

ОПРЕДЕЛЕНИЕ СТЕПЕНИ АНАЛОГИЧНОСТИ ТЕХНИЧЕСКИХ ИЗДЕЛИЙ НА ОСНОВЕ ТЕОРИИ НЕЧЕТКИХ МНОЖЕСТВ

О.М. ПОЛЕЩУК, *проф. МГТУ им. Н.Э. Баумана, д-р техн. наук*⁽¹⁾

poleshchuk@mgul.ac.ru

(1) ФГБОУ ВО «Московский государственный технический университет имени Н.Э. Баумана
(национальный исследовательский университет)» (Мытищинский филиал),
141005, Московская область, г. Мытищи, ул. 1-я Институтская, д. 1

В технических задачах часто возникает необходимость определения степени аналогичности изделий по некоторому параметру. Простота вычислений является достоинством традиционно используемой формулы, а недостатком является то, что степень аналогичности зависит только от разности значений параметра и не зависит от места расположения этих значений на всей области. Этот недостаток является причиной того, что полученные по этой формуле результаты не всегда согласуются с опытом эксперта. Дело в том, что опытный эксперт выделяет на множестве значений параметра некоторые базовые 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 статье предлагается подход к определению степени аналогичности изделий, который позволяет учитывать опыт экспертов.

Ключевые слова: экспертная информация, лингвистическая переменная, функция принадлежности, степень аналогичности.

В технических задачах часто возникает необходимость определения степени аналогичности изделий по некоторому параметру. Для определения степени аналогичности изделий со значениями параметра, соответственно равными a и b , обычно используется формула [1]

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

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

Простота вычислений является достоинством этой формулы, а недостатком является то, что степень аналогичности зависит только от разности значений параметра и не зависит от места расположения этих значений на всей области $[A, B]$. Этот недостаток является причиной того, что полученные по этой формуле результаты, не всегда согласуются с опытом эксперта. Дело в том, что опытный эксперт выделяет на множестве значений параметра некоторые базовые 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 [1] приведен пример определения степени аналогичности изделий с названием «подогреватель высокого давления» [2] по параметру «давление пара на входе». Параметр имеет область определения $[1, 1, 6, 7]$. В примере определяется степень аналогичности изделий со значениями 1,1 и 1,5 и степень аналогичности изделий со значениями 6,1 и 6,6. Приведенная выше формула дает для первой пары изделий степень аналогичности 0,93, а для второй пары степень аналогичности 0,91. В [1] утверждается, что эти результаты не согласуются с опытом экспертов. Более того, изделия первой пары, исходя из анализа экспертного опыта проектирования аналогичных изделий, значительно меньше похожи между собой, чем изделия второй пары. В [1] предлагается новая формула для определения степени аналогичности изделий на основе функций принадлежности терм-множеств «малое давление», «давление близкое к 4», «большое давление» семантического пространства «давление пара на входе». Однако недостатком этой формулы является отсутствие свойства симметричности. То есть $\rho_{ab} \neq \rho_{ba}$.

В статье предлагается формула определения степени аналогичности изделий, которая лишена этого недостатка.

Понятие лингвистической переменной и полного ортогонального семантического пространства

Согласно [3] нечетким множеством $\tilde{A}$ называется множество пар вида $\{(x, \mu_{\tilde{A}}(x)) : x \in X\}$, где $\mu_{\tilde{A}}(x) : X \rightarrow [0, 1]$ – функции принадлежности $\tilde{A}$.

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 , то есть множество 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 .

Термы $X_i, i = \overline{1, m}$ называют понятиями, образующими лингвистическую переменную. Функцию принадлежности нечеткого множества $\tilde{X}_i, i = \overline{1, m}$, описывающего возможные значения нечеткой переменной с названием $X_i, i = \overline{1, m}$, традиционно называют функцией принадлежности понятия $X_i, i = \overline{1, m}$ или функцией принадлежности термина $X_i, i = \overline{1, m}$.

Семантическим пространством называется лингвистическая переменная с фиксированным терм-множеством.

Проведенные теоретические исследования свойств семантических пространств, направленные на повышение адекватности моделей экспертного оценивания характеристик и их полезности для решения практических задач, позволили обоснованно сформулировать требования к функциям принадлежности $\mu_l(x), l = \overline{1, m}$ их терм-множеств [4].

1. Для каждого понятия $X_i, i = \overline{1, m}$ существует $\hat{U}_i \neq \emptyset$, где $\hat{U}_i = \{x \in U : \mu_l(x) = 1\}$ 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. $\mu_l(x), l = \overline{1, m}$ 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 сформулированным требованиям, получили название полных ортогональных семантических пространств (ПОСП).

Определение степени аналогичности технических изделий на основе полных ортогональных семантических пространств

Будем считать $U = [A, B]$ областью значений параметра. Эксперт, исходя из своего опыта, выделяет m лингвистических значений этого 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 терм-множеств являются функциями принадлежности треугольных или трапецеидальных функций.

Для типичных значений соответствующая функция принадлежности принимает значение единица. Область типичных значений для этой функции называется областью толерантности. Назовем $|\mu_l(a) - \mu_l(b)|$ мерой потери информации для значений a и b в рамках l -го терм-множества, $l = \overline{1, m}$. Определим степень аналогичности изделий со значениями a и b по рассматриваемому параметру по формуле

$$\eta_{ab} = 1 - \frac{\sum_{l=1}^m |\mu_l(a) - \mu_l(b)|}{2}. \quad (2)$$

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

Если a и b принадлежат области неопределенности двух соседних функций ($0 < \mu_l(a) < 1, 0 < \mu_{l+1}(a) < 1, 0 < \mu_l(b) < 1, 0 < \mu_{l+1}(b) < 1$) или одно из значений принадле-

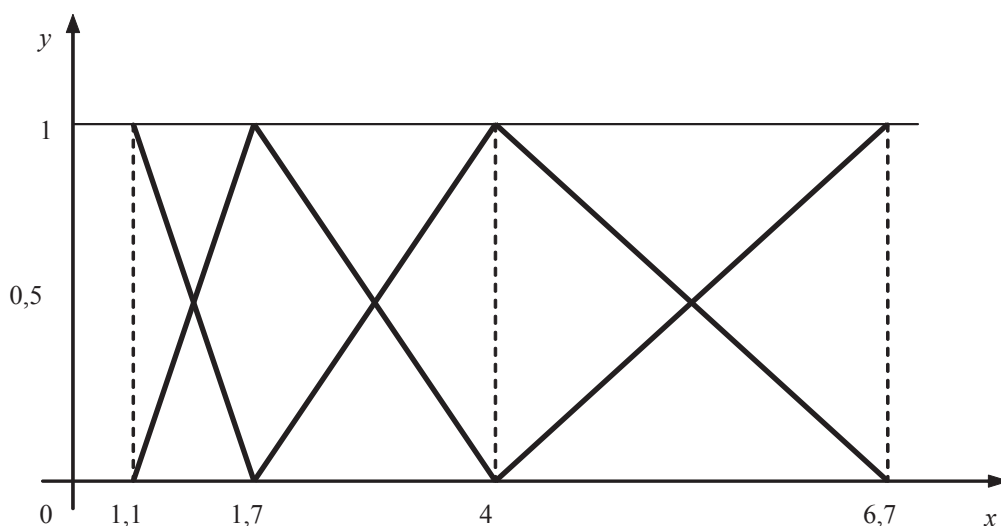


Рисунок. Функции принадлежности терм-множеств семантического пространства «давление пара на входе» изделия «подогреватель высокого давления»

Figure. Membership functions term set of semantic space «steam inlet pressure» product «of high pressure heater»

жит области толерантности одной функции, а другое значение принадлежит области неопределенности соседней функции, то

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

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

$$\begin{aligned} \mu_i(a) + \mu_{i+1}(a) &= 1, \mu_i(b) + \mu_{i+1}(b) = 1 \Rightarrow \\ \Rightarrow \mu_i(a) - \mu_i(b) &= \mu_{i+1}(b) - \mu_{i+1}(a) \Rightarrow \\ \Rightarrow |\mu_i(a) - \mu_i(b)| &= |\mu_{i+1}(a) - \mu_{i+1}(b)|. \end{aligned}$$

Если сравнить формулу (3) с формулой (1), которая традиционно применяется для нахождения степени аналогичности, то оказывается, что они очень похожи, только в первой формуле оперирование производится с самими значениями параметра, а во второй формуле – со значениями функций принадлежности этих значений. В первой формуле присутствует мощность (длина) области значений характеристики – $(B - A)$, а во второй формуле присутствует мощность области значений функций принадлежности – 1. В остальных ситуациях $\eta_{ab} = 0$.

Используя функции принадлежности ПОСП «давление пара на входе», изображенные на рисунке, были вычислены 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.

Получены результаты: $\eta_{1.1,1.5} = 0,34$, $\eta_{6.1,6.6} = 0,82$. Согласно [1], эти результаты согласуются с опытом экспертов.

Выводы

Для определения степени аналогичности технических изделий традиционно используется подход, результаты которого не всегда согласуются с опытом экспертов. Происходит это по причине того, что экспертный опыт и знания трудно формализуемы в рамках классической теории множеств. В статье предлагается подход на основе теории нечетких множеств, который позволяет ликвидировать этот недостаток.

Библиографический список

1. Малышев, Н.Г. Нечеткие модели для экспертных систем в САПР / Н.Г. Малышев, Л.С. Берштейн., А.В. Боженок. – М.: Энергоатомиздат, 1991. – 136 с.
2. Марушкин, В.М. Подогреватели высокого давления турбоустановок ТЭС и АЭС / В.М. Марушкин, С.С. Иващенко, Б.Ф. Вакуленко. – М.: Энергоатомиздат, 1985. – 63 с.
3. Заде, Л.А. Понятие лингвистической переменной и его применение к принятию приближенных решений / Л.А. Заде. – М.: Мир, 1976. – 165 с.
4. Полещук, О.М. О развитии систем обработки нечеткой информации на базе полных ортогональных семантических пространств / О.М. Полещук // Вестник МГУЛ – Лесной вестник. – 2003. – № 1 (26). – С. 112–117.
5. Полещук, О.М. Математическая модель обработки экспертных оценок / О.М. Полещук // Вест-

- ник МГУЛ – Лесной вестник. – 2005. – № 6(42). – С. 161–164.
6. Поleshchuk, O.M. Методы представления экспертной информации в виде совокупности терм-множеств полных ортогональных семантических пространств / О.М. Поleshchuk // Вестник МГУЛ – Лесной вестник. – 2002. – № 5 (25). – С. 198 – 216.
7. Olga Poleschchuk and Evgeniy Komarov Expert Fuzzy Information Processing. – Springer-Verlag Berlin Heidelberg, 2011. – 237 p.
8. Ashraf Darwish and Olga Poleschchuk New models for monitoring and clustering of the state of plant species based on sematic spaces / // Journal of Intelligent and Fuzzy Systems.– 2014.– Vol. 26. – P. 1089–1094.

DETERMINATION OF THE ANALOGY DEGREE OF TECHNICAL PRODUCTS ON THE BASIS OF FUZZY SETS

Poleshchuk O.M., Prof. Bauman Moscow State Technical University, Dr. Sci. (Tech.)⁽¹⁾

poleshchuk@mgul.ac.ru

⁽¹⁾Bauman Moscow State Technical University (Mytishchi branch), 1 st. Institutskaya, 141005, Mytishchi, Moscow reg., Russia

While solving engineering problems, it is often necessary to define analogy degree of a product by some parameters. Advantage of traditional formula is simplicity of calculations, and its disadvantage is that analogy degree only depends on a difference of parameter values and does not depend on location of these values over the whole area. This disadvantage is the reason of the fact that outcomes obtained with this formula do not always match expert experience. The matter is that a qualified expert selects some base values of parameter within a set of parameters and makes comparison of products on the basis of selected values. For example, an expert selects low, mean and high values, and defines analogy of products depending on what linguistic values of parameter its numerical values belong to. We propose the approach that consists with the experience of experts.

Keywords: expert information, linguistic variable, membership function, analogy degree.

References

1. Malyshev, N.G., Bernshteyn L.S., Boghenyuk A.V. *Nechetkie modeli dlya ekspertnykh system in CAD* [Fuzzy models for expert systems], Moscow: Energoatomizdat, 1991, 136 p.
2. Marushkin V.M., Ivashenko S.S., Vakulenko B.F. *Podogrevateli vysokogo davleniya turbostanovok TES i AES* [High-pressure heaters turbines TPP and NPP], Moscow: Energoatomizdat, 1985, 63 p.
3. Zadeh L.A. *Ponyatie lingvisticheskoy peremennoy i ego primeneniye k prinjatiyu priblizitel'nykh resheniy* [Concept of a linguistic variable and its application to adoption of approximate decisions], Moscow: Mir, 1976, 165 p.
4. Poleshchuk O.M. *O razvitiy sistem obrabotki nechetkoj informacii na baze polnykh ortogonal'nykh semanticheskikh prostranstv* [On the development of fuzzy information processing systems on the basis of complete orthogonal semantic spaces], *Vestnik Moskovskogo gosudarstvennogo universiteta lesa – Lesnoy vestnik*, 2003, № 1 (26), pp. 112–117.
5. Poleshchuk O.M. *Matematicheskaya model obrabotki ekspertnykh otsenok* [Mathematical model of processing expert assessments], *Vestnik Moskovskogo gosudarstvennogo universiteta lesa – Lesnoy vestnik*, 2005, № 6 (42), pp. 161–164.
6. Poleshchuk O.M. *Metody predstavleniya ekspertnoy informatsii v vide sovkupnosti term-mnozhestv polnykh ortogonal'nykh semanticheskikh prostranstv* [Methods of presentation of expert information as a set of term-sets of complete orthogonal semantic spaces], *Vestnik Moskovskogo gosudarstvennogo universiteta lesa – Lesnoy vestnik*, 2002, № 5 (25), pp. 198–216.
7. Olga Poleshchuk and Evgeniy Komarov Expert Fuzzy Information Processing. Springer-Verlag Berlin Heidelberg, 2011. 237 p.
8. Ashraf Darwish and Olga Poleshchuk 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. P. 1089–1094.