

(in Ukr.).

11. Portulans Institute (2022). Network Readiness Index 2021. Benchmarking the Future of the Network Economy. URL: <https://networkreadinessindex.org> (14 February 2022).

12. Creatio platform for business process management and CRM (2022). How will digital transformation help the development of your organization? URL: <https://www.terrasoft.ua/page/digital-transformation> (18 February 2022) (in Ukr.).

УДК 340.4:519.866

JEL Classification: C610, C630, E270

DOI: <http://doi.org/10.34025/2310-8185-2022-1.85.07>

Марія Григорків, д.е.н., доцент,

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

Василь Григорків, д.ф.-м.н., професор,

<https://orcid.org/0000-0003-4866-946X>

Чернівецький національний університет імені Юрія Федьковича,
м. Чернівці

ДИНАМІЧНА МОДЕЛЬ ОДНОСЕКТОРНОЇ ЕКОНОМІКИ З УРАХУВАННЯМ ЕКОЛОГІЧНОЇ ПОВЕДІНКИ ВИРОБНИКІВ І СПОЖИВАЧІВ

Анотація

Актуальність. Постановка проблеми. Становлення та розвиток економіки з екологічно безпечними для природного середовища та людського суспільства процесами виробництва та споживання передбачає екологізацію економіки та усіх інших сфер життєдіяльності людей як принципово важливий етап побудови екологічної економіки, у якій рівень, якість та безпека життя людини були б метою її функціонування. У зв'язку з цим дослідження процесів еколого-економічної взаємодії є актуальними та пріоритетними для сучасної науки.

Мета дослідження. Застосування методу моделювання як одного із найбільш потужних методів сучасного дослідницького інструментарію для дослідження еколого-економічної динаміки та розробка динамічної моделі односекторної екологічної економіки.

Результати. Запропоновано динамічну модель односекторної економіки з урахуванням екологічної поведінки виробників і споживачів, тобто економіки, у якій одночасно здійснюється виробництво основної агрегованої продукції та утилізація відходів виробництва та споживання. Модель враховує соціально-економічну структуру суспільства, яка представлена у досліджуваній односекторній економіці двома суспільними кластерами власників виробництв (виробників) і працівників (робітників). Формалізація моделі здійснена у просторі еколого-економічних змінних, до яких належать ліквідні заощадження (заощадження) власників виробництв і робітників, ціна на основну агреговану продукцію,

тариф на утилізацію забруднення та обсяг забруднення довкілля. Модель належить до класу диференціальних моделей та відкрита для різних розширень і модифікацій, пов'язаних із збільшенням кількості просторових змінних, урахуванням специфіки поведінкових функцій суб'єктів виробництва та споживання, а також параметрів, які відіграють важливу роль у специфікації моделі.

Практичне значення. У контексті теоретичної значущості запропонована модель та її можливі модифікації призначені для формалізації та аналізу основних підходів і принципів моделювання еколого-економічних процесів, а у прикладному сенсі моделі такого класу служать для експериментальних досліджень у режимі комп'ютерної імітації траєкторій еколого-економічної динаміки і підтримки управлінських рішень у реальній економічній практиці щодо рівня екологізації економіки. Наявність адекватного інформаційного забезпечення дозволяє здійснити її ідентифікацію, дослідити допустимі області зміни параметрів і їх залежність від часу, апробувати відповідні сценарії розвитку досліджуваної економіки та використати отримані знання у системах підтримки рішень.

Перспектива подальших досліджень. Предметом подальших досліджень є розробка на основі запропонованої моделі модифікованих моделей із конкретизованими специфікаціями поведінкових функцій та відповідним інформаційним забезпеченням.

Ключові слова: модель, динаміка, моделювання, екологічна економіка, утилізація забруднення.

Кількість джерел: 16.

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

Vasyl Hryhorkiv, Doctor of Physical and Mathematical Sciences, Professor,
<https://orcid.org/0000-0003-4866-946X>

Yuriy Fedkovych Chernivtsi National University, Chernivtsi

DYNAMIC MODEL OF ONE-SECTOR ECONOMY TAKING INTO ACCOUNT THE ENVIRONMENTAL BEHAVIOR OF PRODUCERS AND CONSUMERS

Summary

The urgency of formation and development of the economy with ecologically safe for the environment and human society processes of production and consumption is revealed. The necessity of ecologization of the economy and all other spheres of human life as a fundamentally important stage in building an ecological economy, in which the level, quality and safety of human life would be the goal of its functioning, is substantiated.

Theory and practice of research of ecological and economic interaction results by modern foreign and domestic scientists are of utter significance and actuality.

The effectiveness of modeling as one of the most powerful methods of modern research tools used in the study of ecological and economic processes and systems and the development of dynamic one-sector ecological economy model.

The authors proposed a dynamic model of a one-sector economy, taking into account the ecological behavior of producers and consumers, i.e. an economy in which the production of basic aggregate products and utilization of production and consumption waste is carried out at the

same time. The model takes into account the socio-economic structure of society, which is represented in the studied single-sector economy by two social clusters of production owners (producers) and workers (employees). The model was formalized in the space of ecological and economic variables, which include liquid savings (savings) of production owners and workers, the price of basic aggregates, the tariff for the disposal of pollution and the amount of environmental pollution. The model belongs to the class of differential models and is open to various extensions and modifications associated with increasing the number of spatial variables, taking into account the specific behavioral functions of production and consumption, as well as parameters playing an important role in model specification.

In the context of theoretical significance, the proposed model and its possible modifications are designed to formalize and analyze the main approaches and principles of modeling environmental and economic processes, and in the applied sense, models of this class are used for experimental research in computer simulation of ecological-economic dynamics and support of management decisions in real economic practice on the level of ecologization of the economy.

The availability of adequate information allows its identification, exploring the allowable areas of parameters' change and their dependence on time, testing appropriate scenarios for the development of the economy under study and using the knowledge gained in decision support systems.

Keywords: model, dynamics, modeling, ecological economy, pollution utilization.

Number of sources – 16.

Постановка проблеми. За останню щонайменше сотню років економічна діяльність людства зазнала еволюційних змін, які не завжди були корисними для якості людського життя. Найперше це стосується тих видів діяльності, що приводили та приводять до забруднення природного середовища (ґрунтів, повітря, водойм), а отже до виникнення екологічних криз, зміни клімату та суттєвого погіршення умов існування всього живого та неживого на нашій планеті. Наслідки цих змін сьогодні уже є відчутними у різних регіонах світу, де відбуваються екологічно небезпечні природні явища і де, власне кажучи, природа уже реагує на нераціональне природокористування, неправильну екологічну політику щодо економічного зростання, виробництва та споживання тощо. Все це є свідченням актуальності проблем екологізації економіки та усіх інших сфер життєдіяльності людини у сучасному світі. Очевидно, що негативний антропогенний вплив на довкілля потрібно різко зменшити, інакше людство ризикує отримати такі екологічні наслідки, які унеможливлять безпечне та продуктивне майбутнє.

Аналіз історії усвідомлення екологічно небезпечної економічної поведінки людей підтверджує, що сьогодні уже сформувалося чітке розуміння гостроти проблем екологізації усіх сфер людського життя, а найперше економіки як системи господарювання. Але щоб реалізувати процеси екологізації та побудувати економіку нового типу, яку ще на Конференції ООН (Ріо-де-Жанейро, 1992 р.) [1] було названо економікою сталого або стійкого розвитку, потрібно здійснити цілу низку заходів, досліджень тощо. Тому роль науки тут складно переоцінити, адже

без її обґрунтованих висновків, концептуальних і методологічних розробок у контексті побудови такої економіки неможливо розв'язати окреслену проблему. Інструменти сучасної науки дуже різні, але одним із найбільш ефективних є моделювання, яке дозволяє імітувати процеси, що відбуваються у реальних економічних системах, та здійснювати розробку найбільш перспективних сценаріїв їх функціонування. Цим і пояснюється актуальність пропонованого авторами дослідження.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Наукові дослідження проблем екологізації економіки та власне її сталого (стійкого) розвитку були започатковані уже достатньо давно, але періодом їх системної активізації вважається період діяльності дослідників Римського клубу, Дж. Форрестера, В. Леонт'єва та Д. Форда, М. Мойсеєва та інших всесвітньо відомих учених, праці яких до сьогодення є знаковими у цій галузі наукових досліджень та служать вихідною платформою для нових розробок у сенсі концептуальних і методологічних основ моделювання еколого-економічних систем різного рівня агрегування та значущості. Достатньо лише нагадати, що завдяки зусиллям зазначених вище науковців і їхніх наукових шкіл питання еколого-економічної взаємодії стали пріоритетними для вивчення, а розроблені ними масштабні проекти підтвердили необхідність зменшення темпів економічного зростання у світовій економіці, яке уже у ХХІ сторіччі може стати причиною глобальних екологічних катастроф. Крім того, вони аргументовано довели у своїх дослідженнях існування альтернативних шляхів розвитку економіки, які гармонійно збалансовують її соціальну, екологічну та виробничу підсистеми, що власне і повинно стати метою економіки майбутнього.

Важливе значення для нас мають також дослідження вітчизняних науковців, наприклад І. Ляшенка, В. Михалевича [2; 3], А. Онищенка [4], Л. Буяк [5], О. Волошина [6], Ю. Тадеєва [7] та багатьох інших. Їхні праці присвячені побудові балансових, оптимізаційних та імітаційних моделей еколого-економічної взаємодії, моделей еколого-економічних функцій та динаміки еколого-економічних систем, розробці апробації та застосування моделей тощо. Певний внесок до арсеналу вітчизняних досліджень зроблено і авторами цієї праці [8-11], яка ідейно продовжує їхні попередні розробки.

Формулювання цілей статті. Вище уже було підкреслено цінність для дослідження еколого-економічних процесів і систем отриманих зарубіжними та вітчизняними науковцями результатів, зокрема тих, що пов'язані з розробкою моделей та інструментарію їх аналізу і застосування. З одного боку, ці розробки дозволяють поглибити основи на сьогодні достатньо повно сформованої теорії еколого-економічної взаємодії на різних рівнях абстрагування та структуризації, а з іншого боку, вони кількісно та якісно доповнюють і вдосконалюють аналітичне, алгоритмічне та програмне забезпечення наявного у цьому напрямку апарату

дослідження. Крім того, варто зазначити також, що спектр проблем, які відносяться до тематики моделювання еколого-економічних систем і які власне стали предметом досліджень загальновідомих наукових праць, є достатньо широким, але далеко не вичерпаним.

На економічну та еколого-економічну динаміку впливає багато факторів, які у свою чергу також залежать від часу. Тому побудова динамічних моделей економіки, зокрема екологічної економіки, є актуальним для науки завданням, успішне розв'язання якого суттєво пов'язане із адекватним урахуванням особливостей процесів, що відбуваються у цій економіці, а також соціальних і екологічних наслідків її функціонування. До таких особливостей належать, зокрема, рівень екологічної безпеки у суспільстві, його соціально-економічна структура, рівень агрегування досліджуваних економічних систем, принципи побудови їх моделей тощо. У зв'язку з цим ще чимало питань є актуальним предметом подальших наукових досліджень, у тому числі розробки нових підходів, концепцій, методів і моделей. Одним із цих питань є питання побудови динамічної моделі односекторної економіки із урахуванням особливостей поведінкових функцій виробників і споживачів. Розробці такої моделі і присвячена дана праця.

Виклад основного матеріалу. Насамперед уточнимо, що під односекторною економікою надалі будемо розуміти економіку, у якій виробляється основна агрегована продукція (ОАП) та утилізуються продукти забруднення (ПЗ), створені як під час виробництва, так і під час споживання. Зауважимо, що не всі рештки виробництва та споживання можуть утилізуватися, але принаймні деяка їх частина обов'язково. Активними учасниками досліджуваної економіки вважатимемо власників виробництв (виробників) і працівників (робітників). Кількість виробників позначимо через M , а кількість робітників – через N . Просторовими динамічними змінними пропонованої моделі будемо вважати z_M і z_N – ліквідні заощадження (надалі заощадження) виробників і робітників, p – ціну на ОАП, \tilde{p} – тариф на утилізацію відходів виробництва та споживання, z – обсяг забруднення довкілля. Нехай, крім того, α і $\tilde{\alpha}$ ($0 \leq \alpha, \tilde{\alpha} \leq 1$) – частки заощаджень виробників і робітників, виділених на забезпечення попиту на ОАП, β і γ ($0 \leq \beta, \gamma \leq 1, \alpha + \beta + \gamma \leq 1$) – частки заощаджень виробників, виділених на випуск ОАП і утилізацію ПЗ. Очевидно, що купівельні спроможності виробників і робітників щодо придбання ОАП визначаються величинами:

$$s_\alpha = \frac{\alpha z_M}{p}, \quad s_{\tilde{\alpha}} = \frac{\tilde{\alpha} z_N}{p}.$$

Щоб сформувані основні співвідношення моделі, потрібно ввести у розгляд також деякі функції економічної та екологічної поведінки суб'єктів виробництва та споживання. Для споживача принципово важливе значення має функція q попиту на ОАП, аргументом якої є купівельна спроможність, а також функція f^* випуску (створення) забруднення та функція q^* попиту на утилізацію решток споживання, аргументами яких також можна вважати купівельну спроможність, оскільки припущення про те, що

$$q^*(s^*) = k_2^* f^*(s^*) = k_2^* k_1^* q(s^*),$$

де k_1^* , k_2^* – деякі коефіцієнти пропорційності ($0 \leq k_1^*, k_2^* \leq 1$), s^* – купівельна спроможність споживача, є логічним і легко обґрунтовується. Що стосується власника виробництва або виробника, то, крім зазначених поведінкових функцій (виробник також є споживачем), потрібно розглянути ще функцію $f = f(s_\beta)$ випуску ОАП, функцію $f^{**} = k_1^{**} f(s_\beta)$ випуску забруднення у процесі виробництва ОАП та функцію попиту виробника на утилізацію виробничого забруднення

$$q^{**}(s_\beta) = k_2^{**} f^{**}(s_\beta) = k_2^{**} k_1^{**} f(s_\beta),$$

де k_1^{**} і k_2^{**} – відповідні коефіцієнти ($0 \leq k_1^{**}, k_2^{**} \leq 1$), $s_\beta = \frac{\beta z_M}{p}$ – спроможність виробника щодо випуску ОАП, а також функцію $\varphi = \varphi(s_\gamma)$ утилізації ПЗ, де $s_\gamma = \frac{\gamma z_M}{\tilde{p}}$ – його спроможність до утилізації ПЗ. Щодо введених поведінкових функцій, їх класів, специфікації, властивостей тощо можна розглядати і інші припущення, але для формалізації структури рівнянь динаміки змінних моделі це не суттєво, хоча загалом моделювання функцій економічної та екологічної поведінки заслуговує на окреме дослідження.

Приступимо до опису основних співвідношень моделі. Найпростіше формалізувати рівняння для заощаджень робітника, оскільки вони залежать від зміни його прибутку. Дохід робітника складається із його зарплати (позначимо її через d_N), а витрати – із видатків на оподаткування доходу (нехай π_0 – ставка податку), споживання ОАП та утилізацію ПЗ, створених під час споживання ОАП. Отже, зміна у часі заощаджень робітника описується рівнянням:

$$\begin{aligned} \frac{dz_N}{dt} &= d_N(1 - \pi_0) - pq(s_{\tilde{\alpha}}) - \tilde{p}q^*(s_{\tilde{\alpha}}) = \\ &= d_N(1 - \pi_0) - [p + \tilde{p}k_2^*k_1^*]q(s_{\tilde{\alpha}}). \end{aligned} \quad (1)$$

Тепер перейдемо до формування рівняння для заощаджень власника виробництв (виробника). Щоб уточнити складники його доходу, треба зазначити також, що, крім учасників виробництва (виробників і робітників), власник виробництв повинен задовольнити попит на ОАП ще тієї частини суспільства, яка безпосередньо у виробництві не задіяна (цю частину суспільства можна також асоціювати із державою). Її попит позначимо через Q . У результаті споживання Q одиниць (од.) ОАП ця частина суспільства утворює F^* од. забруднення та має попит на утилізацію Q^* од. забруднення. Тому дохід виробника складається із усіх складників реалізованого попиту на ОАП та попиту на утилізацію ПЗ. Витрати виробника пов'язані з видатками на податок від доходу (ставка π_0), заробітну плату робітників і податок на неї (ставка π_1), організацію виробництва ОАП (λ_β – частка доданої вартості) та податок на додану вартість (ставка π_2), організацію утилізаційного процесу (λ_γ – частка доданої вартості) та податок на додану вартість (ставка π_3) у цьому процесі (податок на право займатися утилізаційною діяльністю), а також на оплату попиту на утилізацію виробничого забруднення. У зв'язку з цим рівняння для динамічної змінної z_M матиме вигляд:

$$\begin{aligned} \frac{dz_M}{dt} = & \frac{P(1-\pi_0)}{M} [Mq(s_\alpha) + Nq(s_{\bar{\alpha}}) + Q] + \frac{\tilde{P}(1-\pi_0)}{M} \times \\ & \times [Mk_2^*k_1^*q(s_\alpha) + Nk_2^*k_1^*q(s_{\bar{\alpha}}) + Q^*] - pq(s_\alpha) - \tilde{p}k_2^*k_1^*q(s_\alpha) - \frac{Nd_N(1+\pi_1)}{M} - \\ & - p(\lambda_\beta + \pi_2)f(s_\beta) - \tilde{p}(\lambda_\gamma + \pi_3)\varphi(s_\gamma) - \tilde{p}k_2^{**}k_1^{**}f(s_\beta). \end{aligned} \quad (2)$$

Ціна на ОАП залежить від обсягів її попиту та пропозиції, тому рівняння її динаміки формалізується так:

$$\frac{dp}{dt} = \theta_\beta [Mq(s_\alpha) + Nq(s_{\bar{\alpha}}) + Q - Mf(s_\beta)], \quad (3)$$

де θ_β – це так званий коефіцієнт регулювання цін.

Аналогічним способом формується рівняння динаміки тарифу на утилізацію забруднення, який також пов'язаний з обсягами надлишкового попиту на утилізацію ПЗ. Отже, рівняння для динамічної змінної \tilde{p} має вигляд:

$$\frac{d\tilde{p}}{dt} = \theta_\gamma [Mk_2^*k_1^*q(s_\alpha) + Nk_2^*k_1^*q(s_{\bar{\alpha}}) + Q^* + Mk_2^{**}k_1^{**}f(s_\beta) - M\varphi(s_\gamma)]. \quad (4)$$

У рівнянні (4) θ_γ – коефіцієнт регулювання тарифу.

Стосовно рівняння динаміки забруднення довкілля, яке суттєво залежить від антропогенного фактора (тобто від виробництва та споживання), слід зазначити, що обсяги ПЗ у довкіллі залежать не лише від обсягів створених і утилізованих на виробництві ПЗ, але й від обсягів ПЗ, утилізованих самим природним середовищем, яке має здатність до асиміляції, тобто до самоочищення деякої частини ПЗ. Позначивши через μ ($0 \leq \mu \leq 1$) коефіцієнт природного самоочищення та врахувавши усі зазначені вище обсяги створених і утилізованих ПЗ, отримуємо таке рівняння для змінної Z :

$$\frac{dz}{dt} = Mk_1^{**} f(s_\beta) + Mk_1^* q(s_\alpha) + Nk_1^* q(s_{\bar{\alpha}}) + F^* - M\varphi(s_\gamma) - \mu z. \quad (5)$$

Очевидно, що систему рівнянь (1)-(5) слід доповнити так званими початковими умовами, тобто значеннями змінних моделі у деякий початковий момент часу t_0 :

$$\begin{cases} z_M(t_0) = z_M^{(0)}, z_N(t_0) = z_N^{(0)}, \\ p(t_0) = p^{(0)}, \tilde{p}(t_0) = \tilde{p}^{(0)}, z(t_0) = z^{(0)}. \end{cases} \quad (6)$$

Значення $z_M^{(0)}$, $z_N^{(0)}$, $p^{(0)}$, $\tilde{p}^{(0)}$, $z^{(0)}$ у (6) вважаються заданими.

Система співвідношень (1)-(6) у сукупності є формалізацією моделі односекторної економіки, яка враховує виробництво ОАП та утилізацію ПЗ, а також специфіку поведінки власників виробництв і робітників у процесах виробництва та споживання.

Висновки з даного дослідження і перспективи подальших розвідок у даному напрямі. Найперше, що потрібно відзначити з приводу запропонованої динамічної моделі екологічної економіки, – це широкі можливості щодо її модифікації. Розроблена модель є базовою для багатьох інших, більш конкретних моделей, які можна отримати, деталізуючи параметри моделі, аналітичні специфікації поведінкових функцій, а також розширюючи структуру доходів і витрат у рівняннях динаміки. Саме ці питання окреслюють перспективи подальших досліджень у цьому напрямку. Однак слід зазначити також, що прикладне значення запропонованої моделі та її модифікацій суттєво залежатиме від наявного інформаційного забезпечення. Якщо це забезпечення глибоко обґрунтоване та адекватне, то моделі цього класу у поєднанні із сучасними комп'ютерно-інформаційними технологіями є потужним інструментарієм для експериментальних досліджень траєкторій еколого-економічної динаміки й екологічних стандартів виробництва та споживання, а також для розробки сценаріїв розвитку екологічної

економіки та підготовки управлінських рішень щодо процесів еколого-економічної взаємодії у інших сферах людської діяльності.

Список використаних джерел:

1. Программа действий. Повестка дня на XXI век и другие документы конференции в Рио-де-Жанейро в популярном изложении. Женева: Центр «За наше общее будущее», 1993. 108 с.
2. Месарович М., Пестель Е. Человечество на повороте. Второй доклад для Римского клуба. СПб.: Нева-ПРЕСС, 1994. 200 с.
3. Пределы роста. Доклад для Римского клуба / Д. Г. Медоуз, Д. Л. Медоуз, Дж. Райндерс, В. В. Беренс. СПб.: Нева-ПРЕСС, 1994. 153 с.
4. Форрестер Дж. Мировая динамика. Москва : Наука, 1978. 168 с.
5. 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.
6. Моисеев Н. Н. Экология человечества глазами математика: (Человек, природа и будущее цивилизации). Москва : Мол. гвардия, 1988. 254 с.
7. Ляшенко І. М. Економіко-математичні методи та моделі сталого розвитку. Київ : Вища школа, 1999. 236 с.
8. Ляшенко І. Н., Михалевич М. В., Утеулиев Н. У. Методы эколого-экономического моделирования. Нукус : Билим, 1994. 236 с.
9. Онищенко А.М. Моделювання еколого-економічної взаємодії в процесі виконання рішень Кіотського протоколу : монографія. Полтава : Полтавський літератор, 2011. 398 с.
10. Буюк Л. М. Математичні моделі загальної економічної динаміки з урахуванням соціально-економічної кластеризації : монографія. Чернівці : Чернівецький нац. ун-т, 2016. 392 с.
11. Волошин О. Ф., Чорней Н. Б. Исследование алгоритма последовательного анализа вариантов для модели Леонтьева-Форда с разреженной матрицей нормативных коэффициентов. *Проблемы управления и информатики*. 2001. №3. С. 97-103.
12. Тадеев Ю. П. Динамічні функції корисності з інвестиціями у виробничий та інтелектуальний капітал. *Вісник КНТЕУ*. Київ, 2013. С. 128-134.
13. Григорків М. В. Динамічні моделі еколого-економічних систем в умовах соціально-економічної кластеризації : монографія. Тернопіль : Економічна думка ТНЕУ, 2020. С. 415.
14. Григорків В. С., Григорків М. В. Динамічні моделі односекторної економіки з урахуванням утилізації продуктів забруднення. *Інноваційна економіка*. № 1-2. Тернопіль, 2021. С. 174-179.
15. Григорків В. С., Григорків М. В. Динамічні моделі двосекторної екологічної економіки у випадку лінійних поведінкових функцій її суб'єктів. *Наукові записки Національного університету «Острозька академія». Серія «Економіка»*. 2021. Випуск 20(48). С. 141-146.
16. Григорків В. С., Григорків М. В. Моделі еколого-економічних функцій як інструментарій підтримки прийняття рішень у ринковій економіці. *Вісник Чернівецького торговельно-економічного інституту*. Чернівці: ЧТЕІ КНТЕУ, 2021. Вип. І(81). Економічні науки. С. 102-114.

References:

1. *Program of action. Agenda 21 and other documents of the Rio de Janeiro conference in a popular presentation* (1993). Centr «Za nashe obshhee budushhee», Zheneva, 108 p. (in Russ.).
2. Mesarovich, M., Pestel', E. (1994). *Chelovechestvo na povorote. Vtoroj doklad dlja Rimskogo kluba* [Humanity is on the bend. Second lecture for the Club of Rome]. Neva-PRESS, St. Petersburg, 200 p. (in Russ.).

3. Medouz, D.G., Medouz, D.L., Rajnders, Dzh., Berens, V.V. (1994). *Predely rosta. Doklad dlja Rimskogo kluba* [The limits of growth. Report for the Club of Rome]. Neva-PRESS, St. Petersburg, 153 p. (in Russ.).
4. Forrester, Dzh. (1978). *Mirovaja dinamika* [World dynamics]. Nauka, Moskva, 168 p. (in Russ.).
5. Leont'ev, V.V., Ford, D. (1972). Interdisciplinary analysis of the influence of economic structure on the environment. *Economics and mathematical methods [Economics and Mathematical Methods]*, vol. 3, pp. 370-400 (in Russ.).
6. Moiseev, N.N. (1988). *Ekologiya chelovechestva glazami matematika: (Chelovek, priroda i budushheye tsivilizatsii)*. [The ecology of humanity through the eyes of a mathematician: (Human, nature and the future of civilization)]. Mol. gvardiya, Moscow, Russia, 254 p. (in Russ.).
7. Lyashenko, I.M. (1999). *Ekonomiko-matematichni metody ta modeli stalogo rozvytku* [Economic and mathematical methods and models of sustainable development]. Vyshha shkola, Kyiv, 236 p. (in Ukr.).
8. Ljashenko, I.N., Mihalevich, M.V., Uteuliev, N.U. (1994). *Metody jekologo-jekonomicheskogo modelirovanija* [Methods of the eco-economic modeling]. Nukus, Bilim, 236 p. (in Russ.).
9. Onyschenko, A.M. (2011). *Modeliuvannia ekolocho-ekonomichnoi vzaiemodii v protsesi vykonannia rishen' Kiots'koho protokolu* [Modelling of ecologic-economic interaction in the process of implementation decisions of Kiotskogo protocol]. Poltavs'kyj literator, Poltava, 398 p. (in Ukr.).
10. Buiak, L.M. (2016). *Matematichni modeli zahalnoi ekonomichnoi dynamiky z urakhuvanniam sotsialno-ekonomichnoi klasteryzatsii* [Mathematical models of general economic dynamics taking into account socio-economic clustering]. Chernivetskyi nats. un-t, Chernivtsi, Ukraine, 392 p. (in Ukr.).
11. Voloshin, O.F., Chornej, N.B. (2001). Investigation of the algorithm for sequential analysis of variants for the Leontiev-Ford model with a sparse matrix of normative coefficients. *Problemy upravlenija i informatiki [Problems of management and informatics]*, №3, pp. 97-103 (in Russ.).
12. Tadeiev, Yu.P. (2013). Dynamic functions of cost-benefit with investments in the production and intellectual capital. *Visnyk KNTEU [Bulletin of KNTEU]*, Kyiv, pp. 128-134 (in Ukr.).
13. Hryhorkiv, M.V. (2020). *Dynamichni modeli ekologo-ekonomichnyx system v umovax socialno-ekonomichnoyi klasteryzaciyi* [Dynamic models of eco-economic systems in the conditions of socio-economic clustering]. *Ekonomichna dumka TNEU, Ternopil'*, p. 415 (in Ukr.).
14. Hryhorkiv, V.S., Hryhorkiv, M.V. (2021). Dynamic models of one-sector economy taking into account the utilization of pollution products. *Innovatsijna ekonomika [Innovative economy]*, vol. 1-2, pp. 174-179 (in Ukr.).
15. Hryhorkiv, V.S., Hryhorkiv, M.V. (2021). Dynamic models of a two-sector environmental economy in the case of linear behavioral functions of its subjects. *Naukovi zapysky Natsional'noho universytetu «Ostroz'ka akademiia». Serii «Ekonomika» [Scientific notes of the National University "Ostroh Academy". Economics Series]*, vol 20(48), pp. 141-146 (in Ukr.).
16. Hryhorkiv, V.S., Hryhorkiv, M.V. (2021). Models of ecological and economic functions as a tool for decision support in a market economy. *Visnyk Chernivets'koho torhovel'no-ekonomichnoho instytutu [Bulletin of the Chernivtsi Trade and Economic Institute]*. ChTEI KNTEU, Chernivtsi, vol. I(81). *Ekonomichni nauky*. Pp. 102-114 (in Ukr.).