Анализ инвестиционного проекта на основе модифицированной модели Неймана - Гейла с учетом производственных загрязнений

© 2013 Борлакова Асият Казимовна
Финансовый университет при Правительстве Российской Федерации, г. Москва
E-mail: lvls@mail.ru

Представлена методология эколого-экономический оценки инвестиционного проекта. Анализ объекта инвестирования осуществляется на основе модифицированной модели Неймана - Гейла, в которую включен вектор производственных загрязнений. Для расчета показателей эффективности проекта использованы методы теории нечетких множеств, которые позволяют корректно учесть факторы неопределенности уже на начальных этапах оценивания.

Ключевые слова: технологический процесс, загрязнения, экономический рост, инвестиционный проект, нечеткое множество.

Наиболее важным условием перехода российской экономики к инновационному типу является ориентация на международную концепцию устойчивого развития, которая призвана объединить в себе возможности для экономического роста с сохранением окружающей среды. Однако текущая ситуация свидетельствует о том, что реформа экологического управления практически зашла в тупик.

Так, говоря об инвестиционной деятельности, играющей значительную роль в достижении стратегических целей не только отдельно взятого предприятия, но и страны целиком, следует отметить, что правовые основы учета экологических показателей отсутствуют. Распространенная методика оценивания, осуществляемая на базе комплексных и обобщенных показателей экономической привлекательности, не в состоянии в полной мере отразить уровень эколого-экономического развития предприятия, так как для этих целей необходимо смещение акцента на взаимосвязь природоохранных мероприятий с производственными, организационными и финансовыми процессами, протекающими на предприятии.

В подобной ситуации проблема разработки методологии эколого-экономической оценки инвестиционных проектов является особенно актуальной.

1. Загрязнения окружающей среды в результате технологических процессов

В настоящий момент главными источниками загрязнений окружающей среды являются производственные отходы предприятий. Число видов этих загрязнений очень велико, выделим основные из них:

- загрязнения атмосферы, негативно влияющие на естественные природные циклы;
- загрязнения, связанные с использованием химических технологий;
- отходы производства, отрицательно влияющие на источники воды и почвенный слой Земли;
- отходы сельского хозяйства, представляющие собой биозагрязнения. Несмотря на то, что среди таковых есть и полезные отходы, практика показывает, что на текущий момент большая часть этих отходов не перерабатывается или же неправильно утилизируется.

Таким образом, важным моментом является контроль за количеством технологических отходов, за своевременной переработкой органических отходов и их правильной утилизацией. Возможность контроля над загрязнениями и их ограничения можно исследовать, используя аппарат производственных функций в рамках основной модели экономической динамики Неймана - Гейла.

На основе подобного анализа можно будет выработать критерии для эколого-экономической оценки инвестиционных проектов, направленных на выбор наиболее экологически безопасного и экономически эффективного объекта инвестирования.

2. Модель Неймана - Гейла с экологическими ограничениями

Рассмотрим систему предприятия в рамках основной модели экономической динамики, разработанной Джоном фон Нейманом, и наиболее широкое ее обобщение, предложенное Дэвидом Гейлом. Модель Неймана - Гейла применяется в тех ситуациях, когда отображения, описывающие технологические возможности предприятия, меняются с течением времени.

Экономическую систему предприятия в некоторый момент времени можно описать всеми имеющимися в системе в данный момент времени ресурсами - трудовыми, природными, производственными. Возможность перехода из одного состояния в другое в системе задается с помощью некоторого точечно-множественного отображения k . Так, если в момент времени t состояние экономической системы предприятия есть δ, то в момент времени $t+1$ множество состояний, в которые система способна перейти, можно охарактеризовать как $k(\delta)$. Отображение $k \in K\left(A, R_{+}^{n+1(t)}\right)$, где $A \in R_{+}^{n(t)}$ определяется технологическими возможностями предприятия.

Если задать модель точечно-множественным отображением k , то последовательность $(\delta_t)_{t=0}^{\infty}$ называется технологически возможной траекторией модели, если $\delta_{t+1} \in k(\delta_t)$. Технологически возможная траектория представляет собой технологическое множество $Z_t = \{\delta\}$, удовлетворяющее ряду ограничений:

- Технологический процесс $\left(\bar{0}; \bar{\delta}_{t+1}\right)$ будет принадлежать Z_t тогда и только тогда, когда вектор состояния $\bar{\delta}_{t+1} = \bar{0}$; аналогично $\left(\bar{\delta}_t; \bar{0}\right) \in Z_t$, если $\bar{\delta}_t = \bar{0}$.
- Множество Z_t является выпуклым, так как для любых $\left(\bar{\delta}_{i(t)}; \bar{\delta}_{i(t+1)}\right) \in Z_t$ и для всех неотрицательных λ_i , таких, что $\lambda_1 + \lambda_2 + ... + \lambda_i = 1$ вектор $\bar{\theta} = \lambda_i \left(\bar{\delta}_{i(t)}; \bar{\delta}_{i(t+1)}\right) \in Z_t$.
- Множество Z_t замкнуто, поскольку оно является подмножеством пространства $R_{+}^{n(t)}$, дополнение к которому открыто. Так, если из множества технологических процессов Z_t вычесть некоторое множество иных технологических процессов V_t , то дополнение V_t до Z_t открыто, поскольку каждый элемент будет входить в него с некоторой окрестностью.
- Множество Z_t - конус, лежащий в прямом произведении $R_{+}^{n(t)} \times R_{+}^{n(t)}$.

Итак, моделью ***Неймана - Гейла*** называется выпуклый замкнутый конус Z_t, лежащий в прямом произведении $R_{+}^{n(t)} \times R_{+}^{n(t)}$.

Для корректной оценки экологичности производственной системы предприятия необходимо в модели Неймана - Гейла учесть загрязнения, возникающие при выпуске единицы продукции.

Введем матрицу интенсивностей загрязнений от производства[1] $P = \left\| p_{ij} \right\|$, $i = 1,..,s$; $j = 1,..,n$, где p_{ij} - количество *i*-го загрязнения в результате выпуска единицы *j*-го продукта; s - число загрязнений от производства продукции. Тогда вектор загрязнений имеет вид

$$\bar{z} = P y^T \rho \,; \quad z_i = \sum_{j=1}^{n} p_{ij} y_j \rho_{ij} \,, \quad i = 1,..,s \,,$$

где ρ_{ij} - степень концентрации *i*-го загрязнителя, продуцируемого выпуском единицы *j*-го продукта.

Важнейшим экологическим нормативом является ***предельно допустимая концентрация*** - максимальное количество вредного вещества в единице объема или массы, которое при ежедневном воздействии в течение неограниченно продолжительного времени не вызывает в организме каких-либо отклонений. Гигиенические предельно допустимые концентрации устанавливаются отдельно для атмосферного воздуха, водных объектов и почвы[2].

Для определения степени концентрации загрязнителей в рамках модели предполагается использовать оценку концентрации загрязнителей в атмосфере, поскольку распределение загрязнителей в атмосфере в большей степени соответствует закономерностям реальных процессов, подтвержденных обширной эмпирической информацией.

Концентрация загрязнителя относительно источника загрязнения в воздушной среде подчиняется закону Гаусса и определяется на основании уравнения[3]:

$$\rho(\chi, \varphi, \eta, t) = \frac{M(t)}{2\pi u_a \sigma_\varphi (\chi + \chi_\varphi) \sigma_\eta (\chi + \chi_\eta)} e^{-\frac{\varphi^2}{2\sigma_\varphi^2 (\chi + \chi_\varphi)}} \left[e^{-\frac{(\eta - h_0)^2}{2\sigma_\eta^2 (\chi + \chi_\eta)}} + e^{-\frac{(\eta + h_0)^2}{2\sigma_\eta^2 (\chi + \chi_\eta)}} \right] \qquad (1)$$

где χ - расстояние от рассматриваемой точки пространства до источника выброса;

χ_φ и χ_η - величины продольного и поперечного смещения источника выброса;

σ_φ^2 и σ_η^2 - продольные и поперечные дисперсии распределения загрязнителя в соответствующих точках пространства;

h_0 - высота расположения источника выброса;

u_a - скорость ветра на высоте η ;

$M(t)$ - масса загрязнителя, соотнесенная к источнику загрязнения в момент времени t .

Итак, с учетом загрязнений технологический процесс в модели Неймана - Гейла имеет вид $Z_t = \{\overline{\delta} : \overline{\delta} = (\overline{x}, \overline{y}, \overline{z})\} \in R_+^{n(t)+n(t+1)+s(t+1)}$, где $\overline{x} \in R_+^{n(t)}$ - вектор затрат, расходуемых на производство продуктов вектора выпуска $\overline{y} \in R_+^{n(t+1)}$ и вектора загрязнений $\overline{z} \in R_+^{s(t+1)}$.

2.1. Технологический неймановский темп роста и темп роста отображения δ

Модель будет находиться в состоянии равновесия, если существует некоторое число α, технологический процесс $(\overline{x}, \overline{y}, \overline{z}) \in Z_t$, а также отображение $\overline{p} \in R_+^{n(t)+n(t+1)+s(t+1)}$ и при этом выполняются следующие условия[4]:

$$\alpha > 0; \tag{2}$$

$$\overline{p}(\overline{y}) > 0; \tag{3}$$

$$\alpha\overline{x} \le (\overline{y})\,(\overline{z}); \tag{4}$$

$$\overline{p}(y)\overline{p}(z) \le \alpha\overline{p}(x),\ (\overline{x}, \overline{y}, \overline{z}) \in Z. \tag{5}$$

Обозначим состояние равновесия через $\theta = (\alpha, (\overline{x}, \overline{y}, \overline{z})\overline{p})$.

По сути, $p(\overline{x}), p(\overline{y}), p(\overline{z})$ можно проинтерпретировать как ценовые стоимости соответствующих процессов. Условие (5) можно записать как $\frac{1}{\alpha}\overline{p} \in \alpha^*(\overline{p})$, где α^* отображение, двойственное к α.

Если допустить $(x, y, z) = (\overline{x}, \overline{y}, \overline{z})$, то из условий (3) и (5) следует, что $0 < \overline{p}(\overline{y})\overline{p}(\overline{z}) \le \alpha\overline{p}(x)$. Так как $\alpha\overline{x} \le \overline{yz}$, с учетом условия (5) при $(x, y, z) = (\overline{x}, \overline{y}, \overline{z})$ получаем, что $\alpha\overline{p}(\overline{x}) = \overline{p}(\overline{y}) * \overline{p}(\overline{z})$.

Таким образом, темп роста отображения δ совпадает с темпом возрастания стоимости продуктов по ценам $\overline{p}$: $\alpha(\theta) = \frac{\overline{p}(\overline{y})\overline{p}(\overline{z})}{\overline{p}(\overline{x})}$.

Теорема 1: Функция a, определенная на конусе Z формулой $(x, y, z) \to \alpha(x, y, z)$, полунепрерывна сверху, а также удовлетворяет условию $\alpha(x, y, z) = \alpha(\lambda x, \lambda y, \lambda z), \lambda > 0$.

Доказательство:

Положительная однородность нулевой степени функции α, т.е. выполнение условия $\alpha(x, y, z) = \alpha(\lambda x, \lambda y, \lambda z)$, вытекает из определения конуса.

Рассмотрим технологический процесс $(x_n, y_n, z_n) \in Z$. Выберем произвольную предельную точку $\widetilde{\alpha}$ из последовательности $\alpha(x_n, y_n, z_n)$, а из последовательности (x_n, y_n, z_n) выберем подпоследовательность $(x_{n_i}, y_{n_i}, z_{n_i})$, для которой выполняется условие $lim\,\alpha(x_{n_i}, y_{n_i}, z_{n_i}) = \widetilde{a}$. Исходя из определения темпа роста технологического процесса

$$\alpha(x_{n_i}, y_{n_i}, z_{n_i})x_{n_i} \le y_{n_i} z_{n_i}, \tag{6}$$

следовательно $\widetilde{\alpha} < \infty$. Из (6) следует, что $\alpha x \le yz$, откуда получаем неравенство $\widetilde{\alpha} \le \alpha(x, y, z)$. Поскольку $\widetilde{\alpha}$ - произвольная предельная точка последовательности $\alpha(x_n, y_n, z_n)$, постольку $\lim_{n\to\infty} \alpha(x_n, y_n, z_n) \le \alpha(x, y, z)$.

Из условия (5) получаем, что функция α достигает максимума в точке пересечения конуса Z с единичной сферой, причем этот максимум совпадает с наибольшим значением α на множестве $Z/\{0\}$. Здесь символом $Z/\{0\}$ обозначено относительное дополнение нулевого множества до Z.

Таким образом, $\alpha(Z) = \max\limits_{(x,y,z)\in Z, \|(x,y,z)\|=1} \alpha(x, y, z) = \max\limits_{(x,y,z)\in Z, (x,y,z)\ne 0} \alpha(x, y, z)$ - неймановский темп роста модели $Z = \{\overline{\delta} : \overline{\delta} = (\overline{x}, \overline{y}, \overline{z})\}$.

Введем определение: состояние равновесия θ модели Z называется неймановским, если $\alpha(\theta) = \alpha(Z)$.

Экономический темп роста модели

Экономическим темпом роста $\overline{\beta}$ модели Неймана - Гейла *Z* называется минимаксное отношение стоимости выпуска продукции, умноженной на стоимость загрязнений, возникающих в результате этого выпуска, к стоимости производственных затрат[4]:

$$\overline{\beta} = \min_{p \ge 0} \max_{(x,y)\in Z} \frac{p(y)p(z)}{p(x)}.$$

Экономический темп роста совпадает с технологическим темпом роста модели Неймана - Гейла Z тогда и только тогда, когда Z имеет единственный обобщенный темп роста.

2.2. Неймановское состояние равновесия в модели с загрязнениями

Вопрос о существовании неймановского состояния равновесия сводится, по сути, к нахождению функционала $\overline{p}$, удовлетворяющего следующим условиям:

- $\overline{p}(y)\overline{p}(z) \le \alpha(Z)\overline{p}(x)$;

- $\bar{p}(y)\bar{p}(z)>0$ хотя бы для одного неймановского процесса $(\bar{x},\bar{y},\bar{z})$;
- $\bar{p}(y)>0$,

где $Z \in R_+^{n(t)+n(t+1)+s(t+1)} \times R_+^{n(t)+n(t+1)+s(t+1)}$ - модель Неймана - Гейла;

$\alpha(Z)$ - неймановский темп роста модели Z.

Рассмотрим теорему о состоянии равновесия в модели Неймана - Гейла, добавив в классическую формулировку[5] дополнительное условие - вектор загрязнений.

Теорема 2: Модель Неймана - Гейла Z будет обладать состоянием равновесия, когда выполнено хотя бы одно из условий:

- *конус Z многогранен;*
- *существует неймановский процесс $(\bar{x},\bar{y},\bar{z})$ такой, что $y_i z_i>0$ для всех i.*

Доказательство:

Пусть $\alpha=\alpha(Z)$, $(\bar{x},\bar{y},\bar{z})$ - технологический неймановский процесс, для которого выполнено условие $I_y \in I_{\bar{y}}, I_x \in I_{\bar{x}}$ $I_x=\{i \in I | x_i>0\}, x \in R_+^{n(t)}$. Рассмотрим множество

$F_1 \in R^{n(t)+n(t+1)+s(t+1)} \times R^{n(t)+n(t+1)+s(t+1)} \times R^1$, состоящее из векторов вида

$$\begin{cases} (-\alpha x, y, z, 0) \\ (y, -\alpha x, z, 0) \\ (z, -\alpha x, y, 0) \\ (0, -\alpha\bar{x}, 0, 1) \end{cases}, \text{ где } (x,y,z) \in Z.$$

Каноническая оболочка F, объединяющая множества F_1 и $-\left(R^{n(t)+n(t+1)+s(t+1)} \times R^{n(t)+n(t+1)+s(t+1)} \times R^1\right)$, такая, что $(\tau,\varphi,\omega,\mu)\in F$ тогда и только тогда, когда

$$(\tau,\varphi,\omega,\mu)=(\tau_1+\varphi_1+\omega_1+\mu_1)+(\tau_2+\varphi_2+\omega_2+\mu_2)+$$
$$+(\tau_3+\varphi_3+\omega_3+\mu_3)+\lambda(\tau_4+\varphi_4+\omega_{41}+\mu_4),$$

где $\tau_1 \le -\alpha x_1, \varphi_1 \le y_1, \omega_1 \le z_1, \mu_1 \le 0$;

$\tau_2 \le y_2, \varphi_2 \le -\alpha x_2, \omega_2 \le z_2, \mu_2 \le 0$;

$\tau_3 \le z_3, \varphi_3 \le -\alpha x_3, \omega_3 \le y_3, \mu_3 \le 0$;

$\tau_4 \le 0, \varphi_4 \le -\alpha\bar{x}, \omega_4 \le 0, \mu_4 \le 1, \lambda \ge 0$,

$(x_1,y_1,z_1),(x_2,y_2,z_2)$ - технологические процессы модели Z.

Теперь можно перейти к решению оптимизационной задачи: необходимо максимизировать μ при условии $(-\alpha\bar{x},0,0,\mu)\in F$.

Если это условие выполняется, то вследствие вышесказанного

$-\alpha\bar{x}=\tau_1+\tau_2+\tau_3+\lambda\tau_4$, $0=\varphi_1+\varphi_2+\varphi_3+\lambda\varphi_4$, $0=\omega_1+\omega_2+\omega_3+\lambda\omega_4$, $\mu=\mu_1+\mu_2+\mu_3+\lambda\mu_4$, и для процессов $(x_1,y_1,z_1),(x_2,y_2,z_2)$ выполняются неравенства:

$\tau_1 \le -\alpha x_1, \tau_2 \le y_2, \tau_3 \le z_3, \tau_4 \le 0$;

$\varphi_1 \le y_1, \varphi_2 \le -\alpha x_2, \varphi_3 \le -\alpha x_3, \varphi_4 \le -\alpha\bar{x}$;

$\omega_1 \le z_1, \omega_2 \le z_2, \omega_3 \le y_3, \omega_4 \le 0$;

$\mu_1 \le 0, \mu_2 \le 0, \mu_3 \le 0, \mu_4 \le 1, \lambda \ge 0$.

Процессы $(x_1,y_1,z_1),(x_2,y_2,z_2)$ и числа λ,μ удовлетворяют неравенствам

$$-\alpha\bar{x} \le -\alpha x_1+y_2+z_3, \;\; \lambda\alpha\bar{x} \le y_1-\alpha x_2-\alpha x_3, \;\; \mu \le \lambda. \quad (7)$$

Таким образом, оптимальное решение задачи совпадает с максимальной из λ, удовлетворяющей (7).

В соответствии с рассмотренной теоремой найдется функционал $\vartheta=(p_1,p_2,p_3,u)>0$ удовлетворяющий условию $\max_{\pi\in Z}\vartheta(\pi)=\vartheta(\pi_0)=0, u>0$.

Причем, из условия $\max_{\pi\in Z}\vartheta(\pi)=0$ следует, что для $(x,y,x)\in Z$ $\alpha p_1(x)\ge p_2(y)p_3(z), p_1(y)p_2(z)\le p_3(x)$, поэтому $\alpha(p_1+p_2+p_3)(x)\ge(p_1+p_2+p_3)(y)(z)$.

Поскольку $\vartheta(\pi)=0$,

постольку $-p_1(\alpha x)+u=0 \to (p_1+p_2+p_3)(\bar{y})(\bar{z})\ge$ $\ge(p_1+p_2+p_3)(\alpha\bar{x})>0$.

Таким образом, $\delta=(\alpha,(\bar{x},\bar{y},\bar{z}),p_1+p_2+p_3)$ является состоянием равновесия.

Обобщенное состояние равновесия модели Неймана - Гейла имеет место в том случае, если существует некоторое $\alpha>0$, технологический процесс $(\bar{x},\bar{y},\bar{z})\in Z$ и функционал $\bar{p}\in R^{n(t)+n(t+1)+s(t+1)}$, а также выполняются следующие условия:

- $\alpha\bar{x} \le \bar{y}\bar{z}$;
- $\bar{p}(\bar{y})\bar{p}(\bar{z}) \le \alpha\bar{p}(\bar{x}), (x,y,z)\in Z$;
- $\bar{p}>0$.

В данном случае α и есть обобщенный темп роста модели.

Исследуя модель Неймана - Гейла с экологическими ограничениями, следует учесть, что ограничение вектора загрязнений типа $\bar{z}<\bar{z}^*$, где $\bar{z}^*$ - вектор экологических нормативов, приводит к ограничениям в технологическом процессе и может иметь следствием значительное снижение выпуска продукции, подрезая тем самым технологический конус (см. рис. 1).

Таким образом, модель Немана - Гейла с экологическими ограничениями может быть использована для анализа и прогнозирования объемов загрязнений.

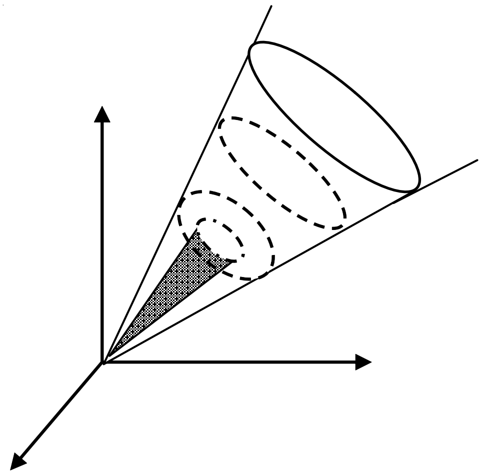

Рис. 1. **Усечение технологического конуса в результате ввода ограничения вектора загрязнений**

Подобным ограничениям вектора загрязнений следуют страны Запада, в частности, лидером среди них является Новая Зеландия. Но следует учесть, что исключительно техническое управление отходами, без интеграции экологического мышления в систему менеджмента предприятия, не способно интегрировать природоохранную деятельность в качестве инструмента глобальной экологизации производства. Для этой цели необходимо объединение знаний различных дисциплин внутри существующей системы менеджмента предприятия. Ведь только отобранная с учетом специфики предприятия природоохранная деятельность может стать экономически целесообразной и экологически обоснованной технической политикой.

3. Методология эколого-экономический оценки инвестиционного проекта

На схеме ниже представлен эколого-экономический метод оценивания инвестиционного проекта, направленного на расширение действующего производства.

3.1. Эколого-экономические связи действующего предприятия

Показатели *природоохранной деятельности* включают в себя[6]:

- K_{ael} - коэффициент выполнения норматива предельно допустимых выбросов т/т, $K_{ael} = \frac{z_i}{AEL}$, где AEL (allowable emissions limit) - норматив предельно допустимого выброса загрязняющего вещества в атмосферный воздух, z_i - элемент вектора загрязнений $\overline{z}$, $i = 1,..,s$ видов загрязнений;
- K_{dl} - коэффициент выполнения норматива предельно допустимых сбросов т/т,

Рис. 2. **Эколого-экономическая оценка инвестиционного проекта**

$$K_{dl}=\frac{\sum_{j=1}^{n}p_{ij}y_j}{DL_i}$$, где DL_i (discharge limits) - масса вещества в сточных водах, максимально допустимая к отведению в установленном режиме в данном пункте водного объекта;

- ED (economic damage) - экономический ущерб, наносимый предприятием окружающей среде, руб./руб.;
- M^1 - платежи за допустимые выбросы, руб./т;
- M^2 - штрафы, руб./т;
- K_c - коэффициент компенсации экономического ущерба от загрязнения окружающей среды, руб./руб., $K_c=\frac{M^1}{ED}$;
- K_{em} - коэффициент эффективности текущих затрат на природоохранные мероприятия, руб./т, $K_{em}=\frac{EPC}{z_i}$, где EPC (cost of environmental protection) - затраты на природоохранные мероприятия;
- K_z - коэффициент замкнутости природных ресурсов, т/т, $K_z=\frac{y_j}{x_{mj}}$, где x_{mj} - масса сырья, используемого в технологическом процессе для производства j-го вида продукции;
- K_o - коэффициент оборота природных ресурсов, т/т, $K_o=\frac{m_o}{x_m}$, где m_o - масса сырья, находящегося в обороте, x_m - масса сырья, забираемого из природных комплексов;
- K_{cl} - коэффициент чистоты технологических процессов, т/т, $K_{cl}=K_{cl}^1+K_{cl}^2=\frac{m_{ex}^1}{m_{AE}}+\frac{m_{ex}^2}{m_D}$, где m_{ex}^1 и m_{ex}^2 - массы вредных веществ, извлеченных из массы атмосферных выбросов m_{AE} и водных сбросов m_D, соответственно;
- DCP (danger class of production) - класс опасности производства,

$$DCP=\sum_{j=1}^{n}\sum_{i=1}^{s}\frac{p_{ij}}{\rho_{ij}}a_i, \tag{8}$$

где p_{ij} - количество i-го загрязнения в результате выпуска единицы j-го продукта;

ρ_{ij} -степень концентрации загрязнителя, рассчитывается по формуле (1);

a_i - коэффициент, зависящий от класса опасности загрязняющих веществ, позволяющий соотнести степень вредности вещества с таковой по сернистому газу.

3.2. Условно предполагаемые экологические затраты от реализации проекта

Зная динамику загрязнений при данном технологическом процессе и темп роста модели, можно оценить прогнозный объем загрязнений и провести стоимостную оценку предполагаемых экологических затрат при реализации проекта.

Модель определения экологических затрат от загрязнения водной среды имеет следующий вид:

$$OF_t^w=\begin{cases}p'\sigma\sum_{i=1}^{s}a_iz_i^t, z_i^t\le DL_i\\ p'\sigma\sum_{i=1}^{s}a_iDL_i+p''\sigma\sum_{i=1}^{s}a_i\left(z_i^t-DL_i\right), z_i^t>DL_i\end{cases}, \tag{9}$$

где p' - значение коэффициента для сбросов, не превышающих предельных величин DL_i выраженное в денежных единицах;

p'' - значение коэффициента для сбросов (превышающих предельные величины DL_i), выраженное в денежных единицах;

σ - коэффициент, учитывающий региональные особенности территории, подверженной вредному воздействию[7];

z_i^t - прогнозный объем загрязнений i-го вида;

a_i - см. (8).

Модель для определения экологических затрат от загрязнения воздушной среды:

$$OF_t^a=\begin{cases}p'\sigma\ell\sum_{i=1}^{s}a_iz_i^t, z_i^t\le AEL_i\\ p'\sigma\ell\sum_{i=1}^{s}a_iDL_i+p''\sigma\sum_{i=1}^{s}a_i\left(z_i^t-DL_i\right), z_i^t>AEL_i\end{cases} \tag{10}$$

где ℓ - коэффициент, учитывающий характер рассеивания вредных примесей в атмосфере.

3.3. Показатели эффективности инвестиционного проекта

Следующий этап методологии предполагает расчет показателей эффективности инвестиционного проекта. На данном этапе затраты на экологическое сопровождение проекта и общие экономические затраты будут аккумулированы в одном денежном потоке.

Необходимость оценивания инвестиционных проектов в условиях риска, неполной и неточной информации выделяет методы теории нечетких множеств (ТНМ) в качестве одного из наиболее эффективных инструментов инвестиционного анализа.

К очевидным достоинствам методов ТНМ можно отнести:

- возможность формализации многих факторов неопределенности, описанных естественным языком;
- отсутствие требования точного задания функций принадлежности;
- неограниченное количество сценариев развития проекта;
- инструменты снижения субъективности экспертных оценок.

Рассмотрим способы расчета показателей эффективности инвестиционного проекта при условии, что денежные потоки представлены нечеткими числами с треугольной формой функции принадлежности. Это позволит учесть неопределенность не на финальном этапе оценивания, а на начальном этапе формирования денежных потоков проекта.

1. Чистая приведенная стоимость (*NPV*):

$$NPV = \sum_{t=1}^{n} \frac{\widetilde{IF}_t - \widetilde{OF}_t - OF_t^e}{(1+r)^t} - IC_{t0},$$

где $\widetilde{IF}_t$ - денежный поток поступлений в периоде t, представленный в нечеткой форме;

$\widetilde{OF}_t$ - отток денежный средств в периоде t, представленный в нечеткой форме;

OF_t^e - предполагаемые экологические затраты;

$OF_t^e = OF_t^w + OF_t^a$ (см. (9), (10));

IC_{t0} - объем первоначальных инвестиций;

r - ставка дисконтирования;

n - период дисконтирования.

В результате дефаззификации (процедуры преобразования нечеткого множества в четкое число) по методу центра тяжести получим:

$$NPV = \sum_{t=1}^{n} \frac{\left(\sum_{i=1}^{k} u_i \mu_{\widetilde{IF}_t}(u_i)\right) - \left(\sum_{i=1}^{k} u_i \mu_{\widetilde{OF}_t}(u_i)\right) - OF_t^e}{(1+r)^t} - IC_{t0},$$

где $\mu_{\widetilde{IF}_t}(u_i)$ и $\mu_{\widetilde{OF}_t}(u_i)$ - функции принадлежности, характеризующие степень принадлежности элементов $u_{i,\dots,k} \in U$ нечетким множествам $\widetilde{IF}_t$ и $\widetilde{OF}_t$.

Подобная форма записи нечетких множеств $\widetilde{IF}_t$ и $\widetilde{OF}_t$ обусловлена тем, что универсальное множество U конечно и представляет собой границы интервалов предполагаемых денежных потоков.

Экономический смысл показателя заключается в том, что если $NPV > 0$, то проект можно считать прибыльным, если $NPV < 0$ - убыточным, если же $NPV = 0$, то проект нельзя считать ни прибыльным, ни убыточным.

2. Внутренняя норма рентабельности (*IRR*):

Под внутренней нормой рентабельности инвестиций понимают значение ставки дисконтирования, при котором *NPV* равна нулю:

$$\sum_{t=1}^{n} \frac{\widetilde{IF}_t - \widetilde{OF}_t - OF_t^e}{(1+IRR)^t} = IC_{t0},$$

в результате дефаззификации уравнение примет вид

$$\sum_{t=1}^{n} \frac{\left(\sum_{i=1}^{k} u_i \mu_{\widetilde{IF}_t}(u_i)\right) - \left(\sum_{i=1}^{k} u_i \mu_{\widetilde{OF}_t}(u_i)\right) - OF_t^e}{(1+IRR)^t} = IC_{t0}.$$

Экономический смысл показателя заключается в том, что если $IRR > CC$, где CC - стоимость капитала для финансирования проекта, то проект является прибыльным, если $IRR < CC$, то проект можно считать убыточным, если $IRR = CC$, то проект не является ни прибыльным, ни убыточным.

Однако метод *IRR* имеет ряд существенных недостатков, в частности, предположение о том, что положительные денежные потоки реинвестируются по ставке, равной внутренней норме доходности. Противоречие между *IRR* и *NPV* решается при использовании метода модифицированной нормы рентабельности.

Модифицированная норма рентабельности (*MIRR*):

$$\sum_{t=0}^{n}\frac{O\tilde{F}_t - OF_t^e}{(1+r)^t} = \frac{\sum_{t=0}^{n} I\tilde{F}_t (1+r)^{n-t}}{(1+MIRR)^n};$$

$$MIRR = \sqrt[n]{\frac{\sum_{t=0}^{n} I\tilde{F}_t (1+r)^{n-t}}{\sum_{t=0}^{n}\frac{O\tilde{F}_t - OF_t^e}{(1+r)^t}}} - 1.$$

В результате дефаззификации имеем:

$$MIRR = \sqrt[n]{\frac{\sum_{t=0}^{n}\left(\sum_{i=1}^{k} u_i \mu_{I\tilde{F}_t}(u_i)\right)(1+r)^{n-t}}{\sum_{t=0}^{n}\frac{\left(\sum_{i=1}^{k} u_i \mu_{I\tilde{F}_t}(u_i)\right) - OF_t^e}{(1+r)^t}}} - 1.$$

Проект будет считаться приемлемым, если $MIRR > CC$.

3. Индекс прибыльности (*PI*) показывает относительную прибыльность проекта на единицу первоначальных вложений: $PI = \frac{NPV}{IC}$.

Проект будет считаться прибыльным, если $PI > 1$.

4. Дисконтированный срок окупаемости (*DPP*) - период времени, требуемый для возврата первоначальных вложений[8]:

$$\begin{cases} DPP = \min n, \\ \sum_{t=1}^{n}\frac{I\tilde{F}_t}{(1+r)^t} = IC_{t0} \end{cases} \prec defuzzification \succ \begin{cases} DPP = \min n, \\ \sum_{t=1}^{n}\frac{\sum_{i=1}^{k} u_i \mu_{I\tilde{F}_t}(u_i)}{(1+r)^t} = IC_{t0} \end{cases},$$

где $\prec defuzzification \succ$ - процедура дефаззификации.

Итак, рассмотренные методы расчета показателей эффективности инвестиционного проекта позволяют комплексно оценивать проекты в условиях неопределенности.

Выводы

Концепция устойчивого развития предусматривает учет экономических и экологических составляющих деятельности со стороны разработчиков проектов и предприятий-заказчиков. Рассмотренная методология эколого-экономической оценки инвестиционного проекта значима, прежде всего, в теоретическом плане, соответствует данному положению и способствует обеспечению устойчивого экологического развития. Она позволяет осуществлять мониторинг экологической обстановки по прогнозируемым объемам технологических загрязнений и, следовательно, предусматривать модельную коррекцию технологических процессов и экологические затраты от реализации инвестиционного проекта.

Говоря о новизне методологии, следует отметить ряд новых аспектов.

1. В классическую модель Неймана - Гейла был включен вектор загрязнений для корректной оценки экологичности производственной системы предприятия и прогноза будущих загрязнений. Доказаны теоремы о неймановском состоянии равновесия и обобщенном состоянии равновесия в модели с загрязнениями.

2. Предложен метод расчета условно предполагаемых экологических затрат от реализации проекта.

3. Затраты на экологическое сопровождение проекта и общие затраты были аккумулированы в одном денежном потоке для расчета показателей эффективности проекта.

4. И наконец, денежные потоки были представлены в виде нечетких чисел с треугольной формой функции принадлежности, что позволяет учесть неопределенность уже на начальном этапе оценивания.

---

[1] *Красс М.С.* Моделирование эколого-экономических систем. 2-е изд. М., 2013. С. 114.

[2] *Тихомиров Н.П., Потравный И.М., Тихомирова Т.М.* Методы анализа и управления эколого-экономическими рисками / под ред. Н.П. Тихомирова. М., 2003. С. 243.

[3] Там же. С. 245.

[4] *Макаров В.Л., Рубинов А.М.* Математическая теория экономической динамики и равновесия. М., 1973. С. 125.

[5] Там же. С. 116.

[6] *Хаустов А.П., Редина М.М.* Экологическая оценка эффективности производств // Экономика природопользования. 1999. □ 3. С. 22 с.

[7] *Москаленко А.П.* Экономика природопользования и охраны окружающей среды. М., 2003. С. 105.

[8] *Касьяненко Т.Г., Маховикова Г.А.* Инвестиции : учеб. пособие. М., 2009. С. 70.

Поступила в редакцию 05.04.2013 г.