

І. М. Ляшенко,
професор, д. ф.-м. н., Київський національний університет імені Тараса Шевченка
А. М. Онищенко,
доцент, к.е.н., Київський національний університет імені Тараса Шевченка

МОДЕЛЮВАННЯ МАТЕРІАЛЬНО-ВАРТІСНОЇ ГАЛУЗЕВОЇ СТРУКТУРИ В УМОВАХ ОБМЕЖЕНЬ НА ВИКИДИ ПАРНИКОВИХ ГАЗІВ

У статті запропоновано модифіковану балансову еколого-економічну модель типу "витрати — випуск" з врахуванням встановлених Кіотським протоколом обмежень на викиди парникових газів. На основі класичної еколого-економічної гіпотези — сумарна вартість кінцевого споживання еколого-економічного продукту дорівнює сумарній оцінці виробництва — побудовано відповідну двоїсту модель. Пряма модель описує баланси обсягів продукції та обсягів забруднювачів, двоїста модель — баланси рівноважних цін.

In the article is proposed a modified balance ecological-economy "input-output" model in greenhouse limit of Kyoto Protocol. On the bases of the classical hypotheses is built the dual model. The direct model describes the balances of production and greenhouse, dual model — the balance of equilibrium prices.

Ключові слова: балансова модель "витрати — випуск", пряма та двоїста моделі, статична балансова модель, модель Леонт'єва "витрати — випуск", модель Леонт'єва-Форда "витрати — випуск".

ВСТУП

У другій половині ХХ століття обговорення проблеми екологічної кризи вийшло за межі наукових дискусій. Тривога за долю людства і біосфери охопила широкі верстви населення, торкнулася державних структур, стала елементом внутрішньої і зовнішньої політики держав. Виникла необхідність перегляду основоположних принципів сучасної науки, що сформували споживацький світогляд людства. Спроби знайти шляхи виходу з кризи, визначити на зламі тисячоліть подальшу траєкторію розвитку людства призвели до створення при ООН Міжнародної комісії з навколишнього середовища і розвитку. Одним з наслідків її діяльності стало створення Кіотського протоколу [1], спрямованого на скорочення викидів парникових газів як головної причини глобальної зміни клімату. Згідно протоколу, основні забруднювачі — індустріально розвинуті країни — беруть на себе зобов'язання знизити обсяги емісій парникових газів в середньому на 8% порівняно з 1990 роком. Особливістю протоколу є використання економічних важелів врегулювання еколого-економічних проблем.

ПОСТАНОВКА ЗАВДАННЯ

Виконання встановлених зобов'язань щодо неперевикнення квот на викиди парникових газів накладає певні обмеження на основні економічні показники виробничої діяльності. Оскільки існує залежність між обсягами валового випуску та об'ємами емісій CO₂, то, в першу чергу, це стосується валового випуску продукції, обсягу інвестицій, кінцевого продукту, їх оптимального розподілу у системі національного багатства. Дотримуючись загального принципу поділу економічних досліджень на мікро-, мезо- та макrorівні, будемо розглядати функціонування виробництва у розрізі існуючих галузей, що зумовлено складністю та багатофакторністю задач скорочення викидів парникових газів в національній економіці.

Оскільки зміст Кіотського протоколу має еколого-економічний характер, реалізація його положень вимагає застосування міждисциплінарного підходу. Як ефективний інструментарій дослідження в даному випадку може розглядатися балансова еколого-економічна модель "витрати — випуск" [2], якій належить особлива

роль в розв'язанні принципів проблем перспективно-планування з врахуванням природокористування, а саме — обґрунтування величини витрат на охорону навколишнього середовища з врахуванням соціально-економічного ефекту та розподілу їх у територіально-галузевому розрізі.

Перша балансова модель, що охоплює взаємозв'язки економіки та навколишнього середовища, була запропонована В.Леонтьєвим та Д.Фордом [3]. Вона узагальнює схему класичного міжгалузевого балансу і включає дві групи галузей: основне виробництво (галузі матеріального виробництва) та допоміжне виробництво (галузі зі знищення забруднень). Основні умови моделі виражаються системою рівнянь:

$$\begin{aligned} x_1 &= A_{11}x_1 + A_{12}x_2 + y_1, \\ x_2 &= A_{21}x_1 + A_{22}x_2 - y_2. \end{aligned} \quad (1),$$

у системі (1) $x_1 = (x_1^1, x_2^1, \dots, x_n^1)^T$ — вектор-стовпчик обсягів виробництва продукції;

$x_2 = (x_1^2, x_2^2, \dots, x_m^2)^T$ — вектор-стовпчик обсягів знищених забруднюючих речовин;

$y_1 = (y_1^1, y_2^1, \dots, y_n^1)^T$ — вектор-стовпчик обсягів кінцевої продукції;

$y_2 = (y_1^2, y_2^2, \dots, y_m^2)^T$ — вектор-стовпчик обсягів незнищених забруднень;

$A_{11} = (a_{ij}^{11})_1^n$ — квадратна матриця коефіцієнтів прямих витрат продукції i на виробництво одиниці продукції j ;

$A_{12} = (a_{ig}^{12})_{i,g=1}^{n,m}$ — прямокутна матриця витрат продукції i на одиницю знищення забруднювачів g ;

$A_{21} = (a_{kj}^{21})_{k,j=1}^{m,n}$ — прямокутна матриця випуску забруднювачів k на одиницю виготовленої продукції j ;

$A_{22} = (a_{kg}^{22})_1^m$ — квадратна матриця випуску забруднювачів k на одиницю знищення забруднювачів g .

У системі (1) неявно припускається, що коефіцієнти $a_{ij}^{11} \geq 0$, $a_{ig}^{12} \geq 0$, $a_{kj}^{21} \geq 0$, $a_{kg}^{22} \geq 0$ розповсюджують на всі види виробничої діяльності (матеріальне виробництво та знищення забруднювачів) гіпотези основної моделі міжгалузевого балансу: кількість технологічних способів дорівнює кількості видів продукції та в кожному технологічному способі виробляється лише один вид продукції. В подальшому будемо вважати матриці A_{11} , A_{12} , A_{21} , A_{22} невід'ємними: $A_{11} \geq 0$, $A_{12} \geq 0$, $A_{21} \geq 0$, $A_{22} \geq 0$. Економічний зміст моделі Леонтьєва-Форда вимагає, щоб всі її змінні були невід'ємними, тобто $x_i^1 \geq 0$, $x_k^2 \geq 0$, $y_i^1 \geq 0$, $y_k^2 \geq 0$.

Поставимо задачу на основі наведеної вище балансової схеми "витрати — випуск" врахувати витрати на виконання обмежень за Кіотським протоколом. Вирішення даної задачі передбачає розв'язання цілого комплексу фундаментальних проблем сучасної науки, до переліку яких належать, наприклад, розробка надійних методів прогнозування параметрів стану довкілля та критеріїв її якості, здатних забезпечити кількісне вимірювання ступеня задоволення потреб людства у

чистоті та природному різноманітті; створення науково обґрунтованої методики визначення економічного збитку від забруднення довкілля; побудова системи моделей взаємодії різних компонентів природних комплексів з врахуванням природних та антропогенних факторів та умов.

Враховуючи важливість цінової політики в контексті вимог Кіотського протоколу, додатково розглянемо питання ціноутворення на прикладі балансових еколого-економічних моделей, тобто поставимо задачу побудови двоїстої моделі.

РЕЗУЛЬТАТИ ДОСЛІДЖЕННЯ

Запропоновано враховувати витрати на виконання емісійних обмежень парникових газів у структурі галузей основного виробництва у вигляді:

$$\begin{cases} x_1 = A_{11}x_1 + A_{12}x_2 + Cy_2 + y_1, \\ x_2 = A_{21}x_1 + A_{22}x_2 - y_2, \end{cases} \quad (2),$$

де Cy_2 — витрати, пов'язані з викидами парникових газів (тобто витрати на обслуговування викидів парникових газів, зокрема, це плата за дозволи на викиди);

$C = (c_{ig}^{12})_{i,g=1}^{n,m}$ — прямокутна матриця витрат продукції на одиницю викидів забруднювача g .

У векторно-матричному вигляді модель (2) можна представити так:

$$\begin{pmatrix} x_1 \\ x_2 \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} A_{11} & A_{12} \\ A_{21} & A_{22} \end{pmatrix} \begin{pmatrix} x_1 \\ x_2 \end{pmatrix} + \begin{pmatrix} E_1 & C \\ 0 & -E_2 \end{pmatrix} \begin{pmatrix} y_1 \\ y_2 \end{pmatrix},$$

де E_1 та E_2 — відповідні одиничні діагональні матриці.

Перше рівняння запропонованої моделі відображає економічний баланс — розподіл галузевого валового випуску продукції на виробниче споживання основного та допоміжного виробництв, кінцеве споживання основного виробництва та витрати, пов'язані з виконанням зобов'язань за Кіотським протоколом. Друге рівняння відображає фізичний баланс парникових газів як суму емісій, спричинених діяльністю основного та допоміжного виробництв, та їх незнищених обсягів.

Економічний зміст змінних моделі (2) вимагає розгляду їх невід'ємних значень. Останнє тісно пов'язано з питанням продуктивності балансових моделей, що дозволяє вести мову про реальне функціонування виробничої системи, здатної забезпечити проміжне споживання, додатні обсяги кінцевого продукту та виконання встановлених обмежень з викидів парникових газів.

З метою дослідження питання забезпечення невід'ємності розв'язків виразимо x_2 з другого рівняння та підставимо у перше:

$$x_1 = (E_1 - A_1)^{-1}(y_1 + Cy_2 - A_{12}(E_2 - A_{22})^{-1}y_2),$$

де $A_1 = A_{11} + A_{12}(E_2 - A_{22})^{-1}A_{21}$ — квадратна матриця n -го порядку.

Також виразимо x_1 з першого рівняння та підставимо у друге:

$$x_2 = (E_2 - A_2)^{-1}(A_{21}(E_1 - A_{11})^{-1}y_1 + A_{21}(E_1 - A_{11})^{-1}Cy_2 - y_2),$$

де $A_2 = A_{22} + A_{21}(E_1 - A_{11})^{-1}A_{12}$ — квадратна матриця m -го порядку.

Таким чином, формальний розв'язок системи (2) можна записати у вигляді:

$$\begin{pmatrix} x_1 \\ x_2 \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} (E_1 - A_1)^{-1} & (E_1 - A_1)^{-1}(A_{12}(E_2 - A_{22})^{-1} - C) \\ (E_2 - A_2)^{-1}A_{21}(E_1 - A_1)^{-1} & (E_2 - A_2)^{-1}(E_2 - A_{21}(E_1 - A_1)^{-1}C) \end{pmatrix} \begin{pmatrix} y_1 \\ -y_2 \end{pmatrix}.$$

Згідно методики, запропонованої в [3], узагальнено поняття продуктивності на випадок блочної матриці з невід'ємними елементами:

$$A = \begin{pmatrix} A_{11} & A_{12} \\ A_{21} & A_{22} \end{pmatrix} \geq 0 \quad (3).$$

Будемо вважати невід'ємну блочну матрицю продуктивною, якщо продуктивними є матриці A_{11} , A_{12} , A_1 та A_2 . Продуктивність матриць A_1 та A_2 означає рентабельність основного та допоміжного виробництв за повним циклом виробництва продукції та за повним циклом знищення парникових газів. Якщо матриці A_{11} , A_{12} , A_1 та A_2 — продуктивні, то матриці $(E_1 - A_{11})^{-1} \geq 0$, $(E_2 - A_{22})^{-1} \geq 0$, $(E_1 - A_1)^{-1} \geq 0$, $(E_2 - A_2)^{-1} \geq 0$ існують та мають невід'ємні елементи.

Продуктивність блочної матриці (3) не гарантує невід'ємності розв'язків системи (2). Проаналізуємо отримані вирази для x_1 та x_2 . З системи (2) отримуємо:

$$x_1 = (E_1 - A_{11})^{-1}(A_{12}x_2 + Cy_2 + y_1).$$

Звідси випливає, що при $x_2 \geq 0$, $y_1 \geq 0$, $y_2 \geq 0$ виконується умова $x_1 \geq 0$.

Таким чином, необхідною та достатньою умовою невід'ємності розв'язків моделі (2) при продуктивності блочної матриці (3) та при $y_1 \geq 0$, $y_2 \geq 0$ буде умова $x_2 \geq 0$, тобто $(E_2 - A_2)^{-1}(A_{21}(E_1 - A_{11})^{-1}y_1 + A_{21}(E_1 - A_{11})^{-1}Cy_2 - y_2) \geq 0$.

З останньої нерівності отримуємо достатню умову існування невід'ємних розв'язків:

$$A_{21}(E_1 - A_{11})^{-1}(y_1 + Cy_2) \geq y_2,$$

яку можна замінити ще більш жорсткою достатньою умовою:

$$A_{21}(y_1 + Cy_2) \geq y_2.$$

Остання нерівність означає, що достатньою умовою функціонування основного та допоміжного виробництв є неперевищення обсягу неутилізованих викидів парникових газів над повними емісіями парникових газів, що виникають при виробництві кінцевого продукту та витратах, спрямованих на обслуговування зобов'язань за Кіотським протоколом.

З метою побудови моделі "витрати — випуск" у вартісному вигляді введемо вектор-рядок цін основної продукції $p_1 = (p_1^1, p_2^1, \dots, p_n^1)$ та вектор-рядок вартостей знищення забруднювачів $p_2 = (p_1^2, p_2^2, \dots, p_m^2)$. За змістом ці вектори невід'ємні. Помножимо зліва перше рівняння системи (2) на p_1 , а друге — на p_2 . Одержимо:

$$\begin{aligned} p_1x_1 &= p_1A_{11}x_1 + p_1A_{12}x_2 + p_1(Cy_2 + y_1), \\ p_2x_2 &= p_2A_{21}x_1 + p_2A_{22}x_2 - p_2y_2 \end{aligned} \quad (4).$$

Перше рівняння системи (4) виражає вартісний баланс продукції, друге — фізичний баланс парникових газів у вартісній формі.

Введемо вектори-рядки доданої вартості основного та допоміжного виробництв $r_1 = (r_1^1, r_2^1, \dots, r_n^1)$,

$$r_2 = (r_1^2, r_2^2, \dots, r_m^2).$$

Незнищені парникові гази $y_2 \in$ "антиблагодом" для суспільства, тому в економічному балансі величина p_2y_2 є втратою загальної вартості, яка може, зокрема, компенсуватися доданою вартістю діяльності допоміжного виробництва. Тоді друге рівняння системи (4) набуде вигляду:

$$p_2x_2 = p_2A_{21}x_1 + p_2A_{22}x_2 + r_2x_2.$$

Враховуючи принцип еквівалентності натурального та вартісного складу міжгалузевого балансу, можна стверджувати: вартість кінцевого продукту та витрат за Кіотським протоколом дорівнює доданій вартості діяльності галузей основного виробництва: $p_1(y_1 + Cy_2) = r_1x_1$; економія на вартості утилізації незнищених парникових газів $p_2(-y_2)$ замінюється доданою вартістю діяльності допоміжного виробництва r_2x_2 .

Таким чином, використано класичну для екологічної економіки гіпотези — сумарна вартість споживання еколого-економічного продукту дорівнює сумарній оцінці виробництва [4]. З врахуванням цього система (4) перетворюється в два економічні баланси:

$$p_1x_1 = p_1A_{11}x_1 + p_1A_{12}x_2 + r_1x_1,$$

$$p_2x_2 = p_2A_{21}x_1 + p_2A_{22}x_2 + r_2x_2,$$

які складемо

$$(p_1 - p_1A_{11} - p_2A_{21} - r_1)x_1 + (p_2 - p_1A_{12} - p_2A_{22} - r_2)x_2 \equiv 0.$$

Оскільки останнє співвідношення повинно виконуватись при будь-яких обсягах виробництва $x_1 \geq 0$, $x_2 \geq 0$, то воно набуває вигляду

$$p_1 = p_1A_{11} + p_2A_{21} + r_1, p_1 \geq 0,$$

$$p_2 = p_1A_{12} + p_2A_{22} - r_2, p_2 \geq 0. \quad (5).$$

Це і є двоїста до моделі (2) модель цін або еколого-економічна модель у вартісному вираженні.

ВИСНОВКИ

Таким чином, в роботі побудовано пряму та двоїсту балансові еколого-економічні моделі типу "витрати-випуск", що враховують витрати на виконання вимог, обумовлених змістом Кіотського протоколу. Запропоновані моделі дають можливість аналізувати матеріально-вартісну структуру діяльності галузей економічної системи в умовах встановлених екологічних обмежень.

Література:

1. Киотский протокол к Конвенции об изменении климата / Секретариат Конвенции об изменении климата. — Бонн, 2000. — 33 с.
 2. Леонтьев В.В., Форд. Д. Межотраслевой анализ влияния структуры экономики на окружающую среду // Экономика и математические методы. — 1972. — Т.8. — №3. — С. 370—400.
 3. Ляшенко І.М. Економіко-математичні методи та моделі сталого розвитку. — К.: Вища школа, 1999. — 236 с.
 4. Ляшенко І.М., Онищенко А.М. Прямі та двоїсті балансові моделі "витрати — випуск" // Економічна кібернетика. — 2009. — №1—2. — С. 14—18.
- Стаття надійшла до редакції 13.05.2011 р.