

НЕЧЕТКИЙ МНОГОКРИТЕРИАЛЬНЫЙ ВЫБОР ПОСТАВЩИКОВ ОБОРУДОВАНИЯ И ЗАПАСНЫХ ЧАСТЕЙ: МЕТОД НАИХУДШЕГО СЛУЧАЯ

Задача выбора поставщиков оборудования и запасных частей остро стоит на флоте из-за большого их количества и необходимости учета таких важных критериев как репутация поставщика, стоимость поставки, надежность и долговечность оборудования. Эту задачу удобно формулировать как выбор наилучшей альтернативы (поставщика) по нескольким критериям.

Целью работы является разработка метода многоальтернативного выбора поставщиков оборудования и запасных частей в условиях неопределенности.

Введем следующие обозначения:

$S = \{s_1, s_2, \dots, s_n\}$ – множество поставщиков;

$C = \{c_1, c_2, \dots, c_n\}$ – множество критериев.

Для оценки выбора поставщика по векторному критерию можно применить преобразования вида:

$$\underbrace{(c_1, c_2, \dots, c_m)}_{\text{вектор}} \rightarrow E = \underbrace{f(c_1, c_2, \dots, c_m)}_{\text{скаляр}}.$$

В инженерной практике наибольшее распространение получили методы скаляризации с учетом важности критериев [1]. Для применения этих методов необходимо знать ответы на следующие непростые вопросы: Как определять веса критериев? Как измерять качественные критерии? Какова чувствительность многокритериального выбора к изменениям весов критериев?

В моделях принятия решений в условиях неопределенности широкое распространение получил принцип Беллмана-Заде [2]. Он, как правило, применяется совместно с методом иерархий Саати [3], что позволяет находить степени принадлежности элементов нечетких множеств с помощью процедуры парных сравнений. Соответствующая методика описана в [4]. Метод иерархий [3, 5] предусматривает формирование матрицы парных сравнений, проверку ее согласованности (consistency) и нахождение собственного вектора, который определяет искомые степени принадлежности. Если согласованность матрицы отсутствует, то процедура парных сравнений должна выполняться заново, что усложняет практическое применение метода.

В работе [6] предложена модификация метода Саати, не требующая нахождения собственного вектора и проверки согласованности матрицы парных сравнений. Методика многокритериального выбора альтернатив (поставщиков), использующая модифицированный метод Саати [6], рассмотрена в работе [7].

Процедура формирования матрицы парных сравнений является достаточно трудоемкой из-за наличия в ней дробных элементов, не входящих в 9-бальную шкалу Саати. Целью этой работы является разработка метода, основанного на идеях Беллмана-Заде и Саати, но не требующего формирования матрицы парных сравнений. Вместо этого используются простые расчетные соотношения, содержащие сравнения с наихудшей альтернативой и наименее важным критерием. Отсюда название: "Метод наихудшего случая".

Критерии как нечеткие множества. Каждый критерий $c_j \in C = \{c_1, c_2, \dots, c_m\}$ будем рассматривать как нечеткое множество, заданное на универсальном множестве поставщиков $S = \{s_1, s_2, \dots, s_n\}$ в виде:

$$c_j = \left\{ \frac{w_1^{(j)}}{s_1}, \frac{w_2^{(j)}}{s_2}, \dots, \frac{w_n^{(j)}}{s_n} \right\}, \quad j = 1, 2, \dots, m. \quad (1)$$

Входящие в (1) степени принадлежности $w_i^{(j)}$ элементов s_i к нечетким множествам c_j представляют собой числа в интервале $[0, 1]$, которые могут интерпретироваться как веса поставщиков s_i относительно критериев c_j .

Потребуем выполнения условия:

$$w_1^{(j)} + w_2^{(j)} + \dots + w_n^{(j)} = 1, \quad j = 1, 2, \dots, m.$$

Наилучший поставщик. Согласно принципу Беллмана-Заде, наилучшего поставщика s_{opt} будем искать внутри пересечения (\cap) нечетких множеств-критериев, т.е.:

$$s_{opt} \in D = c_1 \cap c_2 \cap \dots \cap c_m.$$

В теории нечетких множеств имеет место замена операций: $\cap \rightarrow \min$. Поэтому множество потенциально хороших решений:

$$D = \left\{ \frac{\min\{w_1^{(1)}, \dots, w_1^{(m)}\}}{s_1}, \frac{\min\{w_2^{(1)}, \dots, w_2^{(m)}\}}{s_2}, \dots, \frac{\min\{w_n^{(1)}, \dots, w_n^{(m)}\}}{s_n} \right\}.$$

В качестве наилучшей альтернативы s_{opt} следует выбрать поставщика $s_{opt} \in D$ с максимальным весом:

$$w(s_{opt}) = \max_{i=1,2,\dots,n} \min\{w_i^{(1)}, w_i^{(2)}, \dots, w_i^{(m)}\}.$$

Веса поставщиков. Здесь предлагается метод определения весов поставщиков $w_i^{(j)}$, входящих в нечеткие множества (1). Идея метода заимствована из структурного анализа систем [8], где надежность системы распределяется между ее элементами в соответствии с рангами. Ранг элемента характеризует его важность в смысле надежности. Чем выше ранг, тем выше надежность. В нашем случае сумма весов, равная единице, будет распределяться между поставщиками согласно их рангов.

Пусть r_i – ранг поставщика $s_i \in S$ в отношении критерия $c_j \in C$. Индекс этого критерия в обозначении ранга не указывается для упрощения записи. Будем предполагать следующее: чем выше вес (w_i) поставщика, тем выше его ранг (r_i). Это формализуется таким соотношением:

$$\frac{w_1}{r_1} = \frac{w_2}{r_2} = \dots = \frac{w_l}{r_l} = \dots = \frac{w_n}{r_n}. \quad (2)$$

Пусть s_l – наихудший поставщик (по критерию $c_j \in C$) с весом w_l и рангом r_l . Используя соотношение (2), выразим веса всех поставщиков через вес наихудшего поставщика:

$$w_1 = r_1 \cdot \frac{w_l}{r_l}, w_2 = r_2 \cdot \frac{w_l}{r_l}, \dots, w_n = r_n \cdot \frac{w_l}{r_l}, \quad (3)$$

Подставляя веса (3) в условие $w_1 + w_2 + \dots + w_l = 1$, получим вес наихудшего поставщика:

$$w_l = \frac{1}{\frac{r_1}{r_l} + \frac{r_2}{r_l} + \dots + \frac{r_n}{r_l}} = \frac{1}{\sum_{i=1}^n \frac{r_i}{r_l}}. \quad (4)$$

Соотношения (4) и (3) позволяют вычислить искомые веса поставщиков через отношения рангов всех i -ых поставщиков к рангу наихудшего l -го поставщика. Заметим, что сравнение с наихудшим случаем обеспечивает выполнение условия: $r_i/r_j \geq 1$ для всех $i = 1, 2, \dots, n$.

Следуя опыту Саати [3], для каждого критерия $c_j \in C$ зададим соотношения рангов поставщиков следующим образом:

$$\frac{r_i}{r_l} = \begin{cases} 1, \text{ если } s_i \text{ совпадает с } s_l \\ 3, \text{ если } s_i \text{ немного лучше чем } s_l \\ 5, \text{ если } s_i \text{ лучше чем } s_l \\ 7, \text{ если } s_i \text{ значительно лучше чем } s_l \\ 9, \text{ если } s_i \text{ абсолютно лучше чем } s_l \\ 2, 4, 6, 8 - \text{ промежуточные значения} \end{cases}$$

Расчетный пример. Рассмотрим задачу выбора поставщиков оборудования и запасных частей, в которой множество альтернатив:

$$\{B, T, S, F, C\},$$

где B, T, S, F, C – тип поставщика, а множество критериев:

$$\{RF, C, R, P\},$$

где RF – репутация поставщика, C – стоимость оборудования, R – надежность оборудования, P – долговечность оборудования.

По каждому критерию выберем наихудшего поставщика и, с помощью формул (4) и (3), вычислим веса остальных поставщиков. В качестве индексов весов и рангов будем использовать сокращенные обозначения типа поставщика.

(а) Критерий: репутация поставщика (RF). Наихудшая альтернатива: поставщик F . Вес наихудшего поставщика:

$$w_F = \frac{1}{\underbrace{\frac{r_B}{r_F}}_{\substack{\text{абсолютно} \\ \text{лучше}}} + \underbrace{\frac{r_T}{r_F}}_{\substack{\text{лучшие}}} + \underbrace{\frac{r_S}{r_F}}_{\substack{\text{между} \\ \text{немного} \\ \text{лучше и} \\ \text{лучше}}} + \underbrace{\frac{r_F}{r_F}}_{\substack{\text{совпадают}}} + \underbrace{\frac{r_C}{r_F}}_{\substack{\text{между} \\ \text{совпадают} \\ \text{и} \\ \text{немного} \\ \text{лучше}}}} =$$

$$= \frac{1}{9 + 5 + 4 + 1 + 2} = \frac{1}{21}.$$

Веса остальных поставщиков:

$$w_B = w_F \cdot \frac{r_B}{r_F} = w_F \cdot 9 = \frac{9}{21}, \quad w_T = w_F \cdot \frac{r_T}{r_F} = w_F \cdot 5 = \frac{5}{21},$$

$$w_S = w_F \cdot \frac{r_S}{r_F} = w_F \cdot 4 = \frac{4}{21}, \quad w_C = w_F \cdot \frac{r_C}{r_F} = w_F \cdot 2 = \frac{2}{21}.$$

(в) Критерий: стоимость оборудования (C). Наихудшая альтернатива: поставщик B . Вес наихудшего поставщика:

$$w_B = \frac{1}{\frac{r_B}{r_B} + \frac{r_T}{r_B} + \frac{r_S}{r_B} + \frac{r_F}{r_B} + \frac{r_C}{r_B}} = \frac{1}{1 + 8 + 9 + 9 + 9} = \frac{1}{36}.$$

Веса остальных поставщиков:

$$w_T = w_B \cdot \frac{r_T}{r_B} = w_B \cdot 8 = \frac{8}{36}, \quad w_S = w_B \cdot \frac{r_S}{r_B} = w_B \cdot 9 = \frac{9}{36},$$

$$w_F = w_B \cdot \frac{r_F}{r_B} = w_B \cdot 8 = \frac{9}{36}, \quad w_C = w_B \cdot \frac{r_C}{r_B} = w_B \cdot 8 = \frac{9}{36}.$$

(с) Критерий: надежность оборудования (R). Наихудшая альтернатива: поставщик F . Вес наилучшего поставщика:

$$w_F = \frac{1}{\frac{r_B}{r_F} + \frac{r_T}{r_F} + \frac{r_S}{r_F} + \frac{r_F}{r_F} + \frac{r_C}{r_F}} = \frac{1}{3+9+8+1+6} = \frac{1}{27}.$$

Веса остальных поставщиков:

$$w_B = w_F \cdot \frac{r_B}{r_F} = w_F \cdot 3 = \frac{3}{27}, \quad w_T = w_F \cdot \frac{r_T}{r_F} = w_F \cdot 8 = \frac{8}{27},$$

$$w_C = w_F \cdot \frac{r_C}{r_F} = w_F \cdot 6 = \frac{6}{27}, \quad w_S = w_F \cdot \frac{r_S}{r_F} = w_F \cdot 8 = \frac{8}{27}.$$

(d) Критерий: долговечность оборудования (P). Наихудшая альтернатива: поставщик C . Вес наилучшего поставщика:

$$w_C = \frac{1}{\frac{r_B}{r_C} + \frac{r_T}{r_C} + \frac{r_S}{r_C} + \frac{r_F}{r_C} + \frac{r_C}{r_C}} = \frac{1}{3+9+5+3+1} = \frac{1}{21}.$$

Веса остальных поставщиков:

$$w_B = w_C \cdot \frac{r_B}{r_C} = w_C \cdot 3 = \frac{3}{21}, \quad w_T = w_C \cdot \frac{r_T}{r_C} = w_C \cdot 9 = \frac{9}{21},$$

$$w_S = w_C \cdot \frac{r_S}{r_C} = w_C \cdot 5 = \frac{5}{21}, \quad w_F = w_C \cdot \frac{r_F}{r_C} = w_C \cdot 3 = \frac{3}{21}.$$

Полученные веса поставщиков оборудования для разных критериев позволяют записать критерии как нечеткие множества, заданные на универсальных множествах поставщиков оборудования:

$$R = \left\{ \frac{0.428}{B}, \frac{0.238}{T}, \frac{0.190}{S}, \frac{0.047}{F}, \frac{0.095}{C} \right\};$$

$$C = \left\{ \frac{0.027}{B}, \frac{0.223}{T}, \frac{0.25}{S}, \frac{0.25}{F}, \frac{0.25}{C} \right\};$$

$$R = \left\{ \frac{0.111}{B}, \frac{0.333}{T}, \frac{0.296}{S}, \frac{0.037}{F}, \frac{0.222}{C} \right\};$$

$$P = \left\{ \frac{0.142}{B}, \frac{0.428}{T}, \frac{0.238}{S}, \frac{0.142}{F}, \frac{0.047}{C} \right\}.$$

Пересечение $D = PF \cap C \cap R \cap P$ образует нечеткое множество

$$D = \left\{ \frac{0.111}{B}, \frac{0.222}{T}, \frac{0.190}{S}, \frac{0.047}{F}, \frac{0.047}{C} \right\},$$

содержащее степени принадлежности поставщиков к оптимальному решению. Отсюда видно, что рейтинг поставщиков оборудования выглядит так: первое место – поставщик T ; второе – поставщик S ; третье – поставщик B ; четвертое и пятое – поставщики F и C .

Таким образом предложен метод многокритериального выбора поставщиков оборудования и запасных частей в условиях неопределенности. Основу метода составляют принцип перечисления нечетких критериев Беллмана-Заде и 9-бальная шкала Саати. Новизна метода состоит в том, что он не требует трудоемких процедур, связанных с построением и обработкой матрицы парных сравнений. Вместо этого используются специальные соотношения, основанные на сравнении с наихудшей альтернативой и наименее важным критерием. Метод может быть рекомендован также для использования в информационных системах технического менеджмента судоходных компаний.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Хубка В. Теория технических систем: Пер. с нем. - М.: Мир, 1987 - 208 с.
2. Bellman R.E., Zadeh L.A. Decision-Making in Fuzzy Environment // Management Science. – 1970. - Vol. 17. – №4. – Р. 141 – 160.
3. Саати Т. Математические модели конфликтных ситуаций. - М.: Сов. радио. - 1977. - 304 с.
4. Борисов А.Н., Крумберг О.А., Федоров И.П. Принятие решений на основе нечетких моделей: примеры использования. – Рига: Зинатне, 1990. – 184 с.
5. Саати Т., Кернс К. Аналитическое планирование. Организация систем. - М.: Радио и связь, 1991. - 224 с.
6. Rotshtein A.P. Modification of the Saaty Method for the Construction of Fuzzy Set Membership Functions, Proc. Int. Conf. on Fuzzy Logic and Its Application, Zichron Yakov, Israel, 1997.
7. Ротштейн А.П., Штовба С.Д. Нечеткий многокритериальный анализ вариантов с применением парных сравнений // Известия РАН. Теория и системы управления. – 2001. – №3. – С. 150 – 154.
8. Нечипоренко В.И. Структурный анализ систем: надежность и эффективность. - М.: Сов. радио, 1977. - 214 с.