DOI: 10.12737/4534
УДК 519.816: 519.876.3

МЕТОД НЕЧЁТКОЙ МНОГОКРИТЕРИАЛЬНОЙ ПОДДЕРЖКИ ПРИНЯТИЯ РЕШЕНИЙ В СЕТЕВОМ ПЛАНИРОВАНИИ

аспирант кафедры экономики и финансов **Ф. Д. Сатторов**
ФГБОУ ВПО «Воронежская государственная лесотехническая академия»
firedandy@gmail.com

Введение

Актуальность разработки метода многокритериального принятия решений (принятия оптимального решения) в планировании стоимости, рисков и сроков работ становится важным, когда требуется решать задачи планирования в условиях неопределённости. Одно дело, когда планирование связано с неопределённостью в некоторой, достаточно устойчивой статистической информативности. В таких случаях решения находятся методами теории вероятности и математической статистики. В условиях неопределенности, когда нет статистической устойчивой информации о планируемом объекте, в частности, в сетевом планировании проектов, когда исходную информацию для планирования можно получить экспертным путём или ответственными исполнителями работ по проекту [4]. В таких случаях говорят о неопределённости нечёткого характера. Другими словами, параметры (стоимость, риск, продолжительность работ) сетевого плана представлены в виде нечётких (размытых) величин.

Современные методы многокритериальной оптимизации (принятия решений при многих критериях) можно классифицировать по двум большим классам: количественные методы многокритериальной оптимизации и качественные методы многокритериальной оптимизации. Методы многокритериальной оценки выбора оптимальных альтернатив широко применяются на практике.

Качественные методы многокритериальной оптимизации основаны на теории нечётких множеств и впервые рассмотрены Р. Беллманом и Л. Заде. По Беллману и Заде, принятие решений (выбор оптимального нечёткого гарантированного результата) в условиях нечёткости цели и нечётких ограничений имеет следующий формализованный вид [3]

$$D = G \cap C, \qquad (1)$$

где D – множество решений,

G – нечёткая целевая функция,

C – нечёткое ограничение.

Функция принадлежности множества решений (достижение нечёткой оптимальной цели) D определяется по следующей формуле

$$\mu_D(x) = min\left(\mu_G(x), \mu_C(x)\right), x \in X; \qquad (2)$$

Для максимизации функции принадлежности решения следует выбрать наибольшие значения из функции принадлежности $\mu_D(x)$ по следующей формуле

$$max\mu_D(x) = max\,min\left(\mu_G(x), \mu_C(x)\right), x \in X; \qquad (3)$$

Если имеется k-ое количество целей

(критерий) (G_k) и m ограничений (C_m), Беллман и Заде предлагают следующую модель принятия решений

$$D = G_1 \cap G_2 \cap ... \cap G_k \cap C_1 \cap C_2 \cap ... \cap C_m; \quad (4)$$

и соответственно для максимизации решения имеем следующую формулу

$$\mu_D(x) = max\,min\begin{pmatrix} \mu_{G_1}(x),...,\mu_{G_k}(x), \\ \mu_{C_1}(x),...,\mu_{C_m}(x) \end{pmatrix}; \quad (5)$$

В случае, когда множество нечётких целей и ограничений имеют соответствующие весовые коэффициенты w_j и v_q, где предполагается, что $\sum_j w_j = 1$ и $\sum_q v_q = 1$, тогда оптимальные решения можно получить по следующей формуле

$$\mu_D(x) = max\,min\begin{pmatrix} w_1\mu_{G_1}(x),...,w_k\mu_{G_k}(x), \\ v_1\mu_{C_1}(x),...,v_m\mu_{C_m}(x) \end{pmatrix}; \quad (6)$$

или, учитывая весовые коэффициенты

$$\mu_D(x) = max\,min\begin{pmatrix} \left[\mu_{G_1}(x)\right]^{w_1},...,\left[\mu_{G_k}(x)\right]^{w_k}, \\ \left[\mu_{C_1}(x)\right]^{v_1},...,\left[\mu_{C_m}(x)\right]^{v_m} \end{pmatrix}; \quad (7)$$

Хотя предложенный ими подход имеет некую справедливую обоснованность, но в реальных нечётких многокритериальных задачах не дают достаточно эффективных решений и не отражают действительность в полной мере.

Содержание проблемы

Задача составления, в некотором смысле, оптимального плана в сетевом планировании и управлении проектами является определяющим в достижении успеха выполнения проекта.

Если рассматривать такой параметр сетевого плана как продолжительность или осуществимость работ как некую величину (функциональную зависимость), зависящую от неких критерий оценок, тогда задачу планирования отдельно взятого срока работ можно разделить на два этапа. В первом этапе рассматривается критериальная оценка продолжительности работ, а на втором этапе рассматривается непосредственно построение сетевого плана работ и проекта на основе многокритериальной оценки. Учитывая нечёткость (расплывчатость) информации, получаемой экспертным путём, мы сводим задачу к нечёткой многокритериальной оценке продолжительности работ, где множество критериев и продолжительность рассматриваются как нечёткие множества [5].

Поэтому, применение нечёткой логики, методов теории математического программирования и теории принятия решений в оценке параметров сетевого плана (сроков, стоимости), в условиях неопределённости нечёткого характера можно разработать методику, позволяющую решать задачи планирования и управления проектами.

Когда рассматривается множество критериев при оценке некоторого набора альтернатив с учётом ограничений на возможный набор решений, то имеется в виду задача оптимизации при многих критериях.

Обобщённую математическую модель (формальное описание) задачи нечёткого многокритериального принятия решений в оценке параметров сетевого плана (в данном случае возможной продолжительности срока выполнения работ или комплекса операций) представим картежом следующего вида

$\langle F, A, X, C, G, P \rangle$,

где F – содержательное описание проблемы;

A – совокупность нечётких альтернатив (несколько вариантов возможной продолжительности работ), из которых производится выбор для сетевого планирования;

X – совокупность признаков, характеристик (атрибутов, параметров), описывающих нечёткие альтернативы и их отличительные особенности;

C – совокупность нечётких критериев оптимальности (целевые функции) оценки альтернатив, которые выступают источником дополнительной информации для лица, принимающего решения (ЛПР) [3];

G – совокупность условий, ограничивающих область допустимых альтернатив (вариантов) решения задач;

P – индивидуальное предпочтение ЛПР.

Будем характеризовать каждую продолжительность работ как набор альтернатив нечётких чисел A_i или лингвистической переменной вида $A = \{A_1, ..., A_n\}$, а их оценочные значения обозначим переменными из вектора $x_i = (a_{i1}, ..., a_{in})$. Все значения x_i принадлежат множеству допустимых значений X^a, т. е. $x_i \in X^a \subseteq X_1 \times ... \times X_n$. Множество нечётких критериев оптимальности будем обозначать C_j, а их соответствующие функции принадлежности обозначим: $\mu_{C_j}(x_i)$, где $j = 1,...,3;$, т. е. будем рассматривать три нечётких (расплывчатых) критерия:

5. C_1 – сложность работы;

6. C_2 – опытность исполнителя;

7. C_3 – обеспеченность инструментами;

Заметим, что каждый из критериев может представлять собой как простое нечёткое число C_1, так и лингвистическую переменную, т. е. $C_j = \{C_{jL}, C_{jM}, C_{jH},\}$, где буквы L, M и H – характеризуют понятия «низкая», «средняя» и «высокая» соответственно j – го критерия, где в нашем случае *j=1,..3*.

Множество альтернатив продолжительности сроков *i*-ой работы состоит из элементов лингвистической переменной типа $A_i = \{A_1, A_2, A_3,\}$, каждый элемент из A_i представляет собой нечёткое число: *«примерно 3 или 5 дней», «около 2-х дней»* и т.п. Функция принадлежности для возможностной продолжительности срока работ представим следующим образом (рис. 1, а и б):

$$\mu_{A_i}(t; a,b,c,d) = \begin{cases} 1, \text{ если } b \le t \le c, \\ \dfrac{t-a}{b-a}, \text{ если } a \le t < b, \\ \dfrac{d-t}{d-c}, \text{ если } c \le t \le d, \\ 0, \text{ в других случаях.} \end{cases}, \quad (8)$$

где t – область определения срока работ;

a,b,c,d,e – некоторые отрезки на области t.

График этой функции будет иметь трапецеидальный или треугольный виды функции принадлежности класса LR (трапецеидальная) или T (треугольная):

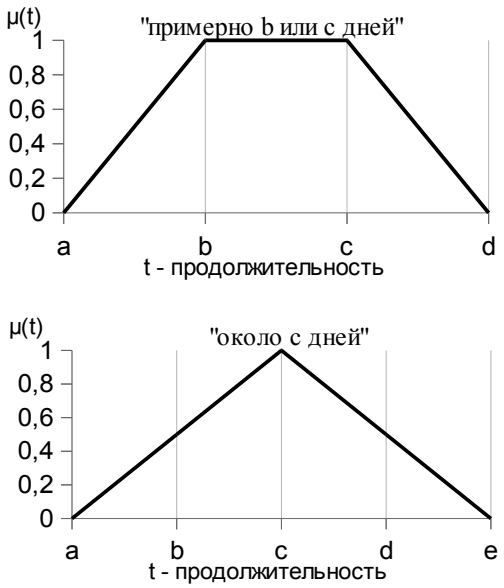

Рис. 1. Графики функции класса для характеристики степени истинности продолжительности работ

Данные функции характеризуют степень истинности продолжительности работы, заданной экспертами и подвергаемой критериальному анализу. Напомним, что в условиях неопределённости вероятностно-статистического характера эти функции имели бы форму функции гауссовского распределения.

Принятие решений для определения оптимальной области $\mu(t)$ с учётом нечёткого многокритериального анализа составляет нашу задачу. На практике значения a, b, c, d и e первоначально задаются ответственными исполнителями или экспертами для каждой работы, а потом в соответствии с нечёткой критериальной оценкой аппроксимируются в нечёткую критериальную модель.

Вначале для каждого критерия из множества $C_j = \{C_1, C_2, C_3\}$ определим соответствующие функции принадлежности для их лингвистических термов $\mu_{C_j}(X) \in [0,1]$, $\mu_{C_{jM}}(X) \in [0,1]$ и $\mu_{C_{jH}}(X) \in [0,1]$, которые определены на множестве своих областей определения $X \subseteq X_1 \times X_2 \times X_3;$, $j = 1,...,4$.

Перечислим некоторые функции принадлежности, которые будем использовать:

•трапецеидальная функция класса L:

$$\mu_C(x;a,b) = \left\{ \begin{array}{c} 1,\ если\ x \le a, \\ \dfrac{b-x}{b-a},\ a < x < b, \\ 0,\ если\ x \ge b. \end{array} \right\} \quad (9)$$

•функция класса R:

$$\mu_C(x;a,b) = \left\{ \begin{array}{c} 0,\ если\ x < a, \\ \dfrac{x-a}{b-a},\ если\ a \le x \le b, \\ 1,\ если\ x > b. \end{array} \right\} \quad (10)$$

•треугольная функция класса T:

$$\mu_C(x;a,b,c) = \left\{ \begin{array}{c} 0,\ если\ x < a \\ \dfrac{x-a}{b-a},\ если\ a \le x \le b, \\ \dfrac{c-x}{c-b},\ если\ b < x \le c, \\ 0,\ если\ x > c \end{array} \right\} \quad (11)$$

Графики этих функции принадлежности на декартовой координате имеют вид (рис. 2).

В многокритериальной оптимизации можно определить степень влияния как частных (отдельных) критериев на целевые альтернативы, так и агрегированную оценку всех частных критериев на альтернативы методом свёртки частных критериев.

Существуют методы нечёткой многокритериальной оптимизации, основан-

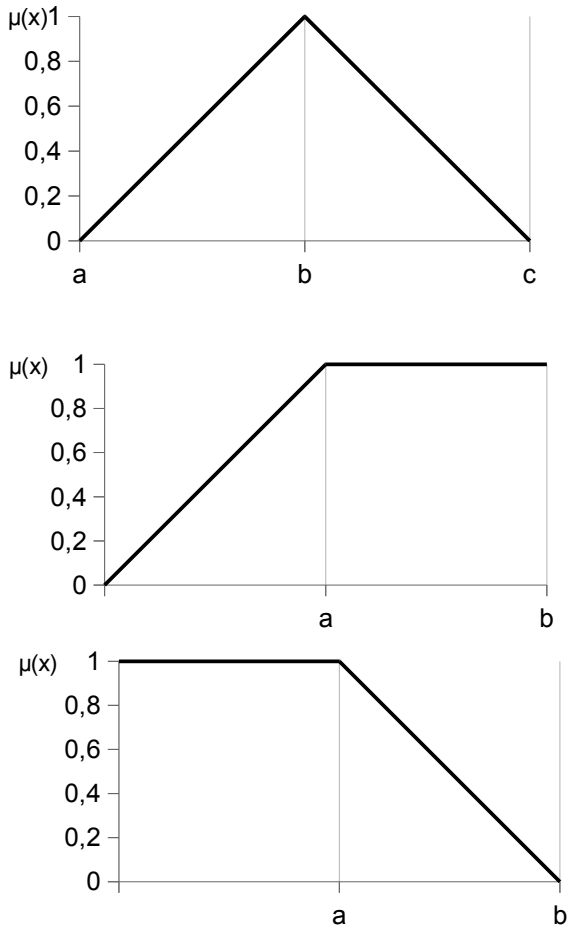

Рис. 2. Графики соответствующих функций принадлежности для нечётких критериев

ные на механизме свёртки критериев, т. е. агрегация показателей степени эффективности частных критериев $\mu_{C_1}(x), \mu_{C_2}(x), ..., \mu_{C_n}(x)$ в один общий глобальный

$$\mu_R(y) = F\left(\mu_{C_1}(x), \mu_{C_2}(x), ..., \mu_{C_n}(x)\right). \quad (12)$$

В научной литературе встречаются и другие способы агрегации частных критериев в один глобальный в нотации обычных (чётких) чисел. Чтобы не повториться, мы сразу описали их в нотации нечётких множеств с функцией $\mu(x)$. При этом операция агрегирования (свёртки) нечётких критериев осуществляют аддитивным способом, который характеризует принцип *равномерной оптимизации,* имеет вид

$$\mu_R(y) = \sum_{j=1}^{m} \mu_{C_j}(x) \quad (13)$$

и мультипликативным способом свёртки частных нечётких критериев в виде произведения, которое характеризует принцип *справедливого компромисса*

$$\mu_R(y) = \prod_{j=1}^{m} \mu_{C_j}(x). \quad (14)$$

Для взвешенных частных нечётких критериев с весами w_j ◆0 получим, соответственно

$$\mu_R(y) = \sum_{j=1}^{m} \mu_{C_j}(x)\, w_j, \quad (15)$$

$$\mu_R(y) = \prod_{j=1}^{m} \mu_{C_j}(x)\, w_j. \quad (16)$$

Продолжительность $t_i \in T$ времени работ можно охарактеризовать следующими лингвистическими переменными [6]:

- продолжительность как нечёткое число: «*не более 7 дней*», «*менее 10 дней*», «*примерно 3 дня*»;
- продолжительность как множество интервальных значений типа *«примерно 3 или 4 дня»:*

$$\mu_A(t) = \left\{ \frac{0}{t_1 = 1}, \frac{0{,}5}{t_2 = 2}, \frac{1}{t_3 = 3}, \frac{1}{t_4 = 4}, \frac{0{,}5}{t_5 = 5}, \frac{0}{t_6 = 6} \right\}$$

Для решения такого рода задач нами предлагается метод нечёткой многокритериальной оценки параметра сетевого плана (продолжительности работ и проекта), которые представлены множеством альтернатив. Метод основан на нечётком систем-

ном подходе в виде нечёткой модели, т. е. в качестве входных параметров нечёткой модели выступают значения из области определения $x_j \in X$ и значения критериальных оценок, определённые на области X, т. е. $\mu_{C_j}(X)$, вычисления происходят по базам правил, результирующая функция принадлежности представляет возможность характеристики продолжительности работы [7]. Общая схема метода представлена на следующей диаграмме (рис. 3).

Метод решения

Шаг первый. Необходимо определить функции принадлежности каждог частного нечёткого критерия из множества $C_4 = \{C_1, C_2, C_3\}$ на множестве чётких областей определения. Иначе говоря, нужно составить нечёткие множества критериев $\mu_{C_j}(X)$, $\mu_{C_{jM}}(X)$ и $\mu_{C_{jH}}(X)$ из множества C_j в соответствующих областях определений $X \subseteq X_1 \times X_2 \times X_3$, где $X \to \mu_{C_j} \in [0,1]$, $X \to \mu_{C_{jM}} \in [0,1]$ и $X \to \mu_{C_{jH}} \in [0,1]$;

Шаг второй. Построить функцию принадлежности в соответствии с лингвистической переменной, характеризующую продолжительность работы. Термами лингвистической переменной могут быть множества $A = \{A_1, A_2, A_3\}$, где A_1 – «до 2 дней», A_2 – «от 3 до 4 дней», A_3 – «от 5 дней».

Шаг третий. Составление базы правил в соответствии с логическим принципом вывода следующего типа

$$R_i\text{: } ЕСЛИ\left(x_1 = C_1 \ И \ x_2 = C_2 \ И \ x_3 = C_3\right) \ ТО\left(\mu_A = A_j\right), \quad (17)$$

где $i = 1...n$, $j = 1...m$,

R_i – i – ое правило,

C_1, C_2, C_3 – критерии оценки альтернатив, которые представлены лингвистическими переменными

$C_1 = \{C_{1L}, C_{1M}, C_{1H},\}$, $C_2 = \{C_{2L}, C_{2M}, C_{2H},\}$, $C_3 = \{C_{3L}, C_{3M}, C_{3H},\}$,

A_j – нечёткий терм, элементами которого являются нечёткие числа j – го вида и которые характеризуют нечёткую продолжительность работ.

Шаг четвёртый. Выполнение операции денацификации, т. е. определение ожидаемого среднего значения возможной продолжительности работы, которая представляет собой центроид вида

$$\tilde{D}_{сред.} = \frac{\int t\mu_{res}(t)\,dt}{\int \mu_{res}(t)\,dt}. \quad (18)$$

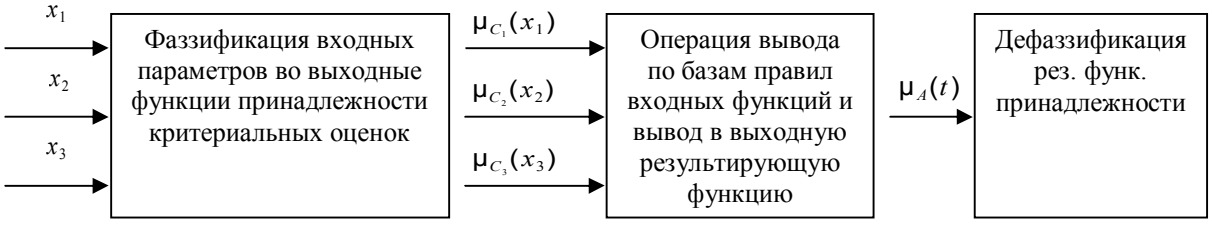

Рис. 3. Нечёткая модель для многоканальной оптимизации целевой функции $\mu_A(t)$

Иллюстративный пример

Рассмотрим множество критериев оценки продолжительности срока выполнения комплекса работ (операций), которые получены методом экспертных оценок или заданы ответственными исполнителями работ [1].

Определим функции принадлежности для каждого критерия из множества C и занесём результаты вычисления в табл. 1.

Таблица для анализируемой функции принадлежности степени возможностной продолжительности работы (табл. 2), где альтернативы представлены в виде множества $A = \{A_1, A_2, A_3\}$, где A_1 – «до 2 дней», A_2 – «от 3 до 4 дней», A_3 – «от 5 дней» (рис. 4).

Построим несколько баз правил логического вывода в виде табл. 3 для данного примера.

Таблица 1

Результаты вычисления критериальных оценок

Критерии степени сложности работы $\mu_{C_1}(x_1)$												
x_1	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	Количество ресурса
$\mu_{C_1 L}$	1	1	0,66	0,33	0	0	0	0	0	0	0	Низкая сложность
$\mu_{C_1 M}$	0	0	0	0,33	0,66	1	0,66	0,33	0	0	0	Средняя сложность
$\mu_{C_1 H}$	0	0	0	0	0	0	0	0,33	0,66	1	1	Высокая сложность
Критерии степени опытности исполнителя $\mu_{C_2}(x_2)$												
x_2	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	Количество лет опыта
$\mu_{C_2 L}$	1	1	0,5	0,25	0	0	0	0	0	0	0	Неопытный
$\mu_{C_2 M}$	0	0	0,25	0,5	1	1	0,5	0,25	0	0	0	Опытный
$\mu_{C_2 H}$	0	0	0	0	0	0	0	025	0,5	1	1	Очень опытный
Критерии уровня обеспеченности инструментами $\mu_{C_3}(x_3)$												
x_3	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	Количество инструментария
$\mu_{C_3 L}$	1	0,75	0,5	0,25	0	0	0	0	0	0	0	Низкая обеспеченность
$\mu_{C_3 M}$	0	0	0,25	0,5	0,75	1	0,75	0,5	0,25	0	0	Достаточная обеспеченность
$\mu_{C_3 H}$							0	0,25	0,5	0,75	1	Высокая обеспеченность

Таблица 2

Функции принадлежности возможностной продолжительности работы

Функции принадлежности степени возможностной продолжительности работы $\mu_A(t)$									
t	0	1	2	3	4	5	6	7	В днях
A_1	1	1	1	0,25	0	0	0	0	«до 2 дней»
A_2	0,25	0,5	0,75	1	1	0,75	0,5	0,25	«от 3 до 4 дней»
A_3	0	0	0	0,25	0,5	0,75	1	1	«от 5 дней»

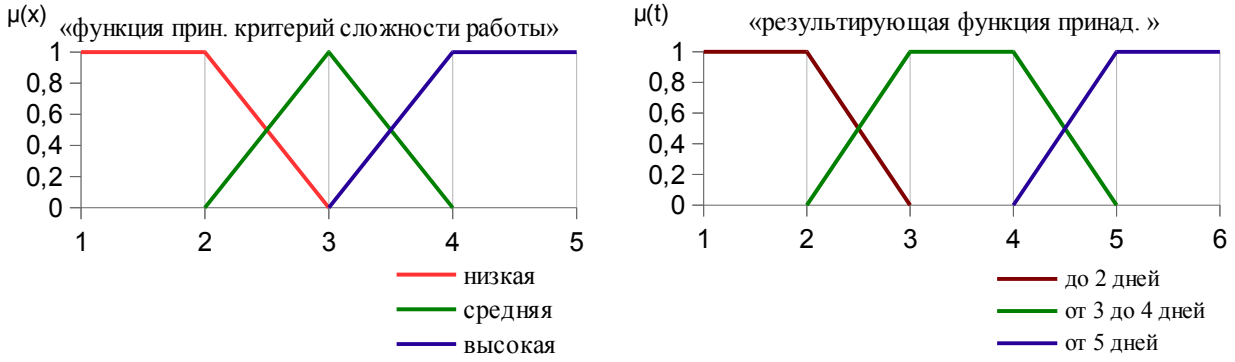

Рис. 4. Функция принадлежности сложности и возможностной продолжительности работы

Таблица 3

Таблица баз правил для вычисления логического вывода

Правило	Условие	$\mu_{C_1}(x_1)$ – сложность работы	$\wedge$ – логическое произведение	$\mu_{C_2}(x_2)$ – опытность исполнителя работы	$\wedge$ - логическое произведение	$\mu_{C_3}(x_3)$ – обеспеченность инструментами	Вывод	$\mu_A(t)$ – возможная продолжительность «от 3 до 4 дней»
R_1	если	«низкая»	и	«низкая»	и	«низкая»	то	«от 5 дней»
R_2	если	«средняя»	и	«средняя»	и	«средняя»	то	«от 3 до 4 дней»
R_3	если	«высокая»	и	«высокая»	и	«высокая»	то	«до 2 дней»
R_4	если	«низкая»	и	«низкая»	и	«средняя»	то	«от 3 до 4 дней»
R_5	если	«низкая»	и	«низкая»	и	«высокая»	то	«от 3 до 4 дней»
R_6	если	«средняя»	и	«низкая»	и	«низкая»	то	«от 5 дней»
R_7	если	«низкая»	и	«высокая»	и	«высокая»	то	«до 2 дней»
R_8	если	«высокая»	и	«низкая»	и	«низкая»	то	«от 5 дней»
R_9	если	«высокая»	и	«средняя»	и	«средняя»	то	«от 3 до 4 дней»

Пусть в качестве входного значения из количества ресурсов выберем значение, равное 5, количество лет стажа исполнителя работ, равное 4 и имеется 5 единиц инструментов для выполнения работы.

Операцию фаззификации оформим в виде таблиц (табл. 4, 5 и 6), в случае, когда значения критериев соответствуют правилу R_2 из таблицы базы правил (табл. 3), следовательно, получем

$R_2 : C_{1L}(x_1) \wedge A_1(t)$.

Таблица 4

Таблица отношений критерия $C_{1L}(x_1)$ и степени продолжительности $A_1(t)$

$x_1 \setminus t$	0	1	2	3	4	5	6	7
0	0	0	0	0	0	0	0	0
1	0	0	0	0	0	0	0	0
2	0	0	0	0	0	0	0	0
3	0,25	0,33	0,33	0,33	0,33	0,33	0,33	0,25
4	0,25	0,5	0,66	0,66	0,66	0,66	0,5	0,25
5	0,25	0,5	0,75	1	1	0,75	0,5	0,25
6	0,25	0,5	0,66	0,66	0,66	0,66	0,5	0,25
7	0,25	0,33	0,33	0,33	0,33	0,33	0,33	
8	0	0	0	0	0	0	0	0
9	0	0	0	0	0	0	0	0
10	0	0	0	0	0	0	0	0

$R_2 : C_{2L}(x_2) \wedge A_1(t)$

Таблица 5

Таблица отношений критерия $C_{2L}(x_2)$ и степени продолжительности $A_1(t)$

$x_2 \setminus t$	0	1	2	3	4	5	6	7
0	0	0	0	0	0	0	0	0
1	0	0	0	0	0	0	0	0
2	0,25	0,25	0,25	0,25	0,25	0,25	0,25	0,25
3	0,25	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,25
4	0,25	0,5	0,75	1	1	0,75	0,5	0,25
5	0,25	0,5	0,75	1	1	0,75	0,5	0,25
6	0,25	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,25
7	0,25	0,25	0,25	0,25	0,25	0,25	0,25	0,25
8	0	0	0	0	0	0	0	0
9	0	0	0	0	0	0	0	0
10	0	0	0	0	0	0	0	0

$R_2 : C_{3L}(x_3) \wedge A_1(t)$

Таблица 6

Таблица отношений критерия $C_{3L}(x_3)$ и степени продолжительности $A_1(t)$

$x_3 \setminus t$	0	1	2	3	4	5	6	7
0	0	0	0	0	0	0	0	0
1	0	0	0	0	0	0	0	0
2	0,25	0,25	0,25	0,25	0,25	0,25	0,25	0,25
3	0,25	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,25
4	0,25	0,5	0,75	0,75	0,75	0,75	0,5	0,25
5	0,25	0,5	0,75	1	1	0,75	0,5	0,25
6	0,25	0,5	0,75	0,75	0,75	0,75	0,5	0,25
7	0,25	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,25
8	0,25	0,25	0,25	0,25	0,25	0,25	0,25	0,25
9	0	0	0	0	0	0	0	0
10	0	0	0	0	0	0	0	0

Выделенные строки на табл. 4, 5 и 6 отражают результат фаззификации входных параметров x_1, x_2 и x_3, которые дают в результате нечёткие функции:

$$\mu(x_1 = 5) = \left\{ \frac{0,25}{0}, \frac{0,5}{1}, \frac{0,75}{2}, \frac{1}{3}, \frac{1}{4}, \frac{0,75}{5}, \frac{0,5}{6}, \frac{0,25}{7} \right\} \quad (19)$$

$$\mu(x_2 = 4) = \left\{ \frac{0,25}{0}, \frac{0,5}{1}, \frac{0,75}{2}, \frac{1}{3}, \frac{1}{4}, \frac{0,75}{5}, \frac{0,5}{6}, \frac{0,25}{7} \right\} \quad (20)$$

$$\mu(x_3 = 5) = \left\{ \frac{0,25}{0}, \frac{0,5}{1}, \frac{0,75}{2}, \frac{1}{3}, \frac{1}{4}, \frac{0,75}{5}, \frac{0,5}{6}, \frac{0,25}{7} \right\} \quad (21)$$

Результат операции вывода отображен в функции принадлежности $\mu_{res}(t)$

$$\mu_{res1}(t) = MIN(\mu(x_1 = 5), \mu(x_2 = 4), \mu(x_3 = 5)) = \left\{ \frac{0,25}{0}, \frac{0,5}{1}, \frac{0,75}{2}, \frac{1}{3}, \frac{1}{4}, \frac{0,75}{5}, \frac{0,5}{6}, \frac{0,25}{7} \right\} \quad (22)$$

В случае, когда входные параметры имеют другие значения, скажем $x_1 = 3, x_2 = 6 и x_3 = 7$, тогда результатом операция фаззификации будут нечёткие критерии следующего вида

$$\mu(x_1 = 3) = \left\{ \frac{0,25}{0}, \frac{0,33}{1}, \frac{0,33}{2}, \frac{0,33}{3}, \frac{0,33}{4}, \frac{0,33}{5}, \frac{0,33}{6}, \frac{0,25}{7} \right\} \quad (23)$$

$$\mu(x_2 = 6) = \left\{ \frac{0,25}{0}, \frac{0,5}{1}, \frac{0,5}{2}, \frac{0,5}{3}, \frac{0,5}{4}, \frac{0,5}{5}, \frac{0,5}{6}, \frac{0,25}{7} \right\} \quad (24)$$

$$\mu(x_3 = 7) = \left\{ \frac{0,25}{0}, \frac{0,5}{1}, \frac{0,5}{2}, \frac{0,5}{3}, \frac{0,5}{4}, \frac{0,5}{5}, \frac{0,5}{6}, \frac{0,25}{7} \right\} \quad (25)$$

А результирующая функция принадлежности, характеризующая продолжительность работ, будет иметь следующий вид

$$\mu_{res2}(t) = MIN(\mu(x_1=3), \mu(x_2=6), \mu(x_3=7)) =$$
$$= \left\{ \frac{0{,}25}{0}, \frac{0{,}33}{1}, \frac{0{,}33}{2}, \frac{0{,}33}{3}, \frac{0{,}33}{4}, \frac{0{,}33}{5}, \frac{0{,}33}{6}, \frac{0{,}25}{7} \right\} \quad (26)$$

Средне – максимальное значение при полном наборе можно получить, используя формулу (18). В нашем случае, когда мы рассмотрели только два варианта входных параметров, достаточно найти среднее максимальное значение функции

$$\mu_{res_{MeanMax}}(t) = \left(\frac{0+1+2+3+4+5+6+7}{8} \right) = 3{,}5. \quad (27)$$

Таким образом, полученные целевые функции $\mu_{res1}(t)$ и $\mu_{res2}(t)$ представляют собой критериально обоснованную функцию, характеризующую возможностной продолжительностью срока работы в условиях неопределённости нечёткого характера с учётом «чётких» ограничений при $x_1 = 5, x_2 = 4, x_3 = 5$ и $x_1 = 3, x_2 = 6, x_3 = 7$ соответственно.

Заключение

Важность, наиболее приближенного к действительности, принятия решения в сетевом планировании (сроков работ, предстоящих затрат, ожидаемых рисков) в условиях неопределённости возрастает, когда нет устойчивой статистической информации [2]. В таких случаях применение механизмов нечёткой логики в задачах принятия решения даёт оптимальное, в некотором смысле для ЛПР, решение.

В связи с тем, что многокритериальная оптимизация требует больших вычислительных ресурсов, в примере этой статьи мы рассмотрели задачу принятия решения только с тремя критериями. Но это не значит, что предложенный метод не даёт более реалистичного решения. Когда входные параметры (критерии $\mu_{C_1}, \mu_{C_2}, \mu_{C_3}$) и нечёткая модель, база правил вывода реализованы на ЭВМ, тогда можно получить более элегантные решения нечёткой многокритериальной оптимизации. Но здесь необходимо отметить, что если количество входных параметров в нечёткую модель превышает три или четыре, тогда вычисления и на ЭВМ становятся громоздкими и, возможно, лишаются своей практичности [3].

Необходимо отметить, что, как и другие методы многокритериального анализа, метод, основанный на нечёткой логике, имеет свои достоинства и недостатки.

К достоинствам можно отнести:

- рассматривать проблему на основе системного подхода;
- анализировать параметры на качественном уровне;
- оптимизация целевой функции в условиях неопределённости при отсутствии статистических данных.

К недостаткам можно отнести:

- большой риск в субъективности при создании базы правил;
- большинство практических задач можно эффективно решать, только используя ЭВМ;

Таким образом, предложенный метод можно применить, когда сравниваются альтернативные сроки работ и проекта по некоторым множествам нечётких критериев в условиях, когда нет достаточной статистической информации.

Библиографичкский список

1. Безрукова, Т. Л. Анализ и прогно-

зирование финансово-хозяйственной деятельности предприятий в условиях неопределённости рыночной ситуации [Текст] : монография / Т. Л. Безрукова, А. Н. Соломахин, О. М. Житкова. – М. : Изд-во «Кнорус», 2010. – 184 с.

2. Безрукова, Т. Л. Инновационные решения на мебельных предприятиях: организационное, математическое и инструментальное обеспечение [Текст] : монография / Т. Л. Безрукова, А. Н. Борисов, Т. Л. Свиридов. – Воронеж, 2010. – 190 с.

3. Безрукова, Т. Л. Внедрение системы принятия инновационных решений на мебельном предприятии [Текст] / Т. Л. Безрукова, Т. Л. Свиридов // Финансы. Экономика. Стратегия. Серия «Инновационная экономика: человеческое измерение». – Воронеж, 2010. – № 10. – С. 32-35.

4. Безрукова, Т. Л. Система принятия инновационных IT решений на промышленном предприятии [Текст] / Т. Л. Безрукова, Т. Л. Свиридов // Финансы. Экономика. Стратегия. – Воронеж : изд-во «Финэкономсервис 2000», 2009. – № 6. – С. 19-23.

5. Беллман, Р. Э. Принятие решений в расплывчатых условиях [Текст] / Р. Э. Беллман, Л. А. Заде // Вопросы анализа и процедуры принятия решений ; сборник переводов под ред. И. Ф. Шахнова [и др.]. – М. : Мир, 1976. – С. 173-215.

6. Борисов, А. Н. Принятие решений на основе нечётких моделей: примеры использования [Текст] / А. Н. Борисов, О. А. Крумберг, И. П. Федоров. – Рига : Зинатне, 1990. – 184 с.

7. Пегат, А. Нечёткое моделирование и управление [Текст] / А. Пегат; пер. с англ. – 2-е изд. – М. : БИНОМ. Лаборатория знаний, 2013. – 798 с. : ил. – (Адаптивные и интеллектуальные системы).