

## Территориальная модель процессов обращения отходов

В статье предпринята попытка построения количественных моделей оценки эффективности капиталовложений в сфере охраны окружающей среды от загрязнения отходами производства и потребления. Предложенная модель оценки инвестиционных проектов носит общий характер, дает возможности для сравнения различных направлений инвестирования, выявления наиболее оптимальных на данном этапе вариантов и может служить базой для разработки общей концепции контроля и управления развитием экологической ситуации в регионе.

### Введение

Вопросы образования и обращения отходов производства и потребления в последнее десятилетие приобрели особую актуальность [2, 3]. Если в индустриально развитых странах Европы и Америки проблемы учета, хранения и захоронения отходов отнесены к важнейшим темам ресурсно-национальной политики, то в России, при ее огромном пространственном потенциале, индустрия управления обращением отходов проходит стадию становления [4, 5].

Создание эффективных инструментов государственного управления обращением производственных отходов в условиях рынка должно опираться на модели экономических отношений [1] между субъектами хозяйствования, жилищно-коммунальным сектором и органами экологического контроля.

В статье рассматривается территориальная модель процессов обращения отходов, позволяющая оценить объемы затрат и эффективность при реализации тех или иных стратегий управления.

### Модель обращения отходов

Структура территориальной модели обращения отходов (рис. 1) отражает основные этапы и состояние процессов обращения. На рис. 1 выделены следующие векторные переменные состояния системы:

$x(k)$  — вектор, покомпонентно равный объему произведенной продукции (товары, услуги, работы) за  $k$ -й год;

$L(k)$  — среднее количество людей, проживающих на территории в  $k$ -ом году.

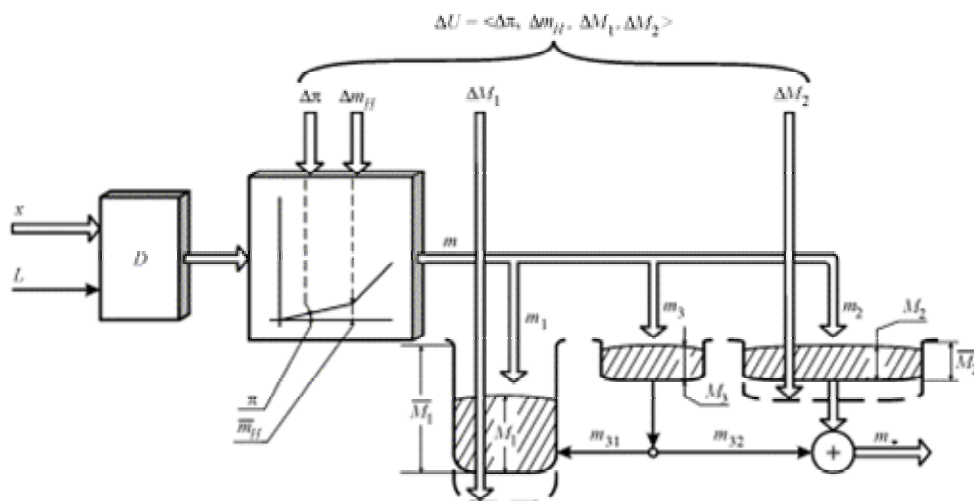


Рис. 1. Структура территориальной модели обращения отходов

Обозначим  $m_H(k)$  количество произведенных на территории отходов, оцениваемых по нормативам, тогда

$$m_H(k) = D_1 x(k) + D_2 L(k),$$

где  $D_1$  и  $D_2$  — матрицы нормативов образования отходов;  
 $m(k)$  — количество отходов, подлежащих размещению в  $k$ -ом году;

$\pi(k), \overline{m_H(k)}$  — типовые показатели обезвреживания, вторичного использования (характеризуют параметры и мощность трансформационных производств)

$$m(k) = \pi(k)m_H(k) + (I - \pi(k))(m_H(k) - \overline{m_H(k)})_{+}[1],$$

здесь  $\pi(k)$  — матрица трансформационных производств, удовлетворяющая условиям диссипативности по токсичности\*\*:

$$\rho^T(k)\pi(k) \leq \rho(k) \quad (1)$$

с вектором цен на размещение отходов  $\rho(k)$  ( $T$  — функция трансформирования);

$\overline{m_H(k)}$  — вектор уровней предельно допустимых мощностей трансформационных производств.

Для  $m(k)$  справедливо представление

$$m(k) = m_1(k) + m_2(k) + m_3(k),$$

где  $m_1(k)$  — отходы, размещаемые на полигонах территории;  $m_2(k)$  — отходы, вывозимые для размещения на полигонах других территорий;  $m_3(k)$  — сверхлимитное количество отходов, обнаруженное на несанкционированных свалках.

Динамика пополнения отходов на территориальных полигонах описывается рекуррентным уравнением:

$$M_1(k) = M_1(k-1) + m_1(k) + m_{31}(k), \quad (2)$$

где  $M_1(k)$  — суммарное количество отходов, накопленное на территориальных полигонах;  $m_{31}(k)$ , так же как и  $m_{32}(k)$ , — отходы, связанные с процедурами вторичного размещения и вывоза в соответствии с предписаниями государственного экологического контроля.

Количество отходов на площадках временного размещения определяется уравнением:

$$M_2(k) = M_2(k-1) + m_2(k) - m_{\rightarrow}(k) + m_{32}(k), \quad (3)$$

где  $M_2(k)$  — суммарное количество отходов на площадках временного размещения в ожидании вывоза;  $m_{\rightarrow}(k)$  — объемы вывоза, вычисляются по выражению

$$m_{\rightarrow}(k) = n_{\text{тр}}(k)m_{\text{тр}},$$

здесь  $n_{\text{тр}}(k)$  — кратность перевозок;  $m_{\text{тр}}$  — емкость транспортных средств.

Количество отходов на несанкционированных свалках описывается уравнением:

$$M_3(k) = M_3(k-1) + m_3(k) - m_{31}(k) - m_{32}(k), \quad (4)$$

где  $M_3(k)$  — суммарное количество отходов, размещенных в несанкционированных местах.

Если за  $\overline{M}_1(k)$  и  $\overline{M}_2(k)$  обозначить вместимость (емкость) мест хранения и временного размещения отходов, то динамика роста соответствующих емкостей описывается уравнениями:

$$\overline{M}_1(k) = \overline{M}_1(k-1) + \Delta M_1(k) \quad (5)$$

и

$$\overline{M}_2(k) = \overline{M}_2(k-1) + \Delta M_2(k) \quad (6)$$

и связана с инвестиционными вложениями в строительство соответствующих объектов.

Более эффективные, как правило долгосрочные и дорогие, вложения связываются с инвестированием трансформационных производств. Можно говорить об увеличении их мощности

$$\overline{m_H(k)} = \overline{m_H(k-1)} + \Delta m_H(k) \quad (7)$$

и совершенствовании соответственно технологий обезвреживания

$$\pi(k) = \pi(k-1) - \Delta\pi(k) \quad (8)$$

В свете изложенного обобщенное представление программы территориальных инвестиционных проектов удобно обозначать четвёркой

$$\Delta U(k) = \langle \Delta M_1(k), \Delta M_2(k), \Delta m_H(k), \Delta\pi(k) \rangle. \quad (9)$$

В отличие от непрерывной динамики приращения количества отходов  $M_1(k)$ ,  $M_2(k)$ ,  $M_3(k)$  (2–4), изменение параметров основных фондов линий обращения отходов (5–8) производится дискретно за более длительные периоды времени.

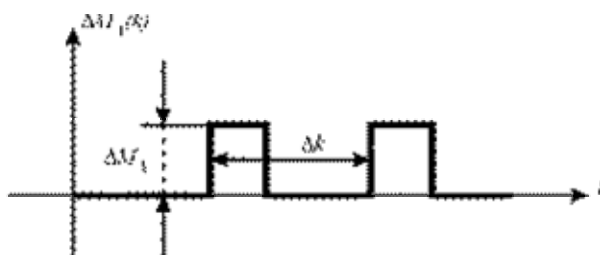


Рис. 2. График реализаций инвестиционных проектов

Отсюда, этапы реализации инвестиционных проектов  $U(k)$ , как правило, отражаются графиками импульсных функций (рис. 2), с регулярными (для  $\Delta M_1(k)$ ) и нерегулярными периодами. Однако характер затрат на реализацию инвестиционных проектов  $U(k)$  не является импульсным. Непрерывный характер территориальных производств, жилищно-коммунальных технологий жизнеобеспечения требует регулярных вложений в строительство полигонов и совершенствование индустрии обращения отходов.

В номинальных условиях работы сверхлимитных объемов  $m_3(k)$  не должно быть. На практике строго номинальные условия работы обеспечить не удастся. Поэтому в общем случае справедливо равенство:

$$m_2(k) + m_3(k) = (m(k) + M_1(k-1) - \overline{M}_1(k))_+, \quad (10)$$

которое означает все, что не удалось разместить на территориальных полигонах, образует группы сверхлимитных и вывозимых отходов, откуда

$$m_1(k) = m(k) - (m(k) + M_1(k-1) - \overline{M}_1(k))_+.$$

По аналогичной схеме можно оценить сверхлимитные объемы, как не вместившиеся на площадке временного накопления:

$$m_3(k) = [(m(k) + M_1(k-1) - \overline{M}_1(k))_+ + M_2(k-1) - \overline{M}_2(k)]_+. \quad (11)$$

И наконец, из (10) и (11) следует, что объем вывозимых отходов может быть определен по выражению:

$$m_2(k) = (m(k) + M_1(k-1) - \overline{M}_1(k))_+ - [(m(k) + M_1(k-1) - \overline{M}_1(k))_+ + M_2(k-1) - \overline{M}_2(k)]_+.$$

### Экономико-математические модели

В соответствии с законом РФ «Об охране окружающей среды» [7] объемы размещаемых отходов лимитируются и оплачиваются. Нормативная часть платежей вычисляется по выражению:

$$\Phi_1(k) = p^T(k)(m_1(k) + m_2(k) + m_{31}(k) + m_{32}(k)),$$

где  $p(k)$  — ранее отмеченный (1) вектор цен, устанавливаемый федеральными органами государственного управления.

Транспортные расходы по вывозу отходов на другие территории рассчитываются по формуле:

$$\Phi_2(k) = n_{\text{тр}}(k)(p_{2\text{тр}}(k) + p_2(k)^T m_{\text{тр}}),$$

где отдельно учитывается стоимость перевозок —  $p_{2\text{тр}}(k)$  и плата за компонентный состав перевозимых отходов —  $p_2(k)$ .

Штрафы за сверхлимитное образование отходов и их размещение в несанкционированных местах будем, как это принято, учитывать пятикратным увеличением нормативных тарифов

$$\Phi_3(k) = 5p(k)^T m_3(k).$$

Более сложная схема расчета основывается на оценке ущербов, наносимых несанкционированными свалками. Объемы плат за услуги полигонов определяются договорными отношениями. Расценки различны для разных полигонов и территорий. Осредненный учет названных затрат будет оцениваться по выражению:

$$\Phi_4(k) = p_4(k)^T (m_1(k) + m_2(k) + m_{31}(k) + m_{32}(k)),$$

где  $p_4(k)$  — вектор средних расценок за услуги полигонов.

Эксплуатационные затраты производств по обезвреживанию и второстепенному использованию отходов предлагается вычислять по выражению

$$\Phi_5(k) = p_5(k)^T \Lambda (m_H(k) - m(k)),$$

где  $p_5(k)$  — расценки по эксплуатационным затратам;  $\Lambda$  — матрица нормировочных коэффициентов, как правило  $\Lambda = \Lambda^T > 0$ .

Модели затрат, связанных с реализацией инвестиционных стратегий (10), имеют более сложную и, как правило, индивидуальную схему построения. Укажем лишь на две закономерности. Каждый проект отличается целевыми характеристиками своего назначения  $\Delta U$  и сроком реализации  $\Delta k$ . При фиксированных  $\Delta U$  сроки реализации могут назначаться различными. Выделим на временной шкале периодов реализации интервал

$$\Delta k \in [\Delta k_H, \Delta k_K],$$

где  $\Delta k_H$  — кратчайший период реализации проекта;  $\Delta k_K$  — номинальный период реализации проекта.

При  $\Delta k \rightarrow \Delta k_H$  период реализации приближается к предельно короткому значению, при этом стоимость реализации проекта  $\Phi_H(\Delta U)$  кратно возрастает. При  $\Delta k \rightarrow \Delta k_K$  стоимость реализации уменьшается и начиная с  $\Delta k_K$  практически стабилизируется на минимально достижимом уровне  $\Phi_K(\Delta U)$ . Кратное увеличение срока  $\Delta k_K$  приводит процесс в состояние долгостроя, и затраты при этом начинают вновь возрастать. Соответствующая модель затрат может быть представлена выражением

$$\Phi_U(\Delta U, \Delta k) = \Phi_K(\Delta U) + (\Phi_H(\Delta U) - \Phi_K(\Delta U)) \alpha_U^{(\Delta k - \Delta k_H)} + \Delta \Phi(\Delta U)(\Delta k - m \Delta k_K)_+,$$

где для  $\alpha_U$  справедливо  $\alpha_U^{(\Delta k_K - \Delta k_H)} = 0,05$ .

Финансовые риски от долгостроя  $\Delta \Phi(\Delta U)(\Delta k - m \Delta k_K)_+$  на момент планирования инвестиционной деятельности могут не учитываться.

Параметры  $\Delta U$  целевого назначения проекта можно разложить на количественные  $\Delta U_0$  и качественные  $v$  признаки. Если  $v$  скалярная характеристика мощности, то простейшая схема разложения имеет вид

$$\Delta U = v \Delta U_0; v \in [v_H, v_K], \quad (12)$$

где  $v_H$  — предельно низкий уровень экономической целесообразности реализации проекта;  $v_K$  — предельно допустимая мощность проекта.

Очевидно, параметры периода предельной реализации проектов разной мощности не одинаковы

$$\Delta k \in [\Delta k_H(v), \Delta k_K(v)],$$

особенно это касается минимально возможного периода

$$\Delta k_H(v) = \Delta k_{HH} + \alpha_H(v - v_H). \quad (13)$$

Динамика роста затрат с увеличением мощности  $v$  неодинакова для предельных сроков реализации проекта. Так, для предельно короткого срока реализации проекта

$$\Phi_H(\Delta U) = \Phi_{H0}(v) = \beta_{H0} + \beta_H(v - v_H). \quad (14)$$

Интенсивность роста затрат с увеличением мощности  $\beta_H > \beta_K$  более значима, чем для модели затрат с длительным сроком реализации

$$\Phi_K(\Delta U) = \Phi_{K0}(v) = \beta_{K0} + \beta_K(v - v_H). \quad (15)$$

Заметим, что уровень начальных затрат на проекты разной мощности так же соотносится, как и их интенсивности

$$\beta_{H0} > \beta_{K0}.$$

Математические выражения (12–15) образуют в совокупности обобщенную модель реализации инвестиционных проектов (9). Выпишем результаты отдельно:

$$\Phi_U(v, \Delta k) = \Phi_K(\Delta U) + (\Phi_H(\Delta U) - \Phi_K(\Delta U))\alpha_U^{(\Delta k - \Delta k_H)},$$

где  $\Delta k_H(v) \geq \Delta k_{HH} + \alpha_H(v - v_H)$ ,

$$\Phi_{K0}(v) = \beta_{K0} + \beta_K(v - v_H),$$

$$\Phi_{H0}(v) = \beta_{H0} + \beta_H(v - v_H),$$

$$\Delta U = v\Delta U_0, \text{ где } v \in [v_H, v_K].$$

Типичный вид графика функции  $\Phi_U(v, \Delta k)$  приведен на рис. 3.

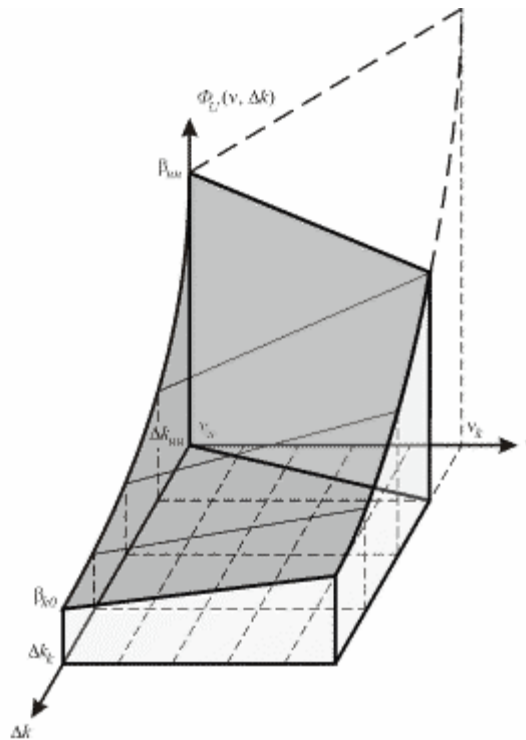


Рис. 3. График функции  $\Phi_U(v, \Delta k)$

### Заключение

Рассматриваемая в статье количественная модель обращения отходов производства и потребления и связанные с ней расчетные схемы оценки эксплуатационных и инвестиционных затрат направлены на анализ эффективности механизмов территориального регулирования процессов охраны окружающей среды. Предлагаемая схема учета инвестиционных затрат отражает общие закономерности реализации инвестиционных стратегий. Реальные оценки стоимости проектов, а также динамика освоения инвестиционных средств определяются конкретным содержанием проектов.

## Литература

1. Гурман В. И., Москаленко А. И. Моделирование процессов в природно-экономических системах. Новосибирск: Наука. Сиб. отд-ние, 1982. 176 с.
2. Коптюг В. А. Конференция ООН по окружающей среде и развитию. Рио-де-Жанейро, июнь 1992: Информационный отчет. Новосибирск: РАН Сиб. отд-ние, 1992. 62 с.
3. О влиянии нефтегазовой промышленности на окружающую среду // Бюл. Использование и охрана природных ресурсов России. № 3-4. С. 53–63 / <http://www.old.-priroda.ru/index.pnp?22+1+3>.
4. Показатели устойчивого развития: структура и методология / Пер. с англ. Под общ. ред. В. Р. Цибульского. Тюмень: Изд-во ИПОС СО РАН, 2000. 359 с.
5. Постановление Правительства РФ от 26.10.2000 № 818 «О порядке ведения государственного кадастра отходов и проведения паспортизации опасных отходов» // Собрание законодательства РФ. 2000. № 45. Ст. 4476.
6. Сборник удельных показателей образования отходов производства и потребления / Государственный комитет Российской Федерации по охране окружающей среды. М., 1999.
7. Федеральный закон «Об отходах производства и потребления» от 24.06.1998 № 89-03 // Собрание законодательства РФ. 1998. № 26. Ст. 1009; 2001. № 1. Ст. 21.
8. Федеральный закон об охране окружающей среды от 10.01.2002 № 7-03 // <http://www.dprt.tatarstan.ru/info/law/7.html>.

---

[1] Выражение  $(\alpha(k))_+$  означает положительную часть функции  $\alpha(k)$ .

\*\* В системах государственной отчетности под трансформацией понимаются следующие операции: вторичное использование, ликвидация, утилизация и т. п. — все то, что обуславливает снижение суммарной токсичности выходного продукта, это далее именуется свойством диссипативности по токсичности.

**N. I. Kuryshev, I. G. Solovyev**

### **A TERRITORIAL MODEL OF WASTE TREATMENT**

*The authors undertake an attempt to create quantitative models aimed at evaluating efficiency of investments into the field of protection from processing and consumption waste. The suggested model of investment evaluation is of general nature. It enables to make a comparison between different investment directions identifying options to be most optimal at the present stage. It could also serve as a basis for creating a general control and management concept on development of ecological situation in the region.*