

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

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

λ_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:

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

где $P_{\text{tcp}} = \frac{p_{\tau 1} + p_{\tau} + p_{\tau 2}}{3}$; P_{τ} – плановая прибыль от реализации проектов в году τ , 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 τ , если проект начат в году t , определен четкими числами, поскольку проекты представлены

с финансовым обоснованием, T_{τ} – длительность расчетного периода.

Ограничение по доходу будет таким:

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

где $D_{\text{tcp}} = \frac{d_{\tau 1} + d_{\tau} + d_{\tau 2}}{3}$, D_{τ} – плановый доход от реализации проектов в году τ 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 τ , если проект начат в году t , определен четким числом.

Ограничение по инвестиционным ресурсам будет следующим:

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

где $S_{\text{tcp}} = \frac{s_{\tau 1} + s_{\tau} + s_{\tau 2}}{3}$, S_{τ} – собственные инвестиционные ресурсы и возможные кредитные ресурсы компании в году τ , 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 τ , 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:

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

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_{τ} – планируемая прибыль в году τ , 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 τ , 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_{τ} планируемый доход в году τ , 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_{τ} – собственные инвестиционные ресурсы и возможные кредитные ресурсы компании в году τ 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:

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

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

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

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

где $\{c'_{1j_r, r}, c'_{j_r, r}, c'_{2j_r, r}\}$ – 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:

$$F^* := F \text{ (т.е. } f_1^* := f_1, f^* := f, f_2^* := f_2) \text{ и фиксируем}$$

$$\text{множество } W_t = \{j_r\}_{r=1}^T.$$

Редуцируем F по формуле:

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

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 $F = \{f_1, f, f_2\}$:

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

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., Stadlker 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.