

ВИЗНАЧЕННЯ ВЕЛИЧИНИ ЕКОЛОГІЧНОГО ПОДАТКУ НА ОСНОВІ МОДИФІКАЦІЇ МІЖГАЛУЗЕВОЇ МОДЕЛІ ЛЕОНТЬЄВА-ФОРДА

Ляшенко О. І., Хрущ Л. З.

Об'єктом дослідження є планування виробничої діяльності, яке ставить за мету узгодити екологічні та економічні критерії розвитку «природа-виробництво». Одним з найбільш проблемних місць у виробництві є врахування екологічного фактору, оскільки виробнича діяльність чинить негативний вплив на навколишнє середовище. Особливо важливим є зменшення частки парникових газів у викидах виробничих підприємств.

В ході дослідження використовувалися підходи до моделювання виробничої діяльності на основі міжгалузевого балансу з урахуванням екологічної складової.

Отримано модифіковану еколого-економічну модель Леонтьєва-Форда для випадку розширення міжгалузевого балансу з урахуванням нової галузі, що здійснює переробку парникових газів. Запропонована модель має, зокрема, особливість, що дозволяє розглядати процес знищення парникових газів як окрему галузь виробництва, нерозривно пов'язану міжгалузевими зв'язками з іншими галузями.

Проведено розрахунки за реальними даними на основі таблиці міжгалузевого балансу за 2016 рік. Сформовано агреговану матрицю прямих витрат з виділенням 8 основних галузей.

Завдяки цьому забезпечується можливість отримання у явному вигляді формули для відшукування або оцінки величини екологічного податку в залежності від забрудненості технології. У дослідженні зведено модифіковану модель Леонтьєва-Форда, що враховує появу та функціонування нової галузі, яка здійснює знищення парникових газів, до статичної моделі міжгалузевого балансу. В результаті розрахунків були отримані матриця прямих технологічних витрат та матриця приростів прямих витрат при введенні нової галузі. Розраховано ціну основної продукції і вартість знищення забруднювачів. У порівнянні з аналогічними відомими моделями можна зробити висновок, що запропонована модель забезпечує переваги при вирахуванні плати за забруднення. В результаті визначено величину ставки екологічного податку, яка враховує забрудненість виробництва. Це сприятиме більш раціональному природокористуванню та, відповідно, зменшенню викидів парникових газів у атмосферу.

Ключові слова: еколого-економічне моделювання, сталий розвиток, міжгалузевий баланс, модель Леонтьєва-Форда, емісія парникових газів.

1. Вступ

Проблеми раціонального природокористування, охорони навколишнього середовища залишаються актуальними протягом багатьох років. Економічна

діяльність чинить негативний вплив на навколишнє середовище, тому виникають питання про врахування екологічного фактору при плануванні виробничої діяльності. На даний момент значні кошти витрачаються на запобігання негативному впливу на навколишнє середовище, зокрема це стосується будівництва очисних споруд. Одним з найважливіших факторів впливу на середовище існування як людини, так і загалом природи є забруднення атмосферного повітря, причому значну частку у викидах складають парникові гази. Так, наприклад, викиди окремих забруднюючих речовин та парникових газів у атмосферу у 2016 р. склали 3078,1 тис. т, причому це склало 107,7 % до показників 2015 р., тобто спостерігається тенденція до збільшення викидів.

Згідно Паризької кліматичної угоди [1] основною метою є:

- підсилення впровадження Рамкової конвенції про зміну клімату шляхом утримання зростання середньої світової температури;
- підтримка протидій змінам клімату, розвиток з низькими викидами парникових газів у спосіб, що не загрожує виробництву харчів;
- гармонізація фінансових потоків зі шляхом розвитку з протидіями змінам клімату та з низькими викидами парникових газів.

З огляду на викладене вище можна зазначити, що тема даного дослідження є актуальною.

2. Об'єкт дослідження та його технологічний аудит

Об'єктом дослідження є визначення ставки екологічного податку при плануванні виробничої діяльності, яке ставить за мету узгодити екологічні та економічні критерії розвитку «природа-виробництво».

Одним з найбільш проблемних місць у виробництві є врахування екологічного фактору, оскільки економічна діяльність чинить негативний вплив на навколишнє середовище. Особливо важливим є зменшення частки парникових газів у викидах виробничих підприємств.

З метою формування ефективної ставки екологічного податку проведено дослідження на основі міжгалузевої еколого-економічної моделі Леонт'єва-Форда. Впровадження ставки податку, яка б враховувала забрудненість виробництва, сприятиме більш раціональному природокористуванню та, відповідно, зменшенню викидів парникових газів у атмосферу.

3. Мета та задачі дослідження

Метою дослідження є формування ефективної ставки екологічного податку.

Для досягнення поставленої мети дослідження визначено такі наукові завдання:

1. Провести модифікацію моделі Леонт'єва-Форда з урахуванням нової галузі, що знищує парникові гази.
2. Зробити розрахунки на основі таблиці міжгалузевого балансу за 2016 рік.
3. Визначити величину екологічного податку.

4. Дослідження існуючих рішень проблеми

Проблеми еколого-економічного моделювання та врахування негативного впливу на навколишнє середовище цікавили багатьох вчених. Так, наприклад, у роботі [2] пропонується розглядати нову окрему галузь в міжгалузевій еколого-економічній моделі, яка перероблює відходи. В роботі [3] досліджуються методологічні питання економіко-математичного моделювання сталого розвитку, що включають системний розгляд економічних та екологічних проблем і пов'язують економічне зростання зі станом навколишнього середовища, насамперед, з використанням вичерпних природних ресурсів та очищенням середовища від виникаючих забруднень. Описані міжгалузеві моделі, що розвивають та узагальнюють модель Леонтьєва-Форда. Наведені макромоделі сталого розвитку. Побудовані та досліджені агреговані динамічні моделі екологічно чистих технологій, що ґрунтуються на кінетичній моделі Моно-Ієрусалимського. Запропоновані ринкові механізми еколого-економічної взаємодії. Розглядається широкий спектр питань та методів, що дозволяють враховувати вплив навколишнього середовища на економічний розвиток.

У роботі [4], присвяченій оцінці екологічної економіки, включаючи викиди парникових газів на душу населення та одиницю ВВП, пропонується включити показник виробничих витрат на навколишнє середовище. Автори припускають модернізацію моделі Леонтьєва-Форда міжгалузевого балансу шляхом економічної оцінки впливу забруднення навколишнього середовища.

У роботі [5] досліджується потенціал об'єднання двох еколого-економічних методів: аналізу міжгалузевого балансу та використання систем підтримки прийняття рішень. Оцінюється стійкість інвестицій у різні сектори економіки з метою мінімізації використання ресурсів та вироблення викидів.

У роботі [6] розглядається екологічна модель Леонтьєва, яка є моделлю міжгалузевого балансу, що збільшена за рахунок секторів, які створюють та зменшують забруднення. У літературі можна знайти два формулювання цієї моделі. В одному формулюванні розглядається екзогенно введений вектор допустимого рівня забруднювачів (екологічні стандарти) як негативна змінна у правій частині моделі. Інше формулювання передбачає, що кожна галузь виключає певну питому вагу забруднення, яке вона створює, так що пропорції валових забруднюючих речовин, які підлягають обробці кожним сектором, вводять як задані параметри. Навіть у тому випадку, коли рівні виробництва та скорочення викидів у двох різних формулюваннях моделі є однаковими, розв'язок двоїстої або цінової моделі відрізняються в тих випадках, коли деякі чисті забруднення залишаються незнищеними. Встановлено аналітичні зв'язки між двома ціновими моделями. Обидві моделі, сформульовані у вигляді задач лінійного програмування, розширюються шляхом нарахування витрат на викиди на неочищене забруднення.

У роботах [7–10] розглянута модифікація моделі Леонтьєва, що враховує забруднення, дано її систематичне формулювання та розглянуті її властивості. А у роботі [11] запропоновано методологію, яка визначає основні виробничі зв'язки між галузями діяльності з точки зору викидів CO_2 та застосовується до

іспанської економіки. Це свідчить про те, що викиди пов'язані з продуктивними взаємозв'язками в економіці, інтенсивністю викидів CO_2 секторів та структурою кінцевого попиту різних секторів. Формальний аналіз цих факторів здійснюється за допомогою системи «витрати-випуск» в поєднанні з аналізом чутливості та методами лінійного програмування. Показано, що найбільш інтенсивні виробничі відносини в Іспанії пов'язані з викидами CO_2 . Такий розгляд основних зв'язків сприяє виявленню ключових секторів економіки та сприяє розробці ефективних політичних заходів, спрямованих на зменшення викидів.

У роботі [12] доводиться, що утилізація відходів зменшує кількість відходів, що спалюються та/або збираються на полігонах, а також зменшує викиди з цих джерел, однак вона породжує відходи та викиди від власних джерел. Розглядається статична міжгалузева модель для аналізу економічних та екологічних наслідків переробки відходів, яка враховує різні види переробки відходів. Відходи можна розділити на дві основні категорії, залежно від способу їх формування:

- 1) ті, які утворюються як «небажані» побічні продукти в процесі виробництва, такі як стічні води або шлам;
- 2) ті, які спочатку виготовлялися як товари, але повертаються як відходи з часом, наприклад, макулатура або викинуті споживчі товари довгострокового використання.

В даній роботі значна увага приділяється саме другій категорії відходів. Ця категорія відходів, як правило, розподіляється по широкій географічній зоні, оскільки вона утворюється в місці кінцевого споживання, тоді як перша виробляється в місці виробництва. Збирання та переробка відходів розглядаються як окремі види діяльності. Як емпіричну ілюстрацію побудовано числовий приклад для переробки макулатури на основі даних для Данії та аналізує ефекти альтернативних сценаріїв переробки промислової діяльності та викидів CO_2 . Кожен сценарій складається з набору параметрів, що стосуються частки перероблених товарів у загальному обсязі, ефективності збирання відходів та ефективності технології переробки.

У роботі [13] відзначається, що викиди відходів у економіці багато в чому визначаються моделями технологій, інституцій та способу життя. Представлено математичну модель (модель витрат-випуску відходів), яка дає просте аналітичне подання цієї взаємозалежності. Ця модель була використана для оцінки впливу альтернативних способів видалення та переробки відходів на рівні промислового виробництва, споживання полігонів та викидів вуглекислого газу, а також для аналізу загальної залежності окремих галузей промисловості. Було виявлено, що систематичне поєднання варіантів може бути ефективним у зменшенні загального обсягу викидів двоокису вуглецю.

Таким чином, результати аналізу дозволяють зробити висновок про те, що розширення існуючих моделей в умовах екологічної збалансованості є необхідним для відшукування ефективних рішень при управлінні еколого-економічними системами.

5. Методи досліджень

Для досягнення поставленої мети, при визначенні сформульованих завдань, їх постановці та вирішенні, було використано такі загальнонаукові та спеціальні методи дослідження:

- метод теоретичного узагальнення – для уточнення поняттєвого апарату, сутності моделювання міжгалузевих зв'язків і виявлення його особливостей;
- методи аналізу і синтезу – для виявлення окремих факторів, що впливають на виробничу діяльність та побудови міжгалузевої моделі;
- монографічний метод – для дослідження існуючих рішень проблеми;
- методи аналогій та порівняльного співставлення – для розгляду класичної моделі Леонтьєва-Форда та її модифікації;
- метод системного аналізу – для встановлення структурних зв'язків між елементами досліджуваної еколого-економічної системи;
- метод матричного аналізу – для дослідження взаємозв'язків між галузями економіки за допомогою матричного моделювання.

6. Результати досліджень

Класичну модель Леонтьєва-Форда, як правило, розглядають у вигляді:

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

де $x_1 = (x_1^1, x_1^2, \dots, x_1^n)^T$ – вектор-стовпчик обсягів виробництва основної групи галузей;

$y_1 = (y_1^1, y_1^2, \dots, y_1^n)^T$ – вектор-стовпчик кінцевої продукції основної групи галузей;

$A_{11} = (a_{ij}^{11})_1^n$ – квадратна матриця коефіцієнтів прямих витрат продукції і на випуск одиниці продукції j;

$x_2 = (x_2^1, x_2^2, \dots, x_2^m)^T$ – вектор-стовпчик обсягів знищених забруднювачів;

$y_2 = (y_2^1, y_2^2, \dots, y_2^m)^T$ – вектор-стовпчик обсягів незнищених забруднювачів;

$A_{12} = (a_{il}^{12})_{i,l=1}^{n,m}$ – прямокутна матриця прямих витрат продукції і на знищення одиниці забруднювача l;

$A_{21} = (a_{ij}^{21})_{t,j=1}^{m,n}$ – прямокутна матриця прямого випуску забруднювачів t на одиницю виробленої продукції j;

$A_{22} = (a_{il}^{22})_1^m$ – квадратна матриця прямого випуску забруднювачів t при знищенні одиниці забруднювача l.

Припустимо, що існує лише один забруднювач – парникові гази в еквіваленті CO_2 . Введемо у розгляд нову галузь – галузь, що знищує парникові гази. При цьому в процесі виробництва, тобто під час знищення парникових газів, можливе створення нового забруднення. Тоді замість вектора $x_2 = (x_2^1, x_2^2, \dots, x_2^m)^T$ у відповідній моделі будемо розглядати x_{n+1} – обсяг знищених парникових газів, y_{n+1} – обсяг незнищених парникових газів. Тоді відповідна модель Леонт'єва-Форда буде розглядатись у такому вигляді:

$$\begin{aligned} x &= Ax + ux_{n+1} + y, \\ x_{n+1} &= vx + wx_{n+1} - y_{n+1}. \end{aligned} \quad (2)$$

На основі даних по міжгалузевому балансу за 2016 рік було сформовано відповідну агреговану матрицю прямих витрат, в якій було виділено 8 галузей, а саме:

- 1 – сільське, лісове та рибне господарство;
- 2 – добувна промисловість і розроблення кар'єрів;
- 3 – переробна промисловість;
- 4 – постачання електроенергії, газу, пари та кондиційованого повітря;
- 5 – водопостачання, каналізація, поводження з відходами;
- 6 – будівництво;
- 7 – транспорт, складське господарство, поштова та кур'єрська діяльність;
- 8 – інші види економічної діяльності.

У позначеннях класичної моделі $A_{11} = A$ (квадратна матриця 8×8), $x_1 = x$, $y_1 = y$. У ролі матриці A_{12} (розміром 8×1) виступатиме вектор-стовпчик витрат кожного з видів продукції, які необхідні для знищення одиниці забруднення (парникових газів) $u = (u_1, u_2, \dots, u_n)^T \geq 0$. Матрицею A_{21} (розміром 1×8) виступає $v = (v_1, v_2, \dots, v_n) \geq 0$ – вектор-рядок викидів парникових газів при виробництві одиниці кожного з видів продукції. У ролі матриці A_{22} (розміром 1×1) буде матриця викидів парникових газів при знищенні одиниці забруднень $0 \leq w < 1$.

Використовуючи методику, запропоновану в роботі [2], зведемо дану модель Леонт'єва-Форда, що враховує появу та функціонування нової галузі – знищення парникових газів, до статичної моделі міжгалузевому балансу. При цьому матриця прямих витрат A набуде приросту ΔA , відповідно матриця повних витрат $B = (E - A)^{-1}$ набуде приросту ΔB . Оскільки відомо, що для матриць A і B справедливе співвідношення $A = E - B^{-1}$, можна знайти формулу для розрахунку приросту ΔB . Для цього необхідно записати співвідношення для $B + \Delta B$: $B + \Delta B = (E - (A + \Delta A))^{-1}$, звідки маємо

$\Delta B = (E - (A + \Delta A))^{-1} - B$ або $\Delta B = (B^{-1} - \Delta A)^{-1} - B$. Для зручності застосування цієї формули для розрахунку запишемо її у вигляді $\Delta B = ((E - \Delta AB)^{-1} - E)B$.

Згідно [14] для випадку, коли D – неособлива матриця, обернена матриця для якої відома, u – деякий стовпчик, v – деякий рядок, $C = D + uv$, справедлива формула:

$$C^{-1} = D^{-1} - \frac{1}{\gamma} D^{-1} uv D^{-1}, \quad (3)$$

де $\gamma = 1 + vD^{-1}u$. При цьому припускається, що $\gamma \neq 0$.

Спочатку виразимо x_{n+1} з другого рівняння моделі (2):

$$x_{n+1} = \frac{1}{1-w} (vx - y_{n+1}), \quad (4)$$

і підставимо в перше рівняння системи:

$$x = Ax + \frac{u}{1-w} (vx - y_{n+1}) + y, \quad (5)$$

звідки

$$x = \left(A + \frac{uv}{1-w} \right) x + y - \frac{u}{1-w} y_{n+1}. \quad (6)$$

Будемо вважати, що:

$$\Delta A = \frac{uv}{1-w}, \quad \Delta y = -\frac{u}{1-w} y_{n+1}. \quad (7)$$

У [2] показано, що для даної моделі розрахунок ΔB можна проводити за формулою:

$$\Delta B = \frac{BuvB}{1-w-vBu}. \quad (8)$$

Проведемо відповідні розрахунки за даними міжгалузевого балансу України за 2016 рік [15]. Для цього була побудована матриця прямих технологічних витрат (матриця A), яка наведена у табл. 1.

Таблиця 1

Коефіцієнти матриці прямих витрат

Галузі-споживачі \ Галузі-виробники	1	2	3	4	5	6	7	8
1	0,21560	0,00163	0,06723	0,00100	0,00065	0,00096	0,01395	0,01533
2	0,00664	0,08883	0,07750	0,35295	0,00742	0,03355	0,08066	0,00395
3	0,22237	0,15696	0,28876	0,12082	0,29897	0,46075	0,18372	0,09215
4	0,01223	0,09155	0,03500	0,08966	0,14216	0,00972	0,05329	0,02095
5	0,00047	0,00122	0,00125	0,02731	0,03786	0,00155	0,00169	0,00252
6	0,00150	0,00563	0,00192	0,00505	0,00639	0,18023	0,01269	0,01140
7	0,03751	0,07150	0,03610	0,00362	0,01341	0,00476	0,05926	0,01917
8	0,11654	0,14243	0,23064	0,06444	0,18482	0,07430	0,12261	0,26698

Коефіцієнти матриці витрат продукції кожної з 8 галузей на одиницю утилізації парникових газів у еквіваленті CO₂ розраховано на основі [16] $u = (0; 0,00302; 0,09870; 0,03457; 0,00031; 0; 0; 0)^T$. Коефіцієнти матриці обсягів емісій на одиницю виготовленої продукції кожної з 8 галузей $v = (0,00182; 0,01754; 0,03779; 0,46950; 0,01074; 0,00064; 0,01988; 0,00309)$.

Коефіцієнт обсягів емісій CO₂ на одиницю утилізації CO₂ $w = 0,07735$.

В результаті розрахунків були отримані матриця повних витрат B (табл. 2) та матриця приростів прямих витрат при введенні нової галузі ΔB (табл. 3).

Таблиця 2

Коефіцієнти матриці повних витрат

Галузі-споживачі \ Галузі-виробники	1	2	3	4	5	6	7	8
1	1,3307	0,0475	0,1538	0,0468	0,0675	0,0958	0,0647	0,0522
2	0,0897	1,2053	0,1923	0,5032	0,1576	0,1698	0,1804	0,0548
3	0,5337	0,4052	1,6308	0,4185	0,6342	0,9659	0,4328	0,2588
4	0,0631	0,1551	0,1049	1,1840	0,2213	0,0854	0,1104	0,0542
5	0,0045	0,0078	0,0072	0,0359	1,0482	0,0074	0,0069	0,0060
6	0,0119	0,0178	0,0160	0,0182	0,0207	1,2321	0,0255	0,0228
7	0,0893	0,1181	0,0962	0,0687	0,0659	0,0706	1,1043	0,0468
8	0,4197	0,4064	0,6037	0,3634	0,5378	0,4982	0,3803	1,4810

Таблиця 3

Коефіцієнти матриці $B + \Delta B$

Галузі-споживачі \ Галузі-виробники	1	2	3	4	5	6	7	8
1	1,3318	0,0497	0,1561	0,0579	0,0703	0,0748	0,0665	0,0530
2	0,0923	1,2104	0,1976	0,5295	0,1642	0,1735	0,1847	0,0568
3	0,5451	0,4277	1,6544	0,5345	0,6631	0,9826	0,4516	0,2674
4	0,0665	0,1617	0,1118	1,2180	0,2298	0,0903	0,1159	0,0567
5	0,0047	0,0081	0,0075	0,0374	1,0486	0,0076	0,0072	0,0061
6	0,0121	0,0181	0,0163	0,0197	0,0211	1,2323	0,0257	0,0229
7	0,0901	0,1197	0,0979	0,0768	0,0679	0,0718	1,1056	0,0474
8	0,4245	0,4158	0,6135	0,4116	0,5498	0,5051	0,3881	1,4846

Двоїста модель міжгалузевих залежностей цін для моделі Леонт'єва-Форда у класичній постановці має вигляд:

$$\begin{aligned} p_1 &= p_1 A_{11} + p_2 A_{21} + r_1, \\ p_2 &= p_1 A_{12} + p_2 A_{22} + r_2, \end{aligned} \quad (9)$$

де $p_1 = (p_1^1, \dots, p_n^1)$ – вектор-рядок цін основної продукції;

$p_2 = (p_1^2, \dots, p_n^2)$ – вектор-рядок вартостей знищених одиниць забруднювачів;

$r_1 = (r_1^1, \dots, r_n^1)$ – вектор-рядок коефіцієнтів умовно-чистої продукції основного виробництва;

$r_2 = (r_1^2, \dots, r_n^2)$ – вектор-рядок коефіцієнтів умовно-чистої продукції допоміжного виробництва.

Для моделі (2) відповідна двоїста модель залежностей цін матиме вигляд:

$$\begin{aligned} p &= pA + p_{n+1}v + r, \\ p_{n+1} &= pu + p_{n+1}w, \end{aligned} \quad (10)$$

де $p = (p_1, \dots, p_n)$ – вектор-рядок цін основної продукції;

p_{n+1} – вартість знищення одиниці парникових газів;

$r = (r_1, \dots, r_n)$ – вектор-рядок коефіцієнтів умовно-чистої продукції основного виробництва.

Вектор-рядок коефіцієнтів умовно-чистої продукції можна знайти з умови:

$$z_j = r_j x_j,$$

де z_j – коефіцієнт доданої вартості продукції j -ї галузі основного виробництва, що включає амортизацію, оплату праці та додатковий продукт. Варто зазначити, що в даній моделі ціни на основну продукцію виражені не в грошових одиницях, а є індексами цін.

Будемо вважати, що знищення забруднювачів відбувається в нерозривному технологічному процесі «випуск продукції + знищення забруднювачів». У цьому випадку амортизація устаткування допоміжного виробництва, оплата праці та додатковий продукт цього виробництва виноситься на баланс продукції основного виробництва, завдяки чому вартість знищення забруднювачів складається лише з матеріальних витрат. Тому коефіцієнт умовно-чистої продукції допоміжного виробництва дорівнює 0. Таке припущення дозволяє розрахувати з моделі (10) як ціну основної продукції, так і вартість знищення забруднювачів.

Знаходячи ціни зі співвідношень (10), приходимо до висновку, що ціна знищення забруднювачів може бути знайдена наступним чином:

$$p_{n+1} = r \left(E - A - \frac{uv}{1-w} \right)^{-1} \cdot \frac{u}{1-w}, \quad (11)$$

або згідно (3):

$$p_{n+1} = r(B + \Delta B) \cdot \frac{u}{1-w}. \quad (12)$$

Використовуючи дані міжгалузевого балансу за 2016 рік можна розрахувати p_{n+1} :

$$p_{n+1} = r(B + \Delta B) \frac{u}{1-w} \approx 0,12264. \quad (13)$$

Згідно [3] припускаємо, що випуск незнищених забруднювачів y_{n+1} є «технологічним викидом» і в деякому розумінні пропорційний знищеним забруднювачам x_{n+1} , де коефіцієнт пропорційності k є показником забрудненості технологій:

$$y_{n+1} = kx_{n+1}, \quad k \geq 0. \quad (14)$$

Екологічний податок може розраховуватись зокрема як плата за «технологічні викиди»:

$$e = p_{n+1}y_{n+1} = kp_{n+1}x_{n+1}. \quad (15)$$

Підставляючи відповідні вирази, знайдені раніше, приходимо до висновку, що величина екологічного податку може бути знайдена таким чином:

$$e = kr(B + \Delta B) \frac{uv}{(1-w)(1+k-w)} \cdot x, \quad (16)$$

або

$$e = kr(B + \Delta B) \frac{uv}{(1-w)(1+k-w)} \cdot \left(E - A - \frac{uv}{1+k-w} \right)^{-1} \cdot y. \quad (17)$$

Цей вираз, використовуючи формулу (3), можна записати у вигляді:

$$e = kr(B + \Delta B) \frac{uv}{(1-w)(1+k-w)} \cdot \left(B - \frac{BuvB}{1+k-w-vBu} \right) y. \quad (18)$$

Очевидно, що:

$$(B + \Delta B) \cdot \frac{uv}{(1-w)(1+k-w)} > \frac{uv}{1+k-w},$$

тому

$$e > kr \frac{uv}{1+k-w} y, \quad (19)$$

що може вважатись нижньою межею екологічного податку. Для зменшення екологічного податку підприємство зацікавлене в зменшенні свого показника забрудненості технологій k .

Так, зокрема, у граничному випадку при показнику забрудненості технологій рівному 1, що відповідає 100 % забрудненню, розрахунок величини екологічного податку за формулою (16) можна здійснювати наступним чином:

$$e = r(B + \Delta B) \frac{uv}{(1-w)(2-w)} \cdot x. \quad (20)$$

Розраховуючи величину екологічного податку за цією формулою за даними 2016 року, знаходимо, що у граничному випадку сума надходжень екологічного податку склала б 6 млрд. 691 млн. 466 тис. 436 грн. 69 коп. При показнику забруднень $k=0,5$ сума надходжень склала б 4 млрд. 521 млн. 613 тис. 870 грн. 07 коп. При $k=0,2$ – 2 млрд. 291 млн. 960 тис. 618 грн. 98 коп. При $k=0,1$ – 1 млрд. 258 млн. 40 тис. 184 грн. 28 коп. У 2016 році ставка податку на викиди CO_2 становила 0,41 грн. за тону. Таким чином, при викидах від

стаціонарних джерел в обсязі 150581 тис. т знаходимо величину податкових надходжень в обсязі 61 млн. 738 тис. 210 грн.

Можна зробити висновок, що враховуючи забрудненість технологій можна збільшити податкові надходження до державного бюджету.

7. SWOT-аналіз результатів досліджень

Strengths. Сильною стороною у проведеному дослідженні є побудова у явному вигляді формули для відшукування або оцінки величини екологічного податку в залежності від забрудненості технології.

Weaknesses. Слабкою стороною є те, що не всі статистичні данні, необхідні для обчислень за моделлю, є в наявності. Деякі з них необхідно розраховувати на основі наявних статистичних даних, що може привести до певних похибок в результатах обчислень.

Opportunities. Можливостями для подальших досліджень є розрахунок величини екологічного податку на основі реальних цін, що дозволить ефективно оподатковувати підприємства різних галузей економіки. Це збільшить податкові надходження до державного бюджету за рахунок більш адекватного обчислення екологічного податку.

Threats. Загрозами для результатів проведених досліджень є те, що показник екологічного податку значною мірою залежить від даних міжгалузевого балансу та показників екологічного балансу. Ці показники кожного року змінюються, тому буде змінюватись і величина екологічного податку.

8. Висновки

1. Проведено дослідження модифікованої моделі Леонтьєва-Форда з урахуванням нової галузі, що знищує парникові гази. Можна зробити висновок, що запропонована модель забезпечує переваги при вирахуванні плати за забруднення. Адже при розрахуванні екологічного податку вважається, що він виступає як плата за «технологічні викиди».

2. Зроблено розрахунки на основі таблиці міжгалузевого балансу за 2016 рік. В результаті розрахунків були отримані коефіцієнти матриці витрат продукції кожної з 8 галузей на одиницю утилізації парникових газів у еквіваленті CO₂, а також матрицю повних витрат B та матрицю приростів прямих витрат при введенні нової галузі ΔB . Знайдено величину, що може вважатись нижньою межею екологічного податку.

3. Отримано у явному вигляді формулу для відшукування або оцінки величини екологічного податку в залежності від забрудненості технології та впровадження ставки податку. А також враховує забрудненість виробництва, сприятиме більш раціональному природокористуванню та, відповідно, зменшенню викидів парникових газів у атмосферу. Адже для зменшення екологічного податку підприємство зацікавлене в зменшенні свого показника забрудненості технологій.

Література

1. Paris Agreement: Essential Elements // United Nations Framework Convention on Climate Change. 2018. URL: <https://unfccc.int/process-and-meetings/the-paris-agreement/the-paris-agreement>
2. Tadeiev Yu. P. Rozshyrennia modeli Leontieva v umovakh ekolohichnoi zbalansovanosti // *BiznesInform*. 2012. No. 4. P. 132–136.
3. Liashenko I. M. Ekonomiko-matematychni metody ta modeli staloho rozvytku: monograph. Kyiv: Vyshcha shkola, 1999. 234 p.
4. Modification of the Leontief-Ford Input-Output Model for the Green Economy Goals and Environment Protection / Potravny I. et al. // *Journal of Geoscience and Environment Protection*. 2017. Vol. 5, No. 11. P. 15–23. doi: <http://doi.org/10.4236/gep.2017.511002>
5. Shmelev S. E. Economic Models and the Environment: Input-Output Analysis // *Ecological Economics*. Springer: Dordrecht, 2011. P. 87–114. doi: http://doi.org/10.1007/978-94-007-1972-9_6
6. Luptacik M., Bohm B. A Consistent Formulation of the Leontief Pollution Model // *Economic Systems Research*. 1999. Vol. 11, No. 3. P. 263–276. doi: <http://doi.org/10.1080/09535319900000018>
7. Arrous J. The Leontief Pollution Model: A Systematic Formulation // *Economic Systems Research*. 1994. Vol. 6, No. 1. doi: <http://doi.org/10.1080/09535319400000008>
8. De Mesnard L. The Asynchronous Leontief Model // *Economic Systems Research*. 1992. Vol. 4, No. 1. P. 25–34. doi: <http://doi.org/10.1080/09535319200000002>
9. Qayum A. A Reformulation of the Leontief Pollution Model // *Economic Systems Research*. 1991. Vol. 3, No. 4. P. 428–430. doi: <http://doi.org/10.1080/09535319100000033>
10. Leontief W. Environmental Repercussions and the Economic Structure: An Input-Output Approach // *The Review of Economics and Statistics*. 1970. Vol. 52, No. 3. P. 262–271. doi: <http://doi.org/10.2307/1926294>
11. Tarancon Moran M. A., del Rio Gonzalez P. A combined input-output and sensitivity analysis approach to analyse sector linkages and CO₂ emissions // *Energy Economics*. 2007. Vol. 29, No. 3. P. 578–597. doi: <http://doi.org/10.1016/j.eneco.2006.02.004>
12. Nakamura S. An interindustry approach to analyzing economic and environmental effects of the recycling of waste // *Ecological Economics*. 1999. Vol. 28, No. 1. P. 133–145. doi: [http://doi.org/10.1016/s0921-8009\(98\)00031-7](http://doi.org/10.1016/s0921-8009(98)00031-7)
13. Nakamura S., Kondo Y. A waste input-output life-cycle cost analysis of the recycling of end-of-life electrical home appliances // *Ecological Economics*. 2006. Vol. 57, No. 3. P. 494–506. doi: <http://doi.org/10.1016/j.ecolecon.2005.05.002>
14. Waugh F. V., Dwyer P. S. Compact Computation of the Inverse of a Matrix // *The Annals of Mathematical Statistics*. 1945. Vol. 16, No. 3. P. 259–271. doi: <http://doi.org/10.1214/aoms/1177731089>
15. Tablytsia «vytraty-vypusk» za 2016 rik (v tsinakh spozhyvachiv) // Derzhavna sluzhba statystyky Ukrainy. URL: https://ukrstat.org/uk/operativ/operativ2006/vvp/vitr_vip/vitr_u/arh_vitr_u.html (Last accessed: 24.04.2018).
16. Ukraina v tsyfrakh 2016: statystychnyi zbirnyk. Kyiv: Derzhavna sluzhba statystyky Ukrainy, 2017. 240 p.