

МОДЕЛЮВАННЯ БАЛАНСОВИХ СИСТЕМ “ВИТРАТИ-ВИПУСК” З УРАХУВАННЯМ ПЕРЕРОБКИ ВІДХОДІВ ВИРОБНИЦТВА

Досліджено еколого-економічні балансові моделі “витрати-випуск” з урахуванням діяльності допоміжних секторів знешкодження забруднювачів. Проведений економіко-математичний аналіз коефіцієнтів кінцевого та загального забруднення. Показано зв'язок між динамікою загального забруднення, діяльністю секторів знешкодження забруднення та структурною оптимізацією економіки.

Ключові слова: системи “витрати-випуск”, еколого-економічний баланс, економіко-математичне моделювання, переробка відходів.

Постановка проблеми. Дослідження ключових чинників функціонування еколого-економічних систем згідно з концепцією сталого розвитку є однією з актуальних проблем в економічній практиці та науці. Значне забруднення атмосфери та водних ресурсів, надмірні темпи видобутку корисних копалин, зношення та ерозія ґрунтів вимагають невідкладних змін, з метою упередження прогнозованих екологічних катастроф. Необхідно якомога швидше переглянути принципи взаємодії людини і природи та перейти до нових ресурсо- та енергозберігаючих безвідходних і маловідходних технологій з метою зменшення антропогенного навантаження на довкілля.

Оскільки основним джерелом забруднення є виробництво, тобто забруднення є побічним результатом економічної діяльності, то цей результат обов'язково повинен бути відображений у балансових системах “витрати-випуск”.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Дослідженню еколого-економічної взаємодії балансовими методами “витрати-випуск” значну увагу приділяли такі вітчизняні науковці, як: Л. Буяк, О. Волошин, В. Григорків, М. Кузубов, І. Ляшенко, А. Онищенко. Серед зарубіжних учених вагомий внесок у дослідження даної проблеми здійснили У. Айзард, Г. Дейлі, Й. Кондо, М. Лензен, В. Леонт'єв, С. Накамура, Дж. Неш, Е. Рюміна, С. Сах, Д. Форд, К. Хубачек, С. Шмельов та інші.

Базовою моделлю “витрати-випуск” для проведення економічного аналізу з урахуванням екологічного чинника часто виступає модель Леонт'єва-Форда [1].

Зокрема, в праці [2] доведено необхідні та достатні умови розв'язків відповідної системи рівнянь, побудована двоїста модель відносно цін, наведено різноманітні модифікації моделі. Моделі нелінійного еколого-економічного балансу, стохастичні моделі Леонт'єва-Форда, ціноутворення на основі екологічних балансів “витрати-випуск” наведені в праці [3]. У монографії [4] запропоновано способи побудови оптимізаційних моделей, які разом із забезпеченням варіантності цих моделей суттєво скорочують обсяг підготовчої роботи щодо розрахунку техніко-економічної інформації моделі. Сучасний досвід західних науковців у галузі дослідження екологізації економіки методами “витрати-випуск” відображено в [5].

Не вирішені раніше частини загальної проблеми. Незважаючи на значну увагу до проблем моделювання взаємодії економіки та екології, невирішеними залишається низка питань. На нашу думку, необхідно більш детально здійснити економіко-математичне дослідження процесів переробки та утилізації шкідливих відходів виробництва з подальшим ефективним плануванням контролю за забрудненням.

Формулювання цілей статті. Метою статті є побудова адекватних математичних моделей “витрати-випуск” балансового типу, що враховують переробку відходів виробництва з подальшим економічним аналізом параметрів забруднення та шляхами їх скорочення.

Викладення основного матеріалу дослідження. Теоретичною основою дослідження є балансові таблиці “витрати-випуск” з урахуванням забруднення, що

з'являється в процесі виготовлення основної продукції (Табл. 1.).

Таблиця 1.

Структура балансових таблиць “витрати-випуск” з урахуванням забруднення

		Проміжне споживання	Кінцеве споживання і забруднення	Валовий випуск і загальне забруднення
		1 ... n		
Проміжний попит	1 ... n	$[X_{ij}]$	$[Y_i]$	$[X_i]$
Попит на природні ресурси		$[V_j]$		
Загальний попит		$[X_j]$		
Забруднення	1 ... m	$[P_{ij}]$	$[R_i]$	$[Q_i]$

Визначення коефіцієнтів прямих витрат здійснюється за формулою

$$a_{ij} = X_{ij} / X_j, \text{ де } i = 1, \dots, n; j = 1, \dots, n.$$

Визначення коефіцієнтів прямого забруднення здійснюється за формулою

$$p_{ij} = P_{ij} / X_j, \text{ де } i = 1, \dots, m; j = 1, \dots, n.$$

Отже, PX – це матриця забруднень, що утворюються в результаті виробництва продукції проміжного споживання, а R – вектор забруднень, утворених у результаті виробництва продукції кінцевого споживання. Тоді матрична форма структури балансових рівнянь, що відповідають таблицям “витрати-випуск” з урахуванням забруднення, матиме вигляд (1) – (2):

$$AX + Y = X, \quad (1)$$

$$PX + R = Q, \quad (2)$$

Здійснюючи перетворення з моделлю

(1) – (2) отримуємо: або

$$\begin{bmatrix} I - A & 0 \\ -P & I \end{bmatrix} \begin{bmatrix} X \\ Q \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} Y \\ R \end{bmatrix}$$

$$\begin{bmatrix} X \\ Q \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} I - A & 0 \\ -P & I \end{bmatrix}^{-1} \begin{bmatrix} Y \\ R \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} (I - A)^{-1} & 0 \\ P(I - A)^{-1} & I \end{bmatrix} \begin{bmatrix} Y \\ R \end{bmatrix}$$

$$\Delta W = \Delta P(I - A)^{-1} + P\Delta(I - A)^{-1} + \Delta P\Delta(I - A)^{-1} \approx \Delta P(I - A)^{-1} + P\Delta(I - A)^{-1}$$

тобто, зміна коефіцієнтів загального забруднення залежить як від скорочення викидів забруднення загалом ΔP , так і від структурних та технологічних змін в економіці $\Delta(I - A)^{-1}$. Отже, ефективне планування контролю за забрудненням повинно

$$\Delta Q = \Delta(WY + R) = \Delta(WY) + \Delta R = \Delta WY + W\Delta Y + \Delta W\Delta Y + \Delta R$$

$$\Delta Q = \Delta WY + \Delta R$$

Припустимо $\Delta Y = 0$, тобто немає витрат економічного добробуту, тоді

Тобто: $X = (I - A)^{-1}Y,$

$$Q = P(I - A)^{-1}Y + R.$$

Коефіцієнт загального забруднення w_{ij} обчислюється за формулою (3):

$$w_{ij} = p_{ij} + \sum_{k=1}^n p_{ik} a_{kj} + \sum_{t=1}^n \sum_{k=1}^n p_{it} a_{tk} a_{kj} + \dots$$

або у матричній формі:

$$W = P + PA + PA^2 + \dots + PA^n + \dots = P(I - A)^{-1}.$$

Таким чином, коефіцієнт загального забруднення в моделі (1) – (2) визначається як добуток матриці прямого забруднення та інверсії матриці прямих витрат. Тоді, динаміка коефіцієнтів загального забруднення матиме вигляд:

послудувати інноваційні заходи, пов'язані з скороченням викидів, та структурні економічні перетворення.

Динаміка загального забруднення ΔQ матиме вигляд:

Таким чином, для скорочення загального забруднення існує дві альтернативи: впровадження інноваційних технологій виробництва з одночасною оптимізацією структури економіки та зменшення кінцевого споживання продукції, що є визначальним для еколого-економічного балансу.

Зменшення загального забруднення напряму пов'язане з очисткою та переробкою шкідливих викидів виробництва. З метою врахування процесів переробки та утилізації в еколого-економічні балансові моделі вводять допоміжні сектори, що забезпечують переробку для кожного виду відходів. У такому випадку структура балансових таблиць має такий вигляд (табл. 2):

Таблиця 2.

Структура балансових таблиць “витрати-випуск” з урахуванням забруднення та допоміжних секторів

		Проміжне споживання		Кінцеве споживання і забруднення	Валовий випуск і загальне забруднення
		1 ... n	1 ... m		
Проміжний попит	1 ... n	$[X_{ij}]$	$[E_{ij}]$	$[Y_i]$	$[X_i]$
Попит на природні ресурси		$[V_i]$	$[V_p]$		
Загальний попит		$[X_j]$	$[S_j]$		
Забруднення	1 ... m	$[P_{ij}]$	$-[F_{ij}]$	$[R_i]$	$[Q_i]$

При цьому визначення коефіцієнтів прямих витрат переробних секторів здійснюється за формулою:

$$e_{ij} = E_{ij} / S_j, \text{ де } i = 1, \dots, n; j = 1, \dots, m.$$

Визначення коефіцієнтів знищення забруднення обчислюється за формулою

$$f_{ij} = F_{ij} / S_j, \text{ де } i = 1, \dots, m; j = 1, \dots, m.$$

Ми припускаємо, що початкове забруднення P_{ij} таке ж, як і в моделі (1) – (2), а F_{ij} – це кількість, на яку забруднювач i зменшується внаслідок переробки сектором j . В матричній формі рівняння з табл.2 матимуть вигляд (4) – (5):

$$AX + ES + Y = X, \quad (4)$$

$$PX - FS + R = Q. \quad (5)$$

Введемо коефіцієнт рівня захисту навколишнього середовища

$$\alpha_i = S_i / Q_i, \text{ де } i = 1, \dots, m,$$

$$\begin{bmatrix} X \\ Q \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} (I - A)^{-1} + (I - A)^{-1} E \hat{\alpha} [(I + F \hat{\alpha}) - P(I - A)^{-1} E \hat{\alpha}]^{-1} P(I - A)^{-1} & (I - A)^{-1} E \hat{\alpha} [(I + F \hat{\alpha}) - P(I - A)^{-1} E \hat{\alpha}]^{-1} \\ [(I + F \hat{\alpha}) - P(I - A)^{-1} E \hat{\alpha}]^{-1} P(I - A)^{-1} & [(I + F \hat{\alpha}) - P(I - A)^{-1} E \hat{\alpha}]^{-1} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} Y \\ R \end{bmatrix}$$

Нехай

$$U = [(I + F \hat{\alpha}) - P(I - A)^{-1} E \hat{\alpha}]^{-1},$$

який відображає грошові кошти необхідні допоміжним секторам для переробки одиниці забруднення i . Тоді отримуємо:

$$AX + E \hat{\alpha} Q + Y = X, \quad (6)$$

$$PX - F \hat{\alpha} Q + R = Q, \quad (7)$$

де $\hat{\alpha} = \text{diag}(\alpha_1, \dots, \alpha_m)$ – діагональна матриця.

Знайдемо з моделі (6) – (7) значення загального споживання і загального забруднення:

$$\begin{bmatrix} (I - A) & -E \hat{\alpha} \\ -P & (I + F \hat{\alpha}) \end{bmatrix} \begin{bmatrix} X \\ Q \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} Y \\ R \end{bmatrix},$$

$$\begin{bmatrix} X \\ Q \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} (I - A) & -E \hat{\alpha} \\ -P & (I + F \hat{\alpha}) \end{bmatrix}^{-1} \begin{bmatrix} Y \\ R \end{bmatrix},$$

$W = UP(I - A)^{-1}$. Змінна U відображає ефект від діяльності допоміжних секторів знешкодження забруднювачів, що утворені основними видами економічної діяльності, а W

– новий коефіцієнт загального забруднення, що враховує діяльність допоміжних секторів. Тоді отримуємо модель (8) – (9):

$$X = (I - A)^{-1}Y + (I - A)^{-1}E\hat{\alpha}(WY + UR)$$

$$= (I - A)^{-1}Y + (I - A)^{-1}E\hat{\alpha}U[P(I - A)^{-1}Y + R], \quad (8)$$

$$Q = WY + UR = U[P(I - A)^{-1}Y + R]. \quad (9)$$

$$\Delta W = \Delta(UP(I - A)^{-1}) = \Delta UP(I - A)^{-1} + U\Delta P(I - A)^{-1} + UP\Delta(I - A)^{-1} +$$

$$+ \Delta(UP)(I - A)^{-1} + U\Delta(P(I - A)^{-1}) + \Delta U\Delta P\Delta(I - A)^{-1} \approx$$

$$\approx \Delta UP(I - A)^{-1} + U\Delta P(I - A)^{-1} + UP\Delta(I - A)^{-1}.$$

Отже, зміни загального забруднення на одиницю продукції основних видів економічної діяльності залежать від динаміки діяльності допоміжних секторів знешкодження забруднювачів ΔU , скорочення виробництва забруднення під час основного виробництва ΔP та структурних змін в економіці $\Delta P(I - A)^{-1}$.

Припустимо $\Delta Y = 0$ та $\Delta U = 0$, тобто немає втрати економічного добробуту та існує стабільний ефект від діяльності допоміжних секторів, тоді:

$$\Delta Q = \Delta WY + U\Delta R.$$

У такому випадку для зменшення шкідливих викидів потрібно зменшити значення коефіцієнтів загального забруднення та кінцеве забруднення.

Висновки та перспективи подальших досліджень. У статті запропоновано балансові моделі “витрати-випуск” з урахуванням діяльності допоміжних секторів знешкодження забруднювачів, проведено економіко-математичний аналіз коефіцієнтів загального та кінцевого забруднення моделі. Показано, що зменшення викидів забруднення пов’язано як з діяльністю секторів знешкодження забруднювачів, так і з структурною оптимізацією економіки.

Балансові моделі побудовані за принципом, згідно з яким витрати на очисні заходи прямо пропорційні виробленим забруднювачам, тобто вартість переробки кожного забруднювача однакова. Проте, функція витрат на переробку може залежати від багатьох аргументів та бути нелінійною, що зумовлює подальші дослідження нелінійних балансових моделей.

Для моделі (8) – (9) динаміка зміни коефіцієнтів загального забруднення матиме вигляд:

Також варто зауважити, що сьогодні в Україні статистика виробництва та переробки забруднювачів є доволі обмеженою. Такий чинник перешкоджає проведенню розрахунків з масивами реальних даних. Відповідно дослідження, пов’язані з розробкою методів формування інформаційного забезпечення еколого-економічних балансів, є вкрай актуальними та перспективними.

Список літератури:

1. Леонтьев В. В. Межотраслевой анализ влияния структуры экономики на окружающую среду / В. В. Леонтьев, Д. Форд // Экономика и математические методы. – 1972. – Т.8. – №3. – С. 370–400.
2. Ляшенко І. М. Економіко-математичні методи та моделі сталого розвитку / І. М. Ляшенко. – К. : Вища школа, 1999. – 236 с.
3. Григорків В. С. Моделювання еколого-економічної взаємодії / В. С. Григорків. – Чернівці : Рута, 2007. – 84 с.
4. Кузубов М. В. Моделювання економічних і еколого-економічних процесів / Кузубов М. В., Єдинак О. М., Овандер Н. Л. – К. : КСУ, 2010. – 170 с.
5. Stanislav E. Shmelev. Ecological Economics. Sustainability in Practice / Stanislav E. Shmelev. – Springer Science+Business Media B.V., 2012. – 248 p.

Аннотация

Руслан Белоскурский

**МОДЕЛИРОВАНИЕ БАЛАНСОВЫХ СИСТЕМ “ЗАТРАТЫ-ВЫПУСК”
С УЧЕТОМ ПЕРЕРАБОТКИ ОТХОДОВ ПРОИЗВОДСТВА**

Исследованы эколого-экономические балансовые модели "затраты - выпуск" с учетом деятельности вспомогательных секторов обезвреживания загрязнителей. Проведен экономико-математический анализ коэффициентов конечного и общего загрязнения. Показана связь между динамикой общего загрязнения, деятельностью секторов обезвреживания загрязнения и структурной оптимизацией экономики.

Ключевые слова: системы "затраты-выпуск", эколого-экономический баланс, экономико-математическое моделирование, переработка отходов.

Summary

Ruslan Biloskursky

**MODELING BALANCE SYSTEMS "INPUT - OUTPUT"
WITH WASTE PRODUCTION**

Ecological and economic balance models "input - output" with auxiliary waste sectors are investigated in the article. Economic and mathematical analysis of the coefficients of final pollution and total pollution are presented. The relationship between the dynamics of the total pollution, neutralization pollution sector and structural optimization of the economy are demonstrated.

Keywords: input - output system, ecological-economic balance, economic modeling, waste.