

УДК 510.22.62-50

ПРИНЯТИЕ ПРОЕКТНЫХ РЕШЕНИЙ НА ОСНОВЕ НЕЧЕТКОГО ОТНОШЕНИЯ ПРЕДПОЧТЕНИЯ

С. Г. Толмачев^а, канд. техн. наук, начальник научно-исследовательской лаборатории
^аОАО «Концерн «Гранит-Электрон», Санкт-Петербург, РФ

Постановка проблемы: ответственным этапом процесса проектирования сложных технических объектов является анализ альтернативных проектных решений в целях выбора наиболее рационального варианта. На ранних стадиях проектирования задача анализа и выбора альтернатив решается в условиях большой неопределенности исходных данных, как правило, за счет использования знаний опытных разработчиков. Целью работы является разработка интеллектуальных алгоритмов анализа альтернатив для систем поддержки принятия проектных решений. **Результаты:** выбран метод анализа альтернативных решений, использующий нечеткое отношение порядка на множестве векторных лингвистических оценок экспертов и предполагающий выполнение следующих операций: вычисление значений функции принадлежности вида $\mu_{<}$ для каждого парного сравнения альтернатив по каждому r -му критерию $\mu_{<}(K_r(x_i), K_r(x_j))$; вычисление соответствующих значений функций принадлежности μ_{\geq} ; вычисление степени предпочтения для каждой альтернативы путем свертки значений функций принадлежности по критериям на основе заданной структуры предпочтений; сравнение альтернатив путем их ранжирования. Приводится пример расчета значений степеней предпочтения для случая двух альтернатив, оцениваемых по четырем показателям. **Заключение:** предложенный подход позволяет аргументировать выбор проектного решения, осуществляемый в условиях неопределенности исходных данных.

Ключевые слова — принятие решения, анализ альтернатив, нечеткое отношение предпочтения, лингвистические оценки.

Введение

Процесс проектирования сложных технических объектов можно представить в виде отдельных независимых этапов. Каждый этап включает процесс принятия определенного проектного решения, являющегося основным элементом в творческой деятельности разработчика. В ходе проектирования проектировщики регулярно сталкиваются с задачами анализа и выбора решений в условиях неопределенности, вызванной неполными или неточными исходными данными. В связи с этим возникает необходимость в разработке соответствующей системы поддержки проектных решений, которая должна оказывать определенную помощь специалистам при анализе и обосновании выбора технических решений, предусмотренных этапами проектирования.

Методы, используемые в задачах поддержки принятия решений, должны учитывать особенности человеческого мышления. Основные трудности здесь связаны с тем, что некоторые категории, которыми оперируют специалисты, не всегда могут быть точно определены. Это связано с тем, что знания о проектируемом техническом объекте могут иметь неопределенную, неточную, нечеткую природу, что находит отражение в качественных оценках, выражаемых на естественном языке. Неточность исходных данных является следствием ошибок наблюдений, незнания точных значений параметров среды. Неопределенность обусловлена недостаточностью исходных данных для принятия решения. Нечеткость вызвана расплывчатой формой выражения качества объекта, которая может быть обозначена, прежде всего, средствами естественного языка.

Для решения подобных аналитических задач поддержки принятия решений необходимым условием, позволяющим получить приемлемые результаты, является всесторонний учет неопределенностей при формализации и обработке исходных данных. Эффективность учета таких данных напрямую зависит от выбора соответствующего математического аппарата. На сегодняшний день известен ряд математических методов [1–5], используемых для формализации неопределенных данных. Одним из наиболее эффективных средств решения рассматриваемых задач является интеллектуальная информационная технология Soft Computing. Эта технология, включающая теорию нечетких множеств и мер, позволяет с единых позиций рассмотреть различные виды неопределенности. В таких задачах анализ альтернативных решений проводится на основании мягких оценок показателей эффективности результатов принимаемых решений. При разработке процедур выбора альтернатив целесообразно использовать особенности, присущие выбору в расплывчатом пространстве состояний.

Основой исходной информации для принятия решения являются распределенные базы внутренних данных и данных, поступающих от разнородных внешних источников. Это могут быть данные математического моделирования, результаты натурных испытаний макетных образцов, экспертные оценки специалистов и т. п. Полученные такими способами знания о проектируемом объекте, как правило, выражаются с помощью нечетких лингвистических оценок, характерных для естественного языка [6, 7], таких как «лучше», «хуже», «большой», «малый» и т. п. При этом требуется предложить формальный метод

принятия решений, позволяющий сравнивать альтернативы путем расчета количественных значений их предпочтительности и установления отношения порядка.

Рассматриваемый в работе практический пример иллюстрирует процесс анализа альтернатив при принятии решений в нечеткой среде, когда на начальных стадиях проектирования, при отсутствии достаточных исходных данных, затруднено применение стандартных формальных процедур принятия решений.

Постановка задачи принятия решений в нечеткой среде

Задача принятия решений в нечеткой среде предполагает наличие множества альтернатив — вариантов решений. Реализация каждой альтернативы приводит к определенным последствиям — исходам. Альтернативы характеризуются по показателям эффективности (степени достижения поставленной цели) исходов. Анализ ведется на основе изучения предпочтений условного лица, принимающего решения. При этом необходимо учитывать наличие неопределенности исходной информации, которая может быть вызвана как субъективными, так и объективными факторами. Неопределенность как характеристика проектируемых технических систем определяется многообразием признаков, характеризующих объекты системы, изменениями их структуры, воздействием неучтенных, случайных факторов и т. д. Нечеткая составляющая неопределенности обусловлена необходимостью использования не только количественной, но и качественной (вербальной) оценочной информации [8].

В упрощенном виде модель задачи принятия проектных решений можно представить в следующей форме [9]:

$$\langle A, E, X, K, P \rangle,$$

где A — множество допустимых альтернатив (альтернатива — вариант проектного решения, удовлетворяющий ограничениям задачи и являющийся способом достижения поставленной цели); E — среда задачи, определяющая условия, в которых она решается; X — множество исходов; K — векторный критерий оценки исходов; P — структура предпочтений (определяет процедуру сравнения оценок $K(X)$).

Каждой альтернативе $a_i \in A$ соответствует единственный (детерминированный или случайный) исход $x_i \in X$, который характеризуется векторной оценкой $K(x_i)$. Структура предпочтений P определяет процедуру сравнения оценок $K(x_i)$, а решающее правило — принцип выбора элементов из множества A на основе результатов сравнения.

В реальных условиях альтернативы и их исходы оцениваются несколькими показателями (критериями) эффективности $f_i: X \rightarrow K, i = 1, \dots, n$. Частные критерии f_i могут быть противоречивыми, например, по стоимости, по энергопотреблению, по массогабаритным характеристикам и т. д. При таких исходных условиях требуется выбрать из множества допустимых альтернатив наилучший вариант $a_{opt} \in A$, обеспечивающий наиболее приемлемое, в некотором смысле, значение показателя эффективности K соответствующего исхода $x_{opt} \in X$, т. е. $a_{opt} = \arg(\max(K))$, где операция \max интерпретируется как выбор наилучшего значения. Выбор наилучшей альтернативы в условиях неопределенности исходных данных является задачей принятия неструктурированных или слабоструктурированных решений.

В нечеткой среде в виде нечетких понятий и отношений могут быть выражены все элементы задачи: альтернативы, исходы, оценки исходов по различным критериям, отношения предпочтения и т. д. В данном случае неопределенность исходных данных выражается в виде нечетких векторных лингвистических оценок исходов по ряду критериев. В процессе анализа альтернатив путем совершения последовательности операций в нечеткой среде необходимо найти наиболее предпочтительную альтернативу, т. е. вариант решения, удовлетворяющий ограничениям задачи и имеющий наилучший показатель эффективности.

Выбор альтернативы в нечеткой среде

Рассмотрим метод выбора альтернативных решений, основанный на установлении отношения порядка на нечетких оценках исходов [10–12]. Альтернативы характеризуются лингвистическими оценками по ряду критериев. Эти оценки носят качественный характер и выражаются в виде нечетких чисел. Пусть $A = \{a_1, \dots, a_i, \dots, a_n\}$ — множество альтернатив; $X = \{x_1, \dots, x_i, \dots, x_n\}$ — множество исходов, причем исход x_i обусловлен альтернативой a_i , где $i = 1, \dots, n$; $K(x_i) = (K_1(x_i), \dots, K_r(x_i), \dots, K_m(x_i))$ — лингвистическая векторная оценка исхода x_i , $K_r(x_i)$ — лингвистическая векторная оценка (нечеткое число) исхода по r -му критерию, где $r = 1 \dots m$. Нечеткое отношение порядка определим через вероятностные оценки для нечетких чисел. Введем нечеткое отношение порядка вида «больше-равно» (\geq) на множестве лингвистических векторных оценок исходов $K = (K(x_1), \dots, K(x_i), \dots, K(x_n))$. Для этого определим функцию принадлежности нечеткого отношения следующим образом: $\mu_{\geq} : K \times X \rightarrow [0, 1]$. Введем обозначение $\mu_{\geq}(K_r(x_i), K_r(x_j))$ как $\mu_{\geq}^r(x_i, x_j)$. Значение этой функции для нечетких чисел $K_r(x_i)$ и $K_r(x_j)$ может быть вычислено по формуле

$\mu_{\geq}(A, B) = 1 - \mu_{<}(A, B)$, где A и B — нечеткие числа; $\mu_{<}$ — нечеткое отношение порядка вида «меньше» на множестве нечетких чисел. Степень истинности $\mu_{<}(A, B)$ нечеткого высказывания $A < B$ определяется как вероятность того, что точное значение нечеткого числа A будет меньше точного значения нечеткого числа B [1]: $\mu_{<}(A, B) = P(nf(A) < nf(B))$, где $nf(A)$ — четкое значение нечеткого числа A (рис. 1). Таким образом:

$$\mu_{<}(A, B) = \sum_{i=1}^{n-1} P(nf(A) = y_i \& nf(B) > y_i).$$

Предположив, что случайные величины, построенные на нечетких числах A и B , независимы, получим

$$\begin{aligned} P(nf(A) = y_i \& nf(B) > y_i) &= P(nf(A) = y_i)P(nf(B) > y_i) = \\ &= p_A(y_i)(1 - P(nf(B) \leq y_i)) = \\ &= p_A(y_i)(1 - P(nf(B) < y_{i+1})), i \in 1 \dots n - 1. \end{aligned}$$

Тогда $\mu_{<}(A, B) = \sum_{i=1}^{n-1} (p_A(y_i)(1 - p_{m_B}(y_{i+1})))$, где

$p_A(y)$ — вероятность того, что в качестве точного значения нечеткого числа A используется величина y ; $p_{m_B}(y)$ — вероятность того, что в качестве точного значения числа B используется величина $z < y$:

$$\begin{aligned} p_{m_B}(y) &= \sum_{z \in S_B, z < y} p_B(y); \\ p_B(y) &= \mu_B(y) \left(\sum_{y \in S_B} \mu_B(y) \right)^{-1}; \\ p_A(y) &= \mu_A(y) \left(\sum_{y \in S_A} \mu_A(y) \right)^{-1}, \end{aligned}$$

где $\mu_A(y)$, $\mu_B(y)$ — функции принадлежности нечетких чисел A и B соответственно.

Функцию μ_{\geq} определим как $\mu_{\geq}(K(x_i), K(x_j)) = \bigcup_{r \in (1..m)} \mu_r^{\geq}(x_i, x_j)$, где \bigcup — знак обобщающей операции по всем r критериям.

Поскольку между множеством альтернатив и исходов имеет место взаимно однозначное соответствие, нечеткое отношение предпочтения на множестве альтернатив определяется функцией принадлежности $\mu_{\geq}^{\Phi} : A \times A \rightarrow [0, 1]$, которая может быть вычислена по формуле $\mu_{\geq}^{\Phi}(a_i, a_j) = \mu_{\geq}(K(x_i), K(x_j))$.

Для случая четкого векторного критерия $K(a_i) \geq K(a_j) \Leftrightarrow (\forall r \in (1, \dots, m))(K_r(x_i) \geq K_r(x_j))$ и $a_i \geq a_j \Leftrightarrow K(a_i) \geq K(a_j)$. Выражения для μ_{\geq}^{Φ} позволяют получить матрицу парных сравнений альтернатив по предпочтению $\Phi = \|\mu_{ij}\|_{n \times n}$, где $\mu_{ij} = \mu_{\geq}^{\Phi}(a_i, a_j)$. На основе матрицы парных сравнений можно произвести ранжирование альтернатив.

Реализация описанного метода заключается в выполнении следующих операций.

1. Вычисление значений функции принадлежности вида $\mu_{<}$ для каждого парного сравнения альтернатив по каждому r -му критерию $\mu_{<}(K_r(x_i), K_r(x_j))$.

2. Вычисление соответствующих значений функций принадлежности μ_{\geq} .

3. Вычисление степени предпочтения для каждой альтернативы путем свертки значений функций принадлежности по критериям на основе заданной структуры предпочтений.

4. Сравнение альтернатив путем их ранжирования.

Рассмотрим пример. Пусть $A = \{a_1, a_2\}$ — множество, состоящее из двух альтернативных проектных решений для технического объекта. Векторный критерий оценок исходов $K = \{K_1, K_2, K_3, K_4\}$, где K_r — оценки исходов по критериям энергопотребления, стоимости, эффективности и конструктивной сложности. Предпочтения задаются вектором весовых коэффициентов $W = \{w_1, w_2, w_3, w_4\}$, характеризующих важность соответствующего критерия с точки зрения проектировщика, принимающего решение. Задача состоит в нахождении альтернативы с наибольшим значением отношения предпочтительности $K(a_i) = \max_i \sum_r w_r \mu_r^{\geq}(x_i, x_j)$. Векторный лингвистический критерий K для альтернатив a_i определим в виде матрицы. Элементы матрицы представлены нечеткими оценками, заданными в форме нечетких чисел:

		K_1	K_2	K_3	K_4
$K =$	a_1	ОН	В	Н	ОВ
	a_2	Н	С	С	В

где «очень низкий» ОН = {1,0/1; 0,8/2; 0,2/3}; «низкий» Н = {0,7/1; 0,9/2; 1,0/3; 0,5/4; 0,1/5}; «средний» С = {0,1/2; 0,4/3; 0,8/4; 1,0/5; 0,8/6; 0,2/7}; «высокий» В = {0,2/5; 0,5/6; 1,0/7; 0,8/8; 0,2/9}; «очень высокий» ОВ = {0,1/8; 0,7/9; 1,0/10}.

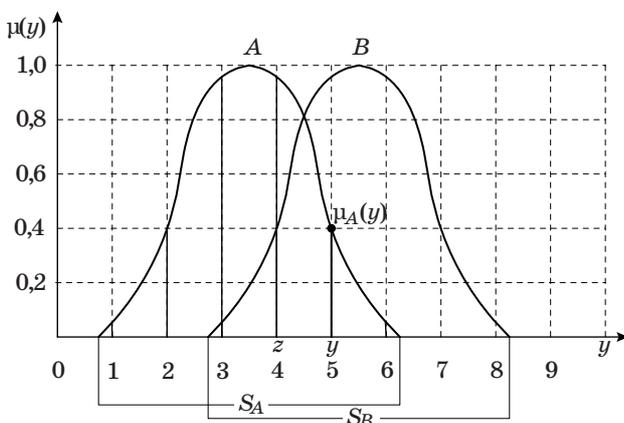
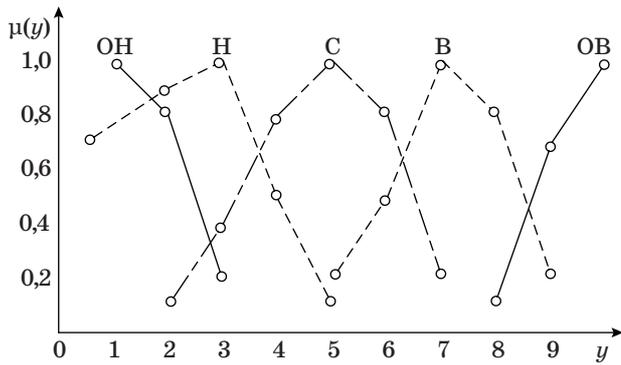


Рис. 1. Сравнение нечетких чисел



■ Рис. 2. Функции принадлежности нечетких оценок

Универсальное множество, на котором определены нечеткие числа, представлено в виде десятибалльной шкалы $Y = \{1, 2, \dots, 10\}$ на рис. 2. Определим предпочтения проектировщика в форме вектора весовых коэффициентов: $\mathbf{W} = \{0,3 \ 0,2 \ 0,4 \ 0,1\}$.

Вычисление значений функции принадлежности $\mu_{<}(K_r(a_1), K_r(a_2))$:

$$\begin{aligned} \mu_{<}(K_r(a_1), K_r(a_2)) &= \\ &= \sum_{s=1}^n p_{K_r(a_1)}(y_s) \left(1 - \sum_{j=1}^s p_{K_r(a_2)}(y_j) \right). \end{aligned}$$

В соответствии с формулой расчета вероятности $p_A(y)$ для различных альтернатив получим

$$p_{K_r(a_i)}(y_s) = \frac{\mu_{K_r(a_i)}(y_s)}{\sum_{y \in S_{K_r(a_i)}} \mu_{K_r(a_i)}(y)},$$

где $r = 1, \dots, 4; i = 1, 2$.

Каждому лингвистическому критерию K_r для альтернативы a_i соответствует оценка, принадлежащая множеству {ОН, Н, С, В, ОБ}; так, $K_1(a_1) = \text{ОН}$, $K_1(a_2) = \text{Н}$ и т. д. Каждой оценке соответствует своя функция принадлежности нечеткого числа (см. рис. 2); так, $\mu_{K_1(a_1)}(y_1) = 1,0$; $\mu_{K_1(a_1)}(y_2) = 0,8$ и т. д. Следовательно:

$$\begin{aligned} \sum_{y \in S_{K_1(a_1)}} \mu_{K_1(a_1)}(y) &= 1,0 + 0,8 + 0,2 = 2,0; \\ \sum_{y \in S_{K_1(a_2)}} \mu_{K_1(a_2)}(y) &= 0,7 + 0,9 + 1 + 0,5 + 0,1 = 3,2; \\ \sum_{y \in S_{K_2(a_1)}} \mu_{K_2(a_1)}(y) &= 0,2 + 0,5 + 1,0 + 0,8 + 0,2 = 2,7; \\ \sum_{y \in S_{K_2(a_2)}} \mu_{K_2(a_2)}(y) &= \\ &= 0,1 + 0,4 + 0,8 + 1,0 + 0,8 + 0,2 = 3,3; \\ \sum_{y \in S_{K_3(a_1)}} \mu_{K_3(a_1)}(y) &= 3,2; \quad \sum_{y \in S_{K_3(a_2)}} \mu_{K_3(a_2)}(y) = 3,3; \end{aligned}$$

$$\sum_{y \in S_{K_4(a_1)}} \mu_{K_4(a_1)}(y) = 0,1 + 0,7 + 1,0 = 1,8;$$

$$\sum_{y \in S_{K_4(a_2)}} \mu_{K_4(a_2)}(y) = 2,7.$$

Тогда

$$\begin{aligned} \mu_{<}(K_1(a_1), K_1(a_2)) &= \mu_{<}(\text{ОН}, \text{Н}) = \frac{1,0}{2,0}(1-0) + \\ &+ \frac{0,8}{2,0} \left(1 - \frac{0,7}{3,2} \right) + \frac{0,2}{2,0} \left(1 - \frac{0,7+0,9}{3,2} \right) = 0,863; \\ \mu_{<}(K_2(a_1), K_2(a_2)) &= \mu_{<}(\text{В}, \text{С}) = \\ &= \frac{0,2}{2,7} \left(1 - \frac{0,1+0,4+0,8}{3,3} \right) + \frac{0,5}{2,7} \left(1 - \frac{0,1+0,4+0,8+1}{3,3} \right) + \\ &+ \frac{1}{2,7} \left(1 - \frac{0,1+0,4+0,8+1+0,8}{3,3} \right) = 0,124; \\ \mu_{<}(K_3(a_1), K_3(a_2)) &= \mu_{<}(\text{Н}, \text{С}) = \\ &= \frac{0,7}{3,2}(1-0) + \frac{0,9}{3,2}(1-0) + \frac{1}{3,2} \left(1 - \frac{0,1}{3,3} \right) + \\ &+ \frac{0,5}{3,2} \left(1 - \frac{0,1+0,4}{3,3} \right) + \frac{0,1}{3,2} \left(1 - \frac{0,1+0,4+0,8}{3,3} \right) = 0,956; \\ \mu_{<}(K_4(a_1), K_4(a_2)) &= \mu_{<}(\text{ОБ}, \text{В}) = \\ &= \frac{0,1}{1,8} \left(1 - \frac{0,2+0,5+1}{2,7} \right) + \\ &+ \frac{0,7}{1,8} \left(1 - \frac{0,2+0,5+1+0,8}{2,7} \right) = 0,049. \end{aligned}$$

Вычисление нечеткого отношения $\mu_{\geq}(K_r(a_1), K_r(a_2))$:

$$\begin{aligned} \mu_{\geq}(K_r(a_1), K_r(a_2)) &= 1 - \mu_{<}(K_r(a_1), K_r(a_2)); \\ \mu_{\geq}(K_1(a_1), K_1(a_2)) &= 0,137; \\ \mu_{\geq}(K_2(a_1), K_2(a_2)) &= 0,876; \\ \mu_{\geq}(K_3(a_1), K_3(a_2)) &= 0,044; \\ \mu_{\geq}(K_4(a_1), K_4(a_2)) &= 0,951. \end{aligned}$$

Вычисление степени предпочтения альтернативы a_1 :

$$\begin{aligned} \mu_{\geq}(K(a_1), K(a_2)) &= \sum_r w_r \mu_{\geq}^r(a_1, a_2) = 0,3 \times 0,137 + \\ &+ 0,2 \times 0,876 + 0,4 \times 0,044 + 0,1 \times 0,951 = 0,329, \end{aligned}$$

т. е. степень предпочтения первой альтернативы $\mu_{\geq}(a_1) = 0,329$.

По такой же процедуре вычисляется степень предпочтения второй альтернативы a_2 .

Вычисление значений функции принадлежности $\mu_{<}(K_r(a_2), K(a_1))$:

$$\begin{aligned} \mu_{<}(K_1(a_2), K_1(a_1)) &= \mu_{<}(\text{Н}, \text{ОН}) = \frac{0,7}{3,2}(1-0) + \\ &+ \frac{0,9}{3,2} \left(1 - \frac{1,0}{2} \right) + \frac{1}{3,2} \left(1 - \frac{1,0+0,8}{2} \right) = 0,390; \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \mu_{<}(K_2(a_2), K_2(a_1)) &= \mu_{<}(C, B) = \\ &= \frac{0,1}{3,3}(1-0) + \frac{0,4}{3,3}(1-0) + \frac{0,8}{3,3}(1-0) + \frac{1}{3,3}(1-0) + \\ &+ \frac{0,8}{3,3}\left(1 - \frac{0,2}{2,7}\right) + \frac{0,2}{3,3}\left(1 - \frac{0,2+0,5}{2,7}\right) = 0,966; \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \mu_{<}(K_3(a_2), K_3(a_1)) &= \mu_{<}(C, H) = \\ &= \frac{0,1}{3,3}\left(1 - \frac{0,7}{3,2}\right) + \frac{0,4}{3,3}\left(1 - \frac{0,7+0,9}{3,2}\right) + \\ &+ \frac{0,8}{3,3}\left(1 - \frac{0,7+0,9+1,0}{3,2}\right) + \\ &+ \frac{1,0}{3,3}\left(1 - \frac{0,7+0,9+1,0+0,5}{3,2}\right) = 0,139; \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \mu_{<}(K_4(a_2), K_4(a_1)) &= \mu_{<}(B, OB) = \\ &= \frac{0,2}{2,7}(1-0) + \frac{0,5}{2,7}(1-0) + \frac{1}{2,7}(1-0) + \\ &+ \frac{0,8}{2,7}(1-0) + \frac{0,2}{2,7}\left(1 - \frac{0,1}{1,8}\right) = 0,995. \end{aligned}$$

Вычисление нечеткого отношения $\mu_{\geq}(K_r(a_2), K_r(a_1))$:

$$\mu_{\geq}(K_1(a_2), K_1(a_1)) = 0,610;$$

$$\mu_{\geq}(K_2(a_2), K_2(a_1)) = 0,034;$$

$$\mu_{\geq}(K_3(a_2), K_3(a_1)) = 0,861;$$

$$\mu_{\geq}(K_4(a_2), K_4(a_1)) = 0,005.$$

Вычисление степени предпочтения альтернативы a_2 :

$$\begin{aligned} \mu_{\geq}(K(a_2), K(a_1)) &= 0,3 \times 0,610 + 0,2 \times 0,034 + \\ &+ 0,4 \times 0,861 + 0,1 \times 0,005 = 0,535, \end{aligned}$$

т. е. степень предпочтения второй альтернативы $\mu_{\geq}(a_2) = 0,535$.

Сравнивая альтернативы, видим, что альтернатива a_2 предпочтительнее, так как $\mu_{\geq}(a_2) > \mu_{\geq}(a_1)$.

Таким образом, в рассматриваемом примере рекомендуется выбор второго варианта проектного решения, имеющего наибольшее предпочтение. Реализация этого решения обеспечивает достижение нечетко поставленной цели.

Заключение

Применение предлагаемого алгоритма анализа альтернатив в нечеткой среде позволяет решить практические задачи, возникающие при проектировании сложных технических объектов. Необходимо отметить, что на выбор альтернативы существенное влияние оказывает принимаемая структура предпочтений P лица, принимающего решение. Наряду со средневзвешенной оценкой эффективности принимаемого решения может использоваться и оценка, полученная на основе минимизации отношения предпочтения. В этом случае альтернатива выбирается по методу максимина.

Литература

1. Борисов А. Н., Крумберг О. А., Федоров И. П. Принятие решений на основе нечетких моделей: примеры использования. — Рига: Зинатне, 1990. — 184 с.
2. Островский Г. М., Волин Ю. М. Технические системы в условиях неопределенности. — М.: Бином, 2008. — 319 с.
3. Алтуний А. Е., Семухин М. В. Модели и алгоритмы принятия решений в нечетких условиях: монография / Тюменский гос. ун-т. — Тюмень, 2000. — 352 с.
4. Саати Т. Принятие решений. Метод анализа иерархий. — М.: Радио и связь, 1993. — 278 с.
5. Райфа Г. Анализ решений. Введение в проблему выбора в условиях неопределенности. — М.: Наука, 1977. — 408 с.
6. Павлов А. Н., Соколов Б. В. Принятие решений в условиях нечеткой информации: учеб. пособие для вузов. — СПб.: ГУАП, 2006. — 72 с.
7. Piegat A. Fuzzy Modeling and Control. — Physica-Verlag, Heidelberg, 2001. — 798 p.
8. Заде Л. А. Понятие лингвистической переменной и его применение к принятию приближенных решений. — М.: Мир, 1976. — 168 с.
9. Толмачев С. Г. Задача организации единого информационного пространства для поддержки принятия проектных решений в условиях нечеткой исходной информации // Изв. ГУАП. Аэрокосмическое приборостроение. 2013. Вып. 4. С. 29–33.
10. Wang Y. J., Kao C. S., Liu L. J. The Selection of Sales Managers in Enterprise by Fuzzy Multi-criteria Decision-making // Proc. of the Intern. Conf. on Artificial Intelligence and Computational Intelligence (AICI 2010), Sanya, China, Oct. 23–24, 2010. Part II. P. 142–151.
11. Чернов В. Г. Решение задач многокритериального альтернативного выбора на основе геометрической проекции нечетких множеств // Информационно-управляющие системы. 2007. № 1(26). С. 46–51.
12. Ведерников Ю. В. Метод многокритериального предпочтения сложных систем // Информационно-управляющие системы. 2009. № 1(38). С. 52–59.

UDC 510.22.62-50

Design Decision Making Based on Fuzzy Preference Relations

Tolmachev S. G.^a, PhD, Tech., Chief of Scientific Research Laboratory, cri-granit@peterlink.ru^aFSPC JSC «Concern «Granit-Electron», 3, Gospitalnaia St., 191014, Saint-Petersburg, Russian Federation

Purpose: One of the most crucial stages in designing sophisticated technical objects is analyzing alternative design decisions and choosing the best one. At early stages of the design, this problem has to be solved when the initial data are uncertain, relying on developers' knowledge and experience. The goal of this study is finding intellectual algorithms for analysis of design alternatives. **Results:** A method is chosen for the analysis of alternative decisions, using a fuzzy order relation on a set of linguistic vector evaluations from experts. It assumes the following operations: calculating the values of a μ_{\leq} membership function for every paired comparison of the alternatives by every r -th criterion $\mu_{\leq}(K_r(x_i), K_r(x_j))$; calculating the respective values of μ_{\geq} membership functions; calculating the preference degree for every alternative by convolution of the membership functions values according to the criteria based on the given structure of preferences; comparison of the alternatives by their ranking. An example is given for calculating the values of preference degrees for the case of two alternatives estimated by four parameters. **Conclusion:** The proposed approach can be used for a well-reasoned design decision making when the initial data are uncertain.

Keywords — Decision Making, Analysis of Alternatives, Fuzzy Preference Relation, Linguistic Evaluation.

References

1. Borisov A. N., Krumberg O. A., Fedorov I. P. *Priniatie reshenii na osnove nechetkikh modelei: primery ispol'zovaniia* [Decision-making Based on Fuzzy Models: Examples]. Riga, Zinatne Publ., 1990. 184 p. (In Russian).
2. Ostrovskii G. M., Volin Y. M. *Tekhnicheskie sistemy v usloviakh neopredelennosti* [Technical Systems under Uncertainty]. Moscow, Binom Publ., 2008. 319 p. (In Russian).
3. Altunin A. E., Semuhin M. V. *Modeli i algoritmy priniatiia reshenii v nechetkikh usloviakh* [Models and Algorithms of Decision-making in Fuzzy Conditions: Monography]. Tumen, TGU Publ., 2000. 352 p. (In Russian).
4. Saaty T. L. *Priniatiia reshenii. Metod analiza ierarhii* [Decision-making. Method of the Analysis of Hierarchies]. Moscow, Radio i sviaz Publ., 1993. 278 p. (In Russian).
5. Raifa H. *Analiz reshenii. Vvedenie v problemu vybora v usloviakh neopredelennosti* [Decision Analysis. Introductory Lectures on Choices under Uncertainty]. Moscow, Nauka Publ., 1977. 408 p. (In Russian).
6. Pavlov A. N., Sokolov B. V. *Priniatiia reshenii v usloviakh nechetskoi informacii* [Decision-making in the Conditions of the Fuzzy Information]. Saint-Petersburg, GUAP Publ., 2006. 72 p. (In Russian).
7. Piegat A. *Fuzzy Modeling and Control*. Physica-Verlag, Heidelberg, 2001. 798 p.
8. Zadeh L. A. *Poniatie lingvisticheskoi peremnoi i ego primenenie k priniatiu priblizennykh reshenii* [Concept of a Linguistic Variable and its Application to Adoption of Approximate Solutions]. Moscow, Mir Publ., 1976. 168 p. (In Russian).
9. Tolmachev S. G. The Task of Organizing a Common Information Space to Support Decision-making in Terms of Design Fuzzy Initial Information. *Izvestiia GUAP. Aerokosmicheskoe priborostroenie*, 2013, no. 4, pp. 29–33 (In Russian).
10. Wang Y. J., Kao C. S., Liu L. J. The Selection of Sales Managers in Enterprise by Fuzzy Multi-criteria Decision-making. *Proc. of the Intern. Conf. on Artificial Intelligence and Computational Intelligence (AICI 2010)*, Sanya, China, October 23–24, 2010, part II, pp. 142–151.
11. Chernov V. G. Solving Problems of Multicriterial Choice on the Basis of Geometrical Projection of Fuzzy Sets. *Informatsionno-upravliaiushchie sistemy*, 2007, no. 1, pp. 46–51 (In Russian).
12. Vedernikov Y. V. A Method of Multi-criterion Prioritization of Complex Systems. *Informatsionno-upravliaiushchie sistemy*, 2009, no. 1, pp. 52–59 (In Russian).