Оптимізаційні еколого-економічні моделі

Підготувала: Куриленко Олександра

Національний університет «Києво-Могилянська академія»
Науковий керівник: Чорней Р.К.

Зміст

Актуальність дослідження

- Головне протиріччя між економікою та екологією виникає тоді, коли розвиток економіки розглядають як збереження нинішньої структури виробництва та зайнятості, де інтереси захисту довкілля часто відсуваються на другий план заради економічної вигоди.

Класична модель Солоу (1956)

$$Y(t) = K(t)^{\alpha} \cdot [A(t)L(t)]^{1-\alpha}$$

- $Y(t)$ – обсяг виробництва; $K(t)$ – капітал; $L(t)$ – праця
- $A(t)$ – технологічний прогрес; $\alpha \in (0, 1)$ – еластичність
- **Проблема:** не враховує екологічні обмеження

Каталізатори змін (1950-70-ті роки)

- Стрімка індустріалізація після Другої світової війни
- Масштабні екологічні катастрофи (Великий смог у Лондоні, 1952)
- Усвідомлення обмеженості природних ресурсів

Модифікована модель Дасгупта-Гіла (1974)

Врахування ресурсних обмежень

$$Y(t) = F(K(t), L(t), R(t))$$

де $R(t)$ – запаси природних ресурсів

Сучасні виклики XXI століття

- Зміна клімату та глобальне потепління
- Забруднення водних ресурсів і повітря
- Накопичення промислових відходів
- Деградація природних систем

Класична балансова модель

Базова система рівнянь

$$\mathbf{x} = A\mathbf{x} + \mathbf{y}, \quad \mathbf{e} = E\mathbf{x}$$

де:

- $\mathbf{x}$ – вектор обсягів випуску
- A – матриця прямих витрат
- $\mathbf{y}$ – вектор кінцевого попиту
- E – матриця екологічного впливу
- $\mathbf{e}$ – обсяги забруднення

Економічний зміст

Показує взаємозв'язки між галузями через систему лінійних рівнянь, враховуючи як виробничі процеси, так і їх екологічні наслідки

Математична модель Леонтьєва-Форда

Модель дозволяє враховувати екологічні наслідки господарської діяльності та показує, що економічне зростання можливе лише за умови належного контролю за забрудненням.

Система рівнянь:

$$\begin{cases} x^1 = A^{11}x^1 + A^{12}x^2 + y^1 \\ x^2 = A^{21}x^1 + A^{22}x^2 - y^2 \end{cases}$$

Матрична форма:

$$\begin{pmatrix} x^1 \\ x^2 \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} A^{11} & A^{12} \\ A^{21} & A^{22} \end{pmatrix} \cdot \begin{pmatrix} x^1 \\ x^2 \end{pmatrix} + \begin{pmatrix} y^1 \\ -y^2 \end{pmatrix}$$

Умова існування розв'язків: $A^{21}y^1 \geq y^2$

Змінні моделі

Основні змінні:

- $x^1_{i\phi_i}$ — обсяг виробництва продукції i способом ϕ_i
- $x^2_{j\psi_j}$ — обсяг знищення забруднювача j способом ψ_j
- y^1_i — обсяг кінцевого споживання продукції i
- y^2_j — допустимий обсяг незнищення забруднювача j

Коефіцієнти моделі

Технологічні коефіцієнти:

- $a^{11}_{ij\phi_j}$ — прямі затрати продукції i на виробництво одиниці продукції j
- $a^{12}_{ij\psi_j}$ — затрати продукції i на знищення одиниці забруднювача j
- $a^{21}_{ij\phi_j}$ — випуск забруднювача i при виробництві одиниці продукції j
- $a^{22}_{ij\psi_j}$ — випуск забруднювача i при знищенні одиниці забруднювача j

Економічні параметри:

- c_j — плата за одиницю незнищеного забруднювача j
- $c_{j\psi_j}$ — вартість знищення одиниці забруднювача j способом ψ_j

Цільова функція

Мінімізація загальних витрат:

$$\sum_{k\in J} c_k \left(\sum_{i\in I} \sum_{\phi_j \in P_j} a^{21}_{kj\phi_j} x^1_{j\phi_j} + \sum_{g\in J} \sum_{\psi_g \in Q_g} \sigma_{kg\psi_g} x^2_{k\psi_g} \right) \to \min$$

де $\sigma_{kg\psi_g} = \begin{cases} a^{22}_{kg\psi_g}, & g \neq k \\ a^{22}_{kk\psi_k} - 1 + \frac{c_{k\psi_k}}{c_k}, & g = k \end{cases}$

Перший доданок — обсяг випуску забруднювачів при виробництві

Другий доданок — обсяг випуску забруднювачів при знищенні з урахуванням витрат

Практична реалізація

Постановка практичної задачі:

- Мінімізувати загальні витрати системи, включаючи:
  - Витрати на виробництво продукції
  - Витрати на нейтралізацію забруднювачів
  - Очікувані втрати від технологічних катастроф
- За умов:
  - Задоволення потреб у продукції
  - Дотримання екологічних стандартів (толерантність до забруднення)
  - Невід'ємність всіх змінних

Метод: Лінійне програмування (симплекс-метод) для розв'язання задачі оптимізації еколого-економічної системи з урахуванням технологічних ризиків.

Умови застосування моделі

Тип задачі: Багатовимірна оптимізація з множинними обмеженнями

Складність: $O(n^3)$ для симплекс-методу, де n — кількість змінних

Умови застосування:

- Лінійні залежності між змінними
- Детерміновані параметри системи
- Відомі ймовірності катастроф
- Стабільні технологічні процеси

Обмеження:

- Пам'ять: $O(n^2)$ для зберігання матриць
- Час виконання: $O(n^3)$ для розв'язання задачі

Поточна реалізація моделі

Можливості реалізації:

- Оптимальна робота з:
  - 2 типами продукції
  - 2 типами забруднювачів
  - 2 методами виробництва / нейтралізації для кожного типу

Застосування: Підходить для моделювання еколого-економічних систем середньої складності, де важливо враховувати як економічні, так і екологічні аспекти.

Галузі використання

Пріоритетні сфери

- Енергетика – оптимізація енергоміксу з екологічними критеріями
- Хімічна промисловість – мінімізація токсичних викидів
- Металургія – ефективне використання сировини
- Муніципальне управління – планування утилізації відходів

Основні результати

Практична цінність

- Враховування екологічних ризиків у виробничих рішеннях
- Знаходження оптимальної структури витрат

Ключовий висновок:

Модель забезпечує збалансований підхід до вирішення протиріччя між економічним зростанням та екологічною безпекою

Перспективи розвитку

Наукові напрямки

- **Динамічні моделі** – врахування часової еволюції системи
- **Стохастичність** – глибша інтеграція невизначеності параметрів
- **Багатокритеріальність** – одночасна оптимізація економічних та екологічних цілей
- **Просторове моделювання** – врахування географічних факторів

Технологічний розвиток

- Інтеграція з системами підтримки прийняття рішень
- Розробка веб-платформи для широкого використання
- Застосування методів машинного навчання
- Інтеграція з геоінформаційними системами

Дякую за увагу!