

## УДК 519.2

И.В. Кононенко, К.С. Букреева

*Национальный технический университет «Харьковский политехнический институт», Харьков***МЕТОД ФОРМИРОВАНИЯ ПОРТФЕЛЯ ПРОЕКТОВ ПРЕДПРИЯТИЯ  
ДЛЯ ПЛАНОВОГО ПЕРИОДА ПРИ НЕЧЕТКИХ ИСХОДНЫХ ДАННЫХ***Разработаны модель и метод формирования портфеля проектов предприятия для планового периода, которые позволяют учитывать неопределенность исходной информации.***Ключевые слова:** портфель проектов, нечеткие числа, предприятие**Введение**

В 2009–2010 годах авторами И.В. Кононенко и К.С. Букреевой разработан метод оптимизации портфелей проектов предприятия для планового периода [1;2]. Задача, решаемая методом, является многокритериальной задачей динамического программирования с булевыми переменными, с аналитической целевой функцией, аналитическими и алгоритмическими ограничениями. Для ее решения предложено перейти к обобщенной целевой функции и применить метод, относящийся к группе методов неявного перебора.

При дальнейшем анализе задачи формирования портфеля проектов было выявлено, что исходные данные для этой задачи часто характеризуются нечеткостью. Это вызывает необходимость разработки методов решения подобных задач с использованием аппарата нечетких чисел.

**Анализ последних исследований и публикаций**

Применительно к проблеме формирования портфеля проектов с привлечением теории нечетких множеств рассматривают две задачи: определение оценок показателей проекта в виде нечетких чисел и формирование оптимального портфеля проектов на основе полученных нечетких оценок.

Этим задачам посвящена обширная литература. Так, в работе [3] строятся нечеткие финансовые показатели проекта (NPV и IRR). Целый ряд работ посвящен многокритериальным нечетким оценкам проекта [4;5], большое внимание уделяется формированию оценки из многих критериев при помощи нечеткого аналога аналитического иерархического процесса [6]. Методы оптимизации портфеля проектов в условиях нечеткости разбираются в работе [7]. Однако в указанных работах не учитывается фактор влияния

стейкхолдеров. Большим недостатком перечисленных методов является отсутствие возможности сформировать портфель проектов на определенный период времени.

**Цель работы**

Целью работы является разработка метода формирования портфеля проектов предприятия для планового периода, который учитывает нечеткость исходных данных.

**Входные данные при нечеткой постановке задачи**

При формировании портфеля менеджер проекта часто имеет недостаточно статистических данных, которые могут быть использованы для прогнозирования параметров среды и проектов, а привлеченные эксперты не могут дать однозначной оценки, что порождает неопределенность. Поскольку оценивание параметров проектов, а также внешней и внутренней среды в рассматриваемом четком методе [1;2] основано на методе экспертных оценок, применение нечеткого подхода позволяет формализовать суждения экспертов.

Критерии для оценивания проектов в рассматриваемом методе сгруппированы в четыре раздела: миссия, ценности, видение, цели компании; оценивание результатов проекта для развития компании и достижения стратегических целей; оценивание процесса управления каждым проектом (оценивание сложности и выполнимости проекта в конкретной компании); оценивание влияния стейкхолдеров с помощью когнитивных карт. Каждый раздел содержит группы критериев, которым эксперты дают нечеткие оценки.

Нечеткими в рассматриваемой задаче представлены коэффициенты целевой функции,

которая вычисляется как сумма обобщенных нечетких критериев для проектов, входящих в портфели, планируемые к осуществлению в течение планового периода. Неопределенность содержится и в ограничениях математической модели, относящихся к планируемому доходу, ожидаемой прибыли, потребности в инвестиционных ресурсах. Планируемый доход и ожидаемая прибыль от реализации портфеля проектов оцениваются экспертами и проектным менеджером. Полученные оценки в общем случае являются нечеткими и отражают возможные изменения на рынке, а также меру неопределенности знаний специалистов. Потребность в инвестиционных ресурсах определяется с помощью прогнозной информации, которая может быть получена с ограниченной точностью, поэтому это ограничение тоже задается нечетким числом. Входные данные для оптимизации портфеля, которые имеют неопределенные элементы, могут быть представлены нечеткими числами.

Следующие среди предложенных критериев было решено представить с помощью нечетких чисел:

1) привлекательность рынка в среднесрочной и в долгосрочной перспективе (оценивается в баллах от 0 до 10);

2) соответствие организационной структуры для проекта организационной структуре компании (оценивается в баллах от 0 до 10; если организационная структура для проекта полностью совпадает с организационной структурой компании - 10 баллов);

3) производственные возможности (10 баллов, если производственные возможности имеются и соответствуют требованиям);

4) уровень загрузки имеющихся производственных мощностей (при полной загрузке будет равен 10 баллам);

5) согласованность с миссией, ценностями, целями, видением компании (оценивается в баллах от 0 до 10);

6) оценка напряженности графика выполнения основных этапов работ проекта (сильно напряженный график работ оценивается в 0 баллов);

7) оценка влияния стейкхолдеров, степень заинтересованности стейкхолдеров.

Входные данные, определенные нечеткими числами, задаются в виде унимодального нечеткого числа (L - R) - типа. При этом функция принадлежности имеет вид треугольника [8].

Влияние стейкхолдеров на проект рассчитывается следующим образом:

$$I_k = \{I_{1k}, I_k, I_{2k}\} = \left\{ \sum_{r=1}^R f_{1kr} * v_{1kr}, \sum_{r=1}^R f_{kr} * v_{kr}, \sum_{r=1}^R f_{2kr} * v_{2kr} \right\}, \quad (1)$$

где  $V_{kr}$  - степень заинтересованности  $r$  - го стейкхолдера в результатах  $k$  - го проекта (оценивается в баллах (-1;1)), представлена в нечеткой постановке  $V_{kr} = \{v_{1kr}, v_{kr}, v_{2kr}\}$  с  $\mu_{V_{kr}}(v_{kr}) = 1, \mu_{V_{kr}}(v_{1kr}), \mu_{V_{kr}}(v_{2kr}) = 0$ ;  $F_{kr}$  - степень влияния  $r$  - го стейкхолдера на  $k$  - й проект по десятибалльной системе, представлена в нечеткой постановке  $F_{kr} = \{f_{1kr}, f_{kr}, f_{2kr}\}$  с  $\mu_{F_{kr}}(f_{kr}) = 1, \mu_{F_{kr}}(f_{1kr}), \mu_{F_{kr}}(f_{2kr}) = 0$ ; R- количество рассматриваемых стейкхолдеров.

Критерии, которые могут быть четкими:

1) характеристика выбранного сегмента на рынке (мировой рынок - 10 баллов, рынок страны - 7 баллов, региональный - 4 балла, городской, районный - 1 балл);

2) опыт главных менеджеров (если опыт более 10 лет - 10 баллов, 5 -10 лет - 5 баллов, менее 5 лет - 1 балл);

3) опыт компании в подобных проектах (при опыте осуществления более 15 проектов - 10 баллов);

4) нормированные NPV, IRR, PI, срок окупаемости, оценка рисков. Нормирование показателей происходит по формуле:

$$y_k^{norm} = 10 * \frac{y_k - y_{min}}{y_{max} - y_{min}}, \quad (2)$$

где  $y_k$  - значение показателя для  $k$ -го проекта,  $y_{max}, y_{min}$  - максимальное и минимальное значения показателя среди рассматриваемых K - проектов;

5) опыт команды управления проектами (значительный опыт - 10 баллов).

Для преобразования метода оптимизации портфеля проектов в метод с нечеткими исходными данными были использованы операции сложения и умножения нечетких чисел [9]. При сравнении нечетких чисел  $A = \{a_1, a, a_2\}$  и  $B = \{b_1, b, b_2\}$  для каждого нечеткого числа рассчитывался центр масс [10].

### Математическая модель и метод формирования портфеля проектов предприятия

Целевая функция задачи оптимизации портфеля проектов для планового периода [1;2] в нечеткой постановке имеет вид:

$$F' = \{f_1, f, f_2\} \\ = \sum_{t=1}^T \sum_{k=1}^K \{e_{1k} * x_{kt}, e_k * x_{kt}, e_{2k} * x_{kt}\} \rightarrow \max, \quad (3)$$

где  $\mu_F(f) = 1, \mu_F(f_1), \mu_F(f_2) = 0$ ;  $E_k$  – обобщенная оценка  $k$  – го проекта, представленная в нечеткой постановке в виде  $\{e_{1k}, e_k, e_{2k}\}$  с  $\mu_{E_k}(e_k) = 1, \mu_{E_k}(e_{1k}), \mu_{E_k}(e_{2k}) = 0$ ;  $x_{kt}$  – булева переменная,  $x_{kt} \in \{0, 1\}$ . Если  $k$  – й проект начинается в году  $t$ , то  $x_{kt} = 1, x_{kt} = 0$  в противном случае,  $K$  – количество проектов, которые рассматриваются;  $T$  – длительность планового периода.

Для каждого проекта на основе выставленных экспертами оценок рассчитывается обобщенная оценка:

$$E_k = \{e_{1k}, e_k, e_{2k}\} = \left\{ \sum_{i=1}^n \lambda_i e_{1ki}, \sum_{i=1}^n \lambda_i e_{ki}, \sum_{i=1}^n \lambda_i e_{2ki} \right\}, \quad (4)$$

где  $E_{ki}$  – оценка  $k$  – го проекта по  $i$  – му критерию, которая представлена в нечеткой постановке

$$E_{ki} = \{e_{1ki}, e_{ki}, e_{2ki}\}, \text{ с } \\ \mu_{E_{ki}}(e_{ki}) = 1, \mu_{E_{ki}}(e_{1ki}), \mu_{E_{ki}}(e_{2ki}) = 0,$$

$\lambda_i$  – весовой коэффициент  $i$  – го критерия,  $n$  – общее количество критериев, которые рассматриваются.

Введем ограничение, согласно которому проекты в разных вариантах портфелей не могут повторяться в течение планового периода:

$$\sum_{t=1}^T x_{kt} \leq 1, k = \overline{1, K}. \quad (5)$$

Ограничение по прибыли имеет вид:

$$P_{\text{тср}} \leq \sum_{k=1}^K \sum_{t=1}^T p_{kt} * x_{kt}, \tau = \overline{1, T}, \quad (6)$$

где  $P_{\text{тср}} = \frac{p_{\tau 1} + p_{\tau} + p_{\tau 2}}{3}$ ;  $P_{\tau}$  – плановая прибыль от реализации проектов в году  $\tau$ , представленная экспертами в нечеткой постановке  $P_{\tau} = \{p_{\tau 1}, p_{\tau}, p_{\tau 2}\}$ , с  $\mu_{P_{\tau}}(p) = 1, \mu_{P_{\tau}}(p_1), \mu_{P_{\tau}}(p_2) = 0$ , а параметр  $p_{kt}$  – планируемая прибыль от реализации  $k$ –го проекта в году  $\tau$ , если проект начат в году  $t$ , определен четкими числами, поскольку проекты представлены

с финансовым обоснованием,  $T_{\tau}$  – длительность расчетного периода.

Ограничение по доходу будет таким:

$$D_{\text{тср}} \leq \sum_{k=1}^K \sum_{t=1}^T d_{kt} * x_{kt}, \tau = \overline{1, T}, \quad (7)$$

где  $D_{\text{тср}} = \frac{d_{\tau 1} + d_{\tau} + d_{\tau 2}}{3}$ ,  $D_{\tau}$  – плановый доход от реализации проектов в году  $\tau$  представленный экспертами в нечеткой постановке  $D_{\tau} = \{d_{\tau 1}, d_{\tau}, d_{\tau 2}\}$ , с  $\mu_{D_{\tau}}(d) = 1, \mu_{D_{\tau}}(d_1), \mu_{D_{\tau}}(d_2) = 0$  параметр  $d_{kt}$  – планируемый доход от реализации  $k$ –го проекта в году  $\tau$ , если проект начат в году  $t$ , определен четким числом.

Ограничение по инвестиционным ресурсам будет следующим:

$$S_{\text{тср}} \leq \sum_{k=1}^K \sum_{t=1}^T s_{kt} * x_{kt}, \tau = \overline{1, T}, \quad (8)$$

где  $S_{\text{тср}} = \frac{s_{\tau 1} + s_{\tau} + s_{\tau 2}}{3}$ ,  $S_{\tau}$  – собственные инвестиционные ресурсы и возможные кредитные ресурсы компании в году  $\tau$ , представленные экспертами в нечеткой постановке  $S_{\tau} = \{s_{\tau 1}, s_{\tau}, s_{\tau 2}\}$ , с  $\mu_{S_{\tau}}(s) = 1, \mu_{S_{\tau}}(s_1), \mu_{S_{\tau}}(s_2) = 0$ , а параметр  $s_{kt}$  – средства, необходимые для осуществления  $k$ –го проекта в году  $\tau$ , если проект начат в году  $t$ , определен четким числом.

Для решения задачи (3) – (8) с помощью метода неявного перебора, введем булевы переменные  $z_{vt}, z_{vt} \in \{0, 1\}, z_{vt} = 1$ , если  $v$  – ый вариант портфеля, в который входит некоторое сочетание проектов, т.е.  $x_t = (x_{1t}, x_{2t} \dots x_{Kt})$ ,  $x_{kt} \in \{0, 1\}, k = \overline{1, K}$ , принимается для начала осуществления в году  $t$ ,  $z_{vt} = 0$  в противном случае.

Обобщенная оценка  $v$  – го варианта портфеля в году  $t$  может быть вычислена следующим образом:

$$C_{vt} = \{c_{1vt}, c_{vt}, c_{2vt}\} = \\ = \left\{ \sum_{i=1}^K e_{ik} * x_{kt}, \sum_{i=1}^K e_k * x_{kt}, \sum_{i=1}^K e_{2k} * x_{kt} \right\}, \quad (9)$$

где  $x_{kt} = 1$ , если  $k$ –й проект начат в году  $t$ ,  $x_{kt} = 0$  в противном случае, каждому  $k$  – му проекту дается обобщенная оценка  $E_k, t = \overline{1, T}$ .

Целевая функция задачи формирования портфелей проектов для  $T$  лет планового периода примет вид:

$$F = \{f_1, f, f_2\} = \left\{ \sum_{t=1}^T \sum_{v=1}^V c_{1vt} * z_{vt}, \sum_{t=1}^T \sum_{v=1}^V c_{vt} * z_{vt}, \sum_{t=1}^T \sum_{v=1}^V c_{2vt} * z_{vt} \right\} \quad (10)$$

с  $\mu_F(f) = 1, \mu_F(f_1), \mu_F(f_2) = 0$ .

Ограничения задачи могут быть представлены следующим образом:

Ограничение по прибыли:

$$P_{\tau cp} \leq \sum_{v=1}^V \sum_{t=1}^T p_{v\tau t} * z_{vt}, \tau = \overline{1, T_r}, \quad (11)$$

где  $P_{\tau cp} = \frac{p_{\tau 1} + p_{\tau} + p_{\tau 2}}{3}$ ,  $P_{\tau}$  – планируемая прибыль в году  $\tau$ , представленная экспертами в нечеткой постановке  $P_{\tau} = \{p_{\tau 1}, p_{\tau}, p_{\tau 2}\}$ , с  $\mu_{P_{\tau}}(p_{\tau}) = 1, \mu_{P_{\tau}}(p_{\tau 1}), \mu_{P_{\tau}}(p_{\tau 2}) = 0$   $p_{v\tau t}$  – планируемая прибыль от реализации  $v$ -го варианта портфеля в году  $\tau$ , если работы по проектам портфеля начаты в году  $t$ . Значение  $p_{v\tau t}$  задается четким числом, поскольку проекты представлены с финансовым обоснованием,  $p_{v\tau t}$  примет вид:

$$p_{v\tau t} = \sum_{k=1}^K p_{k\tau t} * x_{kt}, \tau = \overline{1, T_r}. \quad (12)$$

Ограничение по доходу,

$$D_{\tau cp} \leq \sum_{v=1}^V \sum_{t=1}^T d_{v\tau t} * z_{vt}, \tau = \overline{1, T_r}, \quad (13)$$

где  $D_{\tau cp} = \frac{d_{\tau 1} + d_{\tau} + d_{\tau 2}}{3}$ ,  $D_{\tau}$  планируемый доход в году  $\tau$ , представленный экспертами в нечеткой постановке  $D_{\tau} = \{d_{\tau 1}, d_{\tau}, d_{\tau 2}\}$ , с  $\mu_{D_{\tau}}(d_{\tau}) = 1, \mu_{D_{\tau}}(d_{\tau 1}), \mu_{D_{\tau}}(d_{\tau 2}) = 0$ , а  $d_{v\tau t}$  определено четким числом и представлено формулой:

$$d_{v\tau t} = \sum_{k=1}^K d_{k\tau t} * x_{kt}, \tau = \overline{1, T_r}. \quad (14)$$

Ограничение по инвестиционным ресурсам

$$S_{\tau cp} \leq \sum_{v=1}^V \sum_{t=1}^T s_{v\tau t} * z_{vt}, \tau = \overline{1, T_r}, \quad (15)$$

где  $S_{\tau cp} = \frac{s_{\tau 1} + s_{\tau} + s_{\tau 2}}{3}$ ,  $S_{\tau}$  – собственные инвестиционные ресурсы и возможные кредитные ресурсы компании в году  $\tau$  представленные экспертами в нечеткой постановке  $S_{\tau} = \{s_{\tau 1}, s_{\tau}, s_{\tau 2}\}$ , с  $\mu_{S_{\tau}}(s_{\tau}) = 1, \mu_{S_{\tau}}(s_{\tau 1}), \mu_{S_{\tau}}(s_{\tau 2}) = 0$  а  $s_{v\tau t}$  определено четким числом по формуле:

$$s_{v\tau t} = \sum_{k=1}^K s_{k\tau t} * x_{kt}, \tau = \overline{1, T_r}. \quad (16)$$

В одном году можно начать не более одного варианта портфеля

$$\sum_{v=1}^V z_{v\tau t} \leq 1, t = \overline{1, T}. \quad (17)$$

Проекты в разных вариантах портфелей не могут повторяться в течение планового периода:

$$\sum_{t=1}^T x_{kt} \leq 1, k = \overline{1, K}. \quad (18)$$

Для задачи (10; 11; 13; 15; 17; 18) разработан метод решения, который представлен в виде последовательности шагов.

1. Для рассмотрения берем первый год  $t := 1$ ; величина  $F^*$  определяет рекордное значение целевой функции, представленное в нечеткой постановке  $F^* = \{f_1^*, f^*, f_2^*\}$ , с

$\mu_{F^*}(f^*) = 1, \mu_{F^*}(f_1^*), \mu_{F^*}(f_2^*) = 0$ , начальное значение представлено четким числом в виде  $F^* := \{0, 0, 0\}$ ;

2. Принимаем  $j_t := 1$ . Где  $j_t$  – номер варианта портфеля, принятого в году  $t$ .

3. Проверяем выполнение ограничений (11) - (18) в году  $t$ . Если ограничения не выполняются, переходим к шагу 7.

4. Определим значение целевой функции для частичного решения:

$$F = \{f_1, f, f_2\} = \left\{ \sum_{r=1}^t c_{1j_r} * z_{v_r}, \sum_{r=1}^t c_{j_r} * z_{v_r}, \sum_{r=1}^t c_{2j_r} * z_{v_r} \right\} \quad (19)$$

$$c \mu_F(f) = 1, \mu_F(f_1) = 0, \mu_F(f_2) = 0.$$

Найдем верхнюю границу для целевой функции для продолжения частичного решения  $f'$ .

$$F' = \{f'_1, f', f'_2\} = \left\{ \sum_{r=1}^t c'_{1j_r} * z_{v_r}, \sum_{r=1}^t c'_{j_r} * z_{v_r}, \sum_{r=1}^t c'_{2j_r} * z_{v_r} \right\}, \quad (20)$$

где  $\{c'_{1j_r}, c'_{j_r}, c'_{2j_r}\}$  – оценка портфеля проектов, который включает все возможные проекты в году  $r$ .

Если выполняется неравенство

$$F_{cp} + F'_{cp} \leq F_{cp}^* \quad (21)$$

$$F_{cp} = \frac{f_1 + f + f_2}{3}, F'_{cp} = \frac{f'_1 + f' + f'_2}{3},$$

$$F_{cp}^* = \frac{f^*_1 + f^* + f^*_2}{3}.$$

Переходим к пункту 7.

5. При  $t < T$  анализируем следующий год  $t := t + 1$  и возвращаемся к шагу 2.

6. Величине  $F^*$  присваиваем новое значение:

$F^* := F$  (т.е.  $f_1^* := f_1, f^* := f, f_2^* := f_2$ ) и фиксируем множество  $W_t = \{j_r\}_{r=1}^T$ .

Редуцируем  $F$  по формуле:

$$F = \{f_1, f, f_2\} := \{f_1, f, f_2\} - \{c_{1j_t} * z_{v_t}, c_{j_t} * z_{v_t}, c_{2j_t} * z_{v_t}\} = \{f_1 - c_{1j_t} * z_{v_t}, f - c_{j_t} * z_{v_t}, f_2 - c_{2j_t} * z_{v_t}\}. \quad (22)$$

7. При  $j_t < V$  рассматриваем следующий вариант  $j_t := j_t + 1$ , и переходим к шагу 3.

8. При  $t > 1$  переходим к предыдущему году  $t := t - 1$  и изменяем значение  $F = \{f_1, f, f_2\}$ :

$$F = \{f_1, f, f_2\} := \{f_1 - c_{1j_t} * z_{v_t}, f - c_{j_t} * z_{v_t}, f_2 - c_{2j_t} * z_{v_t}\}. \quad (23)$$

Переходим к шагу 7.

При  $t=1$  и  $W_T = \{\emptyset\}$  задача не имеет решения, в противном случае оптимальное решение получено. При этом суммарная эффективность портфелей проектов в годах  $t = \overline{1, T}$  равна  $F^*$ .

## Выводы

В результате проведенных исследований созданы модель и метод оптимизации портфеля проектов предприятия для планового периода с нечеткими исходными данными.

Разработанная модель и метод позволяют выбрать оптимальные варианты портфелей проектов для каждого года заданного периода деятельности предприятия с учетом недостатка и неопределенного характера имеющейся исходной информации.

## Список литературы

1. Кононенко И. В. Метод формирования портфеля проектов / И. В. Кононенко, К. С. Букреева // Восточно-Европейский журнал передовых технологий. – 6/2(42) – 2009. – С. 15–19.
2. Кононенко И. В. Модель и метод оптимизации портфелей проектов предприятия для планового периода / И. В. Кононенко, К. С. Букреева // Восточно-Европейский журнал передовых технологий. – 1/2(43) – 2010. – С. 9–11.
3. Linenberg Y. Optimizing organizational performance by managing project benefits / Linenberg Y., Stadler Z., Arbuthnot S. // PMI Global Congress – 2003. Europe.
4. Bert De Reyck. The impact of project portfolio management on information technology projects / Bert De Reyck, Yael Grushka-Cockayne, Martin Lockett, Sergio Ricardo Calderini, Marcio Moura, Andrew Sloper // International Journal of Project Management – 23 – 2005. p. 524–537.
5. Harvey Maylor. From projectification to programmification / Harvey Maylor, Tim Brady, Terry Cooke-Davies, Damian Hodgson // International Journal of Project Management – 24 – 2006. – p. 663–674.
6. Robert G. Cooper. Portfolio management for new product development: results of an industry practices study / Robert G. Cooper, Scott J. Edgett, Elko J. Kleinschmidt // R&D Management – 31/4 – 2001.
7. Аньшин В.М. Модели управления портфелем проектов в условиях неопределенности / В.М. Аньшин, И.В. Демкин, И.М. Никонов, И.Н. Царьков – М. : МАТИ. – 2007. – 117 с.
8. Яхьева Г.Э. Нечеткие множества и нейронные сети: Учебное пособие / Г.Э.Яхьева. – М. : БИНОМ. Лаборатория знаний – 2006. – 316 с. – (Серия «Основы информационных технологий»).
9. Борисов А.Н. Принятие решений на основе нечетких моделей: Примеры использования / А.Н. Борисов, О.А. Кумберг, И.П. Федоров. – Рига : Занитне – 1990. – 184 с.
10. Леоненков А.В. Нечеткое моделирование в среде MATLAB и fuzzyTECH / А.В. Леоненков – СПб. : БХВ-Петербург, 2005. – 736 с.

Статья поступила в редколлегию 5.09.2011

**Рецензент:** д-р техн. наук, проф. И.П. Гамаюн, Национальный технический университет «Харьковский политехнический институт», декан факультета информатики и управления, Харьков.