

---

---

## МЕТОД ТЕХНИЧЕСКОЙ РЕАЛИЗАЦИИ ПРОБООТБОРА СРЕДЫ-НОСИТЕЛЯ СВЕТЛОГО НЕФТЕПРОДУКТА НА МЕСТЕ ПОЖАРА

Н.Р. Казакова<sup>1</sup>, А.К. Черных<sup>2</sup>

<sup>1</sup> Факультет подготовки кадров высшей квалификации  
Санкт-Петербургский университет государственной противопожарной  
службы МЧС России

*Московский проспект, 149, Санкт-Петербург, Россия, 196105*

<sup>2</sup> Кафедра информатики и математики  
Санкт-Петербургский военный институт внутренних войск МВД России  
*ул. Летчика Пилютова, д. 1, Санкт-Петербург, Россия, 198206*

Предлагается метод, позволяющий оценивать обоснованность принимаемых решений по определению необходимого числа отборов проб среды на месте пожара для идентификации светлого нефтепродукта, ставшего инициатором горения. В случаях применения данного метода при проведении судебно-экологической экспертизы обеспечивается возможность повышения уровня экологической безопасности. Математический аппарат, составляющий основу данного метода, разработан с использованием элементов теории нечетких множеств. Разработаны также три новых технических решения — пробоотборники, обеспечивающие возможность производить многократный пробоотбор образцов среды-носителя светлого нефтепродукта.

**Ключевые слова:** инициатор горения, светлые нефтепродукты, идентификация, экологическая безопасность, отбор проб среды, нечеткие множества

В настоящее время при проведении пожарно-технической экспертизы с целью установления причины пожара производится пробоотбор образца среды-носителя жидкости, примененной в качестве инициатора горения на месте пожара (в очаге пожара). Проведенный анализ свидетельствует о том, что при поджогах в качестве инициатора горения чаще всего применяются различные светлые нефтепродукты (СНП), такие как бензин, керосин (как осветительный, так и авиационный), жидкость для розжига и дизельное топливо. Применение эффективного метода пробоотбора образцов среды-носителя светлого нефтепродукта (почва, вода, воздух) целесообразно для совершенствования существующих методик пожарно-технической и судебно-экологической экспертиз, в результате проведения которых выдаются соответствующие заключения. Анализ данных заключений способствует повышению эффективности профилактических мероприятий по предотвращению пожаров и взрывов, а также загрязнения окружающей среды. От качества выполнения мероприятий по обеспечению пожарной безопасности зависит уровень экологической безопасности.

До настоящего времени производится отбор только одной пробы. Такой подход не всегда может обеспечить возможность анализа СНП-инициаторов горения, производимого на основе реализации метода предложенного в работе [1]. Указанное обстоятельство обусловлено тем, что данные СНП могут находиться на

каком-либо другом участке очага пожара. Многократный отбор проб, производящийся в рамках площади очага пожара, значительно повышает вероятность получения пробы образца среды, содержащей искомым СНП (инициатор горения). Как показал проведенный анализ, математическая зависимость указанной вероятности от количества проб (априори рассматриваемых в качестве некоторого множества альтернатив), является возрастающей и нелинейной [2; 3].

Введем необходимые для дальнейшего изложения определения [4; 5]. Нечетким множеством  $B\hat{A}$  на универсальном множестве  $U$  называется совокупность пар  $(\mu_{\hat{A}}(u), u)$ , где  $\mu_{\hat{A}}(u)$  — функция принадлежности, которая указывает степень принадлежности произвольного элемента универсального множества к нечеткому множеству  $B\hat{A}$ . Степень принадлежности — это число из отрезка  $[0; 1]$ . Чем выше степень принадлежности, тем в большей мере элемент универсального множества соответствует свойствам нечеткого множества.

Пересечением нечетких множеств  $B\tilde{A}$  и  $B\tilde{B}$  заданных на множестве  $U$  называется нечеткое множество  $B\tilde{C} = \tilde{A} \cap \tilde{B}$  с функцией принадлежности  $\mu_C = \min\{\mu_{\tilde{A}}(u), \mu_{\tilde{B}}(u)\}$  для всех  $u \in U$ .

Объединением нечетких множеств  $B\tilde{A}$  и  $B\tilde{B}$ , заданных на множестве  $U$ , называется нечеткое множество  $B\tilde{D} = \tilde{A} \cup \tilde{B}$  с функцией принадлежности  $\mu_D = \max\{\mu_{\tilde{A}}(u), \mu_{\tilde{B}}(u)\}$  для всех  $u \in U$ .

Введем, следуя [6; 7], некоторые понятия нечеткой логики. В нечеткой логике рассматриваются нечеткие высказывания, которые могут быть истинными или ложными в какой-то степени. Степень истинности нечеткого высказывания принимает значения из замкнутого промежутка  $[0; 1]$ , при этом 0 совпадает со значением «ложь», 1 — со значением «истина».

Определим логические операции над нечеткими высказываниями, необходимые нам для дальнейшего.

Обозначим нечеткие логические высказывания через  $\tilde{A}$  и  $\tilde{B}$ , а функции принадлежности, задающие истинностные значения этих переменных через  $\mu_{\tilde{A}}(u)$  и  $\mu_{\tilde{B}}(u)$ ,  $u \in [0, 1]$ . Нечеткие логические операции И ( $\wedge$ ) и ИЛИ ( $\vee$ ) по аналогии с теоретико-множественными операциями объединение и пересечение выполняются по правилам:

$$\mu_{\tilde{A}\wedge\tilde{B}}(u) = \min\{\mu_{\tilde{A}}(u), \mu_{\tilde{B}}(u)\}, \quad (1)$$

$$\mu_{\tilde{A}\vee\tilde{B}}(u) = \max\{\mu_{\tilde{A}}(u), \mu_{\tilde{B}}(u)\}. \quad (2)$$

В нечеткой логике в качестве лингвистической переменной выступает переменная, значениями которой могут быть слова или словосочетания некоторого естественного (искусственного) языка.

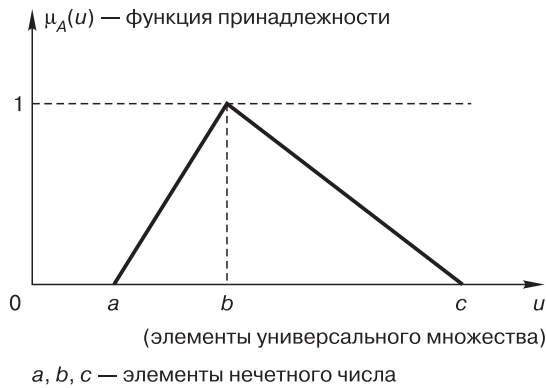
Под терм-множеством понимаем множество всех возможных значений лингвистической переменной, под термом — любой элемент терм-множества. В теории нечетких множеств терм формализуется нечетким множеством с помощью функции принадлежности. Обычно термы формализуются с помощью треугольных нечетких чисел.

Треугольным нечетким числом  $A$  называется тройка  $\langle a, b, c \rangle$   $a \leq b \leq c$  действительных чисел, через которые его функция принадлежности  $\mu_A$  определяется следующим образом:

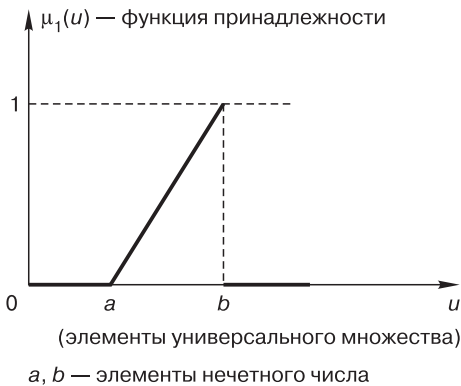
$$\mu_A(u) = \begin{cases} \frac{u-a}{b-a}, & \text{если } u \in [a, b], \\ \frac{u-c}{b-c}, & \text{если } u \in [b, c], \\ 0, & \text{в противном случае.} \end{cases} \quad (3)$$

Второе число  $b$  тройки  $\langle a, b, c \rangle$  называется четким значением нечеткого треугольного числа. Числа  $a$  и  $c$  характеризуют степень размытости (нечеткости) четкого числа (рис. 1).

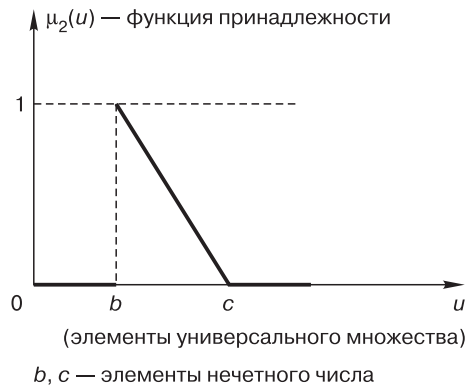
Нам потребуются еще «вырожденные» треугольные числа  $\langle a, b, b \rangle$  с универсальным множеством  $[a, b]$  (рис. 2) и  $\langle b, b, c \rangle$  с универсальным множеством  $[b, c]$  (рис. 3).



**Рис. 1.** Треугольное число



**Рис. 2.** График функции  $\mu_1(x)$



**Рис. 3.** График функции  $\mu_2(x)$

Их функциями принадлежности являются соответственно функции  $\mu_1(x)$  и  $\mu_2(x)$ :

$$\mu_1(u) = \begin{cases} \frac{u-a}{b-a}, & \text{если } u \in [a, b], \\ 0, & \text{в противном случае.} \end{cases} \quad (4)$$

$$\mu_2(u) = \begin{cases} \frac{u-c}{b-c}, & \text{если } u \in [b, c], \\ 0, & \text{в противном случае.} \end{cases} \quad (5)$$

Рассмотрим задачу определения выбора необходимого числа проб, в которой требуется по заданным значениям входных переменных  $x_1, x_2, \dots, x_n$  определить значение выходной переменной  $y(X)$ . Для ее решения используется следующий алгоритм [6; 7].

1. По заданным значениям входных переменных определить их степень принадлежности различным термам соответствующих лингвистических переменных.

2. Используя нечеткую базу знаний и определения операций над нечеткими множествами (термами), определить степень принадлежности возможных значений выходной переменной нечеткому множеству.

3. Используя полученное нечеткое множество, осуществить преобразование его в четкое число.

Нечеткой базой знаний о влиянии заданного набора значений входных переменных  $X = \{x_1, x_2, \dots, x_n\}$  на значение выходной переменной  $y(X)$  называется совокупность логических высказываний типа:

ЕСЛИ

$$(x_1 = a_1^{j_1^1}) \text{ И } (x_2 = a_2^{j_2^1}) \text{ И } \dots \text{ И } (x_n = a_n^{j_n^1})$$

ИЛИ

$$(x_1 = a_1^{j_1^2}) \text{ И } (x_2 = a_2^{j_2^2}) \text{ И } \dots \text{ И } (x_n = a_n^{j_n^2})$$

ИЛИ

...

ИЛИ

$$(x_1 = a_1^{j_1^{k_j}}) \text{ И } (x_2 = a_2^{j_2^{k_j}}) \text{ И } \dots \text{ И } (x_n = a_n^{j_n^{k_j}})$$

$$\text{ТО } y(X) = d_j,$$

где  $a_{i_p}^{j_p}$  — нечеткий терм, которым оценивается переменная  $x_i$  в строке с номером  $j_p$  ( $p = 1, k_j$ );  $j_l^p$  — порядковый номер этого терма в терм-множестве лингвистической переменной с номером  $l$ ,  $j_l^p = \{1, 2, \dots, r_l\}$ ,  $r_l$  — число элементов в этом терм-множестве;  $k_j$  — количество строчек-конъюнкций, в которых выходная переменная  $y(X)$  оценивается не-

четким термом  $d_j$ ;  $m$  — количество термов, используемых для лингвистической оценки выходного показателя  $y(X)$  с помощью операций  $(\wedge)$  (И) и  $(\vee)$  (ИЛИ).

Нечеткую базу знаний можно переписать в более компактном виде:

$$\bigcup_{p=1}^{k_j} \left[ \bigcap_{i=1}^n (x_i = a_i^{j^p}) \right] \Rightarrow y(X) = d_j, \quad j = \overline{1, m}. \quad (6)$$

Формула (6) позволяет построить нечеткое множество «значение показателя  $y$  при наборе значений параметров  $X$ » на универсальном множестве термов выходной лингвистической переменной.

Функцию принадлежности нечеткого множества, формализующего выходной терм  $d_j$  обозначим  $\mu_{d_j}(u)$ . Ее значения определяются по формуле (3) при соответствующих терме  $d_j$  значениях чисел  $a, b, c$

Функцию принадлежности нечеткого множества « $y(X) = d_j$  при условии, что набор значений параметров равен  $X$ » будем обозначать  $\bar{\mu}_{d_j}(X)$ . Заметим, что универсальным множеством, на котором определена эта функция, является множество всех возможных наборов значений параметров.

Из формул (1), (2) и (6) следует:

$$\bar{\mu}_{d_j}(X) = \max_{1 \leq p \leq k_j} \left[ \min_{1 \leq i \leq n} \mu_{a_i^{j^p}}(x_i) \right]. \quad (7)$$

Функция принадлежности  $\mu_X(u)$  нечеткого множества «значение показателя  $y$  при наборе значений параметров  $X$ » определяется формулой

$$\mu_{y,X}(u) = \max_{1 \leq j \leq m} \left\{ \bar{\mu}_{d_j}(X), \mu_{d_j}(u) \right\}, \quad (8)$$

где  $u \in [y_{\min}, y_{\max}]$ , а  $y_{\min}, y_{\max}$  — соответственно минимальное и максимальное значение показателя  $y$ .

В качестве иллюстрации приведенной в статье теории рассмотрим следующую задачу определения числа отбора проб.

Эффективность выбора будем оценивать с использованием двух показателей «надежность выбора» и «экономическая эффективность» (две лингвистические переменные). Рассмотрим технологию получения оценки качества вырабатываемого решения по определению числа отбора проб.

Термы для «надежности выбора»: высокая —  $B_1$ , средняя —  $B_2$ , низкая —  $B_3$ . Термы для «экономической эффективности» (здесь и далее под ней будем понимать финансовые затраты на выполнение анализа проб): очень дорого —  $A_1$ , дорого —  $A_2$ , не очень дорого —  $A_3$ , дешево  $A_4$ .

Пусть в зависимости от количества проб... затраты могут изменяться от минимального значения  $\alpha$  до максимального значения  $\beta$ . Тогда расходы, связанные с конкретным решением, будут равны  $(1 - \delta)\alpha + \delta\beta$ , где  $\delta$  — некоторое число от нуля до единицы. Множество значений этого  $\delta$  будем рассматривать как универ-

сальное множество, на котором заданы нечеткие множества, формализующие термы лингвистической переменной «экономическая эффективность».

Надежность выбора будем характеризовать вероятностью получения положительного результата —  $P$ . Будем предполагать, что эта вероятность лежит в пределах от 0.5 до 0.98. Тогда универсальным множеством для термов этой переменной является отрезок  $[0.5; 0.98]$ .

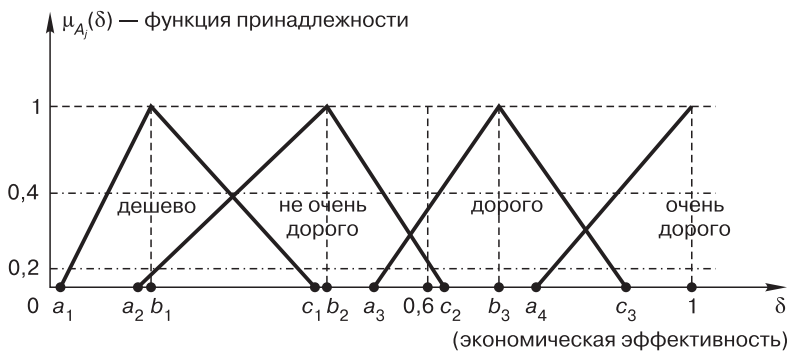
Указанные лингвистические переменные называются входными, выходной является лингвистическая переменная «результатирующее качество», пусть ее термами являются: неудовлетворительное —  $C_1(2)$ , удовлетворительное —  $C_2(3)$ , хорошее —  $C_3(4)$ , отличное —  $C_4(5)$ . Универсальным множеством здесь будет отрезок  $[2; 5]$ .

Для термов лингвистических переменных для рассматриваемой задачи значения чисел  $a, b, c$  указаны в табл. 1, графики функций распределения приведены на рис. 4, 5 и 6.

Таблица 1

**Параметры нечетких треугольных чисел, формализующих рассматриваемые термы**

	Термы лингвистической переменной «надежность выбора»			
	низкая	средняя	высокая	—
$a$	$a_n$	$a_c$	$a_v$	—
$b$	$b_n$	$b_c$	$b_v$	—
$c$	$c_n$	$c_c$	$c_v$	—
	Термы лингвистической переменной «экономическая эффективность»			
	дешево	не очень дорого	дорого	очень дорого
$a$	$a_1$	$a_2$	$a_3$	$a_4$
$b$	$b_1$	$b_2$	$b_3$	1
$c$	$c_1$	$c_2$	$c_3$	1
	Термы лингвистической переменной «результатирующее качество»			
	неудовлетв.	удовлетв.	хорошее	отличное
$a$	2	2,4	2,7	4,2
$b$	2	3	4	5
$c$	3	3,4	4,7	5



**Рис. 4.** Лингвистическая переменная «экономическая эффективность»

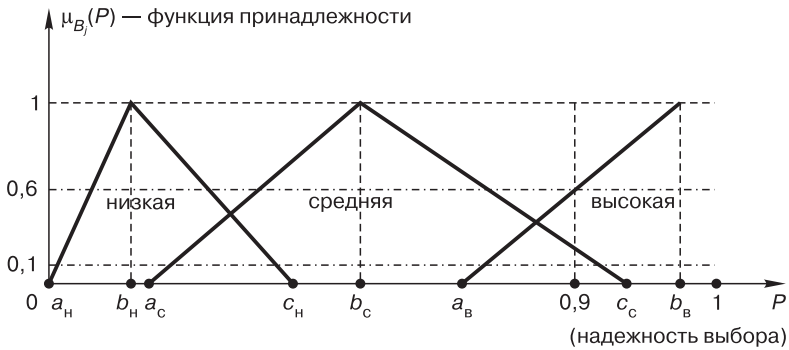


Рис. 5. Лингвистическая переменная «надежность выбора»

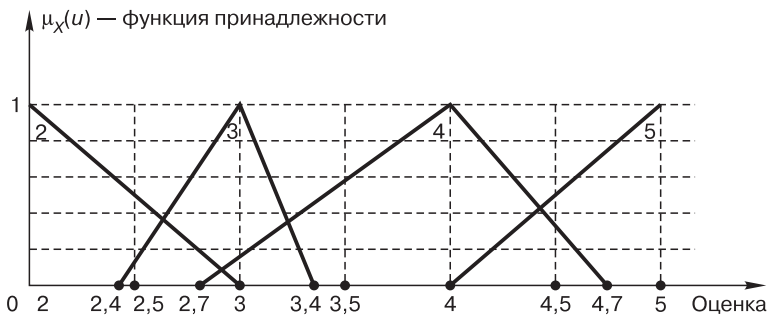


Рис. 6. Выходная лингвистическая переменная

Нечеткая база знаний представлена в табл. 2.

Таблица 2

Нечеткая база знаний

$B_i \backslash A_j$	Очень дорого $A_1$	Дорого $A_2$	Не очень дорого $A_3$	Дешево $A_4$
Высокая $B_1$	2	3	4	5
Средняя $B_2$	2	2	2	4
Низкая $B_3$	2	2	2	2

Если, например, принимается решение с экономической эффективностью «дорого», а надежностью выбора «высокая», то по табл. 2 находим, что результирующее качество этого решения имеет нечеткую оценку «3».

Для рассматриваемой задачи определения числа отбора проб построим четкую оценку для варианта, при котором лингвистическая переменная «экономическая эффективность» имеет значение 0,6, а «надежность выбора»  $P$  равна 0,9.

В таблице 3 приведены значения функций принадлежности, сочетаний (конъюнкций) термов входных лингвистических переменных при  $\delta = 0,6$  и  $P = 0,9$ .

Третья строка и второй столбец табл. 3 заполняется по формуле (3) с использованием данных табл. 1 (на основе графиков функций принадлежности рис. 4 и 5). В остальных клетках, указываются значения функции принадлежности (истинности) конъюнкций соответствующих термов входных лингвистических переменных. Эти значения равны минимальному из значений в соответствующих клетках третьей строки и второго столбца (формула (1)).

Таблица 3

**Степень принадлежности ситуации  $\{\delta, P\} = \{0,6, 0,9\}$  разным сочетаниям значений входных лингвистических переменных**

	$\mu_{B_i}(0,9)$	Очень дорого $A_1$	Дорого $A_2$	Не очень дорого $A_3$	Дешево $A_4$
1	2	3	4	5	6
$\mu_{A_i}(0,6)$	—	0	0,4	0,2	0
Высокая $B_1$	0,6	0	0,4	0,2	0
Средняя $B_2$	0,1	0	0,1	0,1	0
Низкая $B_3$	0	0	0	0	0

Для получения значения степени уверенности выходного термина для рассматриваемого варианта значений входных переменных надо из указанных в табл. 3 значений надежности для этого термина взять максимальное (формула (7)). Результаты приведены в табл. 4.

Таблица 4

**Надежность выходных термов для ситуации  $\{\delta, P\} = \{0,6, 0,9\}$** 

Выходные термы	$C_1(2)$	$C_2(3)$	$C_3(4)$	$C_4(5)$
Надежность	0,2	0,5	0,1	0

Максимальные положительные значения функций принадлежности получились только для первых трех термов. Эти значения получены (см. табл. 3) для вариантов  $B_2 - A_2$ ,  $B_1 - A_2$ ,  $B_1 - A_3$ . Обозначим их соответственно  $C_{22}$ ,  $C_{12}$ ,  $C_{13}$ .

Определяем степень принадлежности различных значений выходной переменной (с шагом 0,5) при сочетаниях  $C_{22}$ ,  $C_{12}$ ,  $C_{13}$  значений входных переменных. Затем находим степени принадлежности разных числовых значений выходной переменной с учетом степени принадлежности соответствующего выбора выходного термина.

Окончательно получим значения функции принадлежности  $\mu_{y,X}(u)$  нечеткого множества «значение выходной переменной  $y(X)$  при наборе значений входных переменных  $X = (0,6; 0,9)$ » (формула (8), т.е. степень уверенности в том, что рассматриваемый вариант заслуживает соответствующей оценки.

Для получения окончательной оценки предлагаются два подхода. Первый подход предусматривает использование в качестве оценки так называемого центра тяжести, другой подход связан с выбором оценки, степень уверенности относительно которой максимальна [4; 6].

Для технической реализации многократного отбора проб на месте пожара предлагаются три новых технических решения — конструкции пробоотборников («Пробоотборник почв и грунтов», «Пробоотборник жидкости», «Устройство отбора пробы аэрозолей и паров»), которые обеспечивают возможность производить многократный пробоотбор образцов среды-носителя СНП на месте пожара. В частности, предложены пробоотборники образцов среды-носителя СНП, обеспечивающие возможность отбора проб из почвы (грунта), жидкости (например, воды), воздуха, а также с любых твердых поверхностей (асфальт, бетон и др.).

На конструкции предлагаемых пробоотборников образцов среды-носителя СНП получены регистрационные номера заявок на получение патентов на полезные модели (Пробоотборник почв и грунтов — № 2015150785(078233) от



26.11.2015 г., Пробоотборник жидкости — № 2016100553(000714) от 11.01.2016 г., Устройство отбора пробы аэрозолей и паров — № 2015153173 от 10.12.2015 г.). Указанные материалы в настоящее время находятся на рассмотрении государственной экспертизы в Федеральном институте промышленной собственности (г. Москва).

Возможность применения рассмотренного метода технической реализации пробоотбора среды (почва, вода, воздух), загрязненной СНП, при проведении судебно-экологической экспертизы способствует повышению эффективности обнаружения, достоверности идентификации и количественной оценки содержания СНП в данной среде, что, в свою очередь, обеспечивает повышение уровня экологической безопасности.

### ЛИТЕРАТУРА

- [1] *Астанков А.А., Зыков А.В., Казакова Н.Р., Молоков И.Е.* О прогнозировании эффективности применения инновационных технических решений и технологий в интересах обеспечения безопасности в Арктике // Сервис безопасности в России: опыт, проблемы, перспективы — Вопросы обеспечения комплексной безопасности в Арктическом регионе: Материалы VI междунар. науч.-практ. конф., Санкт-Петербург, 2014. С. 130—134.
- [2] *Казакова Н.Р., Астанков А.А., Черных А.К.* Подходы к оценке эффективности внедрения новых технических решений и технологий для обеспечения безопасности на объектах нефтегазового комплекса // Вопросы оборонной техники. Научно-производственное объединение специальных материалов. 2015. № 7-8. С. 52—56.
- [3] *Казакова Н.Р., Черных А.К.* Метод идентификации жидких углеводородов на основе атомно-эмиссионной спектрометрии и масс-спектрометрии с индуктивно-связанной плазмой для обеспечения пожарной безопасности на объектах нефтегазового комплекса // Защита окружающей среды в нефтегазовом комплексе. 2015. № 10. С. 35—38.
- [4] *Кофман А.* Введение в теорию нечетких множеств. М.: Радио и связь, 1982. 432 с.
- [5] *Леоненков А.В.* Нечеткое моделирование в среде MATLAB и fuzzyTECH. СПб.: БХВ-Петербург, 2005. 736 с.
- [6] *Штовба С.Д.* Введение в теорию нечетких множеств и нечеткую логику. Винница: УНИВЕРСУМ-Винница, 2001. 198 с.
- [7] *Яхьяева Г.Э.* Нечеткие множества и нейронные сети. М.: Бинوم, 2006. 315 с.

## METHOD OF TECHNICAL IMPLEMENTATION OF SAMPLING OF THE MEDIUM OF LIGHT OIL ON THE FIRE PLACE

**N.R. Kazakova<sup>1</sup>, A.K. Chernykh<sup>2</sup>**

<sup>1</sup> Faculty of training of highly qualified personnel  
of the St. Petersburg University of the State Fire Service of the MES in Russia  
*Moskovsky Prospect, 149, St. Petersburg, Russia, 196105*

<sup>2</sup> Department of Computer Science and Mathematics  
St. Petersburg Military Institute of the Russian Internal Troops  
*Flyer Pilyutova str., d. 1, St. Petersburg, Russia, 198206*

We propose a method allowing to assess the validity of decisions by determining how many sampling environment at the fire scene for identification of light oil products, which became the initiator of combustion. In cases of application of this method in forensic-ecological expertise provides the ability

to increase the level of environmental safety. The mathematical apparatus, which forms the basis of this method, has been developed using elements of fuzzy set theory. Three new technical solution is sampling, providing the ability to perform multiple sampling samples of the medium light oil has been developed.

**Key words:** the initiator of combustion, light oil, identification, environmental safety, sampling environment, fuzzy sets

## REFERENCES

- [1] Astankov A.A., Zykov A.V., Kazakova N.R., Molokov I.E. O prognozirovanii ehffektivnosti primeneniya innovatsionnykh tekhnicheskikh reshenij i tekhnologij v interesakh obespecheniya bezopasnosti v Arktike [Forecasting of efficiency of application of innovative technical solutions and technologies to ensure security in the Arctic], *Materialy VI mezhdunar. nauch.-prakt. konf. «Servis bezopasnosti v Rossii: opyt, problemy, perspektivy — Voprosy obespecheniya kompleksnoj bezopasnosti v Arkticheskom regione»* [Proceedings of the VI Intern. scientific.-practical. Conf. «The security service in Russia: experience, problems, perspectives — Issues of comprehensive security in the Arctic region»]. Saint-Petersburg, 2014, pp. 130—134.
- [2] Kazakova N.R., Astankov A.A., CHernykh A.K. Podkhody k otsenke ehffektivnosti vnedreniya novykh tekhnicheskikh reshenij i tekhnologij dlya obespecheniya bezopasnosti na ob»ektakh neftegazovogo kompleksa [Approaches to evaluating the effectiveness of implementation of new technical solutions and technologies for security in oil and gas complex objects]. *Voprosy obronnoj tekhniki. Nauchno-proizvodstvennoe ob»edinenie spetsial'nykh materialov* — [Questions of defense engineering. Scientific and production Association of special materials], 2015, no. 7-8, pp. 52—56.
- [3] Kazakova N.R., CHernykh A.K. Metod identifikatsii zhidkikh uglevodorodov na osnove atomno-ehmissionnoj spektrometrii i mass-spektrometrii s induktivno-svyazannoj plazmoj dlya obespecheniya pozharnoj bezopasnosti na ob»ektakh neftegazovogo kompleksa [Method of identification of liquid hydrocarbons on the basis of atomic emission spectrometry and mass spectrometry with inductively coupled plasma to ensure fire safety at oil and gas facilities]. *Zashhita okruzhayushhej sredy v neftegazovom komplekse* — [Environmental protection in oil and gas complex], 2015. no. 10. pp. 35—38.
- [4] Kofman A. Vvedenie v teoriyu nechetkikh mnozhestv [Introduction to the theory of fuzzy sets]. Moscow, Radio and communication, 1982. 432 p.
- [5] Leonenkov A.V. Nechetkoe modelirovanie v srede MATLAB i fuzzyTECH [Nechetkoe modelirovanie v srede CATCH and fuzzyTECH]. St. Petersburg, BHV-Petersburg, 2005. 736 p.
- [6] Shtovba S.D. Vvedenie v teoriyu nechetkikh mnozhestv i nechetkuyu logiku [Introduction to the theory of fuzzy sets and fuzzy logic]. Vinnytsia, UNIVERSUM — Vinnitsa, 2001. 198 p.
- [7] Yakh'yaeva G.EH. Nechetkie mnozhestva i nejronnye seti [Fuzzy sets and neural networks]. Moscow, Binom, 2006. 315 p.