peterburg, 2005.
10. Mamdani E.H., Assilian S. An Experiment in Linguistic Synthesis with Fuzzy Logic Controller // Int. J. Man-Machine Studies. 1975. Vol. 7. № 1. p. 1–13.
11. Mamdani E.H. Advances in the linguistic synthesis of fuzzy controllers // International Jpurnal of Man-Machine Studies. 1976. Vol. 8. p. 669–678.
12. Chernyh A.K., Kozlova I.V., Vilkov V.B. Voprosy prognozirovaniya material'no-tekhnicheskogo obespecheniya s ispol'zovaniem nechyotkih matematicheskikh modelej // Problemy upravleniya riskami v tekhnosfere. 2015. № 4 (36). S. 107–117.
13. Zade L. Ponyatie lingvisticheskoy peremennoj i ego primenenie k prinyatiyu priblizhennyh reshenij. M.: Mir, 1976.
14. Chernyh A.K., Vilkov V.B. Upravlenie bezopasnost'yu transportnyh perevozok pri organizacii material'nogo obespecheniya sil i sredstv MCHS Rossii v usloviyah chrezvychajnoj situacii // Pozharovzryvobezopasnost'. 2016. T. 25. № 9. S. 52–59.
15. Monitoring i prognozirovanie chrezvychajnyh situacij prirodnogo i tekhnogenogo haraktera ob"ektov ekonomiki / E.E. Gorshkova [i dr.] // Nedelya nauki v SPbPU: materialy Nauch. konf. s mezhdunar. uchastiem. SPb.: SPb gos. politekh. un-t Petra Velikogo. Institut voenno-tekhnicheskogo obrazovaniya i bezopasnosti, 2016. S. 11–14.
16. Gorshkova E.E., Krutolapov A.S. Inzhenerno-tekhnicheskije meropriyatiya grazhdanskoj oborony, meropriyatiya po preduprezhdeniyu chrezvychajnyh situacij i pozharnoj bezopasnosti v dokumentah territorial'nogo planirovaniya // Bezopasnost' v chrezvychajnyh situaciyah: sb. nauch. trudov Vseros. nauch.-prakt. konf. SPb.: S.-Peterb. politekhnicheskij universitet Petra Velikogo, 2015. S. 239–245.