

- функції Харінгтона/ В.Й. Жежуха, Н.Я. Петришин// Проблеми формування та розвитку інноваційної інфраструктури: тези допов. міжнар. наук.-практ конф. 19-21 трав. 2011, Львів. –С. 253–254.
3. Ващаєв С.С. Оцінка регіональних особливостей розвитку малого підприємництва в Україні/С.С. Ващаєв// Теорія і методологія статистичного аналізу: зб. матер. міжнар. наук.-практ. конф. присвяч. 100-річчю від дня народж. Пасхавера Й.С. – 11–15 груд. 2006, Київ:КНЕУ.–С. 201–208.
 4. Пичкалев А.В. Обобщенная функция желательности для сравнительного анализа технических средств.- [Електронний ресурс].- Режим доступу: <http://www.smarcity.ru/journal/archive/01/paper6.pdf>.
 5. Пашенко Ю.Є. Оцінка рівня транспортної забезпеченості регіонів за допомогою кластерного аналізу /Ю.Є.Пашенко, Н.В.Кудрицька // Залізничний транспорт України. – 2007.– №4.– С. 89–91.

УДК 330.4: 519.866

В.І. Кудін, А.М. Онищенко

Моделювання галузевої еколого-економічної взаємодії в рамках виконання обмежень за Кіотським протоколом

В статті запропоновано модифіковану балансову еколого-економічну модель типу “витрати-випуск” з врахуванням встановлених Кіотським протоколом обмежень на викиди парникових газів. Встановлено умови існування продуктивності моделі, що 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: сталій розвиток, Кіотський протокол, еколого-економічна система, балансова модель

Леонт'єва "витрати-випуск", модель Леонт'єва-Форда "витрати-випуск", імітаційне моделювання.

В статті пропонується модифіковану балансову еколого-економічну модель виду «затрати-випуск» з урахуванням встановлених Киотським протоколом обмежень на виброси парникових газів. Визначені умови існування продуктивності моделі, що забезпечує неотрицательність економічних і екологічних показників. Розглянуто математичний апарат визначення змін об'ємів валового випуску основного і допоміжного виробництва в разі змін галузевих структур.

Ключевые слова: *устойчивое развитие, Киотский протокол, эколого-экономическая система, балансовая модель Леонт'єва «затрати-випуск», модель Леонт'єва-Форда «затрати-випуск», имитационное моделирование.*

In the article is proposed a modified balance ecological and economic "input-output" model, which is based on established by the Kyoto Protocol limits on greenhouse gas emissions. It is determined the conditions for the existence of the productivity model, which provides non-negativity of the economic and environmental performance. It is offered 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.

Keywords: *sustainable development, the Kyoto Protocol, ecological and economic system, Leontief "input-output" model, Leontief-Ford "input-output" model, simulation.*

Актуальність. 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. В 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.

Першою міждержавною угодою спрямованою на захист довкілля з використанням економічних важелів став Кіотський протокол до рамкової конвенції ООН про зміну клімату [1], підписаний 1997 року 84 державами і який встановлює порядок скорочення викидів в атмосферу парникових газів, в першу чергу, діоксиду вуглецю. Їх накопичення визнано причиною однієї з основних екологічних проблем сьогодення – глобального потепління. Згідно Кіотського протоколу, основні забруднювачі – індустриально розвинуті країни беруть на себе зобов'язання знизити обсяги емісій парникових газів в середньому на 8% порівняно з 1990 роком.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Теорія еколого-економічної взаємодії є порівняно новим напрямом розвитку економічної науки, який ґрунтується

на засадах метафізики економіки, соціальної динаміки, теорії суспільного вибору, теоріях управління.

Методологічні засади дослідження процесів взаємодії економіки та екології активно досліджували такі вчені, як: В. Вернадський, М. Мойсеєв, С. Дорогунцов, О. Рюміна, Ю. Іванілов, О. Лотов, В. Макаров, О. Рубінов, Р. Раяцкас, а також зарубіжні вчені У. Айзерд, Р. Айрес, Г. Дейл, З. Гул, Р. Костанзи, Дж. Кей, М. Джампетро, С. Ель Серафі.

Механізми та результати екологізації економіки знаходять своє відображення в працях основоположників балансових методів дослідження В. Леонтьєва, Д. Форда, Дж. Неймана, М. Морішима, Д. Гейла, моделях вчених Римського клубу М. Медоуза, Дж. Форрестера, М. Печчеї.

Дослідження особливостей змісту Кіотського протоколу та його економічної складової широко представлено в публікаціях О. Кокоріна, В. Бердина, Г. Сафонова, В. Шевчука, І. Трофимової, О. Трофимчука, К. Танген, М. Граб, А. Міхаєлова, Б. Мюллера та ін.

Вагомий внесок у розвиток теорії динамічних систем та теорії оптимізації здійснили такі російські та вітчизняні вчені, як: Л. Понтрягін, В. Болтянський, В. Кротов, Б. Лагоша, В. Геєць, В. Глушков, О. Бакаєв, В. Михалевич, І. Ляшенко, В. Григорків, М. Клименюк, В. Галіцин, О. Ляшенко.

Економічний аналіз запропонованих в дослідженні моделей ґрунтується на наукових виданнях з питань економічної теорії, мікро- та макроекономічного аналізу В. Базилевича, А. Чухно, В. Геєця, С. Мочерного, П. Єщенка, В. Бодрова, В. Мандибури, І. Радіонової, Г. Купалової, а також працях іноземних вчених Н. Менкью, А. Маршала, П. Самуельсона.

Невирішені проблеми. В той же час, незважаючи на ґрунтовні наукові напрацювання та постійно зростаючий обсяг робіт з тематики Кіотського протоколу, складність та багатогранність його еколого-економічної взаємодії потребує подальшого вивчення з метою розробки нових та вдосконалення вже існуючих методів вирішення соціально-економічних проблем та збереження природно-ресурсного потенціалу. Дослідження вказаних проблем часто зводиться до вивчення на окремо взятому рівні та часто носять локальний характер. У зв'язку з цим, виникає необхідність вивчення впровадження в дію Кіотських механізмів на основі єдиної методики системного моделювання еволюційного розвитку економіки, яка б дозволила пов'язати мікро-, макро- та міждержавний рівень. Завдання створення методології моделювання та комплексу математичних моделей економічної складової Кіотського протоколу, які дозволяють визначити оптимальні значення та поведінку основних еколого-економічних показників, як основи прийняття управлінських рішень, спрямованих на підвищення ефективності функціонування економічної системи, зумовило зміст статті, її мету, завдання та логіку дослідження.

Мета статті. Особливою стороною Кіотського протоколу є закладені в ньому економічні механізми міжнародної кооперації. Вони полягають в тому, що кліматичні ефекти не залежать від місця викидів парникових газів, а парникові гази в наявних в атмосфері концентраціях прямо не зашкоджують здоров'ю людини. Ці механізми отримали назву «механізмів гнучкості Кіотського протоколу», тут йдеться про гнучкість у виборі місця та засобів. Протокол передбачає три економічні механізми [2]:

1. Міжнародна торгівля квотами – зобов'язання тієї чи іншої країни не перевищити у середньому за певний звітний період визначений рівень викидів передбачає наявність у країни загальнонаціональної квоти на викиди – дозвіл на викиди рівний зобов'язанням. Якщо країна не використовує свою квоту повністю, то вона може переуступити або продати «вільну» частину іншій країні.
2. Проекти «спільного виконання» – вартість скорочення викидів однієї тони CO₂ в різних країнах неоднакова. Таким чином, країна, яка має кількісні зобов'язання, може профінансувати проекти зі скорочення викидів парникових газів в іншій країні з кількісними зобов'язаннями. Отримані в результаті реалізації таких проектів «одиниці скорочення викидів» можуть бути передані інвестуючій стороні в залік її зобов'язань.
3. Механізм чистого розвитку – у відповідності з цим механізмом країни, які мають кількісні зобов'язання отримують сертифіковані кредити на скорочення викидів при фінансуванні проектів, пов'язаних зі скороченням викидів парникових газів в країнах, які не мають кількісних зобов'язань.

Реальна загроза глобального потепління клімату і різна ціна протидії йому в різних країнах стимулюють світове співтовариство до узгоджених дій. Складність та багатофакторність задач скорочення викидів парникових газів, різні умови для їх реалізації та неоднакові наслідки зміни клімату для різних країн ускладнюють прийняття спільних рішень. Вперше мова йде про створення принципово нового сектору ринку, який безпосередньо стосується атмосфери планети. Зрозуміло, що і правила

поведінки учасників, і конкуренція в такому секторі мають особливості, які потребують детального аналізу.

Реалізація положень Кіотського протоколу вимагає співпраці широкої низки наук як у міждисциплінарному, так і ізольованому варіанті. Особливої уваги серед них заслуговує економічна складова, як основний принцип розв'язання екологічних проблем – економічне заохочення. Економіка Кіотського протоколу вимагає комплексного, системного підходу до її вивчення.

Постановка завдання. Низка питань, пов'язаних з участю країни в Кіотському протоколі, визначає необхідним, в першу чергу, оцінку потенційного обсягу майбутнього ринку екологічних послуг, визначення можливих партнерів, розробку економічної стратегії, яка б визначала пріоритети стосовно кожного економічного механізму, пропорції їх застосування з метою залучення максимального обсягу екологічних інвестицій.

Особлива роль у розв'язанні принципів проблем природокористування – обґрунтування величини витрат на охорону довкілля з врахуванням соціально-економічного ефекту та розподілу їх у територіально-галузевому розрізі – належить балансовим еколого-економічним моделям типу “витрати-випуск”, а також регіональним та галузевим моделям.

Історично першою і в певному розумінні найбільш простою математичною моделлю міжгалузевих виробничих зв'язків, прийнятною для практичних розрахунків стала балансова модель «витрати-випуск».

Якщо ввести в розгляд матрицю коефіцієнтів прямих матеріальних витрат $A = (a_{ij})$, вектор-стовпчик валової продукції $X = (X_1, X_2, \dots, X_n)^T$ та вектор-стовпчик

кінцевої продукції $Y = (Y_1, Y_2, \dots, Y_n)^T$, то балансова модель в матричній формі набуде вигляду:

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

Система рівнянь (1) називається економіко-математичною моделлю міжгалузевого балансу (моделлю Леонтьєва, моделлю “витрати-випуск”).

Методологічною основою побудови балансових моделей з врахуванням процесів природокористування слугує теорія розширеного відтворення. На сучасному етапі процес відтворення поряд з відтворенням виробничих відносин, матеріальних благ та людських ресурсів необхідно включає в себе і відтворення природних ресурсів та умов.

Побудова та реалізація балансу “витрати-випуск” на основі еколого-економічної балансової схеми 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 різномайтті; 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.

Таким чином, постає необхідність побудови балансової еколого-економічної моделі, яка б включала витрати на реалізацію зобов’язань за Кіотським протоколом. При цьому невід’ємність за своїм змістом економічних та екологічних показників вимагає дослідження питання продуктивності балансової моделі. Останнє пов’язане з властивостями технологічних матриць

моделі. Зміна галузевої структури еколого-економічної системи, що відображається в коефіцієнтах даних матриць в свою чергу впливає на обсяги виробництва і вимагає розробки алгоритмів визначення розв'язку без розв'язання модельних рівнянь.

Результати дослідження. Складність та багатофакторність задач скорочення викидів парникових газів в національній економіці вимагає розгляду виробництва в розрізі існуючих галузей (видів економічної діяльності), включення до їх складу обсягу витрат на реалізацію заходів за КП та виділення в першу чергу групи екологічно брудних серед них. У зв'язку з цим запропоновано враховувати витрати на виконання емісійних обмежень парникових газів у структурі галузей основного виробництва у вигляді:

$$\begin{cases} x_1 = A_{11}x_1 + A_{12}x_2 + Cy_2 + u_1, \\ x_2 = A_{21}x_1 + A_{22}x_2 - u_2, \end{cases} \quad (3)$$

де $x_1 = (x_1^1, x_2^1, \dots, x_n^1)^T$ – 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;

$A_{11} = (a_{ij}^{11})_1^n$ – 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 .

Sy_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 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 (3) 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 (3) можна записати у вигляді:

$$\begin{pmatrix} x_1 \\ x_2 \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} (E_1 - A_1)^{-1} & (E_1 - A_1)^{-1} (A_{12} (E_2 - A_{22})^{-1} - C) \\ (E_2 - A_2)^{-1} A_{21} (E_1 - A_{11})^{-1} & (E_2 - A_2)^{-1} (E_2 - A_{21} (E_1 - A_{11})^{-1} C) \end{pmatrix} \begin{pmatrix} y_1 \\ -y_2 \end{pmatrix}.$$

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

$$A = \begin{pmatrix} A_{11} & A_{12} \\ A_{21} & A_{22} \end{pmatrix} \geq 0. \quad (4)$$

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 (3). Проаналізуємо отримані вирази для x_1 та x_2 . З системи (3) 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 (3) при продуктивності блочної матриці (4) 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 неперевикнення обсягу неутилізованих викидів парникових газів над повними емісіями парникових газів, що виникають при виробництві кінцевого продукту та витрат

спрямованих на обслуговування зобов'язань за Кіотським протоколом.

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 КП. Наприклад, припустимо, що зміни зазнають елементи однієї або кількох технологічних матриць A_{11} , A_{12} , A_{21} , A_{22} , C .

Визначимо як така зміна впливає на значення векторів x_1 та x_2 . Для цього використаємо процедуру, запропоновану в [!!!].

Запишемо модель (3) у вигляді:

$$Au = C. \quad (5)$$

де $A = \begin{pmatrix} E_1 - A_{11} & -A_{12} \\ -A_{21} & E_2 - A_{22} \end{pmatrix} \begin{pmatrix} x_1 \\ x_2 \end{pmatrix}$, $u = \begin{pmatrix} x_1 \\ x_2 \end{pmatrix}$ – $(n+m)$ -

вимірний вектор, $C = \begin{pmatrix} E_1 & C \\ 0 & -E_2 \end{pmatrix} \begin{pmatrix} y_1 \\ y_2 \end{pmatrix}$, 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} , C) по відношенню до системи лінійних алгебраїчних рівнянь (5) виду:

$$\bar{A}u = \bar{C}. \quad (6)$$

де A , C – відповідні збурені матриці. Нехай для системи (5) знайдено опорний розв'язок та обернену матрицю. Тоді має місце наступна теорема [8].

Теорема 1. Між коефіцієнтами розвинення векторів-нормалей обмежень за рядками базисної матриці, елементами обернених матриць, базисними розв'язками,

нев'язками обмежень в двох суміжних базисних розв'язках мають місце такі співвідношення:

$$\bar{\alpha}_{rk} = \frac{\alpha_{rk}}{\alpha_{lk}}, \bar{\alpha}_{ri} = \alpha_{ri} - \frac{\alpha_{rk}}{\alpha_{lk}} \alpha_{li}, \quad r = \overline{1, n+m}, \quad (7)$$

$$i = \overline{1, n+m}, \quad i \neq k.$$

$$\bar{e}_{rk} = \frac{e_{rk}}{\alpha_{lk}}, \bar{e}_{ri} = e_{ri} - \frac{e_{rk}}{\alpha_{lk}} \alpha_{li}, \quad r = \overline{1, n+m}, \quad i = \overline{1, n+m}, \quad (8)$$

$$i \neq k.$$

$$\bar{u}_{0,j} = u_{0,j} - \frac{e_{jk}}{\alpha_{lk}} \Delta_l, \quad j = \overline{1, n+m}. \quad (9)$$

$$\bar{\Delta}_k = -\frac{\Delta_l}{\alpha_{lk}}, \bar{\Delta}_r = \Delta_r - \frac{\alpha_{rk}}{\alpha_{lk}} \Delta_l, \quad r = \overline{1, n+m}, \quad r \neq k. \quad (10)$$

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

На основі приведених співвідношень можна подувати алгоритмічну схему дослідження систем (6) (при змінах в моделі). Алгоритм буде ґрунтуватись на ідеології симплекс-методу [7], з деякими особливостями організації ітераційного процесу. Зокрема, перехід від системи (6) до системи (5) буде проводитись послідовно заміщенням відповідних збурених рядків $i, i+1, i+2, \dots, i+i_0$. 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 (7)-(10) будуть перераховуватись наступні опорні розв'язки та обернені матриці. При збереженні властивості опорності, на

ітераціях заміщення, розв'язок системи (6) буде знайдено за i_0 ітерацій. В результаті отримуємо новий базисний розв'язок та обернену матрицю.

Результатом узагальнення наведеного вище матеріалу є алгоритм визначення нового розв'язку у випадку збурення елементів базисної матриці, що дозволяє визначати зміни в обсягах валового випуску при зміні технологічних матриць еколого-економічної моделі (3).

Крок 1. Знаходимо розв'язок u_0 вихідної системи (5) та її обернену матрицю A^{-1} .

Крок 2. Збурюємо матрицю A в елементі a_{kj} у вигляді $\bar{a}_{kj} = a_{kj} + a'_{kj}$.

Крок 3. Визначаємо коефіцієнт $\alpha_{ek} = 1 + a'_{kj} \cdot e_{jk} \neq 0$, де e_{jk} – відповідний елемент матриці A^{-1} .

Крок 4. Знаходимо новий вектор-стовпець $\bar{e}_k = \frac{e_k}{\alpha_{ek}}$ матриці A .

Крок 5. Визначаємо нев'язку збуреного рядка в елементі a'_{kj} : $\Delta_e = \bar{\Delta}_k = a'_{kj} \cdot u_{0j}$, де u_{0j} – j -та компонента u_0 .

Крок 6. Знаходимо новий розв'язок на основі співвідношення $\bar{u}_0 = u_0 - \bar{e}_k \cdot \Delta_e$.

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:

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

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

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

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

Перевіримо виконання умови продуктивності для еколого-економічної системи у випадку обраних числових даних. Блочна матриця A

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

очевидно є продуктивною за достатньою умовою продуктивності технологічних матриць балансових моделей леонт'євського типу. Окрім того виконується розглянута вище достатня умова продуктивності моделі (3)

– нерівність $A_{21}(y_1 + Cy_2) \geq y_2$:

$$\begin{pmatrix} 9.76 \\ 11.27 \end{pmatrix} \geq \begin{pmatrix} 5 \\ 8 \end{pmatrix}.$$

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 елемент $a_{21}^{11} = 0.3$, а саме збільшується на 0.1. Останнє означає збільшення витрат продукції 2-ої галузі на одиницю випуску 1-ої галузі. Отже, $\bar{a}_{21} = 0.3 + 0.1 = 0.4$.

3. Знаходимо

$$\alpha_{1k} = \bar{\alpha}_{kk} = 1 + 0.1 \cdot a_{12}^{-1} = 1 + 0.1 \cdot 0.74 = 1.074.$$

4. Визначаємо вектор-стовпець:

$$\bar{e}_2 = \begin{pmatrix} 0.73 \\ 2.0 \\ 1.32 \\ 1.27 \end{pmatrix} / 1.074 = \begin{pmatrix} 0.68 \\ 1.86 \\ 1.23 \\ 1.18 \end{pmatrix}.$$

5. Розраховуємо нев'язку збуреного рядка:

$$\Delta_1 = \bar{\Delta}_2 = 0.1 \cdot 38.17 = 3.817.$$

6. Новий розв'язок отримуємо у вигляді:

$$\bar{u}_0 = \begin{pmatrix} 38.17 \\ 60.43 \\ 32.67 \\ 30.62 \end{pmatrix} - 3.817 \cdot \begin{pmatrix} 0.68 \\ 1.86 \\ 1.23 \\ 1.18 \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} 35.57 \\ 53.33 \\ 27.97 \\ 26.12 \end{pmatrix}.$$

Аналіз отриманого розв'язку дозволяє зробити такі висновки. Збільшення витрат продукції 2-ої галузі на одиницю випуску 1-ої галузі в рамках балансової еколого-економічної системи (3) призводить до зменшення обсягів валового випуску 1-ї та 2-ї галузей матеріального виробництва на 2,6 та 7,1 умовних одиниць, а також обсягів утилізації парникових газів 1-го та 2-го виду на 4,7 та 4,5 умовних одиниць відповідно.

Висновки. Необхідність врахування екологічного фактору в сучасній системі подальшого розвитку цивілізації обумовлює актуальність розгляду виробничої діяльності суспільства в рамках єдиної соціо-еколого-економічної системи. При цьому важливою вимогою її існування є необхідність збалансування інтересів кожної з вказаних підсистем. Ефективним інструментом для цього слугують балансовий метод та відповідні розроблені на його основі моделі, зокрема запропонована в статті модель врахування витрат на реалізацію проектів скорочення емісій парникових газів. З метою її ефективного використання встановлено умови продуктивності та запропоновано алгоритм визначення об'ємів валових галузевих випусків у випадку зміни технологічної галузевої структури. Подальші дослідження доцільно проводити в напрямку включення додаткових економічних та екологічних обмежень, а також зміни класичних вихідних припущень щодо технологічної структури запропонованої моделі.

Література

1. Леонтьев В.В. Межотраслевая экономика / В.В. Леонтьев. – М.: Экономика, 1997. – 479 с.
2. Киотский протокол к Конвенции об изменении климата / Секретариат Конвенции об изменении климата. – Бонн, 2000. – 33 с.
3. Киотский протокол. Анализ и интерпретация: пер. с англ. / М. Грабб, К. Вролик, Д. Брек (ред. русского издания Л.Скуратовская, А.Кокорин). – М., Наука, 2001. – 303 с.
4. Ляшенко І.М. Економіко-математичні методи та моделі сталого розвитку / І.М. Ляшенко. – К.: Вища школа, 1999. – 236 с.
5. Онищенко А. М. Методологія математичного моделювання економіко-екологічної взаємодії в умовах реалізації Киотського протоколу / І.М. Ляшенко, А. М. Онищенко // Економічна кібернетика. – 2011. – №4-6(70-72) – С. 17-26.
6. Ляшенко І.М. Прямі та двійсті балансові моделі „витративипуск” / І.М. Ляшенко, А.М. Онищенко // Економічна кібернетика. – 2009. – №1-2. – С. 14–18.
7. Кудін В.І., Ключин Д.А. Схеми декомпозиції великорозмірних матриць спеціальної структури при моделюванні фільтрації двохфазної рідини // Журнал обчислювальної та прикладної математики, - №2(89), -2003, -с.55-65.
8. Кудин В.И., Ляшко С.И., Хритоненко Н.В., Яценко Ю.П. Анализ свойств линейной системы методом псевдобазисных матриц // Кибернетика и системный анализ. — 2007. — N 4. — С. 119–127.

УДК 656.2

О.П. Кутах

Концептуальна модель управління логістичним сервісом транспортної системи

Розглянуті основні принципи та критерії оцінки якості логістичного сервісу транспортної системи. Логістичний сервіс транспортної системи досліджується як інтеграційна система. Представлена