

Володимир Іванович КУДІН

доктор технічних наук, професор,
викладач,
кафедра інтелектуальних та інформаційних систем,
Київський національний університет імені Тараса Шевченка
E-mail: v_i_kudin@mail.ru

Андрій Михайлович ОНИЩЕНКО

доктор економічних наук, професор,
викладач,
кафедра технологій управління,
Київський національний університет імені Тараса Шевченка
E-mail: onyshchenko@yandex.ru

**МОДЕЛЮВАННЯ ТЕХНОЛОГІЧНИХ ЗМІН БАЛАНСОВОЇ СХЕМИ «ВИТРАТИ-ВИПУСК»
В УМОВАХ ДІЇ ПАРИЗЬКОЇ УГОДИ**

Кудін, В. І. Моделювання технологічних змін балансової схеми «витрати-випуск» в умовах дії Паризької угоди [Текст] / Володимир Іванович Кудін, Андрій Михайлович Онищенко // Економічний аналіз: зб. наук. праць / Тернопільський національний економічний університет; редкол.: О. В. Ярошук (голов. ред.) та ін. – Тернопіль: Видавничо-поліграфічний центр Тернопільського національного економічного університету «Економічна думка», 2016. – Том 25. – № 1. – С. 37-44. – ISSN 1993-0259.

Анотація

Вступ. Перспективний аналіз розвитку сучасної як теоретичної, так і практичної економіки засвідчує посилення тенденції врахування соціального фактору і забезпечення життєдіяльності на Землі в глобальних масштабах. Можна очікувати, що вже в найближчому майбутньому ця тенденція посяде головну позицію у світовій економіці і буде суттєво визначати міжнародні економічні відносини. На перший план в умовах глобалізації світової економіки і світових економічних зв'язків виступає пріоритет забезпечення повноцінного майбутнього світового суспільства.

Мета. У контексті цього значно зростає врахування екологічного фактору в макроекономіці і особливим чином постає специфічна проблема ролі, місця та організації екологічної складової. Відповідно особливої актуальності набуває розробка нового концептуального підходу до екологічного ресурсу як сучасної економічної категорії, врахування якої необхідно буде зводити до розробки нової концепції екологічної економіки, світових економічних зв'язків, пошуку оптимальних шляхів міждержавної співпраці в питаннях охорони довкілля, ресурсозбереження та маловідходних технологій.

Метод (методологія). Результати дослідження отримані на основі методів економічної теорії, економіко-математичного моделювання, теорії матриць, системного аналізу.

Результати. Запропоновано модифіковану балансову еколого-економічну модель типу «витрати-випуск» з урахуванням встановлених Паризькою угодою обмежень на викиди парникових газів. Встановлено умови існування продуктивності моделі, яка забезпечує невід'ємність економічних та екологічних показників. Розглянуто математичний апарат визначення зміни обсягів валового випуску основного та допоміжного виробництва у випадку зміни галузевої структури.

Ключові слова: сталий розвиток; Паризька угода; еколого-економічна система; балансова модель Леонтьєва «витрати-випуск»; модель Леонтьєва-Форда «витрати-випуск»; імітаційне моделювання.

Volodymyr Ivanovych KUDIN

Doctor of Technical Sciences,
Professor,
Department of Intelligent and Information Systems
Taras Shevchenko National University of Kyiv
E-mail: v_i_kudin@mail.ru

Andrii Mykhailovych ONYSHCHENKO

Doctor of Sciences (Economics),
Professor,
Department of Technology Management
Taras Shevchenko National University of Kyiv
E-mail: onyshchenko@yandex.ru

MODELLING OF TECHNOLOGICAL CHANGES IN "INPUT-OUTPUT" BALANCE MODEL IN TERMS OF THE PARIS AGREEMENT

Abstract

Introduction. Prospective analysis of contemporary both theoretical and practical economy demonstrates the growing trend of taking into account social factors and life support on Earth on a global scale. It is expected that in the nearest future this trend will occupy a major position in the global economy and will significantly determine the international economic relations. The priority of ensuring the future full of value world society serves as the forefront of a globalization of world economy and international economic relation.

Purpose. In this context the consideration of environmental factors in macroeconomics and a specific problem of the role and place of the environmental component become very important. Accordingly, it becomes especially important to develop a new conceptual approach to environmental resource as current economic category. The level of consideration of this problem must be reduced in order to develop a new concept of ecological economics, international economic relations, to find optimal ways of intergovernmental cooperation on environmental protection, resource conservation and low-waste technologies.

Method (methodology). The method of economic theory, method of economic mathematical modeling, matrix theory method, method of system analysis have been used in order to obtain the results of the research.

Results. In this article it is proposed a modified balance ecological and economic "input-output" model, which is based on limits on greenhouse gas emissions. These limits are established by the Paris Agreement. The conditions for the existence of the productivity model, which provides non-negativity of the economic and environmental performance, are determined. The mathematical apparatus of determining the change in the volume of gross output of primary and secondary production in the event of changes in the sector structure is considered.

Keywords: sustainable development; the Paris Agreement; ecological and economic system; Leontief "input-output" model; Leontief-Ford "input-output" model; simulation.

JEL classification: C670, Q320

Вступ

Необхідність створення сприятливих умов подальшого розвитку людства в межах глобальної світової економічної системи є однією з нагальних проблем останніх десятиліть. При цьому такий розвиток, який ґрунтується насамперед на здобутках науково-технічного прогресу, повинен погодити масштаби прямого впливу господарської діяльності цивілізації на довкілля з необхідністю самовідновлення структурних характеристик навколишнього природного середовища. Уперше ідеї такої спільної еволюції людини та біосфери, їх гармонійного поєднання були офіційно проголошені на Міжнародній конференції з навколишнього середовища та розвитку у Ріо-де-Жанейро (Саміт Землі) у 1992 році. Об'єктом дискусії конференції стали природне середовище та соціально-економічний розвиток як взаємопов'язані області дослідження. «Порядок денний на XXI століття» як резолюція конференції пов'язує подальший розвиток економічних відносин з необхідністю досягнення високої якості довкілля і «здорової» економіки для всіх народів світу, задоволення потреб людей і збереження економічного зростання протягом тривалого періоду.

Незважаючи на численні дискусії та суперечності низки наукових досліджень, Рамковою конвенцією з питань зміни клімату ООН основною причиною глобальної зміни клімату було визнано надмірну концентрацію парникових газів в атмосфері Землі. Це стало підґрунтям для прийняття у 1997 році Кіотського протоколу, який конкретизував умови скорочення емісій для окремих країн. Кінцева мета

зазначених угод полягає в тому, щоб досягти стабілізації концентрації парникових газів в атмосфері на такому рівні, який би не допускав загрозового антропогенного впливу на кліматичну систему. Такий рівень повинен бути досягнутий у строки, достатні для природної адаптації екосистем до зміни клімату, які дозволяють не ставити під загрозу виробництво продовольства та забезпечити подальший економічний розвиток на стійкій основі.

Наступним кроком у реакції міжнародної спільноти на проблеми негативного впливу зміни клімату на соціально-економічний розвиток стало прийняття Організацією Об'єднаних Націй Паризької угоди із захисту клімату, яка, зокрема, спрямована на зменшення емісії парникових газів у глобальному вимірі [1].

Реалізація положень Паризької угоди потребує залучення вчених різних наукових напрямів з метою поєднання їх досвіду в межах міждисциплінарного дослідження. Особливої уваги серед них заслуговує економічна складова як основний принцип розв'язання екологічних проблем – економічне заохочення. Економіка міжнародної угоди вимагає комплексного, системного підходу до її вивчення. Дотримуючись загальної методології дослідження економічних процесів, необхідно розглянути концептуальний рівень основних засад цієї угоди, окреслити основних фігурантів – економічних агентів, еколого-економічні показники, з'ясувати зв'язки між ними, їх природу та специфіку. Подальшим кроком проведення дослідження повинен стати перехід до рівня математичного моделювання еколого-економічної взаємодії як ефективного інструменту наукового пізнання.

Мета та завдання статті

Перша балансова модель, яка охоплює взаємозв'язки економіки та навколишнього середовища, була запропонована В. Леонтьєвим та Д. Фордом [2]. Вона узагальнює схему класичного міжгалузевого балансу і містить 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 об'ємів виробництва продукції;

$x_2 = (x_1^2, x_2^2, \dots, x_m^2)^T$ – вектор-стовпчик об'ємів знищених забруднюючих речовин;

$y_1 = (y_1^1, y_2^1, \dots, y_n^1)^T$ – вектор-стовпчик об'ємів кінцевої продукції;

$y_2 = (y_1^2, y_2^2, \dots, y_m^2)^T$ – вектор-стовпчик об'ємів незнищених забруднень;

$A_{11} = (a_{ij}^{11})_i^j$ – 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 ;

$A_{22} = (a_{kg}^{22})_k^g$ – 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. Надалі 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 Паризькою угодою. Вирішення цієї 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 розмаїтті; створення науково обґрунтованої методики визначення економічного збитку від забруднення довкілля; побудова системи моделей взаємодії різних компонентів природних комплексів з урахуванням природних та антропогенних факторів та умов.

У роботі [3] 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 i на одиницю викидів забруднювача g ;

У векторно-матричному вигляді модель (2) можна подати 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 Паризькою угодою. 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.

У дослідженні [3] визначено 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 витрат, спрямованих на обслуговування зобов'язань за Паризькою угодою.

У роботі [4] досліджено питання аналізу зміни обсягів валових галузевих випусків унаслідок зміни одного елемента технологічної матриці, що відповідає зміні технологічного укладу функціонування еколого-економічної системи у галузевому розрізі.

Розглянемо задачу визначення, як зміняться вектори валового випуску та об'ємів утилізації парникових газів, якщо змінити коефіцієнти технологічних матриць, зокрема при посиленні екологічних стандартів та необхідності збільшення витрат на виконання зобов'язань за Паризькою угодою. Наприклад, припустимо, що зміни зазнають елементи однієї або кількох технологічних матриць моделі A_{11} , A_{12} , A_{21} , A_{22} , C , що утворюють збурений рядок технологічної матриці.

Виклад основного матеріалу дослідження

Міжгалузева схема вміщує процедури узгодження матеріально-речової та вартісної структур валового продукту в процесі аналізу варіантів розвитку галузей. Процедури узгодження полягають у створенні таких інформаційних масивів, які характеризують галузі матеріальної сфери протягом досліджуваного періоду, щоб випущений валовий продукт, обрахований уздовж досліджуваної траєкторії через горизонтальні зв'язки, збігався з випущеним валовим продуктом, обрахованим уздовж тієї ж траєкторії через вертикальні зв'язки. Режим узгодженості визначається тим, що вартісний баланс надбудовується над балансом за матеріально-речовим складом та підпорядковується йому.

Два виокремлених класи підсистем слугують основою побудови всієї міжгалузевої системи. Подальша диференціація процедур узгодження призводить до аналізу розподілу, перерозподілу та використання новоствореної вартості в галузях матеріального виробництва, до збалансування фонду накопичення використаного національного доходу з матеріально-речовинним вмістом накопичення основних та оборотних фондів, а фонду споживання – з фактичним об'ємом товарів та послуг. Уведення

в міжгалузеву систему процедур ув'язки напрямків розвитку виробничої та невиробничої сфер дозволяє використовувати таку систему як засіб для аналізу соціально-економічного розвитку всього суспільства.

З метою оцінки зміни технологічної структури в моделі (2) раціональним є застосування запропонованого в [5] алгоритму визначення розв'язків трансформованих матричних структур на основі методу базисних матриць.

Відповідно до [3] запишемо модель (2) у вигляді:

$$Au = C. \quad (3)$$

$$\text{де } A = \begin{pmatrix} E_1 - A_{11} & -A_{12} \\ -A_{21} & E_2 - A_{22} \end{pmatrix} \begin{pmatrix} x_1 \\ x_2 \end{pmatrix}, \quad u = \begin{pmatrix} x_1 \\ x_2 \end{pmatrix} = (u_1, u_2, \dots, u_m)^T - m\text{-вимірний вектор, } x_1, x_2 -$$

«підвектори» u , $C = \begin{pmatrix} E_1 & C \\ 0 & -E_2 \end{pmatrix} \begin{pmatrix} y_1 \\ y_2 \end{pmatrix}$, E_1, E_2 - блочні одиничні матриці відповідної розмірності, 0 -

блочна нульова матриця.

Будемо також розглядати систему, збурену (в елементах матриць $A_{11}, A_{12}, A_{21}, A_{22}$ та C) відносно системи лінійних алгебраїчних рівнянь (3) виду:

$$\bar{A}u = \bar{C}. \quad (4)$$

де \bar{A}, \bar{C} - відповідні збурені матриця та вектор-стовпчик. Без обмеження загальності, будемо вважати, що збурення в системі (3) проведено для 1-го рядка ($k = 1$), тобто якщо у векторній формі (4) має вигляд

$$\begin{aligned} \bar{a}_i u &= \bar{c}_i, \quad i = \overline{1, m}, \text{ то} \\ \bar{a}_i &= a_i, \quad \bar{c}_i = c_i, \quad i \neq k, \\ \bar{a}_i &= a_i + a'_i, \quad \bar{c}_i = c_i + c'_i, \quad i = k \end{aligned}$$

зміни в 1-му рядку (при $k = 1$). Нехай для системи (3) знайдено розв'язок $u_0 = (u_{01}, u_{02}, \dots, u_{0m})^T$ та обернену матрицю $A_b^{-1} = (e_1, e_2, \dots, e_k, \dots, e_m)$, стовпці якої $e_1, e_2, \dots, e_k, \dots, e_m$, $e_k = (e_{1k}, e_{2k}, \dots, e_{kk}, \dots, e_{mk})^T$. Наведемо деякі базові положення з [6].

Теорема 1. Між коефіцієнтами розвинення векторів-нормалей обмежень за рядками базисної матриці, елементами обернених матриць, базисними розв'язками, нев'язками обмежень у двох суміжних базисних розв'язках наявні такі співвідношення:

$$\bar{\alpha}_{rk} = \frac{\alpha_{rk}}{\alpha_{lk}}, \quad \bar{\alpha}_{ri} = \alpha_{ri} - \frac{\alpha_{rk}}{\alpha_{lk}} \alpha_{li}, \quad r = \overline{1, n+m}, \quad i = \overline{1, n+m}, \quad i \neq k. \quad (5)$$

$$\bar{e}_{rk} = \frac{e_{rk}}{\alpha_{lk}}, \quad \bar{e}_{ri} = e_{ri} - \frac{e_{rk}}{\alpha_{lk}} \alpha_{li}, \quad r = \overline{1, n+m}, \quad i = \overline{1, n+m}, \quad i \neq k. \quad (6)$$

$$\bar{u}_{0j} = u_{0j} - \frac{e_{jk}}{\alpha_{lk}} \Delta_l, \quad j = \overline{1, n+m}. \quad (7)$$

$$\bar{\Delta}_k = -\frac{\Delta_l}{\alpha_{lk}}, \quad \bar{\Delta}_r = \Delta_r - \frac{\alpha_{rk}}{\alpha_{lk}} \Delta_l, \quad r = \overline{1, n+m}, \quad r \neq k. \quad (8)$$

При цьому умовою опорності базисної матриці при вводі вектора нормалі a_i обмеження $a_i u \leq c_i$ на k -у позицію базисної матриці A є виконання нерівності $\alpha_{lk} \neq 0$.

З урахуванням характеру збурення системи (3), можемо записати, що оскільки

$$\bar{a}_i = a_i + a'_i, \quad \bar{c}_i = c_i + c'_i, \quad i = k = 1, \quad (\text{а за означенням } \Delta_1 \quad a = {}_1 u), \quad \text{то}$$

$$\bar{\Delta}_1 = (a_1 + a'_1)u_0 - (c_1 + c'_1) = (a_1 u_0 - c_1) + (a'_1 u_0 - c'_1) = \Delta_1 + \Delta'_1 = \Delta'_1,$$

$$\alpha_k = a_k A_b^{-1}, \quad \alpha_{kk} = a_k e_k = 1,$$

$$\text{то } \bar{\alpha}_k = (a_k + a'_k) A_b^{-1}, \quad \bar{\alpha}_{kk} = a_k e_k + a'_k e_k = 1 + a'_k e_k,$$

$$\text{Нехай } \lambda = -\bar{\Delta}_k / \bar{\alpha}_{kk}, \text{ тоді можемо записати } \bar{u}_{0j} = u_{0j} + \lambda e_{jk}, \quad j = \overline{1, m}, \quad \bar{u}_0 = u_0 + \lambda e_k.$$

На основі наведених співвідношень (5)-(8) можна побудувати алгоритмічну схему дослідження систем (4) (при змінах у моделі). Алгоритм буде ґрунтуватись на ідеології симплекс-методу [7], з деякими особливостями організації ітераційного процесу. Зокрема, перехід від системи (3) до системи (4) буде проводитись послідовно заміщенням відповідних збурених рядків $i, i+1, i+2, \dots, i+i_0$ (в загальному випадку). Це означає, що вектори нормалей гіперплощин, які утворюють рядки базисної матриці та відповідної їй оберненої матриці, будуть заміщатись відповідними «збуреними» векторами-нормалями. На основі симплексних співвідношень (5)-(8) будуть перераховуватись наступні опорні розв'язки та обернені матриці. У методі закладена можливість при збереженні властивості опорності, на ітераціях заміщення, знаходити розв'язок системи (4) за i_0 ітерацій (відповідно до кількості збурених рядків). У результаті отримуємо новий базисний розв'язок та обернену матрицю.

Результатом конкретизації наведеної технології є алгоритм визначення нового розв'язку у випадку збурення рядків базисної матриці для конкретного рядка обмежень (4), що дозволяє визначати зміни в обсягах валового випуску при зміні технологічних матриць еколого-економічної моделі (3).

Алгоритм

Крок 1. Знаходимо розв'язок u_0 вихідної системи (3) та її обернену матрицю A^{-1} .

Крок 2. Збурюємо матрицю A в елементах 1-го рядка у вигляді $\bar{a}_i = a_i + a'_i$, $\bar{c}_i = c_i + c'_i$, $i = 1$.

Крок 3. Визначаємо коефіцієнт $\bar{\alpha}_{kk} = a_k e_k + a'_k e_k = 1 + a'_k e_k$, де e_k - стовпчик матриці A^{-1} .

Крок 4. Визначаємо $\bar{\Delta}_k = (a_k + a'_k)u_0 - (c_k + c'_k) = (a_k u_0 - c_k) + (a'_k u_0 - c'_k) = \Delta_k + \Delta'_k = \Delta'_k$.

Крок 4. Знаходимо $\lambda = -\bar{\Delta}_k / \bar{\alpha}_{kk}$.

Крок 4. Знаходимо новий вектор-стовпчик $\bar{e}_k = \lambda e_k$.

Крок 6. Формуємо новий розв'язок на основі співвідношення $\bar{u}_0 = u_0 + \bar{e}_k$.

Зауваження. Неважко переконатись, що новий розв'язок (збуреної задачі) формується на основі старого розв'язку та врахуванні впливу вектора-стовпчика оберненої матриці e_k та параметра $\lambda = -\bar{\Delta}_k / \bar{\alpha}_{kk}$. «Вибором» стовпчика оберненої матриці e_k та параметра λ (напрямок та розтяг відповідного вектора) можна формувати певні результуючі доміанти, тобто проводити зміни спрямовано та передбачувано.

Проілюструємо запропонований алгоритм визначення об'ємів валового галузевого випуску у випадку технологічних міжгалузевих змін на умовних даних. Нехай коефіцієнти технологічних матриць еколого-економічної моделі (3) мають такі значення:

$$A_{11} = \begin{pmatrix} 0.2 & 0.1 \\ 0.3 & 0.2 \end{pmatrix}, A_{12} = \begin{pmatrix} 0.1 & 0.2 \\ 0.1 & 0.2 \end{pmatrix}, A_{21} = \begin{pmatrix} 0.1 & 0.3 \\ 0.2 & 0.3 \end{pmatrix}, A_{22} = \begin{pmatrix} 0.2 & 0.3 \\ 0.3 & 0.1 \end{pmatrix},$$

матриця витрат на обслуговування емісій парникових газів та вектори галузевого кінцевого випуску і обмеження за викидами парникових газів відповідно:

$$C = \begin{pmatrix} 0.3 & 0.2 \\ 0.1 & 0.5 \end{pmatrix}, y_1 = \begin{pmatrix} 12 \\ 23 \end{pmatrix}, y_2 = \begin{pmatrix} 5 \\ 8 \end{pmatrix}.$$

Переходимо до покрокової реалізації алгоритму 1-6.

1. Знаходимо розв'язок вихідної системи та обернену блочну технологічну матрицю: $u_0 = \begin{pmatrix} 38.17 \\ 60.43 \\ 32.67 \\ 30.62 \end{pmatrix}$,

$$A^{-1} = \begin{pmatrix} 1.79 & 0.73 & 0.6 & 0.76 \\ 1.08 & 2.0 & 0.74 & 0.93 \\ 1.04 & 1.32 & 1.99 & 1.19 \\ 1.1 & 1.27 & 1.04 & 1.99 \end{pmatrix}.$$

2. Припускаємо, що збурення в моделі (3) зазнає перший рядок, тобто збурена матриця набуває вигляду:

$$\bar{A} = \begin{pmatrix} 0.1 & 0.05 & 0.3 & 0.3 \\ 0.3 & 0.2 & 0.1 & 0.2 \\ 0.1 & 0.3 & 0.2 & 0.3 \\ 0.2 & 0.3 & 0.3 & 0.1 \end{pmatrix}.$$

Прикладний зміст зміни еколого-економічних показників такий: зазнають зменшення коефіцієнт витрат 1-ї галузі на одиницю виготовлення продукції 1-ї галузі на 0.1 одиниці, коефіцієнт витрат 1-ї галузі на одиницю виготовлення продукції 2-ї галузі на 0.05 одиниці відповідно; зазнають збільшення коефіцієнт витрат 1-ї галузі на знищення 1-го виду забруднень на 0.2 одиниці, коефіцієнт витрат 1-ї галузі на знищення 2-го виду забруднень на 0.1 одиниці відповідно.

3. Визначаємо скалярний добуток збуреного рядка та розв'язку вихідної системи:

$$\bar{a}_k \cdot u_0 = [0.1 \quad 0.05 \quad 0.3 \quad 0.3] \begin{pmatrix} 38.17 \\ 60.43 \\ 32.67 \\ 30.62 \end{pmatrix} = 25.83$$

4. Визначаємо добуток вихідної технологічної матриці та вихідного розв'язку і обраховуємо нев'язку збуреного рядка Δ :

$$A \cdot u_0 = \begin{pmatrix} 0.2 & 0.1 & 0.1 & 0.2 \\ 0.3 & 0.2 & 0.1 & 0.2 \\ 0.1 & 0.3 & 0.2 & 0.3 \\ 0.2 & 0.3 & 0.3 & 0.1 \end{pmatrix} \begin{pmatrix} 38.17 \\ 60.43 \\ 32.67 \\ 30.62 \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} 23.068 \\ 32.928 \\ 37.666 \\ 38.626 \end{pmatrix}; \Delta = \bar{a}_k \cdot u_0 - A_k \cdot u_0 = 25.83 - 23.068 = 2.7575$$

5. Визначаємо коефіцієнт $\alpha \cdot a_{kk}$ та вектор-стовпчик $\bar{e}_k = \frac{e_k}{\alpha_{ek}}$:

$$\alpha \cdot a_{kk} = [0.1 \quad 0.05 \quad 0.3 \quad 0.3] \begin{pmatrix} 1.25 \\ -11.25 \\ 8.75 \\ 5.0 \end{pmatrix} = 3.6875; \bar{e}_k = \begin{pmatrix} 1.25 \\ -11.25 \\ 8.75 \\ 5.0 \end{pmatrix} / 3.6875 = \begin{pmatrix} 0.34 \\ -3.05 \\ 2.37 \\ 1.36 \end{pmatrix}$$

6. Визначаємо розв'язок збуреної системи \bar{u}_0 :

$$\bar{u}_0 = \begin{pmatrix} 38.17 \\ 60.43 \\ 32.67 \\ 30.62 \end{pmatrix} - \begin{pmatrix} 0.34 \\ -3.05 \\ 2.37 \\ 1.36 \end{pmatrix} \cdot 2.7575 = \begin{pmatrix} 37.24 \\ 68.84 \\ 26.13 \\ 26.88 \end{pmatrix}.$$

Аналіз отриманого розв'язку збуреної системи дозволяє зробити такі висновки: зазначена вище зміна коефіцієнтів вихідної технологічної матриці обумовлює зміни значень вектора валового галузевого випуску основного та допоміжного виробництва, а саме – призводить до зменшення обсягів випуску 1-ї галузі матеріального виробництва, 1-ї та 2-ї галузей екологічного виробництва на 0.93; 6.54 та 3.74 одиниці відповідно, а також збільшення обсягів виробництва 2-ї галузі основного виробництва на 8.41 одиниці.

Висновки та перспективи подальших розвідок

Зміна коефіцієнтів технологічних матриць відображає зміну міжгалузевих зв'язків, їх структуру, що може бути обумовлено відповідними нормативними рішеннями щодо зменшення обсягів емісій парникових газів, упровадженням результатів науково-технічного розвитку тощо. Запропонований у статті алгоритм дозволяє провести оцінку розв'язку у випадку такої структурної перебудови. Подальший розвиток запропонованої теорії дозволяє перейти до вивчення питань агрегування балансової схеми «витрати-випуск», визначення певного коридору допустимих змін з метою досягнення цільового орієнтури за обсягами галузевих випусків.

Список літератури

1. Sustainable Innovation Forum, 2016 [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <http://www.cop21paris.org>.
2. Леонтьев, В. В. Межотраслевой анализ влияния структуры экономики на окружающую среду [Текст] / В. В. Леонтьев, Д. Форд. – Экономика и математические методы. – 1972. – Т. 8. – №3. – С. 370–400.

-
3. Онищенко, А. М. Моделирование материально-вартісної галузевої структури в умовах обмежень на викиди парникових газів [Текст] / І. М. Ляшенко, А. М. Онищенко // Інвестиції: практика та досвід. – 2010. – № 10. – С. 24–26.
 4. Кудін, В. І. Моделирование галузевої еколого-економічної взаємодії в рамках виконання обмежень за Кіотським протоколом [Текст] / В. І. Кудін, А. М. Онищенко // Економіко-математичне моделювання соціально-економічних систем. – 2015. – № 20. – С. 31-47.
 5. Волошин, А. Ф. Последовательный анализ вариантов в задачах исследования и проектирования сложных систем (под общей редакцией академика И. В. Сергиенко) [Текст] / А. Ф. Волошин, В. И. Кудин. – К.: Наукова думка, 2015. – 351 с.
 6. Кудин, В. И. Анализ свойств линейной системы методом псевдобазисных матриц [Текст] / В. И. Кудин, С. И. Ляшко, Н. В. Харитоненко, Ю. П. Яценко. – Кибернетика и системный анализ. — 2007. — № 4. — С. 119–127.
 7. Кудін, В. І. Схеми декомпозиції великорозмірних матриць спеціальної структури при моделюванні фільтрації двофазної рідини [Текст] / В. І. Кудін, Д. А. Ключин // Журнал обчислювальної та прикладної математики. – №2(89). – 2003. – С. 55-65.

References

1. *Sustainable Innovation Forum*. (2016). Retrieved from: <http://www.cop21paris.org>.
2. Leontieff, V. V., Ford, D. (1972). *Interdisciplinary analysis of the influence of economic structure on the environment*. Moscow: Economics and Mathematical Methods.
3. Onyshchenko, A. M., Lyashenko, I. M. (2010). *Modeling material valuation sectoral structure in terms of limits on greenhouse gas emissions*. Kyiv: Investments: practice and experience.
4. Kudin, V. I., Onyshchenko, A. M. (2015). *Modeling Industrial ecology and economic cooperation in the framework of the restrictions under the Kyoto Protocol*. Kyiv: Economic modeling socio-economic systems.
5. Voloshyn, O. F., Kudin, V. I. (2015). *Serial analysis of variants in the study objectives and design of complex systems (under the general editorship of academician I. V. Sergienko)*. Kyiv: Naukova Dumka.
6. Kudin, V. I., Lyashko, S. I., Kharytonenko, N. V., Yatsenko, J. P. (2007). *Analysis of linear system properties by pseudoinverse matrices*. Kyiv: Cybernetic and system analysis.
7. Kudin, V. I., Klyushin, D. A. (2003). *Schemes decomposition of large-scale special matrix structure in modeling two-phase fluid filtration*. Kyiv: Journal of Computational and Applied Mathematics.

Стаття надійшла до редакції 14.10.2016 р.