ISSN 2542-1468, Лесной вестник / Forestry Bulletin, 2018. Т. 22. № 5. С. 121–128. © МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2018



УДК 616.12-073.97-71 DOI: 10.18698/2542-1468-2018-5-121-128

# ПОВЫШЕНИЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ ОЦЕНКИ ПАРАМЕТРОВ ТЕХНИЧЕСКИХ СИСТЕМ НА ОСНОВЕ УЧЕТА НЕОПРЕДЕЛЕННОСТИ РАЗНЫХ ТИПОВ

**О.М. Полещук**

МГТУ им. Н.Э. Баумана (Мытищинский филиал), 141005, Московская область, г. Мытищи, ул. 1-я Институтская, д. 1

olga.m.pol@yandex.ru

Для эффективной оценки параметров технических систем недостаточно учитывать неопределенность только в виде случайности и принимать решения только на основе измерения физических значений этих параметров. С целью снижения риска ошибок привлекаются опытные эксперты, которые оценивают параметры, выделяя базовые лингвистические значения. Для получения качественной модели реального процесса необходимо учитывать оба типа информации и возникающие при этом разные типы неопределенности. В качестве моделей экспертного оценивания параметров рассматриваются семантические пространства с определенными свойствами функций принадлежности, которые были сформулированы в результате теоретических исследований и практических применений этих пространств в проблемных областях с активным участием человека-эксперта. Разработанные автором статьи методы построения моделей экспертного оценивания параметров и количественные показатели качества этих моделей позволяют создавать лингвистические шкалы, которые вносят в процедуру оценивания минимум нечеткости при максимальной согласованности информации, поступающей от разных экспертов. Приведенный практический пример демонстрирует эффективность применения разработанных моделей для получения результата, который согласуется с опытом экспертов и может с успехом применяться для поддержки принятия решений.

**Ключевые слова:** семантическое пространство, параметры технических систем, экспертная оценка

**Ссылка для цитирования:** Полещук О.М. Повышение эффективности оценки параметров технических систем на основе учета неопределенности разных типов // Лесной вестник / Forestry Bulletin, 2018. Т. 22. № 5. С. 121–128. DOI: 10.18698/2542-1468-2018-5-121-128

Для измерения количественных (числовых) параметров технических систем используются шкалы: абсолютная, отношений, интервалов, разностей. Значения количественных параметров, измеренные в этих шкалах, называются физическими значениями параметров. Для эффективной оценки параметров и принятия решений на их основе достаточно часто привлекаются эксперты, которые дополняют полученную информацию, исходя из собственного опыта и знаний [1, 2].

## Цель работы

Цель работы — в качестве моделей экспертного оценивания параметров рассмотреть семантические пространства с определенными свойствами функций принадлежности, которые были сформулированы в результате теоретических исследований и практических применений этих пространств в проблемных областях с активным участием человека-эксперта.

## Материалы и методы

Опытный эксперт на множестве значений параметров выделяет ряд эталонных значений («малый», «средний», «большой» и т. д.), а физические (числовые) значения параметров рассматривает относительно этого ряда. Например, в работе [3] для оценки параметра «давление пара на входе» (с областью изменения [4–7]) изделия «подогреватель высокого давления» (которое предназначается для повышения КПД турбоустановки) используется лингвистическая шкала с уровнями «малое давление пара», «давление, близкое к 4», «большое давление пара».

Таким образом, физические значения параметров дополняются оценками экспертов, которые употребляют для этого слова профессионального языка — значения (уровни) лингвистических шкал. Значения числовых параметров, измеренные в лингвистических шкалах, называются лингвистическими значениями параметров. Числовой параметр, с одной стороны, имеет физические значения, измеренные техническим прибором, а с другой — лингвистические значения, измеренные экспертом.

Для формализации экспертных оценок предлагается использовать аппарат теории нечетких множеств, который позволяет моделировать плавность переходов от одного понятия к другому, свойственную мышлению человека-эксперта, и выражать степень его уверенности в процессе принятия решений.

Поясним сказанное на простом примере.

Пусть некоторый параметр определен на универсальном множестве $X$ и принимает значения от $X_m$ до $X_M$. Тогда, исходя из содержательного смысла задачи, понятие «допустимые значения параметра» может быть определено с помощью множества $A$, характеристическая функция которого представлена на рис. 1.

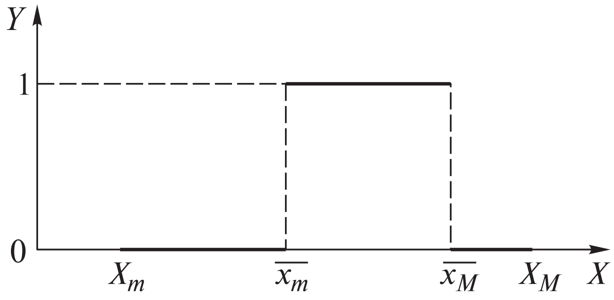


**Рис. 1.** Характеристическая функция множества *A*, формализующего понятие «допустимые значения параметра»
**Fig. 1.** The characteristic function of the set *A* which formalizes the concept of «permissible parameter values»

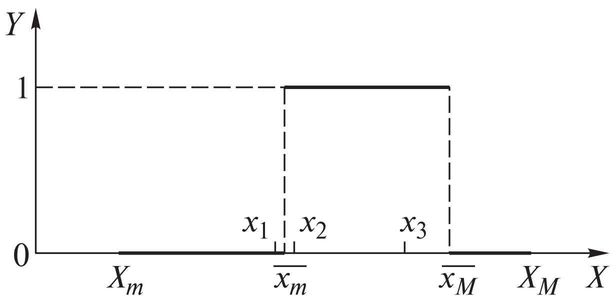


**Рис. 2.** Характеристическая функция множества *A*, формализующего понятие «допустимые значения параметра», и три значения параметра
**Fig. 2.** The characteristic function of the set *A* which formalizes the concept of «allowed parameter values» and three parameter values

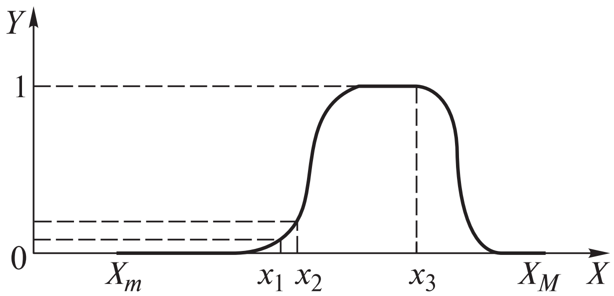


**Рис. 3.** Функция принадлежности нечеткого множества $\tilde{A}$, формализующего понятие «допустимые значения параметра»
**Fig. 3.** The membership function of a fuzzy set $\tilde{A}$ that formalizes the concept of «allowed parameter values»

Такая формализация обладает есть существенным недостатком: при описании объектов с пограничными значениями параметра эксперт испытывает трудности в связи со скачкообразным переходом от одного физического значения параметра к другому. Теория множеств и соответствующая ей булева логика составляют базу классической математики и всего, что сделано на ее основе, вплоть до современных компьютерных процессоров. Модели сложных технических и физических систем, химических процессов хорошо описывались на этом языке и удачно реализовывались на компьютерах. Трудности заключались только в недостаточном быстродействии, недостаточной памяти и других технических проблемах реализации этих моделей.

Ситуация изменилась коренным образом, когда возникла необходимость учитывать особенности восприятия, оценки и анализа информации человеком как полноправной части моделируемой системы.

Рассмотрим рис. 1 с точки зрения описания ситуации человеком.

Отметим три значения параметра: $x_1$, $x_2$, $x_3$, представленные на рис. 2.

Очевиден некоторый парадокс: значения $x_1$ и $x_2$ для модели являются различными, а значения $x_2$ и $x_3$ — одинаковыми (по отношению к понятию «допустимые значения параметра», формализованному с помощью множества *A*). Таким образом, компьютерная модель может «видеть» фактически близкие ситуации как разные, а физически разные — как одинаковые. Если нет однозначного правила (модели) вычисления граничных значений $\overline{x}_m$ и $\overline{x}_M$, данная ситуация может привести к тому, что выводы, полученные при анализе такого рода моделей, не будут соответствовать представлениям экспертов.

В этом несоответствии языка классической теории множеств и способа мышления человека и кроется одна из причин неудовлетворительных попыток формализации опыта экспертов в рамках данной теории и появления теории нечетких множеств.

Мы можем определить понятие «допустимые значения параметра» как нечеткое множество $\tilde{A}$, функция принадлежности которого представлена на рис. 3. Как видно из рисунка, функция принадлежности, в отличие от характеристической функции, принимает весь спектр значений от нуля до единицы, а не только крайние значения. Исчезает скачкообразный переход от понятия «значениене принадлежит» к понятию «значение принадлежит».

Сравнивая рис. 2 и 3, можно заметить исчезновение указанного выше парадокса: значения $x_1$ и $x_2$ при формализации с помощью нечеткого множества видятся моделью как близкие, а значения $x_2$ и $x_3$ — как разные, что полностью совпадает с экспертной оценкой.

## Формализация лингвистических шкал для оценки числовых параметров на основе полных ортогональных семантических пространств

Пусть $X$ — некоторое множество элементов $x$, $\mu_{\tilde{A}}(x): X \to [0,1]$.

Нечетким множеством $\tilde{A}$ называется множество пар вида $\{(x, \mu_{\tilde{A}}(x)) : x \in X\}$; при этом значение $\mu_{\tilde{A}}(x)$ называется степенью принадлежности $x$ к $\tilde{A}$ [4]. Согласно определению, задание нечеткого множества $\tilde{A}$ эквивалентно заданию его функции принадлежности $\mu_{\tilde{A}}(x)$.

Нечетким числом $\tilde{A}$ называется нечеткое множество, имеющее функцию принадлежности $\mu_{\tilde{A}}(x): R \to [0,1]$.

Одним из основных понятий теории нечетких множеств является понятие нечеткой переменной [5].

Нечеткой переменной называется тройка

$$\{X, U, \tilde{A}\},$$

где $X$ — название переменной; $U$ — область ее определения (универсальное множество); $\tilde{A}$ — нечеткое множество универсального множества, описывающее возможные значения нечеткой переменной.

На основе понятия нечеткой переменной вводится понятие лингвистической переменной [5].

Лингвистической переменной называется пятерка $\{X, T(X), U, V, S\}$,

где $X$ — название переменной;

$T(X) = \{X_i, i = \overline{1,m}\}$ — терм-множество переменной $X$, т. е. множество термов, или названий лингвистических значений, переменной $X$ (каждое из этих значений — нечеткая переменная со значениями из универсального множества $U$); $V$ — синтаксическое правило, порождающее названия значений лингвистической переменной $X$; $S$ — семантическое правило, которое ставит в соответствие каждой нечеткой переменной с названием из $T(X)$ нечеткое подмножество универсального множества $U$.

Лингвистическая переменная с фиксированным терм-множеством называется семантическим пространством.

Построению лингвистических переменных посвящено достаточно много работ ([6–15]). В более ранних работах из этого списка показано, что необходимо ввести определенные свойства лингвистических переменных, а в более поздних эта необходимость доказана теоретическими исследованиями и практическим применением.

Требования к функциям принадлежности $\mu_l(x), l = \overline{1,m}$ термов семантических пространств были сформулированы в работе [16]:

1. Для каждого понятия $X_l, l = \overline{1,m}$ существует $\hat{U}_l \neq \varnothing$, где $\hat{U}_l = \{x \in U : \mu_l(x) = 1\}$ есть точка или отрезок.
2. Пусть $\hat{U}_l = \{x \in U : \mu_l(x) = 1\}$, тогда $\mu_l(x), l = \overline{1,m}$ не убывает слева от $\hat{U}_l$ и не возрастает справа от $\hat{U}_l$.
3. Функции $\mu_l(x), l = \overline{1,m}$ имеют не более двух точек разрыва первого рода.
4. Для каждого $x \in U$ $\sum_{l=1}^{m} \mu_l(x) = 1$.

Семантические пространства, функции принадлежности которых удовлетворяют свойствам 1–4, называются полными ортогональными семантическими пространствами (ПОСП) [16] и используются в настоящей работе в качестве моделей экспертного оценивания числовых параметров в лингвистической шкале. Выбор семантических пространств, обладающих свойствами, перечисленными выше, подкреплен проведенными теоретическими исследованиями и практическим применением в различных областях деятельности человека [17–20].

В работе [21] разработаны методы построения таких моделей на основе экспертного опроса. Для построения модели экспертного оценивания числового параметра $X$, принимающего значения на множестве $U = [a, b]$, привлекается эксперт, который определяет типичные значения $(x_l^1, x_l^2)$ этого параметра для каждого уровня $X_l$, $l = \overline{1,m}$ терм-множества $T(X) = \{X_1, X_2, \ldots, X_m\}$. Тогда функции принадлежности $\mu_l, l = \overline{1,m}$ имеют вид

$$\mu_1(x) \equiv \left(a, x_1^2, 0, \frac{x_2^1 - x_1^2}{2}\right);$$

$$\mu_l(x) \equiv \left( x_l^1, x_l^2, \frac{x_l^1 - x_{l-1}^2}{2}, \frac{x_{l+1}^1 - x_l^2}{2} \right),$$

$l = \overline{2, m-1};$

$$\mu_m(x) \equiv \left( x_m^1, b, \frac{x_m^1 - x_{m-1}^2}{2}, 0 \right).$$

В скобках стоят четыре параметра, которые полностью определяют функции принадлежности. Первые два параметра — абсциссы соответственно левого и правого концов верхнего основания трапеции, которая является графиком функции принадлежности. Последние два параметра — длины соответственно левого и правого крыльев трапеции. Нечеткое число, графиком функции принадлежности которого является трапеция, называется *T*-числом. Нечеткое число, графиком функции принадлежности которого является треугольник, называется треугольным числом. Треугольное число является частным случаем *T*-числа и определяется тремя параметрами.

Очевидно, что для оценивания числовых параметров эксперты могут применять лингвистические шкалы с разными множествами значений (термов). Одни множества доставляют трудности экспертам в связи с недостаточностью значений, другие — в связи с избыточностью значений. В результате этих трудностей следует ожидать увеличения нечеткости и рассогласованности поступающей от экспертов информации.

При выборе лингвистической шкалы естественным является вопрос: «По каким критериям должен производиться выбор оптимального множества значений этой шкалы?». В работе [18] определены следующие критерии оптимальности.

1. Под оптимальным множеством значений лингвистической шкалы понимается такое множество значений, используя которое эксперты испытывают минимальную неопределенность при оценивании (описании) реальных объектов.

2. Под оптимальным множеством значений лингвистической шкалы понимается такое множество значений, которое обеспечивает максимальную согласованность экспертной информации.

В [18] задача определения оптимального множества значений лингвистической шкалы решена только в условиях первого критерия.

Под степенью неопределенности, которую испытывают эксперты при оценивании (описании) реальных объектов, в работе [16] понимается степень нечеткости ПОСП, которая моделирует экспертные оценочные (описательные) процедуры:

$$\zeta = \frac{1}{|U|} \int_U f\left(\mu_{l_1}(x) - \mu_{l_2}(x)\right) dx,$$

где $\mu_{l_1}(x) = \max_{1 \le l \le m} \mu_l(x)$; $\mu_{l_2}(x) = \max_{\substack{1 \le l \le m \\ l \ne l_1}} \mu_l(x)$;

$f$ убывает, $f(0) = 1$, $f(1) = 0$. Если $f(x) = 1 - x$, то

$$\zeta = \frac{1}{|U|} \int_U \left(1 - \left(\mu_{l_1}(x) - \mu_{l_2}(x)\right)\right) dx = \frac{|\overline{U}|}{2|U|},$$

где $\overline{U} = U - \bigcup_{l=1}^{m} \widehat{U}_l$.

Если есть $k$ моделей экспертного оценивания некоторого параметра с функциями принадлежности $\mu_{il}(x), i = \overline{1, k},\ l = \overline{1, m}$, то согласованность [16] этих моделей будем определять с помощью коэффициента

$$\kappa = \frac{1}{m} \sum_{l=1}^{m} \frac{\int_0^1 \min\left(\mu_{1l}(x), \mu_{2l}(x), \ldots, \mu_{kl}(x)\right) dx}{\int_0^1 \max\left(\mu_{1l}(x), \mu_{2l}(x), \ldots, \mu_{kl}(x)\right) dx}.$$

Сформулируем терм-множества $T_1 = \{X_1, X_2\}$, $T_2 = \{Y_1, Y_2, Y_3\}$, …, $T_{n-1} = \{Z_1, Z_2, \ldots, Z_n\}$ лингвистических значений числового параметра $X$, которые могут применяться для его оценивания. После этого $k$ экспертам предлагается оценить данный параметр последовательно в рамках каждого из сформулированных множеств его лингвистических значений.

Обозначим через

$$P_i^p,\ i = \overline{1, n-1},\ \ p = \overline{1, k}$$

модель экспертного оценивания числового параметра $X$ $p$-м экспертом в рамках терм-множества $T_i$ (ПОСП $p$-го эксперта с терм-множеством $T_i$), а через $P_i$, $i = \overline{1, n-1}$, — обобщенную модель экспертного оценивания или описания характеристики $X$ в рамках терм-множества $T_i$. Методы построения обобщенных моделей по результатам группового оценивания разработаны в [20].

Обозначим через $\xi(T_i),\ i = \overline{1, n-1}$, степень нечеткости модели $P_i,\ i = \overline{1, n-1}$, а через $\kappa_i$ — показатель общей согласованности моделей $P_i^p,\ p = \overline{1, k}$.

Построим для показателя согласованности ПОСП с универсальным множеством [0, 1], термами «низкий», «высокий» и функциями принадлежности термов $\mu_1(x)$, $\mu_2(x)$ (например, не ограничивая общности $\mu_1(x) \equiv (0; 0{,}25; 0; 0{,}50)$, $\mu_2(x) \equiv (0{,}75; 1; 0{,}25; 0)$). Построим для степени нечеткости ПОСП с универсальным множеством [0, 0,5], термами «малая», «большая» и функциями принадлежности термов $\eta_1(x)$, $\eta_2(x)$ (например, не ограничивая общности $\eta_1(x) \equiv (0; 0{,}20; 0; 0{,}20)$, $\eta_2(x) \equiv (0{,}40; 0{,}50; 0{,}20; 0)$).

Вычислим в рамках всех множеств лингвистических значений характеристики значения принадлежности степеней нечеткости обобщенных моделей к терму «малая» — $\eta_1\left(\xi\left(T_i\right)\right)$, $i=\overline{1,n-1}$ и значения принадлежности показателей согласованности моделей экспертов к терму «высокий» — $\mu_2\left(\kappa_i\right)$, $i=\overline{1,n-1}$.

Определим

$$\theta_i=\min\left[\eta_1\left(\xi\left(T_i\right)\right),\mu_2\left(\kappa_i\right)\right],\ i=\overline{1,n-1}.$$

Тогда множество $T_j$ лингвистических значений характеристики считается оптимальным множеством, если $\theta_j=\max\limits_{1\le i\le n-1}\theta_i$.

## Пример определения степени аналогичности технических изделий по некоторому параметру на основе полных ортогональных семантических пространств

Для определения степени аналогичности изделий со значениями некоторого параметра, равными соответственно $a$ и $b$, обычно используется формула [3]

$$\rho_{ab}=1-\frac{|a-b|}{A-B}, \qquad (1)$$

где $[A, B]$ — область значений параметра.

Достоинством формулы (1) является простота вычислений, а недостатком — то, что степень аналогичности зависит только от разности значений параметра и не зависит от места расположения этих значений на всей области $[A, B]$. Вследствие данного недостатка полученные по формуле (1) результаты не всегда согласуются с опытом эксперта. Дело в том, что опытный эксперт при определении аналогичности изделий выделяет на множестве параметра эталонные значения и сравнение изделий осуществляет на их основе. Например, эксперт на основе своего опыта выделяет малые значения параметра, средние и большие значения, а аналогичность изделий определяет исходя из того, к какому из лингвистических значений параметра принадлежат ее числовые значения. В работе [3] приведен пример определения степени аналогичности изделий с названием «подогреватель высокого давления» по параметру «давление пара на входе». Параметр имеет область определения [1,1; 6,7]. В примере определяются степень аналогичности изделий со значениями 1,1 и 1,5 и степень аналогичности изделий со значениями 6,1 и 6,6. Формула (1) дает для первой пары изделий степень аналогичности 0,93, а для второй пары степень аналогичности 0,91. В работе [3] утверждается, что эти результаты не согласуются с опытом экспертов. Более того, изделия первой пары, согласно анализу экспертного опыта проектирования аналогичных изделий, значительно меньше схожи между собой, чем изделия второй пары.

В [3] предлагается другая формула для определения степени аналогичности изделий: $r(a/b) = \mu_b(a)$. Согласно этой формуле, нужно взять функцию принадлежности нечеткого множества «около $b$» и найти степень принадлежности значения $a$ к этому множеству. Недостатком данной формулы является отсутствие свойства симметричности, т. е. $r(a/b) \neq r(b/a)$.

В [15, 20, 21] приводится новая формула определения степени аналогичности изделий на основе функций принадлежности ПОСП с термами «давление, близкое к 4», «большое давление» семантического пространства «давление пара на входе», которая лишена этого недостатка.

Будем считать $U = [A, B]$ областью значений параметра. Эксперт, исходя из своего опыта, выделяет $m$ лингвистических значений данного параметра и для каждого лингвистического значения указывает соответствующие типичные числовые значения. Типичные значения могут быть указаны одним числом или целым промежутком. В зависимости от этого функции принадлежности термов $\mu_l\left(x\right), l=\overline{1,m}$ являются функциями принадлежности $T$-чисел или треугольных чисел.

Назовем $\left|\mu_l\left(a\right)-\mu_l\left(b\right)\right|$ мерой потери информации для значений $a$ и $b$ в рамках $l$-го терма, $l=\overline{1,m}$. Определим степень аналогичности изделий со значениями $a$ и $b$ по рассматриваемому параметру по формуле

$$\eta_{ab}=1-\frac{\sum\limits_{l=1}^{m}\left|\mu_l\left(a\right)-\mu_l\left(b\right)\right|}{2}. \qquad (2)$$

Из формулы (2) следует, что если $a$ и $b$ принадлежат области, для которой $\mu_l(a) = \mu_l(b) = 1$, то $\eta_{ab} = 1$.

Если $a$ и $b$ принадлежат области неопределенности двух соседних функций

$$\left(0<\mu_l\left(a\right)<1,\ 0<\mu_{l+1}\left(a\right)<1,\ 0 <\mu_l\left(b\right)<1,\ 0<\mu_{l+1}\left(b\right)<1\right)$$

или одно из значений принадлежит области $\mu_l(a) = 1$ или $\mu_l(b) = 1$, а другое значение принадлежит области неопределенности соседней функции, то

$$\eta_{ab} = 1-\left|\mu_l\left(a\right)-\mu_l\left(b\right)\right|. \quad (3)$$

Формула (3) следует из свойств функций принадлежности терм-множества ПОСП

$$\mu_l\left(a\right)+\mu_{l+1}\left(a\right)=1,\ \mu_l\left(b\right)+\mu_{l+1}\left(b\right)=1\Rightarrow$$
$$\Rightarrow\mu_l\left(a\right)-\mu_l\left(b\right)=\mu_{l+1}\left(b\right)-\mu_{l+1}\left(a\right)\Rightarrow$$
$$\Rightarrow\left|\mu_l\left(a\right)-\mu_l\left(b\right)\right|=\left|\mu_{l+1}\left(a\right)-\mu_{l+1}\left(b\right)\right|.$$

Если сравнивать формулу (3) с формулой (1), которая традиционно применяется для нахождения степени аналогичности, то оказывается, что они очень похожи, только формула (1) оперирует с самими значениями параметра, а формула (3) — со значениями функций принадлежности этих значений. В формуле (1) присутствует $(B - A)$ — длина промежутка значений параметра, а в формуле (3) — единичная длина области значений функций принадлежности.

В остальных ситуациях расположения значений $a$ и $b$ $\eta_{ab} = 0$.

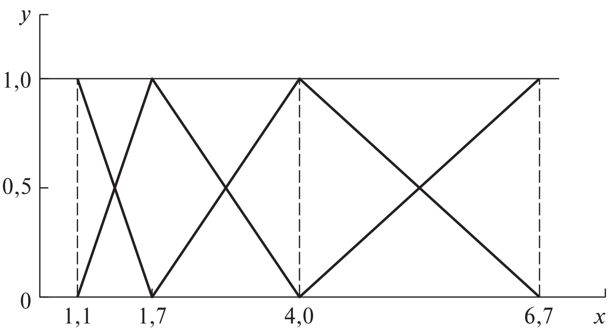


**Рис. 4.** Функции принадлежности терм-множеств семантического пространства «давление пара на входе» изделия «подогреватель высокого давления»

**Fig. 4.** Membership functions of term sets of the semantic space «vapor pressure at the inlet» of the product «high pressure heater»

Используя функции принадлежности ПОСП «давление пара на входе», изображенные на рис. 4, вычислим степень аналогичности изделий со значениями давления пара 1,1 и 1,5 и степень аналогичности изделий со значениями давления пара 6,1 и 6,6.

Получим следующие результаты: $\eta_{1,1;1,5} = 0{,}34$; $\eta_{6,1;6,6} = 0{,}82$. В соответствии с [3] эти результаты согласуются с опытом экспертов.

## Выводы

Как показывает анализ процесса принятия решений, для эффективной оценки параметров технических систем недостаточно учитывать один вид неопределенности, измеряя только физические значения параметров с помощью приборов. Опытный эксперт тоже измеряет параметры, но только в другой шкале — лингвистической, и эту информацию необходимо формализовать и учитывать, если мы хотим получить качественную модель реального процесса. В качестве моделей экспертного оценивания параметров рассматривались семантические пространства с определенными свойствами функций принадлежности, которые были сформулированы в результате теоретических исследований и практического применения этих пространств в проблемных областях с активным участием человека-эксперта. Разработанные автором статьи методы построения моделей экспертного оценивания параметров и количественные показатели качества этих моделей позволяют создавать лингвистические шкалы, которые вносят в процедуру оценивания минимум нечеткости при максимальной согласованности информации, поступающей от разных экспертов. Приведенный практический пример демонстрирует эффективность применения разработанных моделей для получения результата, который согласуется с опытом экспертов и может с успехом применяться для поддержки принятия решений.

## Список литературы

[1] Экспертные системы. Принципы работы и примеры / ред. Р. Форсайт. М.: Радио и связь, 1987. 224 с.
[2] Нильсон Н. Принципы искусственного интеллекта. М.: Радио и связь, 1985. 376 с.
[3] Малышев Н.Г., Берштейн Л.С., Боженюк А.В. Нечеткие модели для экспертных систем в САПР. М.: Энергоатомиздат, 1991. 136 с.
[4] Zadeh L.A. Fuzzy sets // Information and Control, 1965, no. 8, pp. 338–352.
[5] Zadeh L.A. The concept of a linguistic variable and its application to approximate reasoning // Information Sciences, 1975, v. 8, pp. 199–249.
[6] Hwang C.L., Lin N.J. Group decision making under multiple criteria. Berlin: Springer, 1987. 400 p.
[7] Ryzhov A.P., Averkin A.N. Axiomatic definition of degree of fuzziness of a linguistic scale and its basic characteristics // II All-Union conference «Artificial intellect–90». Minsk, 1990, v. 1, pp. 162–165.
[8] Ryzhov A.P. Degree of fuzziness of a linguistic scale and its characteristics // Fuzzy systems of support of a decision making / ed. A.N. Averkin. Minsk, 1988, pp. 82–92.
[9] Cordon A., Herrera F., Zwir I. Linguistic modeling by hierarchical systems of linguistic rules // IEEE Transactions on Fuzzy Systems, 2002, v. 10, pp. 2–20.

[10] Fan Z.P., Wang X.R. Approach to solve assignment problems with linguistic assessment information // Journal of Systems Engineering, 2004, v. 19 (1), pp. 14–19.
[11] Dai Y.Q., Xu Z.S., Da Q.L. New evaluation scale of linguistic information and its application // Chinese Journal of Management Science, 2008, v. 16 (2), pp. 145–149.
[12] Darwish A., Poleshchuk O. New models for monitoring and clustering of the state of plant species based on sematic spaces // Journal of Intelligent and Fuzzy Systems, 2014, v. 26, no. 3, pp. 1089–1094. DOI: 10.3233/IFS-120702
[13] Poleshchuk O.M., Komarov E.G., Darwish A. Comparative analysis of expert criteria on the basis of complete orthogonal semantic spaces // Proceedings of the 19th International Conference on Soft Computing and Measurements (SCM). Saint-Petersburg: Institute of Electrical and Electronics Engineers, 2016. Pp. 369–373. DOI: 10.1109/SCM.2016.7519784
[14] Darwish A., Poleshchuk O. A novel intellectual decision support model of careers based on semantic spaces // Applied Mathematics & Information Sciences, 2017, v. 11, no. 1, pp. 251–258. DOI:10.18576/amis/110131
[15] Poleshchuk O., Komarov E., Darwish A. Assessment of the state of plant species in urban environment based on fuzzy information of the expert group // XX IEEE International Conference on Soft Computing and Measurements (SCM). Saint-Petersburg: Institute of Electrical and Electronics Engineers, 2017. Pp. 651–654. DOI: 10.1109/SCM.2017.7970678
[16] Ryzhov A.P. Theory of fuzzy sets and fuzziness measurement elements. Moscow: Dialog-MGU, 1998. 116 p.
[17] Алтунин А.Е., Семухин М.В. Модели и алгоритмы принятия решений в нечетких условиях: Тюмень: Тюменский гос. ун-т, 2002. 268 с.
[18] Ryjov A. Fuzzy Linguistic Scales: Definition, Properties and Applications // Soft Computing in Measurement and Information Acquisition / eds. L. Reznik, V. Kreinovich Studies in Fuzziness and Soft Computing, 2003, v. 127, pp. 55–57.
[19] Полещук О.М., Комаров Е.Г. Методы и модели обработки нечеткой экспертной информации. М.: Энергоатомиздат, 2007. 288 с.
[20] Poleshchuk O., Komarov E., Darwish A. The monitoring of enterprise bankruptcy risk on the basis of complete orthogonal semantic spaces // XX IEEE International Conference on Soft Computing and Measurements (SCM). Saint-Petersburg: Institute of Electrical and Electronics Engineers, 2017. Pp. 837–839. DOI: 10.1109/SCM.2017.7970739
[21] Poleshchuk O., Komarov E. Expert Fuzzy Information Processing // Studies in Fuzziness and Soft Computing, 2011, v. 268, pp. 1–239.

## Сведения об авторе

**Полещук Ольга Митрофановна** — д-р техн. наук, профессор МГТУ им. Н.Э. Баумана (Мытищинский филиал), olga.m.pol@yandex.ru

Поступила в редакцию 28.05.2018.
Принята к публикации 30.08.2018.

# IMPROVING THE EFFICIENCY OF EVALUATION PARAMETERS IN TECHNICAL SYSTEMS UNDER CONDITIONS OF DIFFERENT TYPES UNCERTAINTY

**O.M. Poleshchuk**

BMSTU (Mytishchi branch), 1, 1st Institutskaya st., 141005, Mytishchi, Moscow reg., Russia

olga.m.pol@yandex.ru

For an effective evaluation of the technical systems parameters, it is not enough to take into account uncertainty only in the form of randomness and to make decisions only on the basis of measuring the physical values of these parameters. To reduce the risk of errors the experienced experts are involved, who evaluate the parameters, highlighting the basic linguistic values. To obtain a qualitative model of a real process it is necessary to take into account both types of information and different types of uncertainty. In the paper semantic scopes with certain properties of membership functions that were formulated as a result of theoretical studies and practical applications of these spaces in problem areas with active participation of an expert person are considered as expert evaluation models of parameters. The methods developed by the author of constructing expert evaluation models and quantitative indicators of the quality of these models allowed the development of linguistic scales which introduce a minimum of fuzziness into the evaluation procedure with the maximum consistency of information coming from different experts. The practical example demonstrates the effectiveness of applying the developed models to produce a result that is consistent with the experience of experts and can be successfully applied to support decision making.
**Keywords:** semantic scope, parameters of technical systems, expert evaluation

**Suggested citation:** Poleshchuk O.M. *Povyshenie effektivnosti otsenki parametrov tekhnicheskikh sistem na osnove ucheta neopredelennosti raznykh tipov* [Improving the efficiency of evaluation parameters in technical systems under conditions of different types uncertainty]. Lesnoy vestnik / Forestry Bulletin, 2018, vol. 22, no. 5, pp. 121–128. DOI: 10.18698/2542-1468-2018-5-121-128

## References

[1] *Ekspertnye sistemy. Printsipy raboty i primery* [Expert systems. Principles and examples]. Ed. R. Forsayt. Moscow: Radio i svyaz', 1987, 224 p.
[2] Nilson N. *Printsipy iskusstvennogo intellekta* [Principles of artificial intelligence]. Moscow: Radio i svyaz', 1985, 376 p.
[3] Malyshev N.G., Bershtein L.S., Boghenuk A.V. *Nechetkie modeli dlya ekspertnykh sistem v SAPR* [Fuzzy models for expert systems in CAD]. Moscow: Energoatomizdat, 1991, 136 p.
[4] Zadeh L.A. Fuzzy sets. Information and Control, 1965, no. 8, pp. 338–352.
[5] Zadeh L.A. The concept of a linguistic variable and its application to approximate reasoning. Information Sciences, 1975, v. 8, pp. 199–249.
[6] Hwang C.L., Lin N.J. Group decision making under multiple criteria. Berlin: Springer, 1987, 400 p.
[7] Ryzhov A.P., Averkin A.N. Axiomatic definition of degree of fuzziness of a linguistic scale and its basic characteristics. II All-Union conference «Artificial intellect–90». Minsk, 1990, v. 1, pp. 162–165.
[8] Ryzhov A.P. Degree of fuzziness of a linguistic scale and its characteristics. Fuzzy systems of support of a decision making. Ed. A.N. Averkin. Minsk, 1988, pp. 82–92.
[9] Cordon A., Herrera F., Zwir I. Linguistic modeling by hierarchical systems of linguistic rules. IEEE Transactions on Fuzzy Systems, 2002, v. 10, pp. 2–20.
[10] Fan Z.P., Wang X.R. Approach to solve assignment problems with linguistic assessment information. Journal of Systems Engineering, 2004, v. 19 (1), pp. 14–19.
[11] Dai Y.Q., Xu Z.S., Da Q.L. New evaluation scale of linguistic information and its application. Chinese Journal of Management Science, 2008, v. 16 (2), pp. 145–149.
[12] Darwish A., Poleshchuk O. New models for monitoring and clustering of the state of plant species based on sematic spaces. Journal of Intelligent and Fuzzy Systems, 2014, v. 26, no. 3, pp. 1089–1094. DOI: 10.3233/IFS-120702
[13] Poleshchuk O.M., Komarov E.G., Darwish A. Comparative analysis of expert criteria on the basis of complete orthogonal semantic spaces. Proceedings of the 19th International Conference on Soft Computing and Measurements (SCM). Saint Petersburg: Institute of Electrical and Electronics Engineers, 2016, pp. 369–373. DOI: 10.1109/SCM.2016.7519784
[14] Darwish A., Poleshchuk O. A novel intellectual decision support model of careers based on semantic spaces. Applied Mathematics & Information Sciences, 2017, v. 11, no. 1, pp. 251–258. DOI:10.18576/amis/110131
[15] Poleshchuk O., Komarov E., Darwish A. Assessment of the state of plant species in urban environment based on fuzzy information of the expert group. XX IEEE International Conference on Soft Computing and Measurements (SCM). Saint Petersburg: Institute of Electrical and Electronics Engineers, 2017, pp. 651–654. DOI: 10.1109/SCM.2017.7970678
[16] Ryzhov A.P. Theory of fuzzy sets and fuzziness measurement elements. Moscow: Dialog-MGU, 1998, 116 p.
[17] Altunin A., Semukhin M. *Modeli i algoritmy prinyatiya resheniy v nechetkikh usloviyakh* [Models and algorithms of decision-making in fuzzy conditions]. Tumen': Tumen' State University, 2002, 268 p.
[18] Ryjov A. Fuzzy Linguistic Scales: Definition, Properties and Applications. Soft Computing in Measurement and Information Acquisition. Eds. L. Reznik, V. Kreinovich Studies in Fuzziness and Soft Computing, 2003, v. 127, pp. 55–57.
[19] Poleshchuk O.M., Komarov E.G. *Metody i modeli obrabotki nechetkoy ekspertnoy informatsii* [Methods and models for processing fuzzy expert information]. Moscow: Energoatomizdat, 2007, 288 p.
[20] Poleshchuk O., Komarov E., Darwish A. The monitoring of enterprise bankruptcy risk on the basis of complete orthogonal semantic spaces. XX IEEE International Conference on Soft Computing and Measurements (SCM). Saint Petersburg: Institute of Electrical and Electronics Engineers, 2017. 2017, pp. 837–839. DOI: 10.1109/SCM.2017.7970739
[21] Poleshchuk O., Komarov E. Expert Fuzzy Information Processing. Studies in Fuzziness and Soft Computing, 2011. V. 268, pp. 1–239.

## Author's information

**Poleshchuk Ol'ga Mitrofanovna** — D-r Sci. (Techn.), Professor, Head of Higher Mathematics and Physics Department of BMSTU (Mytishchi branch), olga.m.pol@yandex.ru

Received 28.05.2018.
Accepted for publication 30.08.2018.