

УДК 340.4:519.866

JEL Classification: C610, C630, E270

DOI: <http://doi.org/10.34025/2310-8185-2021-2.82.06>

М.В. Григорків, д.е.н., доцент,

<https://orcid.org/0000-0003-3327-991X>

О.Ю. Вінничук, к.е.н., доцент,

<https://orcid.org/0000-0001-5354-3429>

Л.Л. Маханець, к.е.н., доцент,

<https://orcid.org/0000-0001-8671-0596>

О.І. Ярошенко, к.е.н., доцент,

<https://orcid.org/0000-0002-5976-6559>

Чернівецький національний університет ім. Ю. Федьковича,
м. Чернівці

МОДЕЛЬ ЕКОЛОГО-ЕКОНОМІЧНОЇ ДИНАМІКИ З ЛІНІЙНИМИ ФУНКЦІЯМИ ЕКОНОМІЧНОЇ ПОВЕДІНКИ

Анотація

Актуальність. Постановка проблеми. Людський фактор чинить негативний вплив на процеси природокористування та забруднення навколишнього середовища рештками виробничої діяльності, які у випадку нехтування ними приводять до екологічних криз, зміни клімату, суттєвого погіршення якості середовища життєдіяльності людини. З розвитком екологічної освіти, культури, наукової та інформаційної підтримки суспільства у його прагненні до створення екологічно безпечного життєвого простору людини дуже актуальними є проблеми екологізації економіки, механізми екологізації, пов'язані із впровадженням у виробництво технологій, які є безвідходними або максимально наближеними до них. Також існує гостра необхідність збалансування її соціально-економічних і екологічних характеристик. Ці характеристики апіорі передбачають, що у сучасних умовах економіка та екологія тісно взаємопов'язані, тому будь-яку економіку чи економічну систему потрібно розуміти як єдину цілісну еколого-економічну систему, що на відміну від її складових підсистем, володіє деякими, властивими тільки їй особливостями.

Мета дослідження – розробка динамічних моделей екологізації односекторної економіки в умовах соціально-економічної кластеризації. Складність еколого-економічної системи як об'єкта дослідження потребує розробки нової **методології** дослідження, яка поєднує комплекс принципів, методів і засобів наукового пізнання, які використовуються у різних наукових напрямках.

Результати. Розроблено динамічну модель односекторної економіки, у якій, крім виробництва основної агрегованої продукції, здійснюється також утилізація виробничих відходів. Формалізація моделі враховує також соціально-економічну кластеризацію

ЕКОНОМІКО-МАТЕМАТИЧНЕ МОДЕЛЮВАННЯ

суспільства, що дозволяє виокремити у моделі групи власників виробництв і робітників та описати динаміку їхніх ліквідних заощаджень, роль яких у функціонуванні економіки є принципово важливою. Крім цих величин, до змінних моделей належать також ціна на основну продукцію, тариф на утилізацію виробничих решток і обсяг забруднення довкілля неутілізованими відходами. У сукупності усі змінні моделі формують фазовий простір траєкторій еколого-економічної динаміки. Модель призначена для якісного та кількісного аналізу динаміки еколого-економічних систем описаного типу. Дослідження такої динаміки можливе у режимі імітаційних експериментів з моделлю, результати яких дозволяють виявити загальні тенденції та закономірності розвитку односекторної економіки в умовах її екологізації та соціально-економічної кластеризації.

Практичне значення. Встановлені за результатами експериментальних досліджень з моделлю особливості та характеристики можуть служити важливим інформаційним забезпеченням для розробки сценаріїв еколого-економічного розвитку та системи підтримки прийняття управлінських рішень щодо функціонування та динаміки еколого-економічних систем у реальній практиці.

Перспективи подальших досліджень. Розробка інформаційного та програмного забезпечення моделі складає предмет подальших досліджень у цьому напрямі.

Ключові слова: модель, еколого-економічна динаміка, односекторна економіка, функція економічної поведінки, соціально-економічна кластеризація.

Кількість джерел: 10.

Mariia Hryhorkiv, Doctor of Economic Sciences, Associate professor,
<https://orcid.org/0000-0003-3327-991X>

Olena Vinnychuk, Candidate of Economic Sciences, Associate professor,
<https://orcid.org/0000-0001-5354-3429>

Liubov Makhanets, Candidate of Economic Sciences, Associate professor,
<https://orcid.org/0000-0001-8671-0596>

Olena Yaroshenko, Candidate of Economic Sciences, Associate professor,
<https://orcid.org/0000-0002-5976-6559>

Yuri Fedkovich Chernivtsi National University, Chernivtsi

MODEL OF ECOLOGICAL AND ECONOMIC DYNAMICS WITH LINEAR FUNCTIONS OF ECONOMIC BEHAVIOR

Summary

There has been analyzed a decisive role of negative impact of human factors on the processes of nature management and environmental pollution by the remnants of

production activities, which in case of neglect lead to environmental crises, climate change and significant deterioration of the quality of human life. The urgency of the problem of economy ecologization, the mechanisms of ecologization associated with the introduction of technologies that are waste-free or most closely approximate to them, with the development of environmental education, culture, scientific and information support of society in its quest to create environmentally safe living space and, also, the need to balance its socio-economic and environmental characteristics have been disclosed. These characteristics a priori suggest that in modern conditions economy and ecology are closely interrelated, therefore, any economy or economic system should be understood as a single integral ecological-economic system which, in contrast to its constituent subsystems, has some peculiarities inherent only to it. The complexity of the ecological and economic system as an object of research requires the development of a new research methodology that combines a set of principles, methods and tools of scientific knowledge used in various scientific fields. There has been developed dynamic model of a one-sector economy, in which, in addition to the production of basic aggregative products, industrial waste utilization is also carried out. The formalization of the model also takes into account the socio-economic clustering of society, makes it possible to identify groups of production owners and workers in the model and describe the dynamics of their liquid savings, whose role in the functioning of the economy is fundamentally important. In addition to these values, the model variables also include the price of basic products, the tariff for the disposal of production residues and the volume of environmental pollution by non-utilized waste. Taken together, all variable models form the phase space of the trajectories of the ecological-economic dynamics. The model is designed for a qualitative and quantitative analysis of the dynamics of ecological-economic systems of the described type. The research of such dynamics is possible in the mode of simulation experiments with a model, the results of which make it possible to identify general trends and patterns of development of a one-sector economy in terms of its ecologization and socio-economic clustering. The features and characteristics established as a result of experimental studies with the model can serve as an important information support for the development of scenarios of ecological-economic development and management decision on the functioning and dynamics of ecological-economic systems in real practice.

Keywords: model, ecological-economic dynamics, one-sector economy, function of economic behaviour, socio-economic clustering.

Number of sources – 10.

Постановка проблеми. Однією із найбільш глобальних проблем сучасного світу є проблема забруднення навколишнього середовища, якість якого залежить не тільки від природних процесів, але й від неадекватної відносно природного середовища поведінки людського суспільства. Антропогенний фактор нерідко є визначальним чинником екологічних криз і катастроф, наслідки яких (зміна клімату, повені, посухи тощо) ми спостерігаємо уже

сьогодні. У зв'язку з цим особливої гостроти та актуальності набули процеси екологізації економіки та власне розробки екологічних стандартів людської життєдіяльності загалом. Механізми такої екологізації найперше передбачають організацію виробництва з безвідходними технологіями або з максимально можливими обсягами утилізації виробничих решток, а на гуманітарному рівні соціально-економічних відносин у суспільстві – розвиток екологічної культури, освіти, інформаційної та наукової підтримки мотивів і рішень щодо екологізації життєвого простору людини. Екологізація економіки як об'єкт наукового дослідження потребує використання широкого теоретичного та прикладного інструментарію, у тому числі методології математичного моделювання. Саме моделювання і складає предмет досліджень у пропонованій роботі.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Актуальні наукові дослідження процесів еколого-економічної взаємодії були започатковані у другій половині ХХ ст., що фактично збіглося з появою перших серйозних екологічних криз та їхніх негативних наслідків для людського суспільства. Тоді власне і з'явилися знамениті наукові праці Дж. Форрестера [1], Д. Медоуза [2], В. Леонт'єва та Д. Форда [3] і багатьох інших науковців світу. Згодом наукове обґрунтування еколого-економічних проблем і переходу до так званого сталого розвитку стало пріоритетним для науки у багатьох країнах світу. Ця тенденція збереглася до сьогодні. Не маючи змоги здійснити у рамках даної праці навіть оглядовий аналіз найбільш знакових праць та результатів дослідження еколого-економічних систем і процесів, зазначимо лише, що вагоме місце серед таких досліджень займають також праці українських науковців, зокрема у галузі моделювання. Це праці І. Ляшенка [4], М. Михалевича [5], А. Онищенко [6] тощо, результати яких сумісно з результатами інших вчених сформували потужний методологічний базис для подальших

наукових досліджень у цьому важливому науковому напрямку, який охоплює ще чимало невивчених питань. Що стосується проблем еколого-економічного моделювання, то потребує глибшого обґрунтування проблема збалансованої екологізації та соціалізації економіки і розробка відповідних моделей.

Формулювання цілей статті. Сумісна екологізація та соціалізація економіки передбачає формалізацію цих процесів за допомогою показників стану економічної системи, які описують як її екологічні, так і соціально-економічні характеристики. Таку формалізацію можна здійснити, припустивши, що економіка є односекторною, тобто такою, що одночасно виробляє основну агреговану продукцію та здійснює утилізацію створеного забруднення. Реалізують цю функцію економіки одні і ті ж власники виробництв та їхні працівники, що, власне кажучи, формують два кластери суспільства, які є безпосередніми творцями необхідної для суспільства основної продукції (ОП) та продукції «чисте довкілля» (ПЧД). Отже, метою цієї праці є розробка динамічних моделей екологізації односекторної економіки в умовах соціально-економічної кластеризації, що є логічним продовженням наукових досліджень авторів [7–10].

Виклад основного матеріалу. Перш ніж приступити до формалізації пропонованої моделі, введемо ряд позначень. Отже, нехай M і N – кількість власників виробництв і робітників, задіяних у односекторній економіці, відповідно; z_M і z_N – ліквідні заощадження (заощадження) власника і робітника (вважається, що власники та робітники є рівнозначними за величиною заощаджень у своїй групі); p – ціна на ОП; \tilde{p} – тариф на утилізацію; ζ – обсяг забруднення довкілля неутілізованими виробничими рештками; α та β – частки заощаджень власника, які він виділяє на споживання ОП та виробництво ОП ($\alpha, \beta \geq 0$; $\alpha + \beta \leq 1$); $\tilde{\alpha}$ – частка заощаджень робітника, які він витрачає на споживання ОП;

π_0, π_1, π_2 та π_3 – ставки податків на дохід, фонд заробітної плати, додану вартість під час виробництва ОП та під час утилізації забруднення; λ_β та λ_γ – частки витрат власника (у доданій вартості) на організаційні виробничі потреби основної та утилізаційної діяльності; μ_β та μ_γ – частки вартості виробленої ОП та утилізованого забруднення, які виділяються власником виробництв на зарплату працівникам; \tilde{k}_q – коефіцієнт попиту суспільства на утилізацію виробничого забруднення (ВЗ); λ та λ^* – коефіцієнти випуску та утилізації забруднення; θ_β та θ_γ – коефіцієнти регулювання ціни на ОП та тарифу на утилізацію, що формалізують інерційність ринків ОП та ПЧД; μ – коефіцієнт природного спаду або самоочищення природного середовища. Зазначимо, що z_N, z_M, p, \tilde{p} і ζ є динамічними змінними, що у кожний момент часу t описують стан еколого-економічної системи, а всі інші введені величини – це параметри, які можна вважати сталими.

Крім того, для опису моделі потрібно ввести у розгляд також функцію попиту на ОП $q(s)$ та функцію випуску ОП $f(s)$, де s – фінансова спроможність попиту на ОП та випуску ОП. Купівельна

спроможність власника щодо придбання ОП дорівнює $s_\alpha = \frac{\alpha z_M}{p}$

одиниць продукції (о.п.), а у робітника – $s_{\tilde{\alpha}} = \frac{\tilde{\alpha} z_N}{p}$ о.п. Виробнича

спроможність власника виробництва щодо випуску ОП становить

$s_\beta = \frac{\beta z_M}{p}$ о.п. Утилізація ВЗ у односекторній економіці або

виробництво ПЧД також описується за допомогою відповідних

функцій попиту на ПЧД та випуску ПЧД, але нижче ці функції виразимо через функції q і f . Коефіцієнт випуску забруднення λ означає, що випуск $f(s_\beta)$ о.п. супроводжується випуском $\lambda f(s_\beta)$ одиниць забруднення (о.з.). Коефіцієнт λ^* означає, що із $\lambda f(s_\beta)$ о.з. виробник (власник) може утилізувати лише $\lambda^* \lambda f(s_\beta)$ о.з. Тому функції $f_1(s_\beta) = \lambda f(s_\beta)$ та $f_2(s_\beta) = \lambda^* \lambda f(s_\beta)$ будуть відповідно функціями випуску та утилізації забруднення. Зміст коефіцієнта попиту на утилізацію (чи попиту на ПЧД) аналогічний у тому сенсі, що функція попиту на ПЧД $q_1(s_\beta) = \tilde{k}_q f_1(s_\beta) = \tilde{k}_q \lambda f(s_\beta)$. Надалі при побудові моделі еколого-економічної динаміки будемо вважати функції q, f, f_1, f_2, q_1 лінійними, тобто припускати, що

$$\left\{ \begin{array}{l} q(s_\alpha) = \frac{\alpha z_M}{p}, \quad q(s_{\tilde{\alpha}}) = \frac{\tilde{\alpha} z_N}{p}, \\ f(s_\beta) = \frac{\beta z_M}{p}, \quad f_1(s_\beta) = \frac{\lambda \beta z_M}{p}, \\ f_2(s_\beta) = \frac{\lambda^* \lambda \beta z_M}{p}, \quad q_1(s_\beta) = \frac{\tilde{k}_q \beta z_M}{p}. \end{array} \right. \quad (1)$$

Формалізуємо рівняння динаміки змінних моделі з урахуванням (1).

Враховуючи, що дохід у грошових одиницях (г.о.) працівника складається з його оподаткованої зарплати, а усі витрати фактично пов'язані з попитом на ОП, рівняння зміни у часі величини z_N набуде вигляду:

$$\frac{dz_N}{dt} = \frac{M}{N} (1 - \pi_0) (p \mu_\beta + \tilde{p} \mu_\gamma \lambda^* \lambda) \frac{\beta z_M}{p} - \tilde{\alpha} z_N. \quad (2)$$

Власники виробництв отримують свої доходи від збуту ОП усім працівникам (загальний обсяг $Nq(s_{\tilde{\alpha}})$ од.) та іншій частині

суспільства, яка не задіяна у виробництві (позначимо її через q^*). Витрати кожного власника – це видатки на особисте споживання ОП ($pq(s_\alpha)$), на зарплату робітників та податок на фонд заробітної плати $\left((1 + \pi_1) \left[p\mu_\beta f(s_\beta) + \tilde{p}\mu_\gamma \lambda^* \lambda f(s_\beta) \right] \right)$, на організаційні потреби виробництва ОП ($\lambda_\beta p f(s_\beta)$) та утилізацію ВЗ ($\lambda_\gamma \tilde{p} \lambda^* \lambda f(s_\beta)$), а також на відповідні податки на додану вартість під час виробництва ОП та утилізації ВЗ ($\pi_2 p f(s_\beta)$ та $\pi_3 \tilde{p} \lambda^* \lambda f(s_\beta)$). З огляду на (1), рівняння динаміки заощаджень власника буде таким:

$$\frac{dz_M}{dt} = \frac{p(1 - \pi_0) \left[N \frac{\tilde{\alpha} z_N}{p} + q^* \right]}{M} - \alpha z_M - \left\{ \left[(1 + \pi_1) \mu_\beta + \lambda_\beta + \pi_2 \right] p + \left[(1 + \pi_1) \mu_\gamma + \lambda_\gamma + \pi_3 \right] \lambda^* \lambda \tilde{p} \right\} \cdot \frac{\beta z_M}{p}. \quad (3)$$

Різниця між попитом на ОП та її пропозицією формує рівняння для ціни на цю продукцію, тому

$$\frac{dp}{dt} = \theta_\beta \left[\frac{M \alpha z_M}{p} + \frac{N \tilde{\alpha} z_N}{p} + q^* - \frac{M \beta z_M}{p} \right], \quad (4)$$

де зміст коефіцієнта θ_β уже визначений раніше.

Аналогічним способом моделюється рівняння динаміки тарифу на утилізацію (попит на ПЧД – $\tilde{k}_q \lambda f(s_\beta)$, а пропозиція ПЧД – $\lambda^* \lambda f(s_\beta)$), тому

$$\frac{d\tilde{p}}{dt} = \theta_\gamma M \lambda \left(\tilde{k}_q - \lambda^* \right) \frac{\beta z_M}{p}. \quad (5)$$

Коефіцієнт θ_γ має те саме призначення, що й коефіцієнт θ_β .

Зазвичай не весь обсяг створеного ВЗ утилізується. Частина ВЗ попадає у довкілля, забруднюючи його. При цьому приріст цього забруднення у кожний момент часу визначається різницею між обсягами створеного та утилизованого забруднення як на виробництві, так і самою природою. Отже, динаміка забруднення довкілля формалізується рівнянням:

$$\frac{d\zeta}{dt} = M(1 - \lambda^*) \frac{\lambda\beta z_M}{p} - \mu\zeta. \quad (6)$$

Доповнивши систему диференціальних рівнянь (2)-(6) початковими умовами

$$z_N(t_0) = z_N^{(0)}, z_M(t_0) = z_M^{(0)}, p(t_0) = p^{(0)}, \tilde{p}(t_0) = \tilde{p}^{(0)}, \zeta(t_0) = \zeta^{(0)}, \quad (7)$$

отримаємо диференціальну модель (2)-(7) еколого-економічної динаміки з лінійними функціями економічної поведінки. Зазначимо, що у рівняннях (3) та (4) цієї моделі присутня величина q^* , щодо якої можливі різні припущення відносно її конкретизації. Одним із таких припущень є припущення про те, що ця величина пов'язана із сумарним попитом на ОП власників і робітників прямо пропорційною залежністю

$$q^* = k_q^* \left[\frac{M\alpha z_M}{p} + \frac{N\tilde{\alpha} z_N}{p} \right], \quad (8)$$

де k_q^* – коефіцієнт пропорційності. Встановлення цього коефіцієнта, як і ідентифікація інших параметрів моделі є окремою задачею моделювання. Співвідношення (8) слід врахувати у моделі (2)-(7) під час проведення з моделлю відповідних експериментальних досліджень. Підкреслимо, що модель (2)-(7) може бути модифікована, якщо змінити ті чи інші вихідні припущення щодо її формалізації.

Висновки з даного дослідження і перспективи подальших розвідок у даному напрямі. Запропонована модель еколого-економічної динаміки з лінійними поведінковими функціями

споживачів і виробників відтворює процеси виробництва основної агрегованої продукції та утилізації виробничих відходів, які відбуваються або можуть відбуватися у односекторній економіці. Змінні моделі відображають як соціально-економічні (заощадження виробників і робітників, ціна на основну продукцію), так і екологічні (тариф на утилізацію, обсяг забруднення довкілля) характеристики цієї економіки, що дозволяє дослідити питання про їх допустимість та узгодженість екологічно та соціально збалансованої економіки. Крім того, аналіз цих характеристик дає можливість також досліджувати проблему відповідності рівня екологічності економіки встановленим екологічним нормативам її функціонування у сенсі забруднення довкілля виробничими рештками. На основі якісного та кількісного аналізу розв'язків моделі (у режимі комп'ютерної імітації) можна встановити загальні закономірності та тенденції розвитку описаної економіки. Розробка інформаційного та програмного забезпечення моделі складає предмет подальших досліджень у цьому напрямі.

Список використаних джерел:

1. Форрестер Дж. Мировая динамика. Москва : Наука, 1978. 168 с.
2. Медоуз Д. Х., Медоуз Д. Л., Рандерс Й. За пределами роста. Уч. пос. Москва : Прогресс, Пангея, 1994. 304 с.
3. Леонтьев В. В., Форд Д. Межотраслевой анализ влияния структуры экономики на окружающую среду. *Экономика и математические методы*. Москва, 1972. Т. 8. №3. С. 370–400.
4. Ляшенко І. М. Економіко-математичні методи та моделі сталого розвитку. Київ : Вища школа, 1999. 236 с.
5. Ляшенко І. Н., Михалевич М. В., Утеулиев Н. У. Методы эколого-экономического моделирования. Нукус : Билим, 1994. 236 с.
6. Онищенко А. М. Моделювання еколого-економічної взаємодії в процесі виконання рішень Кіотського протоколу : [монографія]. Полтава : Полтавський літератор, 2011. 398 с.
7. Григорків М. В. Динамічні моделі еколого-економічних систем в умовах соціально-економічної кластеризації : монографія. Тернопіль : «Економічна думка ТНЕУ», 2020. С. 415.
8. Григорків М. В. Односекторні моделі економічної динаміки з урахуванням процесів еколого-економічної взаємодії. *Науковий вісник Чернівецького університету : Збірник наук. праць. Економіка*. Чернівці, 2015. Вип. 730–731. С. 183–186.
9. Vasyi Hryhorkiv, Lesia Buiak, Mariia Hryhorkiv. The dynamic model of economy in view of socio-economic clusterization and tax burden. *The Economics of the XXI Century: Current State and Development Prospects*. London, 2018. Pp. 217–231.

10. Григорків М. В. Динамічні моделі одnoseкторної економіки з первинною та вторинною утилізацією виробничого забруднення. *Вісник Чернівецького торговельно-економічного інституту. Економічні науки*. Чернівці, 2017. Вип. I-II (65–66). С. 199–207.

References:

1. Forrester, Dzh. (1978). *Mirovaja dinamika* [World dynamics]. Moskva, Nauka, 168 s. (in Russ.).
2. Medouz, D.H., Medouz, D.L., Randers, J. (1994). *Za predelami rosta* [Beyond growth]. Progress, Pangeja, Moskva, 304 p. (in Russ.).
3. Leont'ev, V.V., Ford, D. (1972). Interdisciplinary analysis of the influence of economic structure on the environment. *Mezhotraslevoj analiz vlijanija struktury jekonomiki na okružhajushhuju sredu* [Economics and Mathematical Methods], vol. 3, pp. 370–400 (in Russ.).
4. Lyashenko, I.M. (1999). *Ekonomiko-matematychni metody ta modeli stalogo rozvytku* [Economic and mathematical methods and models of sustainable development]. Vyshha shkola, Kyiv, 236 p. (in Ukr.).
5. Ljashenko, I.N., Mihalevich, M.V., Uteuliev, N.U. (1994). *Metody jekologo-jekonomicheskogo modelirovanija* [Methods of the eco-economic modeling]. Bilim, Nukus, 236 p. (in Russ.).
6. Onyschenko, A.M. (2011). *Modeliuvannia ekoloĥo-ekonomichnoi vzaiemodii v protsesi vykonannia rishen' Kiots'koho protokolu* [Modelling of ecologic-economic interaction in the process of implementation decisions of Kiotskogo protocol]. Poltavsk'kyj literator, Poltava, 398 p. (in Ukr.).
7. Hryhorkiv, M.V. (2020). *Dynamichni modeli ekoloĥo-ekonomichnyx system v umovax socialno-ekonomichnoyi klasteryzaciyi* [Dynamic models of eco-economic systems in the conditions of socio-economic clustering]. Ekonomichna dumka TNEU, Ternopil', 415 p. (in Ukr.).
8. Hryhorkiv, M.V. (2015). Single sectoral models of economic dynamics taking into account the processes of eco-economic interaction. *Naukovyj visnyk Cherniveczkogo universytet, Zbirnyk nauk. prac. Ekonomika* [Scientific Bulletin of Chernivtsi University, Collection of Sciences. wash. Economy]. Chernivci, vol. 730–731, pp. 183–186 (in Ukr.).
9. Vasyl Hryhorkiv, Lesia Buiak, Mariia Hryhorkiv (2018). The dynamic model of economy in view of socio-economic clusterization and tax burden. *The Economics of the XXI Century: Current State and Development Prospects*. London, pp. 217–231.
10. Hryhorkiv, M.V. (2017). Dynamic models of single sectoral economy with primary and secondary utilization of industrial pollution. *Visnyk Cherniveczkogo torgovelno-ekonomichnogo instytutu. Ekonomichni nauky* [Bulletin of the Chernivtsi Trade and Economic Institute. Economic sciences]. Chernivci, vol. I–II (65–66), pp. 199–207 (in Ukr.).