

16. Захарова А. А. , Останин В. В. , Терешкин С. Я. Разработка региональной информационной системы поддержки управления образовательными траекториями населения: структура и методы // Ползуновский вестник. - 2014 - №. 2. - С. 134-137
17. Захарова А. А. , Лазарева А. Н. , Зорина О. Ю. , Останин В. В. Информационная система поддержки выбора индивидуумом образовательных программ [Электронный ресурс] // Современные проблемы науки и образования. - 2014 - №. 3. - С. 1. - Режим доступа: <http://www.science-education.ru/117-13814>
18. Захарова А.А., Зорина О.Ю., Лазарева А.Н. Иерархическая модель выбора индивидуальной образовательной траектории // В мире научных открытий. № 3(15), Красноярск: Изд-во «Научно-инновационный центр», 2011. – С.266-271.
19. Лазарева А. Н., Зорина О. Ю. , Захарова А.А. Математическое и программное обеспечение поддержки выбора образовательной траектории индивидуума // Горный информационно-аналитический бюллетень (научно-технический журнал). - 2012 - №. ОВ4 - С. 34-39.
20. Система оценки образовательных программ // свидетельство о гос.регистрации программы для ЭВМ № 2014619825 // Захарова А.А., Лазарева А.Н., Зорина О.Ю., Останин В.В., заявитель и правообладатель ФГБОУ ВПО НИ ТПУ. - № 2014617805; заявл. 06.08.2014; зарегистрировано 23.09.14

МОДЕЛЬ ФОРМАЛИЗАЦИИ ЭКСПЕРТНЫХ ЗНАНИЙ ОБ УРОВНЕ ТЕХНИЧЕСКИХ ПОКАЗАТЕЛЕЙ МАШИНОСТРОИТЕЛЬНОЙ ПРОДУКЦИИ

А.А. Захарова, к.т.н., доцент; В.В. Останин, студент гр.17В20

*Юргинский технологический институт (филиал) Национального исследовательского
Томского политехнического университета*

652055, Кемеровская обл., г. Юрга, ул. Ленинградская, 26, тел. (38451) 6-49-42

E-mail: zacharova@mail.ru

Введение

Создание инновационной продукции связано с множеством наукоемких технических решений, часть которых не может быть обеспечена строгим математическим аппаратом. В связи с этим для некоторых технологических, конструктивных, организационных и прочих решений при создании и производстве машиностроительной продукции необходимо привлечение экспертов в соответствующей области. Для поддержки принятия таких решений, необходимо создать комплекс методов и моделей поддержки принятия решений, обеспечивающий обработку экспертных оценок и знаний [1].

Одной из задач, с которой сталкиваются эксперты при оценке уровня и конкурентоспособности сложных наукоемких изделий, является оценка его отдельных технических показателей, показателей качества и др. При этом эксперты зачастую вынуждены использовать для оценки качественные (словесные) оценки, например «высокая грузоподъемность», «низкий уровень надежности» и т.п.[2] Поэтому актуальной задачей является разработка методов и моделей принятия решений, позволяющих формализовать качественные оценки наравне с количественными, формализовать субъективные представления экспертов об уровне того или иного показателя машиностроительной продукции. Предлагается использовать методы теории нечетких множеств, позволяющие моделировать плавное изменение свойств объекта, а также неизвестные функциональные зависимости, выраженные в виде качественных связей.

1. Модель формализации экспертных знаний об уровне технических показателей машиностроительной продукции

При описании процессов принятия решения на трудноформализуемых этапах исходят из следующих положений:

- процесс принятия решения характеризуется несколькими входными и одним выходным параметрами;

- информация о стратегиях принятия решения в типовых, эталонных ситуациях, получаемая от эксперта, описывается системой условных высказываний в терминах нечетких и лингвистических переменных, устанавливающих связь между входными и выходными параметрами [3].

Например, если эксперт осуществляет высказывания о значениях выходной переменной в зависимости от значений двух входных переменных, то система эталонных нечетких высказываний может иметь следующий вид:

$$\tilde{L}^{(1)} = \begin{cases} \tilde{L}_1^{(1)} : < \text{ЕСЛИ } E_{11} \text{ ИЛИ } E_{12} \text{ ИЛИ } E_{13} \text{ ТО } \beta_v \text{ есть } a_{v_1} >; \\ \tilde{L}_2^{(1)} : < \text{ЕСЛИ } E_{21} \text{ ИЛИ } E_{22} \text{ ИЛИ } E_{23} \text{ ТО } \beta_v \text{ есть } a_{v_2} >; \\ \tilde{L}_3^{(1)} : < \text{ЕСЛИ } E_{31} \text{ ИЛИ } E_{32} \text{ ИЛИ } E_{33} \text{ ТО } \beta_v \text{ есть } a_{v_3} >. \end{cases} \quad (1)$$

Лингвистические переменные играют важную роль при построении нечетких моделей. С их помощью можно формализовать качественную информацию об объекте принятия решений, представленную в словесной форме специалистами-экспертами [5].

Таким образом, важнейшим этапом при принятии решений на основе нечетких методов, является выбор методов построения функций принадлежности лингвистических переменных. Отдельные показатели машиностроительной продукции должны представляться в виде лингвистических переменных, тем самым обеспечивается сопоставление «качественных» и «количественных» экспертных оценок. В зависимости от типа фактора применяются различные методы построения функций принадлежности: например, на основе попарных сравнений, на основе обработки статистических данных, на основе стандартных функций и др. В данной статье рассмотрим более подробно метод на основе стандартных функций.

При формализации экспертных оценок об уровне отдельных технических показателей, зачастую не требуется высокой точности модели, достаточно приближенного описания. Для построения функций принадлежности таких понятий можно использовать прямые методы, основанные на непосредственном назначении экспертом степени принадлежности или функции, позволяющей вычислять ее значение.

Для описания функции принадлежности предлагается использовать функцию плотности нормального распределения непрерывной случайной величины (кривая Гаусса):

$$y = \frac{1}{\sigma\sqrt{2\pi}} e^{-(x-a)^2/2\sigma^2}, \quad (2)$$

где a – математическое ожидание случайной величины;

σ – среднеквадратическое отклонение.

Функция принадлежности μ_x принимает значения в интервале $[0,1]$, а требования к описанию термов лингвистических переменных предполагают использование только нормальных нечетких множеств, описывающих базовые значения лингвистических переменных, поэтому необходимо нормализовать функцию плотности нормального распределения. Для этого необходимо разделить ее на максимальное значение. Следовательно:

$$\mu_x = e^{-(x-a)^2/2\sigma^2} \quad (3)$$

Параметр a – это такое значение x , которое идеально соответствует, по мнению эксперта, описываемому термом понятию.

Параметр σ характеризует широту области определения функции принадлежности, или степень нечеткости μ_x .

Экспоненциальные функции широко используются для описания функции принадлежности, примеры таких функций приведены в [6, 7].

Рассмотрим возможность определения параметров функции (3) экспертным путем.

Параметр a – это доминирующий элемент нечеткого множества, функция принадлежности $\mu_x = 1$. Эксперту предлагается выбрать из области определения лингвистической переменной такое значение, которое является «идеальным» при описании нужного понятия. Параметр a определяется экспертом для каждого базового значения лингвистической переменной.

Так как каждому значению из области определения лингвистической переменной должно соответствовать хотя бы одно понятие (базовое значение лингвистической переменной), то функции принадлежности нечетких переменных, описывающих соседние базовые значения лингвистической переменной, должны пересекаться. Поэтому эксперт может задать такое значение x , при котором функции принадлежности соседних терм-множеств имеют одинаковые значения. То есть эксперт задает такое значение, при котором, по его мнению, уже сложно однозначно определить, к какому из соседних значений лингвистической переменной оно относится. Также эксперт может определить степень принадлежности данного значения x нечетким множествам соседних терм-множеств.

Остается определить параметр σ , который не может быть прямо задан экспертным путем, поскольку человеку трудно представить себе меру рассеяния признака относительно его среднего значения.

Параметр σ можно выразить из формулы (3):

$$2\sigma^2 = \frac{(x-a)^2}{-\ln \mu_x};$$

где x - значение $x \in X$, при котором функции принадлежности соседних терм-множеств имеют одинаковые значения;

μ_x - степень принадлежности значения $x \in X$ нечетким множествам соседних терм-множеств.

Таким образом, все параметры функции (3) могут быть определены или прямо экспертом, или на основании сведений полученных от него [8]. Для построения термов лингвистической переменной эксперт должен задать n значений a_i , $(n-1)$ значений x_{k_j} и μ_{k_j} .

Так как функции принадлежности должны иметь конечную область определения, а экспоненциальные функции бесконечны, в качестве области определения нечетких переменных, определяющих базовые значения лингвистической переменной, принимаем множества α -уровня при $\alpha=0.05$.

Функции принадлежности термов лингвистической переменной задаются функциями [8]:

$$\mu_{x_i} = \begin{cases} 1 & \text{при } x \leq a_1 \\ e^{-(x-a_1)^2/2\sigma_{11}^2} & \text{при } x > a_1; \\ 0 & \text{при } x \geq x_{11} \end{cases}; \quad \mu_{x_2} = \begin{cases} e^{-(x-a_2)^2/2\sigma_{21}^2} & \text{при } x \leq a_2 \\ e^{-(x-a_2)^2/2\sigma_{22}^2} & \text{при } x > a_2; \\ 0 & \text{при } x_{21} \leq x \leq x_{22}; \end{cases}$$

$$\mu_{x_n} = \begin{cases} 0 & \text{при } x \leq x_{nn-1}; \\ e^{-(x-a_n)^2/2\sigma_{nn-1}^2} & \text{при } x \leq a_n; \\ 1 & \text{при } x > a_n \end{cases}; \quad (4)$$

где: μ_{x_i} - функция принадлежности i -того терма лингвистической переменной;

$i = \overline{1, n}$ - номер терма лингвистической переменной, термы нумеруются слева направо;

a_i - доминирующий элемент нечеткого множества i -того терма.

$$2\sigma_{ij}^2 = \frac{(x_{k_j} - a_i)^2}{-\ln \mu_{k_j}};$$

где x_{k_j} - значение $x \in X$, при котором функции принадлежности соседних термов имеют одинаковые значения;

$j = \overline{1, n-1}$ - номер значения x_{k_j} , нумеруются слева направо;

μ_{k_j} - степень принадлежности значения x_{k_j} нечетким множествам соседних термов (степень разделения [7]);

x_{nn-1} - значения x , ограничивающие области определения нечетких переменных.

Данный метод упрощает процедуру построения функций принадлежности, а также задачу хранения этих функций в памяти ЭВМ, при этом обеспечивается выполнение требований, предъявляемых к функциям принадлежности термов лингвистических переменных [3]. Кроме того, эксперт достаточно быстро может изменить функции принадлежности, область определения лингвистической переменной. Достоинством является также то, что функция принадлежности определяется на непрерывном носителе, что позволяет вычислить ее значение при любых значениях переменной.

2. Примеры формализации экспертных знаний об уровне технических показателей машиностроительной продукции на основе нечеткой модели

Построим терм-множества лингвистической переменной β_Y - технический сложность изделия (единица измерения - балл) с областью определения $Y = [0; 100]$ и множеством базовых значений $T_Y = \{\text{малая, средняя, высокая}\} = \{a_{Y_1}, a_{Y_2}, a_{Y_3}\}$.

Экспертные оценки параметров, необходимых для построения функций принадлежности переменной β_Y представлены в таблице 1

Таблица 1

Экспертные оценки параметров лингвистической переменной
 β_Y – технический сложность изделия

Базовые значения	Доминирующее значение y нечеткого множества, описывающего терм, a_i	Пограничные значения соседних термов y_{k_j}	Степень принадлежности пограничных значений (степень разделения), μ_{k_j}
a_{Y_1} - малая	0	$y_{k_1} = 25$ $y_{k_2} = 75$	$\mu_{k_1} = 0.5$ $\mu_{k_2} = 0.5$
a_{Y_2} - средняя	50		
a_{Y_3} - высокая	100		

Обработаем полученные экспертные данные.

1. Вычисляем значения $2\sigma_{ij}^2 = \frac{(y_{k_j} - a_i)^2}{-\ln \mu_{k_j}}$.

$$2\sigma_{11}^2 = \frac{(y_{k_1} - a_1)^2}{-\ln \mu_{k_1}} = \frac{(25 - 0)^2}{-\ln 0.5} = 901.75$$

Так как термы заданы на области определения равномерно, значения остальных $2\sigma_{ij}^2$ равны $2\sigma_{11}^2$

2. Вычисляем значения y_{ik} , при которых $\mu_{a_{y_i}} = 0.05$ по формулам:

$$y_{11} = a_1 + \left| \sqrt{-2\sigma_{11}^2 \ln 0.05} \right|; \quad y_{21} = a_2 - \left| \sqrt{-2\sigma_{21}^2 \ln 0.05} \right|; \quad (5)$$

$$y_{22} = a_2 + \left| \sqrt{-2\sigma_{22}^2 \ln 0.05} \right|; \quad y_{32} = a_3 - \left| \sqrt{-2\sigma_{32}^2 \ln 0.05} \right|.$$

$$y_{11} = 51.98; \quad y_{21} = -1.98; \quad y_{22} = 101.98; \quad y_{32} = 48.02.$$

Так как $y_{21} = -1.98$; $y_{22} = 101.98$ выходят из области определения Y , то принимаем $y_{21} = 0$; $y_{22} = 100$;

3. Определяем функции принадлежности по формулам (4) с учетом ограничений (5):

$$\mu_{a_{y_1}} = \begin{cases} 1 & \text{при } y \leq 0; \\ e^{-(y)^2/901.75} & \text{при } 0 < y < 51.98; \\ 0 & \text{при } y \geq 51.98; \end{cases} \quad \mu_{a_{y_2}} = \begin{cases} 0 & \text{при } 0 \geq y \geq 100; \\ e^{-(y-50)^2/901.75} & \text{при } 0 < y < 100; \end{cases}$$

$$\mu_{a_{y_3}} = \begin{cases} 0 & \text{при } y \leq 48.02; \\ e^{-(y-100)^2/901.75} & \text{при } 48.02 < y < 100; \\ 1 & \text{при } y \geq 100. \end{cases} \quad (6)$$

В данном примере доминирующие значения термов лингвистической переменной расположены равномерно в заданной области определения. Предлагаемый метод позволяет получать функции принадлежности и в случае неравномерного распределения интервалов термов.

Например, при формализации экспертных знаний для лингвистической переменной β_Y – грузоподъемность (тонн) с областью определения $Y = [0; 50]$ и множеством базовых значений $T_Y = \{\text{малая, средняя, высокая}\} = \{a_{Y_1}, a_{Y_2}, a_{Y_3}\}$, были получены экспертные оценки параметров, представленные в таблице 2

Таблица 2

Экспертные оценки параметров лингвистической переменной β_Y – грузоподъемность

Базовые значения	Доминирующее значение y нечеткого множества, описывающего терм, a_i	Пограничные значения соседних термов y_{k_j}	Степень принадлежности пограничных значений (степень разделения), μ_{k_j}
a_{Y_1} - малая	0	$y_{k_1} = 10$ $y_{k_2} = 35$	$\mu_{k_1} = 0.5$ $\mu_{k_2} = 0.5$
a_{Y_2} - средняя	20		
a_{Y_3} - высокая	50		

Обработав полученные экспертные данные, определяем функции принадлежности (7):

$$\mu_{a_{y_1}} = \begin{cases} 1 & \text{при } y \leq 0; \\ e^{-(y)^2/144,16} & \text{при } 0 < y < 20,78; \\ 0 & \text{при } y \geq 20,78; \end{cases} \mu_{a_{y_2}} = \begin{cases} 0 & \text{при } 0 \geq y \geq 50; \\ e^{-(y-20)^2/144,16} & \text{при } 0 < y < 20; \\ e^{-(y-20)^2/324,1} & \text{при } 20 \leq y < 50; \end{cases}$$

$$\mu_{a_{y_3}} = \begin{cases} 0 & \text{при } y \leq 18,84; \\ e^{-(y-50)^2/324,1} & \text{при } 18,84 < y < 50; \\ 1 & \text{при } y \geq 50. \end{cases} \quad (7)$$

На основе предложенной модели, можно определять значения входных переменных.

Покажем процесс фаззификации трех нечетких высказываний: «грузоподъемность низкая», «грузоподъемность средняя» и «грузоподъемность высокая» для входной лингвистической переменной «грузоподъемность». При условии, что оценивается показатель «грузоподъемность» для продукции, имеющей значение этого показателя 30 (т). из общего интервала возможных значений [20,50]. По формулам (7) рассчитываем значения: $\mu_{a_{y_1}}(30) = 0$; $\mu_{a_{y_2}}(30) = 0,735$; $\mu_{a_{y_3}}(30) = 0,291$.

Таким образом, наибольшая степень принадлежности входного значения переменной $y=30$ соответствует второму высказыванию: грузоподъемность средняя. Полученные четкие значения истинности входного значения для термов лингвистической переменной можно использовать на следующем этапе принятия решений. Например, в моделях формализации знаний экспертов о зависимости выходного параметра продукции от нескольких входных, используя различные способы логического вывода (1).

Заключение

Предложенная нечеткая модель для формализации экспертных знаний об уровне технических показателей машиностроительной продукции имеет самостоятельную ценность, так как позволяет моделировать плавное изменение интенсивности принадлежности конкретных значений показателя оцениваемому уровню. В результате появляется возможность переводить качественные экспертные оценки в количественные значения и наоборот. Кроме того, в отличие от принятой практики назначения пороговых значений, учитывается уверенность (неуверенность) эксперта в реальном, ожидаемом или предпочтительном значении показателя.

Полученные на основе нечеткой модели лингвистические переменные служат для описания входных и выходных факторов в моделях принятия решений, формализующих знания экспертов о стратегии принятия решений в типовых, эталонных ситуациях (1).

Литература.

1. A. Tceplit, A. Grigoreva, Y. Osipov, Developing the Model for Assessing the Competitiveness of Innovative Engineering Products, Applied Mechanics and Materials Volume 682 (2014) 623-630
2. A.A. Zakharova, Fuzzy swot analysis for selection of bankruptcy risk factors, Applied Mechanics and Materials, 379 (2013) 207-213
3. Malyshev N.G., Berstein I.S., Bozhenuk A.V. Fuzzy model of decision making in CAD system // Fuzzy sets in informatics. International Conference. Moscow; 1998. p.44
4. Zadeh L.A. Fuzzy sets as a basis for a theory of possibility // Fuzzy Sets and Systems. - 1978. - Vol.1, №1
5. E.V. Telipenko, A.A. Zakharova Bankruptcy Risk Management of a Machine Builder, Applied Mechanics and Materials, 682 (2014) 617-622
6. Кофман А Введение в теорию нечетких множеств: Пер. с франц. – М.: Радио и связь, 1982. – 432 с., ил.
7. Нечеткие множества и теория возможностей. Последние достижения: Пер. с англ./Под ред. Р.Р.Ягера – М.: Радио и связь, 1986. – 408 с.
8. Захарова А.А. Построение функций принадлежности термов лингвистических переменных с использованием экспоненциальных функций / Информационные технологии и математическое моделирование: Материалы III ВНИПК (11-12 декабря 2004 г.). Ч.2.– Томск: изд-во Том. Ун-та, 2004. - с.81-82