

УДК 51.74: 303.732

ФОРМИРОВАНИЕ НЕЧЕТКИХ ОЦЕНОК АЛЬТЕРНАТИВ В ЗАДАЧЕ РАНЖИРОВАНИЯ ЭЛЕКТРОЭНЕРГЕТИЧЕСКИХ ОБЪЕКТОВ

Мошкин С.А., Елтышев Д.К.

*Пермский национальный исследовательский политехнический университет,
Пермь, e-mail: vsevolod.dm@gmail.com, eltyshv@msa.pstu.ru*

В статье рассматривается метод нахождения значимости альтернатив по составляющим комплексного критерия для выбора приоритетов модернизации объектов электроэнергетики в формате степеней принадлежности к нечеткому оценочному множеству. Метод основан на описании каждого критерия задачи ранжирования в виде лингвистической переменной и определении функций принадлежности нечетких термов, характеризующих ее значения. Приведен алгоритм, отражающий основные этапы формирования нечетких оценок альтернатив. Рассмотрен математический аппарат нахождения функций принадлежности методом экспертных оценок на основе процедуры интервьюирования. Для оценки превосходства одной альтернативы над другой на основе полученных значений критерия предложен математический аппарат, позволяющий осуществить переход от функций принадлежности к функции полезности. Предложенный метод является универсальным и может быть использован в решении разнородных задач оценки приоритета.

Ключевые слова: ранжирование, альтернатива, электроэнергетический объект, оценка приоритетов, критерии, степень принадлежности, нечеткое множество, экспертная оценка, функция полезности

DEFINITION OF FUZZY ASSESSMENTS OF ALTERNATIVES IN THE PROBLEM OF ELECTRIC POWER FACILITIES RANGING

Moshkin S.A., Eltyshv D.K.

Perm National Research Polytechnic University, Perm, e-mail: vsevolod.dm@gmail.com, eltyshv@msa.pstu.ru

In this article the method of finding the importance of alternatives by complex criterion for a choice of power facilities upgrade priorities as a membership degree to a fuzzy set is considered. The method is based on the description of each ranging criterion as a linguistic variable and definition of membership functions to the fuzzy terms characterizing the criteria values. The algorithm that describes the main stages of alternatives fuzzy assessments definition is given. The mathematical technique for finding the membership functions using expert assessment method on the basis of interviewing procedure is considered. To assess the superiority of one alternative over another on the basis of the received criterion values the mathematical apparatus allowing to pass from membership function to utility function is developed. The proposed method is universal and can be used for the solution of heterogeneous tasks of the priority assessment.

Keywords: ranging, alternative, electric power facility, assessment of priorities, criteria, degree of membership, fuzzy set, expert assessment, utility function

При эксплуатации электроэнергетических объектов (ЭЭО) может возникнуть задача, связанная с выполнением работ по их модернизации, реконструкции, капитальному ремонту и т.д. [7]. В современных условиях при ограниченности вложений материальных и финансовых ресурсов в энергетическую отрасль возникает проблема, связанная с выбором наиболее приоритетных альтернатив, т.е. проблема ранжирования ЭЭО. При решении данной проблемы необходимо учитывать различные критерии, связанные как с технической стороной объекта (фактическое состояние, надёжность и др.), так и с экономическими показателями, определяющими целесообразность реализации на данном объекте разрабатываемых инвестиционных проектов с учетом потенциальных рисков [2]. Оценка приоритета осложняется тем, что происходит в условиях неопределенности, когда информация об объекте может быть неполной, недостоверной, а ин-

терпретация показателей и критериев может быть неоднозначной [8].

При решении данной задачи целесообразно использовать подход, основанный на теории нечетких множеств, который позволит учитывать разного рода показатели, не имеющие точных числовых оценок и описать сложно формализуемую задачу ранжирования ЭЭО [6].

Постановка задачи исследования

Задача оценки приоритета ЭЭО является сложно формализуемой и происходит в условиях неопределенности ввиду того, что результаты принимаемых решений заранее неизвестны. С этой точки зрения задачу можно представить в виде набора следующих элементов:

$$\langle A, K, W, L, U, P, B \rangle,$$

где $A = \{a_1, a_2, \dots, a_n\}$ – множество возможных альтернатив; $K = \{K_1, K_2, \dots, K_m\}$ – множество критериев оценки альтернатив;

$L = \{l_1, l_2, \dots, l_p\}$ – множество термов, характеризующих вербальные оценки альтернатив по критериям; $U = \{u_1, u_2, \dots, u_s\}$ – универсальное множество, характеризующее область допустимых значений критерия; $W = \{w_1, w_2, \dots, w_m\}$ – относительные веса критериев, $B = \{b_1, b_2, \dots, b_i\}$ – число в диапазоне $[0,1]$, которое характеризует уровень оценки альтернативы по i -му критерию; $P = \{p_1, p_2, \dots, p_c\}$ – количество экспертов.

В качестве решения задачи будем рассматривать пересечение нечетких множеств, соответствующих оценкам альтернатив по частным критериям, а наилучшей альтернативой считать ту, для которой оценка является наибольшей [1]:

$$\bigcap_{i=1}^m \bar{b}_i = \max_{j=1, n} \left(\min_{i=1, m} (\mu_{b_i}(a_j)^{w_i}) \right), \quad (1)$$

где $\mu_{b_i}(a_j)$ – степень принадлежности j -й альтернативы нечеткому множеству \bar{b}_i .

Нахождение степеней принадлежности $\mu_{b_i}(a_j)$ может являться сложной задачей ввиду множественности критериев, неоднозначности оценки и интерпретации предпочтений в отношении различных критериев и значений каждого критерия в отдельности лицами, принимающими решения (ЛПР). Поэтому целью данного исследования является разработка метода формирования нечетких оценок альтернатив на основе экспертной либо статистической информации, которые могут быть использованы при ранжировании ЭЭО в условиях неопределенности.

Формализация методики формирования нечетких оценок

Нахождение искомым нечетких оценок для задачи (1) предлагается осуществлять поэтапно в соответствии со следующими принципами.

Этап 1. Описание каждого из критериев в формате лингвистической переменной и определение функций принадлежности (ФП) нечетких термов, характеризующих ее значения.

Задача построения ФП ставится следующим образом. Даны множество термов L (например, для критерия «Надежность»: «Низкая», «Средняя», «Высокая») и универсальное множество U .

Нечеткое множество \bar{b}_i на универсальном множестве U представляется в виде

$$\bar{b}_i = \left(\frac{\mu_{b_i}(u_1)}{(u_1)}, \frac{\mu_{b_i}(u_2)}{(u_2)}, \dots, \frac{\mu_{b_i}(u_s)}{(u_s)} \right).$$

Необходимо определить степени принадлежности элементов множества U к элементам из множества L .

Для нахождения функций принадлежности используется метод экспертных оценок [4], который заключается в заполнении и анализе экспертных опросных листов.

При проведении интервьюирования каждому эксперту необходимо обозначить свое мнение $q_{i,j}^p$ о наличии (отсутствии) у элементов u_s свойств нечеткого множества \bar{b}_i (в формате бинарных оценок 1 или 0) и зафиксировать его в опросном листе [9].

Таблица 1

Опросный лист для критерия «Техническое состояние ЭЭО»

№ п/п	Эксперт	Наименование термина	Оценка принадлежности значения критерия нечеткому терму, %							
			0	17	38	50	63	75	88	100
1	Эксперт 1	Плохое	1	1	1	0	0	0	0	0
		Удовлетворительное	0	0	1	1	1	1	0	0
		Хорошее	0	0	0	0	0	1	1	1
2	Эксперт 2	Плохое	1	1	1	1	0	0	0	0
		Удовлетворительное	0	0	0	1	1	1	1	0
		Хорошее	0	0	0	0	0	0	1	1
3	Эксперт 3	Плохое	1	1	0	0	0	0	0	0
		Удовлетворительное	0	1	1	1	1	0	0	0
		Хорошее	0	0	0	0	1	1	1	1
4	Эксперт 4	Плохое	1	1	1	0	0	0	0	0
		Удовлетворительное	0	0	1	1	1	1	0	0
		Хорошее	0	0	0	0	0	1	1	1
5	Эксперт 5	Плохое	1	1	0	0	0	0	0	0
		Удовлетворительное	0	1	1	1	1	1	0	0
		Хорошее	0	0	0	0	1	1	1	1

Таблица 2

Результаты обработки экспертных мнений по критерию «Техническое состояние ЭЭО»

№ п/п	Наименование термина	Оценка принадлежности значения критерия нечеткому терму, %							
		0	17	38	50	63	75	88	100
1	Плохое	5	5	3	1	0	0	0	0
		1	1	0,6	0,2	0	0	0	0
2	Удовлетворительное	0	2	4	5	5	4	1	0
		0	0,4	0,8	1	1	0,8	0,2	0
3	Хорошее	0	0	0	0	2	4	5	5
		0	0	0	0	0,4	0,8	1	1

В табл. 1 приведен пример формирования и обработки экспертных оценок по критерию «Техническое состояние ЭЭО», который характеризует фактическую потребность объекта в обслуживании, ремонте или модернизации. В качестве термов используются оценки состояния «Плохое», «Удовлетворительное», «Хорошее».

Для удобства интерпретации технического состояния оценивается в процентах: 0% – критическое состояние объекта, способное в ближайшее время вызвать серьезную поломку, приводящую к полной неработоспособности; 100% – состояние нового объекта.

По результатам опроса экспертов, степени принадлежности нечеткому множеству \bar{b}_i рассчитываются следующим образом:

$$\mu_{b_i} = \frac{1}{P} \sum_{p=1,c}^p q_{s,i}^p \quad (2)$$

Результаты обработки экспертных мнений представлены в табл. 2.

Для каждого подпункта числа в первой строчке – это количество голосов, отданных экспертами за принадлежность нечеткому множеству соответствующего элемента универсального множества. Числа во второй строчке – степени принадлежности, рассчитанные по формуле (2). На рис. 1 приведена визуализация полученных ФП, приведенных к типовой функции трапециевидального вида.

График ФП отображает изменение значений критерия в соответствии с выбранным количеством нечетких термов, но не показывает, как можно оценить преимущество одной альтернативы над другой в соответствии с полученными значениями критерия. Для учета значимости каждого термина рассматриваемого критерия целесообразно совершить переход от функции принадлежности к функции полезности [5], которая является очень удобным вспомогательным средством и открывает возможность использования теории много-

критериальной оптимизации при выборе альтернатив [3].

Этап 2. Формирование функций полезности.

Одним из способов получения нечетких оценок для задачи ранжирования (1) является установление соответствия между функциями принадлежности термов и функцией полезности критерия [10]. Данную зависимость описывает формула

$$f_s(K_i) = \sum_{z=1}^s y_z \mu_{b_i}(u_s), \quad (3)$$

где y_z – коэффициент важности, отражающий качество классов и определяющий на основе экспертной оценки (например, методом попарных сравнений).

Для нахождения значения $\mu_{b_i}(u_s)$ необходимо воспользоваться формулами трапециевидальной функции принадлежности, позволяющими узнать значение функции на любом участке трапеции:

$$MF(x) = \begin{cases} 0, x \leq a; \\ \frac{x-a}{b-a}, a \leq x \leq b; \\ 1, b \leq x \leq c; \\ \frac{d-x}{d-c}, c \leq x \leq d; \\ 0, d \leq x; \end{cases} \quad (4)$$

где $a \in \{0,3\}$; $b \in \{3,4\}$; $c \in \{4,5\}$; $d \in \{5,6\}$; $e \in \{6,8\}$.

Рассмотрим пример перехода от ФП к функции полезности применительно к критерию «Техническое состояние ЭЭО». Веса $y = \{y_1, y_2, y_3\}$ для каждого термина («Плохое», «Удовлетворительное», «Хорошее») рассчитаны методом попарных сравнений: $y_1 = 0,735$, $y_2 = 0,207$, $y_3 = 0,058$.

С помощью найденных коэффициентов по формулам (3) и (4) вычисляются значения функции полезности и строится соответствующая зависимость (рис. 2).

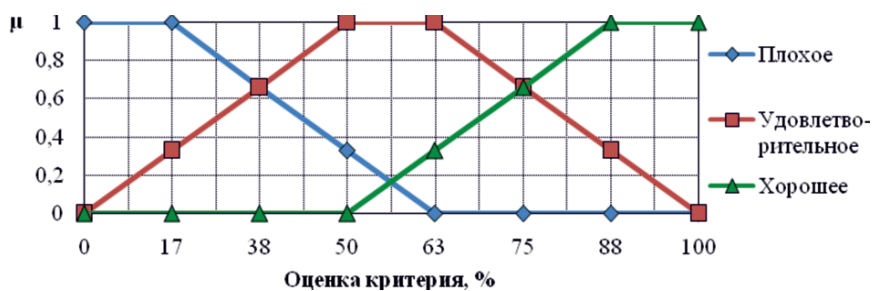


Рис. 1. Пример построения функций степени принадлежности по критерию «Техническое состояние» для задачи ранжирования ЭЭО

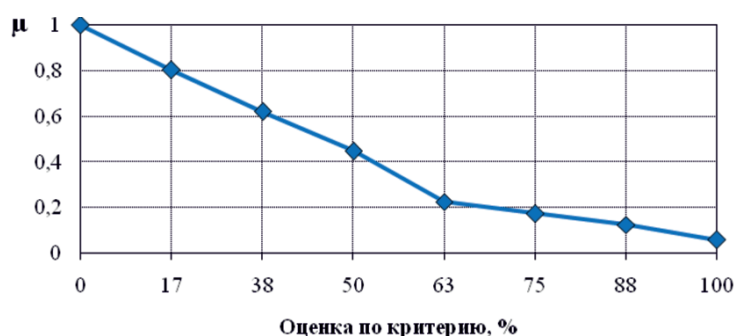


Рис. 2. График функции полезности для критерия «Техническое состояние ЭЭО»



Рис. 3. Основные этапы формирования нечетких оценок для задачи ранжирования ЭЭО

На рис. 3 приведен алгоритм, отражающий основные этапы формирования нечетких оценок для задачи ранжирования ЭЭО в соответствии с предлагаемым методом.

Заключение

В работе предложен метод нахождения степеней принадлежности оценок для альтернатив по различным критериям технико-экономического характера, используемых при решении задач ранжирования ЭЭО. Метод является комбинацией экспертных процедур формирования функций принадлежности и функций полезности, является универсальным и может быть использован в различных задачах оценки приоритетов с использованием критериев любой структуры и содержания.

Список литературы

1. Борисов В.В., Круглов В.В., Федулов А.С. Нечеткие модели и сети. – М.: Горячая линия-Телеком, 2012. – 284 с.
2. Бочкарев С.В., Елгышев Д.К. Методика принятия оптимальных решений при ремонте высоковольтного электротехнического оборудования // Научно-технический вестник Поволжья. – 2012. – № 6. – С. 142–146.
3. Гарина М.И., Микони С.В. Условие одинакового упорядочения объектов по функциям полезности и принадлежности // Труды Конгресса IS&IT'11, Дивноморское, 3–10 сентября 2011 г. – М.: Физматлит, 2011. – Т. 1. – С. 33–37.
4. Илларионова Т.М. Процесс нечеткого оценивания в многокритериальных экспертных оценках // Научный вестник московского государственного технического университета гражданской авиации. – 2009. – № 140. – С. 100–102.
5. Назарова Е.В., Осеchkina Т.А. Функция полезности и ее применения в задаче оптимизации инвестиционного портфеля // Прикладная математика и вопросы управления. – 2012. – № 10. – С. 125–135.
6. Орлов А.И. Теория принятия решений. Учебное пособие. – М.: Издательство «Март», 2004. – 656 с.
7. Петроченков А.Б. Управление электротехническими комплексами на основных этапах жизненного цикла // Научно-технические ведомости Санкт-Петербургского го-

сударственного политехнического университета. – 2011. – № 121. – С. 219–224.

8. Тыхинский А.В. Неопределенность в принятии управленческих решений // Известия ЮФУ. Технические науки. – 2005. – № 8(52). – С. 118–122.

9. Хорошев Н.И., Казанцев В.П. Поддержка управления обслуживанием электротехнического оборудования по текущему состоянию // Автоматика и телемеханика. – 2015. – № 6. – С. 139–152.

10. Штовба С.Д. Проектирование нечетких систем средствами MATLAB. – М.: Горячая линия-Телеком, 2007. – 288 с.

References

1. Borisov V.V., Kruglov V.V., Fedulov A.S. Nechetkie modeli i seti. M.: Gorjachaja linija-Telekom, 2012. 284 p.
2. Bochkarev S.V., Eltyshov D.K. Metodika prinjatija optimalnyh reshenij pri remonte vysokovoltного jelektrotehnicheskogo oborudovanija // Nauchno-tehnicheskij vestnik Povolzhja. 2012. no. 6. pp. 142–146.
3. Garina M.I., Mikoni S.V. Uslovie odinakovogo uporjadocheniya obektov po funkciyam poleznosti i prinadlezhnosti // Trudy Kongressa IS&IT'11, Divnomorskoe, 3–10 sentjabrja 2011 g. M.: Fizmatlit, 2011. T. 1. pp. 33–37.
4. Illarionova T.M. Process nechetkogo ocenivaniya v mnogokriterialnyh jekspertnyh ocenках // Nauchnyj vestnik moskovskogo gosudarstvennogo tehničeskogo universiteta grazhdanskoj aviacii. 2009. no. 140. pp. 100–102.
5. Nazarova E.V., Osechkina T.A. Funkcija poleznosti i ee primeneniya v zadache optimizacii investicionnogo portfеля // Prikladnaja matematika i voprosy upravlenija. 2012. no. 10. pp. 125–135.
6. Orlov A.I. Teorija prinjatija reshenij. Uchebnoe posobie. M.: Izdatelstvo «Mart», 2004. 656 p.
7. Petrochenkov A.B. Upravlenie jelektrotehnicheskimi kompleksami na osnovnyh jetapah zhiznennogo cikla // Nauchno-tehnicheskije vedomosti Sankt-Peterburgskogo gosudarstvennogo politehnicheskogo universiteta. 2011. no. 121. pp. 219–224.
8. Tyhinskij A.V. Neopredelennost v prinjatii upravlencheskih reshenij // Izvestija JuFU. Tehnicheskije nauki. 2005. no. 8(52). pp. 118–122.
9. Horoshev N.I., Kazancev V.P. Podderzhka upravlenija obsluzhivaniem jelektrotehnicheskogo oborudovanija po tekushhemu sostojaniju // Avtomatika i telemehnika. 2015. no. 6. pp. 139–152.
10. Shtovba S.D. Proektirovanie nechetkih sistem sredstvami MATLAB. M.: Gorjachaja linija-Telekom, 2007. 288 p.