

Розділ 1

МАКРОЕКОНОМІЧНІ ДОСЛІДЖЕННЯ

DOI: [https://doi.org/10.24144/2409-6857.2021.1\(57\).13-17](https://doi.org/10.24144/2409-6857.2021.1(57).13-17)

УДК 340.4 : 519.866

Григорків М.В.

МОДЕЛЬ ДИНАМІКИ ОДНОСЕКТОРНОЇ ЕКОЛОГІЧНОЇ ЕКОНОМІКИ

Розкрито актуальність проблем еколого-економічної взаємодії, вдосконалення методологічних підходів до їх дослідження та розробки інструментарію моделювання економіки, у якій процеси екологізації та соціалізації збалансовані. Запропоновано динамічну модель односекторної економіки, яка займається виробництвом основного агрегованого продукту та утилізацією виробничого забруднення, створеного економікою, та невиробничого забруднення, створеного поза межами виробничо-економічної діяльності. Модель призначена як для теоретичних, так і прикладних досліджень еколого-економічної динаміки. При наявності адекватного інформаційного забезпечення експериментальні дослідження з моделлю у режимі комп'ютерної імітації дозволяють встановити основні закономірності, тенденції та тренди реальної динаміки еколого-економічних систем і розробити сценарії еколого-економічного розвитку, які можуть бути використані при прийнятті відповідних управлінських рішень.

Ключові слова: модель, динаміка, односекторна екологічна економіка, рівняння динаміки, утилізація забруднення.

Постановка проблеми. Історія розвитку економіки переконливо доводить, що економічні та екологічні кризи дуже часто взаємопов'язані, а проблеми еколого-економічної взаємодії набувають особливої гостроти та актуальності як для окремих регіонів чи країн, так і у всесвітньому масштабі. Економіка потребує нової моделі розвитку, яка, як уже було проголошено у звітних документах багатьох конференцій, асамблей, самітів ООН і багатьох інших міжнародних заходів, пов'язана із так званим сталим або стійким розвитком, що збалансовує економічні, екологічні та соціальні компоненти єдиної цілісної соціо-еколого-економічної системи.

Однак, становлення економіки сталого розвитку – це еволюційний процес, реалізація якого неможлива без глибоких наукових досліджень, спрямованих на обґрунтування основних засад, принципів, критеріїв і найперше шляхів досягнення цього розвитку, один з яких пов'язаний з екологізацією виробництва та економіки у цілому. Отже, екологізація економіки та зменшення негативного антропогенного

впливу на усі сфери життєдіяльності людини сьогодні належить до стратегічних завдань людства, вирішення яких передбачає також вагомую роль науки та її інструментарію, зокрема економіко-математичного, що у поєднанні із сучасними інформаційними технологіями формує потужний методологічний базис для наукових досліджень таких об'єктів як економіка, екологічна економіка тощо, яким власне і присвячена дана праця.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Інтенсивні дослідження еколого-економічних систем різного рівня агрегування у світовій науці проводяться як мінімум кілька останніх десятиліть. При цьому до таких досліджень залучені науковці різного фахового спрямування, оскільки проблеми еколого-економічної взаємодії та сталого розвитку є багатоаспектними та різноплановими і потребують різних підходів для їх наукового та практичного вирішення. Що стосується наукових результатів у цьому напрямку, зокрема результатів, пов'язаних із моделюванням еколого-економічних систем та імітації їх динаміки на основі побудованих моделей, то їх сьогоднішній доробок є значним як у теоретичному, так і прикладному сенсі. Чимало із цих результатів сьогодні уже стали знаковими у галузі розробки еколого-економічних моделей, зокрема наукові проекти та результати таких всесвітньовідомих учених як Дж. Форрестер,

©Григорків М.В. к.е.н., доц., доцент кафедри економіко-математичного моделювання Чернівецького національного університету ім. Ю. Федьковича, м. Чернівці, Україна, тел. 050-641-80-85, e-mail: GmvMarichka@gmail.com

Д. Медоуз, Х. Дейлі, В. Леонтєв, Д. Форд, В. Вернадський, М. Мойсєєв та багато інших. Моделюванням процесів еколого-економічної взаємодії плідно займалися і займаються також українські науковці, серед яких слід особливо відзначити І. Ляшенка [1, 2], А. Онищенко [3], Ю. Тадеєва [4, 5], Л. Буяк [6] і ін.

Незважаючи на вагомі наукові здобутки у моделюванні еколого-економічних процесів і систем, необхідно підкреслити, що ще багато питань, які відносяться до цієї проблематики, залишилися поза увагою дослідників, тому потребують свого вивчення. Деякі з них складають предмет дослідження цієї роботи і будуть розкриті нижче, зокрема будуть розвинуті також дослідження автора [7].

Формування цілей статті. У контексті сталого розвитку екологізація та соціалізація економіки повинні гармонійно поєднуватися, тому у динамічних моделях екологічної економіки її стан у будь-який момент часу повинні описувати як екологічні, так і соціально-економічні показники, які власне і будуть змінними цих моделей. Оскільки рівень соціальної складової можна оцінити за допомогою показників економічної структури суспільства, то включення цих показників до сукупності змінних моделей еколого-економічної динаміки є доцільним. А, по-друге, принципово важливо щоб формалізація тієї чи іншої моделі екологічної економіки обов'язково відображала процеси утилізації продуктів забруднення, до яких належить як виробниче забруднення, так і забруднення, створене поза межами виробництва. Метою цього дослідження є побудова моделі динаміки односекторної економіки, у якій враховано зазначені вище вимоги до розробки динамічних еколого-економічних моделей.

Опис основного матеріалу дослідження. Для побудови динамічної моделі односекторної економіки, у якій, крім виробництва основного агрегованого продукту (ОП), здійснюється також утилізація продуктів забруднення (ПЗ), до яких належить виробниче забруднення (ВЗ) та невиробниче забруднення (НВЗ), яке створене поза межами виробництва, виберемо простір моделювання, кожна точка якого характеризується такими соціально-економічними та екологічними показниками: X – ліквідні заощадження (надалі заощадження) усередненого у сенсі наявності ліквідного капіталу власника виробництв (ВВ), що продукує ОП (ВВ репрезентує усю групу власників чи виробників); Y – заощадження усередненого у сенсі наявності ліквідного капіталу задіяного у виробництві ОП працівника виробничої сфери

(ПВ) (кожний працівник чи робітник репрезентує усю групу працівників виробничої сфери); c – ціна на ОП; \tilde{c} – тариф на утилізацію ПЗ; z – обсяг забруднення довкілля неутілізованими рештками ПЗ.

Отже, у будь-який момент часу t стан досліджуваної односекторної економіки визначається сукупністю змінних $\{x(t), y(t), c(t), \tilde{c}(t), z(t)\}$. Формалізувати модель динаміки такої економіки – це побудувати певні математичні співвідношення для вказаних динамічних змінних x, y, c, \tilde{c}, z . З цією метою введемо позначення: $\tilde{\alpha}$ – частка заощаджень ПВ, виділених ним на споживання ОП ($0 \leq \tilde{\alpha} \leq 1$); α, β та γ – частки заощаджень ВВ, виділених ним на особисте споживання ОП, виробництво ОП та утилізацію ПЗ ($0 \leq \alpha + \beta + \gamma \leq 1$); $s_\alpha = \alpha x/c$ та $s_{\tilde{\alpha}} = \tilde{\alpha} y/c$ – купівельні спроможності ВВ та ПВ щодо ОП; $s_\beta = \beta x/c$ та $s_\gamma = \gamma x/\tilde{c}$ – виробнича щодо виробництва ОП та утилізаційна щодо знищення забруднювачів спроможності ВВ; Q та F – функції попиту на ОП та виробництва ОП, аргументами яких є відповідні купівельна та виробнича спроможності (ці функції визначають обсяги попиту та виробництва ОП у натуральних одиницях (н.о.)); Ψ – функція утилізації забруднення, аргументом якої є утилізаційна спроможність (вона визначає обсяг утилізованих одиниць забруднення); K – загальна кількість ВВ; L – загальна кількість ПВ; π_0, π_1, π_2 і π_3 – ставки податків відповідно на дохід, фонд заробітної плати, додану вартість та право займатися утилізацією ПЗ; λ_β ($0 \leq \lambda_\beta \leq 1$) – частка доданої вартості створеного ОП, яка витрачається на організаційні потреби виробництва ОП; λ_γ ($0 \leq \lambda_\gamma \leq 1$) – частка доданої вартості утилізованих ПЗ, яка витрачається на організаційні потреби утилізації ПЗ; λ ($0 \leq \lambda \leq 1$) – коефіцієнт або частка випуску забруднення під час виробництва ОП; P^* – попит на ОП елементів суспільства, не задіяних у виробничій сфері; P^{**} – попит на утилізацію ПЗ, створених поза межами виробництва ОП, тобто це попит на утилізацію НВЗ; Z^{**} – пропозиція або випуск ПЗ, створених поза межами виробництва ОП; r – зарплата працівника виробничої сфери у грошових

одиницях (г.о.); θ_1 і θ_2 – коефіцієнти регулювання ринкових ціни на ОП та тарифу на утилізацію; μ – коефіцієнт самоочищення природного середовища.

Значимо, що усі уточнені вище параметри можуть бути як сталими, так і залежними від часу величинами. Не обмежуючи загальності міркувань, їх можна вважати сталими, оскільки на формалізацію співвідношень пропонованої моделі це не вплине. Приступаючи до опису моделі, підкреслимо також, що одним із базових припущень щодо її формалізації буде припущення про те, що досліджувана односекторна економіка обов'язково займається утилізацією як ВЗ, так і НВЗ, а можливості утилізації визначають ВВ. При цьому утилізація НВЗ приносить виробникам певну частину

доходу, що обов'язково повинно бути відображено у рівнянні динаміки заощаджень ВВ. Граничний приріст цих заощаджень дорівнює різниці між доходом і витратами. Дохід формують надходження від збуту ОП виробникам, працівникам виробничої сфери та іншій частині суспільства, яка не бере участі у виробництві (сюди можуть бути включені також експортні замовлення), а також надходження від реалізованого попиту суспільства на утилізацію. До витрат ВВ належать видатки на особисте споживання ОП, фонд заробітної плати своїм працівникам, організацію виробництва ОП та утилізації ПЗ. Звичайно, як дохід, так і усі види витрат оподатковуються за відповідними ставками податків. Тому з урахуванням введених вище позначень рівняння динаміки заощаджень ВВ матиме вигляд:

$$\frac{dx}{dt} = \frac{c(1-\pi_0)}{K} [KQ(s_\alpha) + LQ(s_{\tilde{\alpha}}) + P^*] + \frac{\tilde{c}(1-\pi_0)}{K} P^{**} - cQ(s_\alpha) - \frac{Lr(1+\pi_1)}{K} - c(\lambda_\beta + \pi_2)F(s_\beta) - \tilde{c}(\lambda_\gamma + \pi_3)\Psi(s_\gamma). \quad (1)$$

Значно простішим буде рівняння динаміки заощаджень ПВ або робітника, оскільки його чистий дохід складається із частини зарплатні, що залишилася після оподаткування, а витрати пов'язані зазвичай лише із попитом на ОП. Отже, рівняння для динамічної змінної у буде таким:

$$\frac{dy}{dt} = r(1-\pi_0) - cQ(s_{\tilde{\alpha}}). \quad (2)$$

Ціна на ОП залежить від сумарних попиту та пропозиції ОП. Попит, як уже було зазначено раніше, є сумою попитів задіяних і не задіяних у виробництві елементів суспільства, а пропозиція визначається функцією випуску продукції кожного із виробників, тому рівняння для змінної c формалізується так:

$$\frac{dc}{dt} = \theta_1 [KQ(s_\alpha) + LQ(s_{\tilde{\alpha}}) + P^* - KF(s_\beta)]. \quad (3)$$

Аналогічно від попиту на утилізацію забруднення та пропозиції утилізованого забруднення залежить тариф на утилізацію. Пропозиція утилізованих ПЗ повністю визначається виділеною ВВ на знищення забруднювачів часткою своїх заощаджень γ , яка власне кажучи формує утилізаційну спроможність виробника, а попит на утилізацію складається з попиту виробника на утилізацію ВЗ та попиту на утилізацію НВЗ, обсяг якого

позначений через P^{**} . Питання про те, яку частину створеного ВЗ виробник готовий утилізувати, на практиці є достатньо складним. Оскільки утилізацію ВЗ вивуваєць, тобто виробник, мав би здійснювати за власний рахунок, не отримуючи від цього ніякого доходу, то він часто намагається уникнути своєї відповідальності за ВЗ, утилізуючи лише деяку частину створеного ВЗ або й зовсім не займається утилізацією, викидаючи ВЗ у довкілля. Суспільство разом з відповідними державними органами повинно жорстко контролювати процес утилізації ВЗ і ПЗ у цілому. Щодо утилізації ВЗ цей контроль формалізуємо коефіцієнтом попиту \tilde{k} ($0 \leq \tilde{k} \leq 1$), тому, якщо $\lambda F(s_\beta)$ – обсяг створеного виробником забруднення, то $\tilde{k} \lambda F(s_\beta)$ – обсяг попиту на утилізацію ВЗ. Звичайно, контроль з боку держави і суспільства повинен бути дієвим і таким, щоб у кінцевому результаті коефіцієнт \tilde{k} дорівнював одиниці або був близьким до неї. Зважаючи на наведені вище міркування та прийняті позначення, прийдемо до такого рівняння динаміки тарифу:

$$\frac{d\tilde{c}}{dt} = \theta_2 [K\tilde{k}\lambda F(s_\beta) + P^{**} - K\Psi(s_\gamma)]. \quad (4)$$

Як відомо, метою будь-якої економічно обґрунтованої екологічної політики є

максимально можливе зменшення ПЗ, які не утилізовані та відповідно забруднюють довкілля. У зв'язку з цим моделювання динаміки забруднення довкілля є надзвичайно актуальним. З огляду на те, що приріст обсягу забруднення довкілля вимірюється величиною цього забруднення, яка є різницею між обсягами створених ПЗ і обсягами утилізованих ПЗ (як виробниками, так і природою), рівняння для змінної z набуде вигляду:

$$\frac{dz}{dt} = K\lambda F(s_\beta) + Z^{**} - K\Psi(s_\gamma) - \mu z. \quad (5)$$

Оскільки динаміка досліджуваної економіки описана диференціальними рівняннями, то логічно вважати, що у початковий момент часу t_0 задані початкові значення змінних моделі, тобто значення $x^{(0)}$, $y^{(0)}$, $c^{(0)}$, $\tilde{c}^{(0)}$, $z^{(0)}$:

$$\begin{cases} x(t_0) = x^{(0)}, & y(t_0) = y^{(0)}, & c(t_0) = c^{(0)}, \\ \tilde{c}(t_0) = \tilde{c}^{(0)}, & z(t_0) = z^{(0)}. \end{cases} \quad (6)$$

Співвідношення (1)-(5) разом із початковими умовами (6) формують динамічну модель односекторної економіки, у якій не тільки виробляється ОП, але й утилізуються ПЗ. Модель (1)-(6) є диференціальною, тому передбачається, що вона задовольняє усім математичним вимогам, які висуваються до існування розв'язку, його єдиності тощо. Щодо моделі (1)-(6) зазначимо також, що вона є основою для побудови інших моделей цього класу. Її

модифікації та розширення можливі у випадку зміни або розгляду інших припущень відносно змінних, параметрів, функцій чи принципів побудови основних співвідношень моделі.

Висновки і перспективи подальших досліджень. Запропонована у цій праці модель належить до широкого класу моделей економічної та еколого-економічної динаміки, яка є одним із найбільш складних об'єктів дослідження. Без розробки моделей динаміки адекватний аналіз основних закономірностей, тенденцій та трендів еколого-економічного розвитку неможливий. Їх можна встановити лише у режимі комп'ютерної імітації з моделями такого класу, а отримані при цьому висновки та рекомендації використати для прогнозування динаміки еколого-економічних систем як регіонального, так і загальнодержавного рівня. Доцільно підкреслити також, що моделі динаміки, у тому числі і модель, описана у цьому дослідженні, сьогодні опираються на наявний потужний теоретичний та прикладний інструментарій диференціальних моделей, тому незважаючи на значну кількість параметрів, вони успішно апробуються та застосовуються у практиці підготовки та прийняття рішень у тій чи іншій сфері людської діяльності. Що стосується запропонованої у роботі моделі, то незважаючи на її нелінійність та наявність цілого ряду параметрів, які можуть скласти окремих предмет для досліджень, вона у кінцевому результаті призначена для аналізу та розробки сценаріїв розвитку еколого-економічної динаміки та прийняття управлінських рішень щодо формування екологічної економіки. Дослідження у цьому напрямку мають перспективу розвитку.

ПЕРЕЛІК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Ляшенко И. Н., Михалевич М. В., Утеулиев Н. У. Методы эколого-экономического моделирования. Нукус : Билим, 1994. 236 с.
2. Ляшенко І. М. Економіко-математичні методи та моделі сталого розвитку. К. : Вища школа, 1999. 236 с.
3. Онищенко А. М. Моделювання еколого-економічної взаємодії в процесі виконання рішень Кіотського протоколу : монографія. Полтава : Полтавський літератор, 2011. 398 с.
4. Тадеєв Ю. П. До проблеми контролю за забрудненням навколишнього середовища. *Моделювання та інформаційні системи в економіці : зб. наук. праць*. Київ, 2006. С. 174-185.
5. Тадеєв Ю. П. Економіко-математичне моделювання та сталий розвиток. *Проблеми системного підходу в економіці: Збірник наук. праць НАУ*. Київ, 2010. Вип. 33. С. 69-73.
6. Буяк Л. М. Математичні моделі загальної економічної динаміки з урахуванням соціально-економічної кластеризації : монографія. Чернівці : Чернівецький нац. ун-т, 2016. 392 с.
7. Григорків М.В. Динамічні моделі еколого-економічних систем в умовах соціально-економічної кластеризації : монографія. Тернопіль: «Економічна думка ТНЕУ», 2020. С. 415.

REFERENCES

1. Ljashenko, I.N., & Mihalevich, M.V., & Uteuliev, N.U. (1994). Metody jekologo-jekonomicheskogo modelirovaniya [Methods of the eco-economic modeling]. Nukus: Bilim [in Russian].
2. Lyashenko I.M. (1999). Ekonomiko-matematichni metody ta modeli stalogo rozvytku [Economic and mathematical methods and models of sustainable development]. K.: Vyshha shkola [in Ukrainian].

3. Onyschenko A.M. (2011). Modeliuvannia ekolooho-ekonomichnoi vzaiemodii v protsesi vykonannia rishen' Kiots'koho protokolu: [monohrafiia] [Modelling of ecologic-economic interaction in the process of implementation decisions of Kiotskogo protocol]. Poltavs'kyj literator, Poltava [in Ukrainian].
4. Tadeiev Yu.P. (2006). To the problem of environmental pollution control Modeliuvannia ta informatsijni systemy v ekonomitsi: zb. nauk. prats' [Modeling and information systems in economics: coll. of science works]. Kyiv, 174-185 [in Ukrainian].
5. Tadeiev Yu.P. (2010). Economic and mathematical modeling and sustainable development. Problemy systemnoho pidkhodu v ekonomitsi: Zbirnyk nauk. prats' NAU [Problems of the system approach in economy: Collection of science works of NAU]. Kyiv, 33, 69-73 [in Ukrainian].
6. Buiak L.M. (2016). Matematychni modeli zahal'noi ekonomichnoi dynamiky z urakhuvanniam sotsial'no-ekonomichnoi klasteryzatsii: monohrafiia [Mathematical models of general economic dynamics taking into account socio-economic clustering: a monograph.]. Chernivtsi: Chernivets'kyj nats. un-t [in Ukrainian].
7. Hryhorkiv M.V. (2020). Dynamichni modeli ekologo-ekonomichnyx system v umovax socialno-ekonomichnoyi klasteryzaciyi: monohrafiia [Dynamic models of eco-economic systems in the conditions of socio-economic clustering]: monografiya. Ternopil': «Ekonomichna dumka TNEU» [in Ukrainian].

Отримано 15.01.2021