

Григорків М.В.

ДВОСЕКТОРНІ МОДЕЛІ ЕКОЛОГО-ЕКОНОМІЧНОЇ ДИНАМІКИ З ЛІНІЙНИМИ ФУНКЦІЯМИ ЕКОНОМІЧНОЇ ПОВЕДІНКИ

Запропоновано різні варіанти двосекторних моделей еколого-економічної динаміки з лінійними функціями економічної поведінки. До цих моделей належать динамічні двосекторні моделі як без урахування, так і з урахуванням умов еколого-економічної рівноваги та динаміки забруднення довкілля. Всі ці моделі, а також всі можливі їх модифікації, призначені для дослідження динаміки реальних еколого-економічних систем за допомоги відповідних імітаційних експериментів з ними. Моделі можуть бути застосовані як на регіональному, так і макрорівні, що безпосередньо пов'язано з рівнем їхнього інформаційного забезпечення.

Ключові слова: економічна структура суспільства, функція економічної поведінки, еколого-економічна динаміка.

Постановка проблеми. Дослідження еколого-економічних і соціо-еколого-економічних систем належать до одного з пріоритетних напрямів сучасної науки як у світі, так і в Україні зокрема, оскільки без глибоко обґрунтованих наукових засад неможливо розробити адекватні принципи та механізми розвитку соціально-економічного, суспільно-політичного та людського потенціалу, здатного забезпечити сталий розвиток суспільства і держави у цілому.

Процеси взаємодії соціально-економічних і природних систем складні та багатогранні, причому суттєво залежать від антропогенного впливу на навколишнє середовище, який часто-густо є негативним, призводить до зростання забруднення цього середовища або й до екологічних криз регіонального чи навіть планетарного масштабу, що у свою чергу негативно впливає не лише на економічну діяльність людського суспільства, але й на його безпеку, рівень життя та майбутнє. Для значної частини людства уже давно стало зрозумілим, що проблеми еколого-економічної взаємодії набули глобального характеру і потребують надзвичайних зусиль для їх розв'язання з боку усіх країн світу, спеціалістів різних галузей знань, політичних і громадських організацій та, врешті-решт, кожної людини нашої планети. Усвідомлення цих проблем у кінці минулого століття привело до активізації суспільно-політичних і наукових кіл у плані посилення контролю над процесами природокористування та спровокованого людською діяльністю забруднення довкілля. Це в кінцевому результаті дозволило організувати всесвітню конференцію ООН з питань навколишнього середовища і запропонувати так званий «Порядок дня на XXI століття», який регламентував права та обов'язки країн світу на шляху переходу людства до сталого (або стійкого) розвитку, тобто розвитку, що здійснюється в умовах соціо-еколого-економічної рівноваги та відтворює можливості природи і суспільства для гармонійного співіснування [1-4].

На сьогодні проблеми соціо-еколого-економічної та зокрема еколого-економічної взаємодії і сталого розвитку стали актуальним об'єктом наукових досліджень.

При цьому в арсеналі методів досліджень цього об'єкта особливе місце займають методи економіко-математичного та комп'ютерного моделювання.

Аналіз останніх досліджень і публікацій.

Проблемам еколого-економічної взаємодії та сталого розвитку присвячено багато методологічних і методичних розробок, що стосуються як їх теоретичного обґрунтування, так і практичної реалізації ідей та концепцій сталого розвитку. При цьому особлива роль при дослідженні соціо-еколого-економічних процесів і систем відводиться сучасним методам моделювання, оскільки саме на модельному рівні можна дослідити особливості складних систем, їх динаміку та основні характеристики. У галузі моделювання еколого-економічних систем і сталого розвитку працювали і працюють багато зарубіжних і вітчизняних вчених, зокрема В. Леонт'єв, Д. Форд, Дж. Форрестер, І. Шімацу, Д. Медоуз, Д. Уіллен, А. Ніс, Р. Айрес, Т. Тінберг, Х. Дейлі, В. Вернадський, Р. Раяцкас, М. Мойсєєв, О. Петров, І. Поспелов, І. Ляшенко, М. Михалевич, В. Григорків, О. Волошин, А. Онищенко та ін. Праці вищеперелічених та інших відомих учених внесли вагомий внесок у вивчення статистики та динаміки еколого-економічних систем і пов'язаними з ними наслідками для людського суспільства. Зокрема розроблено цілу низку балансових, оптимізаційних та імітаційних моделей різного рівня агрегування, за допомогою яких вдається виявити найбільш важливі економічні та екологічні чинники, що порушують цілеспрямованого впливу з боку тих інституцій (наприклад держави), які не тільки можуть, але і зобов'язані приймати рішення, спрямовані на досягнення сталого (рівноважного) економічного розвитку. Запропоновано різні підходи до моделювання еколого-економічних систем, у тому числі і ті, що базуються на розширенні та модифікації найбільш відомих і адекватних моделей екології чи економіки з урахуванням процесів еколого-економічної взаємодії. Досягнуто також чималих успіхів у побудові систем підтримки прийняття рішень щодо реалізації різних еколого-економічних проектів, проте багато питань як у науковому, так і прикладному сенсі ще залишаються недослідженими, а отже актуальними для науки.

Формування цілей статті. До них належать питання підсилення соціальної складової результатів до-

© Григорків Марія Василівна, асистент кафедри економіко-математичного моделювання Чернівецького національного університету імені Юрія Федьковича, e-mail: GmvMarichka@gmail.com

слідження еколого-економічної взаємодії, у тому числі питання впливу соціально-економічної (або економічної) структури суспільства на процеси екологізації економіки та побудову суспільства сталого розвитку. Це означає, що простір змінних еколого-економічної моделі повинен бути доповнений певними соціальними показниками або показниками, що відображають динаміку ліквідного капіталу основних кластерів суспільства, які власне складають його структуру та є відповідними суб'єктами соціально-економічної діяльності. У цій праці викладені результати досліджень автора, що в ідейному плані доповнюють результати праць [5-8] і враховують вищезазначені зауваження щодо урахування в моделях еколого-економічної взаємодії змінних, що характеризують економічну структуру суспільства. Крім того, у викладеному нижче матеріалі еколого-економічна динаміка описується у рамках лінійних функцій економічної поведінки.

Виклад основного матеріалу дослідження.

Надалі будемо вважати, що економічна система складається з двох секторів, у одному з яких здійснюється виробництво агрегованого суспільного продукту (сектор А), а у другому (сектор В) – утилізуються екологічно небезпечні відходи, що є побічним продуктом функціонування сектора А. Суб'єктами економічної системи вважатимемо ті суспільні групи, які отримують пенсії, зарплати та доходи від своєї підприємницької діяльності, тому у цій праці економічна структура суспільства буде представлена такими групами громадян: K_0 – непрацюючі пенсіонери ($n_0 \square v_0 n$), n – чисельність всіх осіб, включених у економічну структуру суспільства; v_0 – частка непрацюючих пенсіонерів у загальній чисельності; n_0 – чисельність непрацюючих пенсіонерів; K_1 – працюючі пенсіонери у секторі А ($n_1 \square v_1 n$); K_2 – працюючі пенсіонери у секторі В ($n_2 \square v_2 n$); K_3 – працівники непенсійного віку сектора А ($n_3 \square v_3 n$); K_4 – працівники непенсійного віку сектора В ($n_4 \square v_4 n$); K_5 – власники (фізичні, юридичні особи, держава) підприємств і установ сектора А, у якому створюється агрегований суспільний продукт ($n_5 \square v_5 n$); K_6 – власники підприємств і установ сектора В, у якому утилізуються відходи діяльності сектора А ($n_6 \square v_6 n$). Всі n_i, v_i ($i \square \overline{1,6}$) аналогічні за своїм змістом до n_0, v_0 .

Динаміку досліджуваної еколого-економічної системи будемо описувати такими показниками: Z_i ($i \square \overline{0,6}$) – заощадження (або ліквідний капітал) окремого представника i у той групи, які всередині кожної групи вважаються однаковими; p_A – ціна одиниці агрегованого суспільного продукту; p_B – тариф утилізації одиниці відходів; \square – обсяг забруднення довкілля, що є наслідком функціонування сектора А. Всі названі вище показники є динамічними змінними і власне утворюють фазовий простір, у якому вивчатиметься рух досліджуваної еколого-економічної системи. Заздалегідь зазначимо, що фактично ці показники характеризують не тільки еколого-економічну, але й соціально-економічну динаміку, тому у певному сенсі можна говорити про соціо-еколого-економічну динаміку. Перші сім показників, тобто заощадження Z_i ($i \square \overline{0,6}$), можуть витратитися на споживання агрегованого суспільного продукту за ціною p_A ($\square z_i$), утилізацію відходів за тарифом p_B ($\square z_i$), діяльність із створення агрегованого суспільного продукту ($\square z_i$). При цьому для часток $\square z_i, \square z_i, \square z_i$ виконується умова $\square z_i + \square z_i + \square z_i \square 1$ ($i \square \overline{0,6}$). Нижче розглянемо одну із можливих

ситуацій, коли $\square z_i \square 0, \square z_i \square 0$ ($i \square \overline{0,4,6}$), тобто будемо припускати, що пенсіонери та працівники (робітники) не витрачають кошти на утилізацію відходів і виробництво агрегованого суспільного продукту, а власники підприємств і установ сектора В функціонують лише за рахунок винуватця забруднення, яким власне є сектор А.

Основним припущенням для формалізації динаміки кожної із змінних Z_i ($i \square \overline{0,6}$), p_A, p_B , \square є припущення про те, що приріст кожної з цих змінних на деякому відрізку часу $\square t$ прямо пропорційний (можливо з деяким коефіцієнтом) різниці між сумарним доходом (або попитом) та сумарними витратами (або сумарною пропозицією) стосовно ліквідного капіталу, основного агрегованого продукту чи відходів. Визначення цих складових у рівняннях динаміки здійснюється за допомогою так званих функцій економічної поведінки, до яких належать: функція попиту окремого споживача i у той групи на агрегований суспільний продукт $q_A \square q_A \square s_A^{(i)} \square q_A \square \square z_i / p_A \square \square \square z_i / p_A$, де $s_A^{(i)}$ – купівельна спроможність представника i у групи; функція випуску (пропозиції) агрегованого суспільного продукту одним працівником сектора А $f_A(\square_A) \square f_A \square \frac{n_5 \square z_5}{(n_5 \square n_3) p_A} \square \frac{n_5 \square z_5}{(n_5 \square n_3) p_A}$, де \square_A – капіталозабезпечення або виробнича спроможність одного робочого місця у секторі А; функція утилізації екологічно шкідливих відходів одним працівником сектора В $f_B(\square_B) \square f_B \square \frac{n_6 \square z_6}{(n_6 \square n_4) p_B} \square \frac{n_6 \square z_6}{(n_6 \square n_4) p_B}$, де \square_B – капіталозабезпечення або утилізаційна спроможність одного робочого місця у секторі В; функція попиту одного власника сектора В на утилізацію $\square_B(\square_B) \square \frac{n_6 \square z_6}{n_6 p_B} \square \frac{n_6 \square z_6}{n_6 p_B}$ (функція \square_B визначається за допомогою функції \square_B). Очевидно, що у загальному випадку ці функції є нелінійними, проте нижче ми будемо вважати їх лінійними. Аргументи функцій як відповідні спроможності формуються всією відповідною групою і є певними оборотними засобами, що вимірюються не в грошах, а в частках (безрозмірних величинах) від ділення вкладеної суми грошей до очікуваної ціни чи тарифу.

До того, як перейти до опису основних співвідношень запропонованих нижче моделей, уточнимо зміст деяких параметрів, що будуть використані нижче. Вважатимемо, що обсяг забруднення прямо пропорційно з коефіцієнтом $\square \square (0,1)$ залежить від обсягу створеного агрегованого суспільного продукту (наприклад, один працівник сектора А створює $f_A(\square_A)$ одиниць основного продукту і $\ell f_A(\square_A)$ одиниць відходів). Крім того, введемо параметри d_i ($i \square \overline{0,2}$) $k_\theta, k_p, k_2, \ell_A, \ell_B, \square_A, \square_B, \tilde{n}, \square$, які відповідно означають пенсію ($i \square 0$) або зарплату у натуральних одиницях (н. о.) працівника сектора А ($i \square 1$) та сектора В ($i \square 2$), ставку податку на дохід, фонд заробітної плати, додану вартість або право займатися відповідною діяльністю, частку витрат на внутрішні потреби діяльності у секторі А, аналогічну частку витрат у секторі В, коефіцієнт інерційності ринку агрегованої суспільної продукції, коефіцієнт інерційності ринку утилізації відходів, коефіцієнт асиміляції або природного спаду забруднення, рівень «дозволених» викидів забруднення у навколишнє середовище або рівень встановленого екологічного стандарту.

Тепер приступимо до опису моделей. Граничний приріст заощаджень непрацюючого пенсіонера визначається різницею між його пенсією (припускається, що усереднена пенсія не залежить від того, яким

видом діяльності він займався до настання пенсійного віку) та витратами на споживання основного продукту, тому

$$\frac{dz_0}{dt} = p_A d_0 - z_0. \quad (1)$$

Працюючі пенсіонери крім власне пенсії, отримують ще зарплату. Отже їх дохід складається із пенсії та оподаткованої зарплати, а витрати пов'язані лише із попитом на основний агрегований продукт, тобто для нас маємо рівняння

$$\frac{dz_1}{dt} = p_A d_0 + p_A d_1 (1 - k_0) - z_1, \quad (2)$$

$$\frac{dz_2}{dt} = p_A d_0 + p_A d_2 (1 - k_0) - z_2. \quad (3)$$

Аналогічно формуються рівняння динаміки заощаджень працівників непенсійного віку секторів А та В. Отже,

$$\frac{dz_3}{dt} = p_A d_1 (1 - k_0) - z_3, \quad (4)$$

$$\frac{dz_4}{dt} = p_A d_2 (1 - k_0) - z_4. \quad (5)$$

Представник групи отримує дохід від реалізації основного суспільного продукту всім елементам суспільства, а його витрати пов'язані із податком на дохід, власним попитом на агрегований продукт, оплатою утилізації у секторі В частини своїх відходів, виплатою зарплати своїм працівникам, податком на фонд зарплати, внутрішніми потребами своєї діяльності, податком на додану вартість. У кінцевому результаті граничний приріст змінної формалізується так:

$$\begin{aligned} \frac{dz_5}{dt} = & \frac{p_A (1 - k_0)}{n_5} \int_0^6 n_A q_A(s_A^{(i)}) - p_A q_A(s_A^{(i)}) - p_B \frac{n_6}{n_5} \int_0^6 \delta_B - \frac{p_A}{n_5} (n_1 + n_2) d_1 (1 - k_1) - \\ & (n_1 + n_2) \int_0^6 \delta_A + k_2 f_A(s_A) \int_0^6 \frac{1 - k_0}{n_5} \int_0^6 n_1 - z_1 - z_2 - z_3 - z_4 - z_5 + \\ & \frac{n_1 + n_2}{n_5} p_A d_1 (1 - k_1). \end{aligned} \quad (6)$$

Власник підприємств (установ) сектора В, якщо він фінансується лише сектором А, отримує дохід від обсягу утилізованого забруднення, що визначається його функцією попиту на утилізацію, а його видатки спрямовуються на податок з доходу, власний попит на основний суспільний продукт, виплату зарплати своїм працівникам і податок на фонд заробітної плати, внутрішні потреби своєї діяльності та податок на додану вартість (вартість утилізованого забруднення), тому рівняння динаміки його заощаджень має вигляд:

$$\begin{aligned} \frac{dz_6}{dt} = & (1 - k_0) p_B \int_0^6 \delta_B - p_A q_A(s_A^{(i)}) - \frac{p_B}{n_6} (n_2 + n_4) d_2 (1 - k_1) - (n_2 + n_4) - \\ & \int_0^6 \delta_B + k_2 \int_0^6 \delta_B - \int_0^6 (1 - k_0) \int_0^6 \delta_B + k_2 \int_0^6 \delta_B - \frac{n_2 + n_4}{n_6} p_B d_2 (1 - k_1). \end{aligned} \quad (7)$$

Ціна p_A залежить від різниці між попитом на агрегований суспільний продукт та його пропозицією, а тариф p_B – від різниці між попитом на відходи та їх загальною пропозицією, тому:

$$\frac{dp_A}{dt} = \int_0^6 \frac{n_1 - z_1}{p_A} - \int_0^6 \frac{n_5 - z_5}{p_A}, \quad (8)$$

$$\frac{dp_B}{dt} = \int_0^6 \frac{n_2 + z_2}{p_B} - \int_0^6 \frac{n_4 - z_4}{p_A}. \quad (9)$$

Доповнивши співвідношення (1)-(9) початковими умовами:

$$z_i(t_0) = z_i^{(0)} \quad (i = \overline{0,6}), \quad p_A(t_0) = p_A^{(0)}, \quad p_B(t_0) = p_B^{(0)}, \quad (10)$$

отримаємо один із можливих варіантів (тобто варіант (1)-(10)) двосекторної моделі еколого-економічної динаміки з лінійними функціями економічної поведінки. Якщо до співвідношень (1)-(10) приєднати умову еколого-економічної рівноваги

$$\int_0^6 \frac{n_5 - z_5}{p_A} = \int_0^6 \frac{n_2 + z_2}{p_B}, \quad (11)$$

де \square може бути як сталою величиною, так і динамічною змінною, матимемо модель (1)-(11).

Частіше всього при дослідженні еколого-економічних систем потрібно проаналізувати поведінку динамічної змінної \square , тобто обсягу забруднення довкілля через неповну утилізацію створених екологічно шкідливих відходів. Динаміка \square змінної залежить від різниці між загальним обсягом створеного забруднення та тією його частиною, яка утилізована (у цьому випадку у секторі В) і «самоочищена» внаслідок природної здатності навколишнього середовища. У зв'язку з цим рівняння динаміки \square має вигляд

$$\frac{d\square}{dt} = \int_0^6 \frac{n_5 - z_5}{p_A} - \int_0^6 \frac{n_2 + z_2}{p_B} - \square. \quad (12)$$

Доповнивши рівняння (12) початковою умовою

$$\square(t_0) = \square^{(0)}, \quad (13)$$

отримаємо моделі (1)-(10), (12), (13) та (1)-(13). Застосування кожної із вищевказаних моделей або їх модифікації залежить від конкретної мети дослідження та відповідного інформаційного забезпечення.

Висновки і перспективи подальших досліджень. Загальновідомо, що дослідження таких складних об'єктів, як економічні, еколого-економічні чи соціо-еколого-економічні системи потребує відповідного інструментарію та адекватного інформаційного забезпечення. Запропоновані у цій праці моделі, належать до класу диференціальних моделей еколого-економічної динаміки, тому їх можна розв'язати відомими з теорії диференціальних рівнянь методами (зокрема числовими), а за допомоги комп'ютерних експериментів з законами – встановити на основі їх розв'язків основні закономірності та тенденції розвитку досліджуваних реальних систем того чи іншого рівня агрегування (наприклад, регіональних, на рівні країни тощо). При цьому треба зазначити, що важливим етапом застосування моделей цього класу є їх параметризація, що є цілком самостійним та актуальним завданням, успішне розв'язання якого на практиці забезпечує адекватність побудованих моделей. Перспектива подальших досліджень пов'язана також з обґрунтуванням економічної структури сучасного українського суспільства, її «повноти» і впливу на реальну еколого-економічну динаміку та її наслідки для суспільства. Заслугою окремого дослідження і економічна поведінка деяких суспільних кластерів, яка у загальному випадку є нелінійною, тобто може описуватися іншими класами функцій. Отримані у цій праці результати та їх вдосконалення спрямовані на розробку відповідної системи підтримки прийняття рішень з метою екологізації економіки.

ПЕРЕЛІК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Гринів Л. С. Екологічно збалансована економіка: проблеми теорії: монографія / Л. С. Гринів. – Львів: ЛНУ ім. І. Франка, 2001. – 240 с.
2. Ляшенко І. М. Економіко-математичні методи та моделі сталого розвитку: монографія / І. М. Ляшенко. – К.: Вища школа, 1999. – 236 с.
3. Онищенко А. М. Моделювання еколого-економічної взаємодії в процесі виконання рішень Кіотського протоколу: монографія / А. М. Онищенко. – Полтава: Полтавський літератор, 2011. – 398 с.
4. Загвойська Л. Д. Теоретичні підходи до моделювання динаміки еколого-економічних систем / Л. Д. Загвойська // Моделювання регіональної економіки: зб. наук. праць. – Івано-Франківськ: Плай. – 2013. – Вип. 2(22). – С. 85–102.
5. Григорків М. В. Двосекторна модель еколого-економічної динаміки в умовах економічної кластеризації суспільства / М. В. Григорків // Фінансова система України. Збірник наукових праць. – Острого: Вид-во нац. ун-ту «Острозька академія», 2011. – Випуск 16. – С. 585–591.
6. Григорків М. В. Моделювання еколого-економічної взаємодії у просторі показників економічної структури суспільства, цін і забруднення довкілля / М.В. Григорків // Науковий вісник Ужгородського університету. Серія «Економіка», випуск 3(40). – Ужгород, 2013. – С. 111–115.
7. Григорків М. В. Моделювання залежних від фінансової спроможності функцій економічної поведінки / М. Григорків // Галицький економічний вісник. – 2012. – №2(35). – С. 114–123.
8. Григорків М. В. Економічна структура суспільства та її роль у процесах соціально-економічної та еколого-економічної взаємодії / М. В. Григорків // Вісник Чернівецького торговельно-економічного інституту. – Чернівці: ЧТЕІ КНТЕУ, 2011. – Вип. IV (44). Економічні науки. – С. 42–49.

Одержано 23.01.2015 р.