

## Методология эколого-экономической оценки инвестиционного проекта с использованием элементов теории нечетких множеств

© 2014 Борлакова Асият Казимовна

Финансовый университет при Правительстве Российской Федерации  
125993, г. Москва, Ленинградский пр., д. 49  
E-mail: lvls@mail.ru

Представлена комплексная методология оценки инвестиционного проекта с учетом экологического фактора. Для определения экономической эффективности проекта и расчета ставки дисконтирования используется нечетко-множественный аппарат, позволяющий учесть многие факторы неопределенности, в том числе колебания российской экономики. Апробация изложенной методологии произведена на примере реального инвестиционного проекта, направленного на расширение завода по выпуску химического волокна.

*Ключевые слова:* инвестиционный проект, экономический темп роста, производственные загрязнения, нечеткое множество, функция принадлежности.

Рост экологической напряженности, вызывающей потребность учета экологического фактора, делает современную экономику все более зависящей от экологических норм и ориентаций. По сути, ориентация на международную концепцию устойчивого развития, призванную объединить в себе возможности для экономического роста с сохранением экологически безопасной среды жизнедеятельности, выступает одним из главных условий на пути перехода российской экономики к инновационному типу развития.

Недостаточная разработанность проблемы построения моделей устойчивого развития, а именно моделей, учитывающих экологический фактор при планировании экономических показателей, и при этом максимально формализующие факторы неопределенности, с которыми приходится сталкиваться при оценке инвестиционных проектов, обусловили актуальность данной работы. Комплексная методология эколого-экономической оценки инвестиционных проектов отражена на рис. 1.



Рис. 1. Комплексная методология оценки инвестиционного проекта

### Производственная система предприятия в рамках модели Неймана - Гейла с учетом производственных загрязнений

Рассмотрим систему предприятия в рамках основной модели экономической динамики Неймана - Гейла. Возможность перехода из одного состояния в другое в системе задается с помощью некоторого точно-множественного отображения  $k$ . Так, если в момент времени  $t$  состояние экономической системы предприятия есть  $\delta$ , то в момент времени  $t+1$  множество состояний, в которые система способна перейти, можно охарактеризовать как  $k(\delta)$ . Последовательность  $(\delta_t)_{t=0}^{\infty}$  будет называться технологически возможной траекторией, если  $\delta_{t+1} \in k(\delta_t)$  для всех  $t$ .

Технологически возможная траектория представляет собой технологическое множество  $Z_t = \{\delta\}$ , удовлетворяющее ряду ограничений:

- Технологический процесс  $(\bar{0}; \bar{\delta}_{t+1}) \notin Z_t$ , если  $\bar{\delta}_{t+1} \neq \bar{0}$ . Свойство отражает реальный экономический смысл производственной системы.

- Множество  $Z_t$  является выпуклым, так как для любых  $(\bar{\delta}_{i(t)}; \bar{\delta}_{i(t+1)}) \in Z_t$  и для всех неотрицательных  $\lambda_i$ , таких, что  $\lambda_1 + \lambda_2 + \dots + \lambda_i = 1$ , вектор  $\bar{\theta} = \lambda_i (\bar{\delta}_{i(t)}; \bar{\delta}_{i(t+1)}) \in Z_t$ .

- Множество  $Z_t$  замкнуто, поскольку оно является подмножеством пространства  $R_+^{n(t)}$ , дополнение к которому открыто.

- Множество  $Z_t$  представляет собой конус.

Таким образом, моделью Неймана - Гейла называется выпуклый замкнутый конус  $Z_t$ , лежащий в прямом произведении  $R_+^{n(t)+n(t+1)} \cdot R_+^{n(t)+n(t+1)}$ .

Для корректной оценки экологичности производственной системы предприятия необходимо в модели Неймана - Гейла учесть загрязнения, производимые выпуском единицы продукции<sup>1</sup>. Введем матрицу интенсивностей загрязнений от производства  $P = \|p_{ij}\rho_{ij}\|$ ,  $i=1, \dots, s$ ,  $j=1, \dots, n$ , где  $p_{ij}$  - количество  $i$ -го загрязнения

в результате выпуска единицы  $j$ -го продукта;  $s$  - число загрязнений от производства продукции;  $\rho_{ij}$  - степень концентрации  $i$ -го загрязнителя продуцируемого выпуском единицы  $j$ -го продукта. Тогда вектор загрязнений примет вид

$$\bar{z} = Py^T, \quad z_i = \sum_{j=1}^n p_{ij}\rho_{ij}y_j.$$

Итак, с учетом загрязнений технологический процесс в модели Неймана - Гейла примет вид  $Z_t = \{\bar{\delta} : \bar{\delta} = (\bar{x}, \bar{y}, \bar{z})\} \in R_+^{n(t)+n(t+1)+s(t+1)}$ .

Модель предполагает наличие вектора  $\bar{x} \in R_+^{n(t)}$ ,  $\bar{x} = A\bar{u}$  в момент времени  $t$ , который переходит в состояние  $(\bar{y}, \bar{z}) \in R_+^{n(t+1)+s(t+1)}$ ,  $\bar{y} = B\bar{u}$  в момент времени  $t+1$ . Здесь  $A = (a_{ij})$  и  $B = (b_{ij})$  - матрицы "затрат" и "выпуска";  $\bar{u} = (u_1, \dots, u_m)$  - вектор интенсивностей;  $i=1, \dots, n$  - видов затрат;  $j=1, \dots, m$  - видов технологических процессов.

Экономический темп роста  $\bar{\beta}$  модели Неймана-Гейла будет иметь вид

$$\bar{\beta} = \min_{p \geq 0} \max_{(x,y,z) \in Z} \frac{p(y)p(z)}{p(x)}. \quad (1)$$

Заметим, что учет экологического фактора в модели Неймана - Гейла может носить активный или пассивный характер. Пассивный характер учета экологического фактора не предполагает ввода ограничения вектора загрязнений. Активный же характер учета экологического фактора предполагает ввод ограничения вектора загрязнений:  $\bar{z} \leq \bar{z}^*$ ,  $\bar{u} \leq \bar{u}_{lim}$ , где  $\bar{z}^*$  - вектор экологических нормативов;  $\bar{u}_{lim}$  - вектор лимитов интенсивностей.

Для определения степени экологичности производства необходимо проанализировать существующие эколого-экономические связи предприятия.

#### Анализ эколого-экономических связей предприятия

Система показателей, позволяющих охарактеризовать состояние предприятия, представлена в табл. 1.

**Таблица 1. Система показателей эколого-экономического состояния предприятия**

Показатели производственной деятельности	Коэффициенты экологичности производства	Показатели природоохранной деятельности
Фондовооруженность (объемы основных производственных фондов на одного работающего, руб./чел.)	Класс опасности производства, $DCP = \sum_{j=1}^n \sum_{i=1}^s \frac{P_{ij}}{P_{ij}} a_i,$ $a_i$ - коэффициент приведения различных загрязнителей к агрегированному виду, характеризует относительную опасность загрязняющих веществ. При $DCP > 10^6$ предприятие относится к первой категории опасности. При $DCP \in (10^4; 10^6)$ - ко второй категории опасности, при $DCP \in (10^3; 10^4)$ - к третьей, при $DCP < 10^3$ - к четвертой	Рейтинг предприятия по экологическим платежам
Капиталовооруженность (объем капиталовложений на одного работающего, руб./чел.)	$K_{cr}$ - коэффициент замкнутости природных ресурсов, т, $K_{cr} = \frac{y_j}{x_{mj}}$ , где $x_{mj}$ - масса сырья, используемого в технологическом процессе для производства $j$ -го вида продукции. При $K_{cr} \in (0; 0,5)$ - процесс со значительным количеством отходов, при $K_{cr} = 0,5$ - процесс открытый, при $K_{cr} \in (0,5; 0,8)$ - процесс малоотходный, при $K_{cr} \in (0,8; 1)$ - безотходный	Стоимость производственных фондов, направленных на охрану окружающей среды, руб.
Производительность труда (отношение объема продукции к числу работающего персонала, т/чел.)	$K_o$ - коэффициент оборота природных ресурсов, т, $K_o = \frac{m_o}{x_m}$ , где $m_o$ - масса сырья, находящегося в обороте, $x_m$ - масса сырья, забираемого из природных комплексов	Коэффициент эффективности текущих затрат на природоохранные мероприятия, рассчитываемый как отношение суммы текущих затрат к выбросам, руб./г
Удельная материалоемкость (количество потребляемого сырья на единицу готовой продукции, т)	$K_{cl}$ - 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 общей массы атмосферных выбросов $m_{AE}$ и водных сбросов $m_D$ соответственно. При $K_{cl} = 0,5$ , процесс грязный, при $K_{cl} \in (0,5; 0,8)$ - получистый, при $K_{cl} \in (0,8; 1)$ - чистый	

**Оценка экономического ущерба от загрязнения окружающей среды**

Модель определения экономических затрат от загрязнения водной среды в момент времени  $t$  имеет следующий вид:

$$OF_t^w = \begin{cases} \phi \sum_{i=1}^s P_{it}^{w'} a_{it} P_{it}, p_{it} \leq DL_i \\ \phi \sum_{i=1}^s P_{it}^{w'} a_{it} DL_i + \phi \sum_{i=1}^s P_{it}^{w''} a_{it} (p_{it} - DL_i), p_{it} > DL_i \end{cases} \quad (2)$$

где  $P_{it}^{w'}$  - стоимостная оценка ущерба от единицы сброса в водный источник  $i$ -го вредного вещества, не превышающего предельной величины  $DL_i$ ;

$P_{it}^{w''}$  - стоимостная оценка ущерба от единицы сброса в водный источник  $i$ -го вредного вещества, превышающего  $DL_i$ ;

$\phi$  - коэффициент, учитывающий региональные особенности территории, подверженной вредному воздействию<sup>2</sup>.

Модель для определения экономических затрат от загрязнения воздушной среды в момент времени  $t$  имеет следующий вид:

$$OF_t^a = \begin{cases} \phi \mu \sum_{i=1}^s P_{it}^{a'} a_{it} p_{it}, p_{it} \leq AEL_i \\ \phi \mu \sum_{i=1}^s P_{it}^{a'} a_{it} AEL_i + \phi \sum_{i=1}^s P_{it}^{a''} a_{it} (p_{it} - AEL_i), p_{it} > AEL_i \end{cases} \quad (3)$$

где  $P_{it}^{a'}$  - стоимостная оценка ущерба от единицы выброса в воздушную среду  $i$ -го вредного вещества, не превышающего предельную величину  $AEL_i$ ;

$P_{it}^{a''}$  - стоимостная оценка ущерба от единицы выброса в воздушную среду  $i$ -го вредного вещества, превышающего  $AEL_i$ ;

$\mu$  - коэффициент, учитывающий характер рассеивания вредных примесей в атмосфере.

**Показатели экономической эффективности инвестиционного проекта**

Ниже предложены модели расчета эффективности инвестиционных проектов с использованием нечеткой логики, позволяющей учесть неопределенность уже на начальном этапе планирования.

*Чистый дисконтированный доход (NPV)*

Чистый дисконтированный доход представляет собой разность дисконтированных денежных потоков вложений и расходов, производимых в процессе реализации проекта:

$$NPV = \sum_{t=1}^n \frac{\tilde{IF}_t - \tilde{OF}_t - OF_t^e}{(1+r(t))^t} - IC_{t0}, \quad (4)$$

где  $\tilde{IF}_t$  - денежный поток вложений в период времени  $t$ , представленный в форме нечеткого множества;

$\tilde{OF}_t$  - отток денежных средств в период  $t$ , представленный в нечеткой форме;

$OF_t^e$  - предполагаемые постоянные экологические затраты, возникающие в результате воздействия проекта на окружающую среду.

Предполагаемые экологические затраты определяются на основе рассмотренных ранее моделей оценки ущерба от загрязнения водной и воздушной среды:  $OF_t^e = OF_t^{w'} + OF_t^{a'}$ .

Прогнозное значение показателя  $OF_t^e$  может быть рассчитано на основе модели

$$OF_{t+1}^e = \bar{\beta} OF_t^e = \min_{p \geq 0} \max_{(x,y,z) \in Z_t} \frac{p(y)p(z)}{p(x)} OF_t^e, \quad (5)$$

где  $\bar{\beta}$  - экономический темп роста модели (см. формулу (1));

$IC_{t_0}$  - объем первоначальных инвестиций в момент времени  $t_0$ ;

$r$  - ставка дисконтирования, предполагается использовать индивидуальные ставки дисконтирования для каждого момента времени;

$n$  - период дисконтирования.

Для дальнейшего анализа необходимо получение точного значения показателя, а именно точного значения для каждой из выходных лингвистических переменных нечетких множеств. Для этих целей служит процедура дефаззификации (процедура приведения элементов нечеткого множества к четкости).

Выбрав в качестве метода дефаззификации метод центра тяжести для непрерывного универсального множества, получим:

$$NPV = \sum_{t=1}^n \frac{\frac{\int_a^b w \mu_{\tilde{IF}_t}(w) dw}{\int_a^b \mu_{\tilde{IF}_t}(w) dw} - \frac{\int_a^b w \mu_{\tilde{OF}_t}(w) dw}{\int_a^b \mu_{\tilde{OF}_t}(w) dw} - OF_t^e}{(1+r(t))^t} - IC_{t0}. \quad (6)$$

*Модифицированная внутренняя норма рентабельности (MIRR)*

Модифицированная норма рентабельности позволяет частично устранить недостатки  $IRR$ , связанные с многократным оттоком денежных средств и дополнительным реинвестированием:

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

$$MIRR = \sqrt[n]{\frac{\sum_{t=0}^n \tilde{IF}_t (1+r(t))^{n-t}}{\sum_{t=0}^n \frac{\tilde{OF}_t - OF_t^e}{(1+r(t))^t}} - 1}. \quad (7)$$

В результате дефаззификации получаем

$$MIRR = \frac{\sum_{t=0}^n \frac{\int_a^b w \mu_{IF_t}(w) dw}{\int_a^b \mu_{IF_t}(w) dw} (1+r(t))^{n-t} - OF_t^e}{\sum_{t=0}^n \frac{\int_a^b w \mu_{OF_t}(w) dw}{\int_a^b \mu_{OF_t}(w) dw} (1+r(t))^t} - 1. \quad (8)$$

**Индекс прибыльности (PI)**

Этот индекс показывает относительную прибыльность инвестиционного проекта на единицу первоначальных вложений:

$$PI = \frac{\left( \sum_{t=1}^n IF_t - OF_t - OF_t^e \right) (1+r(t))^{-t}}{IC_{t0}} \xrightarrow{\text{defuzzification}} \frac{\left( \sum_{t=1}^n \frac{\int_a^b w \mu_{IF_t}(w) dw}{\int_a^b \mu_{IF_t}(w) dw} - \frac{\int_a^b w \mu_{OF_t}(w) dw}{\int_a^b \mu_{OF_t}(w) dw} - OF_t^e \right) (1+r(t))^{-t}}{IC_{t0}}. \quad (9)$$

**Дисконтированный срок окупаемости (DPP)**  
Дисконтированный срок окупаемости представляет собой период времени, требуемый для возврата первоначальных вложений

$$\left\{ \begin{aligned} DPP = \min n, \\ \sum_{t=1}^n \frac{IF_t - OF_t - OF_t^e}{(1+r(t))^t} = \end{aligned} \right.$$

$$= IC_{t0} \xrightarrow{\text{defuzzification}} \left\{ \begin{aligned} DPP = \min n, \\ \frac{\int_a^b w \mu_{IF_t}(w) dw}{\int_a^b \mu_{IF_t}(w) dw} - \frac{\int_a^b w \mu_{OF_t}(w) dw}{\int_a^b \mu_{OF_t}(w) dw} - OF_t^e \\ \sum_{t=1}^n \frac{\int_a^b \mu_{IF_t}(w) dw}{\int_a^b \mu_{OF_t}(w) dw} (1+r(t))^t = IC_{t0}. \end{aligned} \right. \quad (10)$$

Данный показатель позволяет в определенной степени оценивать рискованность проекта, так как большой срок окупаемости является сигналом риска. При использовании *DPP* проект можно считать приемлемым, если срок окупаемости не превышает установленного предельного срока.

**Моделирование ставки дисконтирования в системе нечеткого вывода**

Предлагаем метод расчета ставки дисконтирования в системе нечеткого вывода. Архитектура компонентов системы нечеткого вывода представлена на рис. 2.

Входными переменными базы будут выступать:  $\beta_1$  - “уровень инфляции” и  $\beta_2$  - “средневзвешенная кредитная ставка”. Выходной переменной является  $\beta_3$  - “значение ставки дисконтирования”.

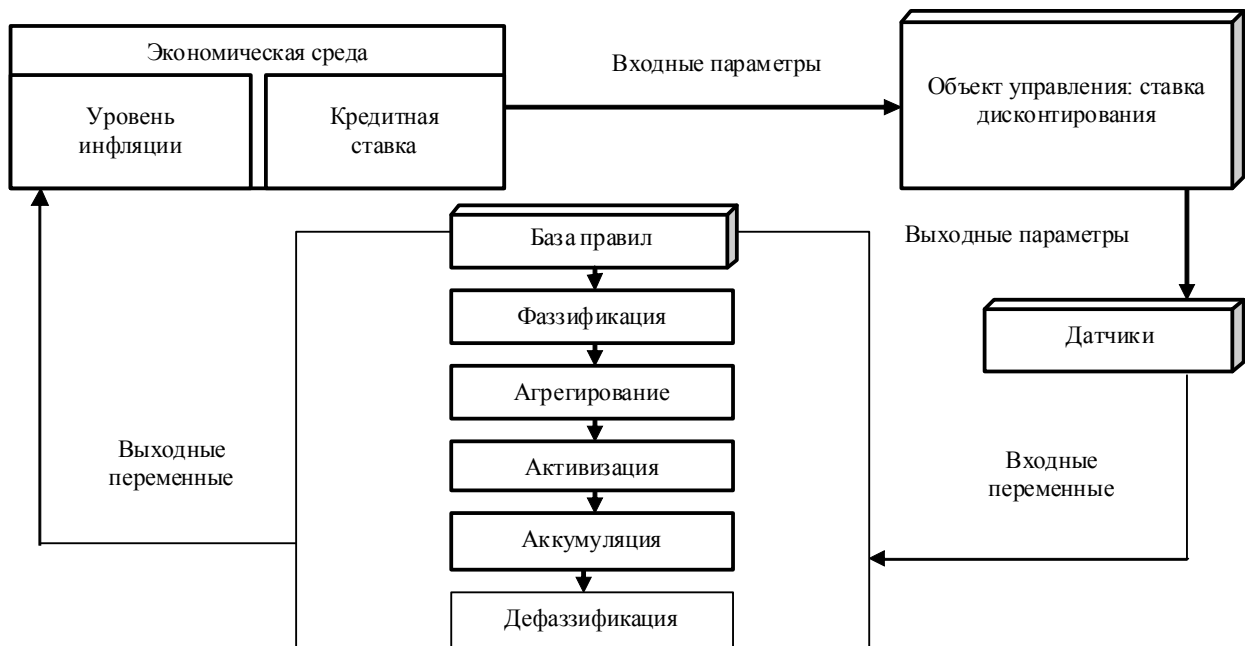


Рис. 2. Архитектура компонентов системы нечеткого вывода

Описание моделируемых параметров для формирования правил:

Описание	Обозначение
Высокий (ая)	<i>HG</i>
Выше среднего (ей)	<i>HM</i>
Средний (яя)	<i>MD</i>
Ниже среднего (ей)	<i>LM</i>
Низкий (ая)	<i>LW</i>

Правила формирования ставки дисконтирования представляют собой все возможные сочетания значений инфляции и кредитной ставки. Так, при высоком уровне инфляции и средней кредитной ставки значение ставки дисконтирования будет выше среднего. Весовые коэффициенты, отражающие степень уверенности в истинности подзаключения, принимают свои значения на интервале от 0 до 1. В случае отсутствия весовых коэффициентов их значение принимается равным 1.

#### Тестирование методологии на примере инвестиционного проекта "Расширение завода по выпуску химического волокна"

Применим рассмотренную выше методологию к оценке проекта, предусматривающего расширение действующего завода по выпуску химического волокна (табл. 2). Исходным сырьем для получения волокна является нефть, перерабатываемая в прямогонный бензин, далее в пропилен и, наконец, в нитрилакриловую кислоту

(НАК), из которой получают нитрон. Объем первоначальных инвестиций - 2000 млн руб. Период реализации - 4 года (48 мес.).

Исходя из полученных результатов, можно сделать вывод о том, что экологический фактор в модели Неймана - Гейла должен носить пассивный характер.

#### Неймановский темп роста модели

Система предприятия 2 характеризуется двумя способами производства:

- мокрый способ получения волокон;
- сухой способ.

Известно 10 видов загрязнителей водной среды и 6 - воздушной.

Введем в рассмотрение, согласно приведенной выше методике, следующие матрицы:

$$A = \begin{pmatrix} 1347 & 337 \\ 3147 & 787 \\ 688 & 172 \\ 150 & 15 \\ 160 & 40 \\ 1334 & 333 \\ 71 & 18 \\ 1050 & 450 \\ 294 & 126 \\ 161 & 69 \\ 108 & 27 \end{pmatrix}, \quad B = \begin{pmatrix} 1482 & 387 \\ 3462 & 850 \\ 688 & 150 \\ 149 & 17 \\ 176 & 39 \\ 1494 & 350 \\ 78 & 20 \\ 1176 & 484 \\ 297 & 127 \\ 159 & 79 \\ 108 & 29 \end{pmatrix}, \quad \bar{u}^T = (1,275 \quad 0,911).$$

Таблица 2. Показатели эколого-экономического состояния предприятия

Показатели производственной деятельности	Коэффициенты экологичности производства	Показатели природоохранной деятельности
Фондовооруженность - 0,07 млн руб./чел.	Класс опасности производства - $DCP = \sum_{j=1}^n \sum_{i=1}^s \frac{p_{ij}}{\rho_{ij}} a_i = 45\,012$ , $DCP \in (10^4, 10^6)$ , следовательно, предприятие относится ко второй категории опасности	Рейтинг предприятия по экологическим платежам - отсутствует
Капиталовооруженность - 0,96 млн руб./чел.	$K_{cr}$ - коэффициент замкнутости природных ресурсов, $K_{cr} = \frac{y_j}{x_{mj}} = 0,26$ , $K_{cr} \in (0; 0,5)$ - процесс со значительным количеством отходов	Стоимость производственных фондов, направленных на охрану окружающей среды, - 3,2 млн руб.
Производительность труда - 0,08 млн руб./чел.	$K_o$ - коэффициент оборота природных ресурсов, т, $K_o = \frac{m_o}{x_m} = 0,89$ .	Коэффициент эффективности текущих затрат на природоохранные мероприятия - 0,52
Удельная материалоемкость - 3,90	$K_{cl}$ - коэффициент чистоты технологических процессов, $K_{cl} = K_{cl}^1 + K_{cl}^2 = 0,60$ $K_{cl} \in (0,5; 0,8)$ , следовательно, процессы чистые	

Здесь  $a_{1j}, b_{1j}$  - затраты пропилена;  $a_{2j}, b_{2j}$  - затраты кислорода;  $a_{3j}, b_{3j}$  - затраты аммиака;  $a_{4j}, b_{4j}$  - затраты прочего сырья;  $a_{5j}, b_{5j}$  - полуфабрикаты;  $a_{6j}, b_{6j}$  - готовая продукция;  $a_{7j}, b_{7j}$  - основные производственные фонды;  $a_{8j}, b_{8j}$  - человеческие ресурсы;  $a_{9j}, b_{9j}$  - энергетические ресурсы;  $a_{10j}, b_{10j}$  - неэнергетические ресурсы;  $a_{11j}, b_{11j}$  - обрaты производства в очищенном виде. Вектор  $\bar{x} = (2024 \ 4730 \ 1034 \ 205 \ 241 \ 2004 \ 107 \ 1749 \ 490 \ 268 \ 162)$ ;  $\bar{y} = (2242 \ 5189 \ 1014 \ 205 \ 260 \ 2224 \ 119 \ 1941 \ 495 \ 276 \ 164)$ ;  $\bar{z} = (1,132 \ 0,00002 \ 0,103 \ 0,009 \ 0,008 \ 0,00001 \ 0,000001 \ 0,000003 \ 0,000009 \ 0,000002 \ 0,000006 \ 0,00005 \ 0,003 \ 0,016 \ 0,017 \ 0,0003)$ . Экономический темп роста:  $\bar{\beta} = \frac{5189 \cdot 1,13}{4730} = 1,24$ .

**Оценка экономического ущерба от производственных загрязнений**

Выпуск сточных после очистных сооружений в реку осуществляется через водовыпуск. Гидрохимические данные водоема и состав сточных вод в месте выпуска в водоток (г/м<sup>3</sup>) были взяты из материалов проектно-изыскательских работ.

Предельно допустимый сброс веществ в водоем рассчитывается согласно Методике расчета нормативов допустимых сбросов веществ и микроорганизмов в водные объекты для водопользователей<sup>3</sup>:

$$DL_i = qC_{DLi},$$

где  $C_{DLi} = C_{fi} + n(C_{MAi} - C_{fi})$  - значение концентрации  $i$ -го загрязняющего вещества в сточных водах, обеспечивающее нормативное качество воды, для некоторых загрязнителей  $C_{DL}$  совпадает с  $C_{MA}$ ;  $n$  - общая кратность разбавления в водотоке;  $q$  - расход сточных вод.

Массы вредных веществ, сброшенных со сточными водами, определялись по формуле<sup>4</sup>

$$p_i = q \cdot (\rho_i - C_{DLi}) \cdot T \cdot 10^{-6},$$

где  $T$  - продолжительность сброса сточных вод;  $10^{-6}$  - коэффициент перевода массы вредного вещества в тонны.

Таким образом, получаем  $OF_t^w = 20\ 682$  руб./мес.,  $OF_t^a = 31\ 902$  руб./мес.,  $OF_t^e = 52\ 585$  руб./мес. для моментов времени  $t = 1, 2, \dots, 12$ .

**Оценка эффективности инвестиционного проекта**

Лицом, принимающим решение, определяются оптимистичные и пессимистичные сценарии границ денежного потока. Так,  $\tilde{IF}^{opt} = 15\ 000$  млн руб.,  $\tilde{IF}^{pes} = 13\ 000$  млн руб.,  $O\tilde{F}^{opt} = 10\ 000$  млн руб.,  $O\tilde{F}^{pes} = 10\ 600$  млн руб. Далее предполагаемые величины  $\tilde{IF}$  и  $O\tilde{F}$  разбиваются на период обоснования проекта, согласно заданным процентным долям (табл. 3).

Таблица 3. Сценарии потоков денежных средств, тыс. руб.

	1		2		3		4	
	$\tilde{IF}^{pes}$	$\tilde{IF}^{opt}$	$\tilde{IF}^{pes}$	$\tilde{IF}^{opt}$	$\tilde{IF}^{pes}$	$\tilde{IF}^{opt}$	$\tilde{IF}^{pes}$	$\tilde{IF}^{opt}$
% доля	10%	12%	17%	15%	20%	23%	53%	50%
	1 300 000	1 800 000	2 210 000	2 250 000	2 600 000	3 450 000	6 890 000	7 500 000
$a_y$	1 040 000	1 440 000	1 768 000	1 800 000	2 080 000	2 760 000	5 512 000	6 000 000
$b_y$	1 560 000	2 160 000	2 652 000	2 700 000	3 120 000	4 140 000	8 268 000	9 000 000
$a_m = \frac{a_y}{12}$	86 667	120 000	147 333	150 000	173 333	230 000	459 333	500 000
$b_m = \frac{b_y}{12}$	130 000	180 000	221 000	225 000	260 000	345 000	689 000	750 000
	$O\tilde{F}^{opt}$	$O\tilde{F}^{pes}$	$O\tilde{F}^{opt}$	$O\tilde{F}^{pes}$	$O\tilde{F}^{opt}$	$O\tilde{F}^{pes}$	$O\tilde{F}^{opt}$	$O\tilde{F}^{pes}$
% доля	31%	30%	28%	27%	24%	25%	17%	18%
	3 100 000	3 180 000	2 800 000	2 862 000	2 400 000	2 650 000	1 700 000	1 908 000
$a_y$	2 480 000	2 544 000	2 240 000	2 289 600	1 920 000	2 120 000	1 360 000	1 526 400
$b_y$	3 720 000	3 816 000	3 360 000	3 434 400	2 880 000	3 180 000	2 040 000	2 289 600
$a_m = \frac{a_y}{12}$	206 667	212 000	186 667	190 800	160 000	176 667	113 333	127 200
$b_m = \frac{b_y}{12}$	310 000	318 000	280 000	286 200	240 000	265 000	170 000	190 800

Таблица 4. Эффективность проекта при различных видах функций принадлежности

График функции принадлежности на универсальном множестве	Формула функции принадлежности	Показатели эффективности проекта
	$\mu_{\tilde{F}_i, O\tilde{F}_i}(w) = \begin{cases} 0, 0 \leq w < a_m; \\ \frac{w - a_m}{b_m - a_m}, a_m \leq w \leq b_m; \\ 1, b_m < w \end{cases}$	<p><math>NPV = 89,85</math> млн руб.;  <math>MIRR = 6,07\%</math>;  <math>PI = 1,04</math>;  <math>DPP = 4</math> года</p>
	$\mu(x) = \begin{cases} 0, 0 \leq w < a_m; \\ \frac{1}{2} + \frac{1}{2} \sin\left(\frac{\pi}{b_m - a_m}\left(x - \frac{a_m + b_m}{2}\right)\right), a_m \leq w \leq b_m; \\ 1, b_m < w \end{cases}$	<p><math>NPV = 116,64</math> млн руб.;  <math>MIRR = 10,54\%</math>;  <math>PI = 1,06</math>;  <math>DPP = 4</math> года</p>
	$\mu(x) = \begin{cases} 0, 0 \leq x \leq 0; \\ 1 - e^{-r(w - a_m)}, a_m \leq w, r > 0 \end{cases}$	<p><math>NPV = 56,69</math> млн руб.;  <math>MIRR = 6,06\%</math>;  <math>PI = 1,03</math>;  <math>DPP = 4</math> года</p>

Для генерации величин притока и оттока денежных средств в рамках заданных месячных интервалов  $(a_m; b_m)$  воспользуемся модифицированной версией генератора Парка - Миллера, реализованного в программной среде C++.

Лицо, принимающее решение, выбирает конкретный график функции принадлежности, а затем при необходимости корректирует его параметры. Для оценки эффективности проекта рассмотрим три вида различных функций принадлежности (табл. 4).

Итак, при  $IC_{t_0} = 2\,000$  млн руб.,  $n = 48$ ,  $OF_{t_1}^e = 54\,978$  руб.;  $OF_{t_2}^e = 68\,276$  руб.;  $OF_{t_3}^e = 84\,790$  руб.;  $OF_{t_4}^e = 105\,299$  руб.

Полученные результаты подтверждают важность правильного выбора вида функции принадлежности, так как в противном случае можно сделать неверные заключения.

Если обратиться к графику распределения потоков денежных средств во времени (рис. 3),

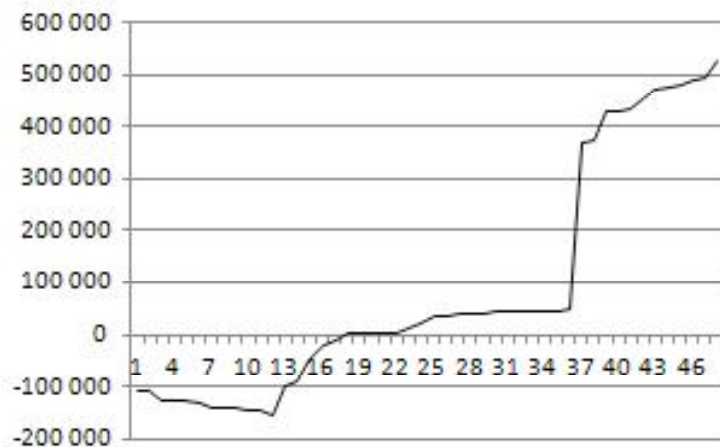


Рис. 3. Денежный поток проекта



то для проекта можно рекомендовать второй вид функции принадлежности.

#### **Выводы**

Негативное воздействие предприятий на окружающую среду ведет к истощению природных ресурсов и снижению качества жизни в целом. При этом инвестиционная деятельность данных предприятий остается главным инструментом достижения целей экономического роста. В таких условиях вопрос развития эколого-экономических моделей оценивания инвестиционных процессов является важным шагом на пути устойчивого развития.

Научная новизна методологии включает ряд аспектов:

- ввод вектора загрязнений в модель Неймана - Гейла для корректной оценки производственной системы предприятия;

- представление денежных потоков проекта в нечетко-множественной форме;
- расчет ставки дисконтирования в системе нечеткого вывода, позволяющий преодолеть недостаток, связанный с предположением о совершенстве рынка капитала.

---

<sup>1</sup> *Красс М.С.* Моделирование эколого-экономических систем. 2-е изд. М., 2013.

<sup>2</sup> *Москаленко А.П.* Экономика природопользования и охраны окружающей среды. М., 2003.

<sup>3</sup> Методика расчета нормативов допустимых сбросов (НДС) веществ и микроорганизмов в водные объекты для водопользователей: ведомственный нормативный документ. М., 2007.

<sup>4</sup> *Маслеева О.В.* Предельно допустимый выброс: метод. указания для практических занятий по дисциплине "Экология". Н. Новгород, 2005.

*Поступила в редакцию 06.03.2014 г.*