

Григорків М.В., Григорків В.С.

МОДЕЛЮВАННЯ ДВОСЕКТОРНОЇ ЕКОЛОГІЧНОЇ ЕКОНОМІКИ З УРАХУВАННЯМ СПЕЦИФІКИ ПОВЕДІНКОВИХ ФУНКЦІЙ У ВИРОБНИЦТВІ ТА СПОЖИВАННІ

Розкрито актуальність проблем екологізації виробництва, споживання та економіки у цілому. Обґрунтовано необхідність системного дослідження цих проблем з метою розробки сценаріїв становлення та розвитку екологічно та соціально збалансованої економіки. Запропоновано динамічну модель двосекторної екологічної економіки, у якій один сектор займається виробництвом основної агрегованої продукції, а інший – утилізацією продуктів забруднення, створених у виробництві кожного із секторів, а також під час споживання основної продукції. У теоретичному плані модель може служити для якісного аналізу концептуальних і методологічних підходів до формалізації динамічних систем, а також принципів їх моделювання, а у прикладному – вона призначена для дослідження у режимі комп'ютерної імітації траєкторій еколого-економічної динаміки та підтримки процесів прийняття управлінських рішень в економіці. Експериментальні дослідження з моделлю та її модифікаціями, крім аналізу особливостей поведінки еколого-економічних систем, дозволяють також вдосконалити специфікацію моделі, ідентифікацію окремих її параметрів, зміст і можливості відповідного інформаційного та програмного забезпечення для її апробації та застосування.

Ключові слова: модель, моделювання, динаміка, двосекторна економіка, рівняння динаміки, утилізація забруднення.

Постановка проблеми. Сучасний стан соціально-економічного розвитку у більшості країнах і регіонах світу дуже різний, що нерідко є причиною багатьох непорозумінь і навіть конфліктів у зв'язку з неспівпадінням економічних інтересів і соціально-економічної політики у цілому. Однак є проблеми, які за своєю сутністю мають об'єднаний характер, оскільки їх зміст є зрозумілим для людського суспільства, життєдіяльність і майбутнє якого так чи інакше суттєво пов'язана з ними. Однією із таких проблем є проблема екологізації усіх сфер людського життя, а найперше – економіки. Нераціональне використання природних ресурсів, екологічно небезпечних виробничих і невиробничих технологій, а також дуже часто необґрунтована поведінка виробників і споживачів, що приводить до економічного зростання, але погіршує якість життя – все це лише окремі аспекти негативного антропогенного впливу на природу та середовище існування, наслідком якого є екологічні кризи та зміна

клімату. Тому гострота проблеми екологізації економіки та усіх інших сфер людської життєдіяльності в останні десятки років двадцятого століття та власне зараз, уже у двадцять першому столітті активізувала спрямовані на її розв'язання зусилля передової та відповідальної за нашу екологічну безпеку частини людства.

Важливу роль тут відіграє наука, оскільки без системного та глибокого вивчення питань екологізації, обґрунтування принципових підходів та технологій до зміни напрямків і цілей соціально-економічного розвитку, розробки моделей екологічної економіки як економіки нового типу обійтися неможливо. При цьому одним із найбільш ефективних методів дослідження є метод моделювання, якому присвячений викладений у цій праці матеріал.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Дослідження проблем еколого-економічної взаємодії мають свою давню історію, хоча у наукових працях автори здебільшого акцентують на другій половині ХХ ст., яка стала періодом активного опрацювання ідей, постановок задач, розробки моделей екологізації економіки та пов'язаних з нею сфер людської діяльності. Саме у цей період появилися результати досліджень так званого Римського клубу [1, 2], які піднесли на новий рівень актуальність та науковий інструментарій еколого-економічної проблематики у суспільстві та науці. Не тільки науковці, але й представники найбільш креативної та передової частини суспільства розпочали цілеспрямовану діяльність щодо

©Григорків М.В., д.е.н., доцент, доцент кафедри економіко-математичного моделювання Чернівецького національного університету імені Ю. Федьковича, м. Чернівці, Україна, e-mail: gmvmarichka@gmail.com

Григорків В.С., д.ф.-м.н., професор, завідувач кафедри економіко-математичного моделювання Чернівецького національного університету імені Ю. Федьковича, м. Чернівці, Україна, e-mail: vasyi.hryhorkiv@gmail.com

розробок і впровадження сценаріїв розвитку такої економіки, у якій економічні, екологічні та соціальні процеси були б гармонійно збалансовані. Таку економіку на всесвітньовідомій Конференції ООН, яка відбулася у Ріо-де-Жанейро у 1992 р., було названо економікою сталого (стійкого) розвитку [3].

Підсумкові результати конференції у Ріо-де-Жанейро, як і праці багатьох учених, наприклад Дж. Форрестера [4], В. Леонтєва та Д. Форда [5], М. Мойсєєва [6], дали серйозний поштовх для активізації наукових досліджень процесів еколого-економічної взаємодії, які успішно продовжуються сьогодні у світовій та вітчизняній науці, розширяючи та вдосконалюючи базу знань із методів і технологій не тільки еколого-економічних досліджень, але й становлення економіки нового типу. Що стосується українських учених, то в контексті зазначеної проблематики і особливо розвитку інструментарію моделювання еколого-економічних систем варто виділити праці І. Ляшенка [7, 8], А. Онищенка [9], Л. Буяк [10] та інших науковців, зокрема і авторів цієї статті [11-14], результати яких започаткували нові розробки у цій галузі знань.

Формування цілей статті. Вище уже було зазначено, що серед методів дослідження процесів еколого-економічної взаємодії сьогодні, тобто у період бурхливого розвитку комп'ютерно-інформаційних технологій, метод моделювання є одним із основних методів науки, оскільки дозволяє здійснити комп'ютерну імітацію поведінки реальних об'єктів дослідження. Однак для цього необхідно розробити адекватні математичні моделі цих об'єктів (процесів, систем). Що стосується моделювання еколого-економічних процесів і систем, то у цьому напрямку як зарубіжними, так і вітчизняними науковцями зроблено чимало, а саме запропоновано ряд фундаментальних моделей агрегованого та дезагрегованого рівнів, причому моделей різних класів, зокрема балансових, оптимізаційних, статичних, динамічних тощо. Інакше кажучи, у цій галузі знань є вагомі здобутки. Але ціла низка питань, пов'язаних із моделюванням процесів еколого-економічної взаємодії у виробництві та споживанні, зокрема урахування у цих процесах соціально-економічної кластеризації суспільства, динаміки просторових змінних, що відображають обсяги забруднення довкілля як виробниками, так і споживачами, розподілу доходів і витрат у виробництві та споживанні, який враховує певні екологічні критерії, тощо

залишаються відкритими та потребують подальшого вивчення. Деякі із цих питань складають мету даного дослідження та відображені у запропонованій нижче моделі.

Опис основного матеріалу дослідження.

Найперше уточнимо, що під двосекторною економікою нижче будемо розуміти таку економіку, у якій один сектор (сектор I) займається виробництвом основної агрегованої продукції (ОАП), а інший (сектор II) – утилізацією створених під час виробництва та споживання продуктів забруднення (ПЗ). У обох секторах є свої власники виробництв (виробники) та працівники (робітники), тому через M_I, M_{II} та N_I, N_{II} будемо відповідно позначати кількість їх власників і робітників. Усі дійові особи володіють певним ліквідним капіталом, який надалі називатимемо заощадженнями. Нехай z_I (z_{II}) і \tilde{z}_I (\tilde{z}_{II}) – заощадження власника і робітника першого (другого) секторів. Крім того, вважатимемо, що p_I – ціна на ОАП, p_{II} – тариф на утилізацію ПЗ, z – обсяг забруднення довкілля, α_I, α_{II} та $\tilde{\alpha}_I, \tilde{\alpha}_{II}$ ($0 \leq \alpha_I, \alpha_{II}, \tilde{\alpha}_I, \tilde{\alpha}_{II} \leq 1$) – частки заощаджень власників та робітників обох секторів, які виділені на придбання ОАП, а β_I та β_{II} ($0 \leq \beta_I, \beta_{II} \leq 1, \alpha_I + \beta_I \leq 1, \alpha_{II} + \beta_{II} \leq 1$) – частки заощаджень власника виробництв секторів I та II, яка виділена на виробничу діяльність. Отже, динамічну модель досліджуваної двосекторної економіки будемо будувати у просторі змінних $z_I, z_{II}, \tilde{z}_I, \tilde{z}_{II}, p_I,$

p_{II}, z , поведінка яких у часі формує траєкторію динаміки цієї економіки. Що стосується перших чотирьох змінних, то вони відображають капітал одного представника кожного із кластерів (власників, робітників), оскільки всі власники та робітники вважаються «рівноцінними» у своїй групі, що власне і дозволяє одному представнику репрезентувати усю групу.

Для формалізованого опису моделі потрібно ввести у розгляд поведінкові функції у виробництві та споживанні, які вважаються заданими, тобто побудованими як окремі самостійні функціональні моделі. Не конкретизуючи класи цих функцій та їх властивості (це предмет окремого дослідження), зацентруємося лише на специфіці змісту їх залежних і незалежних змінних. Оскільки попит на ОАП q_I у кожного із споживачів залежить

від їх купівельної спроможності S , то $q_I = q_I(s)$ – функція попиту на ОАП, у якій аргумент S для власників виробництв і робітників секторів I та II конкретизується

$$s_{I,\alpha} = \frac{\alpha_I z_I}{p_I}, \quad \tilde{s}_{I,\alpha} = \frac{\tilde{\alpha}_I \tilde{z}_I}{p_I}, \quad s_{II,\alpha} = \frac{\alpha_{II} z_{II}}{p_I}, \quad \tilde{s}_{II,\alpha} = \frac{\tilde{\alpha}_{II} \tilde{z}_{II}}{p_I}.$$

Що стосується виробників (власників виробництв), то їх виробничі спроможності

$$s_{I,\beta} = \frac{\beta_I z_I}{p_I}, \quad s_{II,\beta} = \frac{\beta_{II} z_{II}}{p_{II}}$$

служать аргументами функцій випуску ОАП та утилізації ПЗ, тобто функцій

$$f_I = f_I(s_{I,\beta}) \text{ та } f_{II} = f_{II}(s_{II,\beta}).$$

Враховуючи, що обсяги ПЗ або рештків виробництва і споживання, які продукуються та утилізуються зазвичай різні, потрібно ввести також функції випуску забруднення під час виробництва ОАП f_I^* та під час споживання

$$f_I^* = a^* f_I(s_{I,\beta}), \quad f_{II}^* = b^* f_{II}(s_{II,\beta}), \quad f_I^{**} = a^{**} q_I(s^{**}),$$

$$q_I^* = c^* f_I^*(s_{I,\beta}) = c^* a^* f_I(s_{I,\beta}), \quad q_I^{**} = c^{**} f_I^{**}(s^{**}) = c^{**} a^{**} q_I(s^{**}),$$

$$q_{II}^* = d^* f_{II}^*(s_{II,\beta}) = d^* b^* f_{II}(s_{II,\beta}),$$

де S^{**} – купівельна спроможність конкретного споживача, а $a^*, b^*, a^{**}, c^*, c^{**}, d^*$ – додатні коефіцієнти пропорційності, що не перевищують одиниці.

Беручи до уваги вище описані функції, можна приступити до побудови рівнянь динаміки змінних моделі. Якщо через d_I і d_{II} позначити величини заробітної плати робітників секторів I і II, а через π_0 – ставку податку на дохід, то зміна у часі заощаджень робітників кожного із секторів (дохід робітника – це оподаткована зарплата, а витрати – це видатки на придбання ОАП та утилізацію ПЗ) буде описуватися відповідно рівняннями

$$\frac{d\tilde{z}_I}{dt} = d_I(1 - \pi_0) - [p_I + p_{II} c^{**} a^{**}] q_I(\tilde{s}_{I,\alpha}),$$

(1)

$$\frac{d\tilde{z}_{II}}{dt} = d_{II}(1 - \pi_0) - [p_I + p_{II} c^{**} a^{**}] q_{II}(\tilde{s}_{II,\alpha}).$$

(2)

співвідношеннями $S = s_{I,\alpha}$, $S = \tilde{s}_{I,\alpha}$ та $S = s_{II,\alpha}$, $S = \tilde{s}_{II,\alpha}$, де

ОАП f_I^{**} , випуску забруднення під час утилізації ПЗ f_{II}^* , а також функції попиту на утилізацію ПЗ у виробників ОАП q_I^* , споживачів ОАП q_I^{**} та попиту на утилізацію власників виробництв другого сектора q_{II}^* . Зрозуміло, що обсяги попиту на утилізацію ПЗ не перевищують обсягів випуску ПЗ. Будемо припускати також, що усі ці обсяги залежать від відповідних спроможностей (купівельної чи виробничої) зазначених представників. Отже,

Щоб формалізувати рівняння динаміки для змінної z_I , потрібно конкретизувати складники доходу та витрат власника виробництв сектора I. Очевидно, що дохід визначається величиною усередненої (у розрахунку на одного представника) оподаткованої вартості реалізованого обсягу ОАП усім власникам і робітникам обох секторів та іншій частині суспільства (попит цієї частини споживачів позначимо через Q_I), а витрати – це видатки на власний попит на ОАП, фонд зарплати та податок на нього (π_1 – ставка податку), організацію виробничої діяльності ($\lambda_{I,\beta}$ – частка витрат від доданої вартості) та податок на додану вартість (π_2 – ставка податку), забезпечення попиту на утилізацію відходів виробництва та споживання ОАП. Тому динаміка змінної z_I формалізується так:

$$\begin{aligned} \frac{dz_I}{dt} = & \frac{p_I(1-\pi_0)}{M_I} \left[M_I q_I(s_{I,\alpha}) + M_{II} q_I(s_{II,\alpha}) + N_I q_I(\tilde{s}_{I,\alpha}) + N_{II} q_I(\tilde{s}_{II,\alpha}) + Q_I \right] - \\ & - \left[p_I + p_{II} c^{**} a^{**} \right] q_I(s_{I,\alpha}) - \frac{N_I d_I (1 + \pi_1)}{M_I} - \\ & - \left[p_I (\lambda_{I,\beta} + \pi_2) + p_{II} c^* a^* \right] f_I(s_{I,\beta}). \end{aligned} \quad (3)$$

Підкреслимо також, що обсяг Q_I ОАП можна змоделювати, враховуючи деяку середню купівельну спроможність споживача у країні чи регіоні, а також кількість споживачів, не задіяних безпосередньо у виробничій сфері. Тоді цей обсяг можна оцінити за допомогою функції попиту на ОАП. Величина Q_I може бути також державним замовленням. У плані подальшої формалізації моделі логічно також припустити, що споживання Q_I одиниць (од.) ОАП приводить до утворення Q_I^* од. ПЗ та попиту на утилізацію Q_I^{**} од. ПЗ.

Власник виробництв сектора II отримує дохід від утилізації ПЗ (у розрахунку на одну особу), які є сумарним попитом на утилізацію усіх

виробників і робітників обох секторів та попиту на утилізацію іншої частини суспільства. Витрати цього власника (виробника) мають аналогічний характер до витрат виробника ОАП, тобто до складу витрат належать видатки на забезпечення власного попиту на ОАП, виплату зарплатні робітникам і податок на фонд заробітної плати, організацію свого виробництва ($\lambda_{II,\beta}$ – частка від доданої вартості або вартості утилізованого обсягу ПЗ) та податок (ставка π_3) на додану вартість (на право здійснювати утилізацію ПЗ), забезпечення власного попиту на утилізацію ПЗ свого виробництва та споживання ОАП. Отже, рівняння динаміки заощаджень власника виробництв сектора II має вигляд:

$$\begin{aligned} \frac{dz_{II}}{dt} = & \frac{p_{II}(1-\pi_0)}{M_{II}} \left\{ M_I \left[c^* a^* f_I(s_{I,\beta}) + c^{**} a^{**} q_I(s_{I,\alpha}) \right] + N_I c^{**} a^{**} q_I(\tilde{s}_{I,\alpha}) + \right. \\ & \left. + N_{II} c^{**} a^{**} q_I(\tilde{s}_{II,\alpha}) + Q_I^{**} \right\} - \frac{N_{II} d_{II} (1 + \pi_1)}{M_{II}} - \left[p_I + p_{II} c^{**} a^{**} \right] q_I(s_{II,\alpha}) - \\ & - p_{II} \left[\lambda_{II,\beta} + \pi_3 + d^* b^* \right] f_{II}(s_{II,\beta}). \end{aligned} \quad (4)$$

Залишилося змоделювати динаміку ціни, тарифу та забруднення довкілля. Оскільки ринкова ціна на ОАП визначається надлишковим попитом на ОАП, тобто різницею між обсягами попиту та пропозиції ОАП, то рівняння динаміки ціни формалізується так:

$$\begin{aligned} \frac{dp_I}{dt} = & \theta_I \left[M_I q_I(s_{I,\alpha}) + M_{II} q_I(s_{II,\alpha}) + N_I q_I(\tilde{s}_{I,\alpha}) + \right. \\ & \left. + N_{II} q_I(\tilde{s}_{II,\alpha}) + Q_I - M_I f_I(s_{I,\beta}) \right]. \end{aligned} \quad (5)$$

У рівнянні (5) θ_I – це так званий коефіцієнт регулювання ціни або інерційності ринку цін. Тариф на утилізацію ПЗ також залежить від попиту на утилізацію та пропозиції утилізованих

ПЗ. Різниця між їх обсягами конкретизує граничний приріст у часі тарифу з деяким коефіцієнтом (коефіцієнтом регулювання тарифу) θ_{II} , тому

$$\begin{aligned} \frac{dp_{II}}{dt} = & \theta_{II} \left\{ M_I \left[c^* a^* f_I(s_{I,\beta}) + c^{**} a^{**} q_I(s_{I,\alpha}) \right] + M_{II} \left[d^* b^* f_{II}(s_{II,\beta}) + c^{**} a^{**} q_I(s_{II,\alpha}) \right] + \right. \\ & \left. + c^{**} a^{**} \left[N_I q_I(\tilde{s}_{I,\alpha}) + N_{II} q_I(\tilde{s}_{II,\alpha}) \right] + Q_I^{**} - M_{II} f_{II}(s_{II,\beta}) \right\}, \end{aligned} \quad (6)$$

де θ_{II} – коефіцієнт регулювання тарифу.

Щодо змінної z , яка означає обсяг забруднення довкілля, варто зазначити, що у довкілля попадають неутилізовані ПЗ. Це частина ПЗ, яка є різницею між обсягом випуску ПЗ та обсягом утилізації ПЗ. При цьому під утилізацією слід мати на увазі не лише ту, яка здійснюється у секторі II, але й самоочищення довкілля,

$$\frac{dz}{dt} = M_I \left[a^* f_I(s_{I,\beta}) + a^{**} q_I(s_{I,\alpha}) \right] + M_{II} \left[b^* f_{II}(s_{II,\beta}) + a^{**} q_I(s_{II,\alpha}) \right] + a^{**} \left[N_I q_I(\tilde{s}_{I,\alpha}) + N_{II} q_I(\tilde{s}_{II,\alpha}) \right] + Q_I^* - M_{II} f_{II}(s_{II,\beta}) - \mu z. \quad (7)$$

Очевидно, що співвідношення (1)-(7), які у математичному сенсі є диференціальними рівняннями, потрібно доповнити значеннями динамічних змінних у початковий момент часу t_0 :

$$\begin{cases} z_I(t_0) = z_I^{(0)}, z_{II}(t_0) = z_{II}^{(0)}, \tilde{z}_I(t_0) = \tilde{z}_I^{(0)}, \\ \tilde{z}_{II}(t_0) = \tilde{z}_{II}^{(0)}, p_I(t_0) = p_I^{(0)}, p_{II}(t_0) = p_{II}^{(0)}, \\ z(t_0) = z^{(0)}. \end{cases} \quad (8)$$

У сукупності перелічені вище співвідношення (1)-(8) формалізують двосекторну модель еколого-економічної динаміки, що відображає не тільки процеси виробництва та споживання ОАП, але й процеси утилізації створених під час виробництва у обох секторах економіки та під час споживання ОАП екологічно шкідливих забруднювачів.

Висновки і перспективи подальших досліджень. Аналізуючи як окремі рівняння запропонованої моделі, так і модель у цілому,

оскільки природне середовище має таку здатність (нижче через μ позначимо коефіцієнт асиміляції або природного спаду забруднення). У зв'язку з цим рівняння динаміки змінної z набуде вигляду:

нескладно побачити, що є чимало варіантів її модифікації. Побудована модель має ряд параметрів, зміст та ідентифікація яких заслуговує на окремі дослідження. Моделі такого класу, як і більшість моделей економічної чи еколого-економічної динаміки найперше мають важливе теоретичне значення як інструментарій формалізації та дослідження концептуальних і методологічних підходів до вивчення динамічних систем, а при наявності адекватного інформаційного забезпечення вони дозволяють за допомогою сучасних комп'ютерних і програмних засобів імітувати траєкторії та сценарії розвитку процесів еколого-економічної взаємодії. Результати таких досліджень мають значущість як для теорії, так і практики підтримки прийняття рішень у економіці. У підсумку потрібно зазначити, що використані вище принципи побудови моделі, поведінкові функції та їх специфіка, а також деякі прикладні аспекти її застосування мають обґрунтовану перспективу для подальших досліджень.

ПЕРЕЛІК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Месарович М., Пестель Е. Человечество на повороте. Второй доклад для Римского клуба. СПб.: Нева-ПРЕСС, 1994. 200 с.
2. Пределы роста. Доклад для Римского клуба / Д.Г. Медоуз, Д.Л. Медоуз, Дж. Райндерс, В.В. Беренс. СПб.: Нева-ПРЕСС, 1994. 153 с.
3. 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.
4. Форрестер Дж. Мировая динамика. М.: 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. К.: Вища школа, 1999. 236 с.
8. Ляшенко І.Н., Михалевич М.В., Утеулиев Н.У. Методи еколого-економічного моделювання. 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. Григорків М.В. Динамічні моделі еколого-економічних систем в умовах соціально-економічної кластеризації : монографія. Тернопіль: «Економічна думка ТНЕУ», 2020. С. 415.
12. Григорків В.С., Григорків М.В. Динамічні моделі одnoseкторної економіки з урахуванням утилізації продуктів забруднення // Науково-виробничий журнал. Інноваційна економіка. – № 1-2. – Тернопіль, 2021. – С. 174-179.
13. Григорків В.С., Григорків М.В. Динамічні моделі двoseкторної екологічної економіки у випадку лінійних поведінкових функцій її суб'єктів. Науковий журнал «Наукові записки Національного університету «Острозька академія» серія «Економіка». – 2021. – Випуск 20(48). – С. 141-146.
14. 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. I(81). Економічні науки. – С. 102-114.

REFERENCES

1. 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] SPb.: Neva-PRES [in Russian].
2. Predely rosta. Doklad dlja Rimskogo kluba [The limits of growth. Report for the Club of Rome] (1994) / D.G. Medouz, D.L. Medouz, Dzh. Rajnders, V.V. Berens. Spb.: Neva-PRESS [in Russian].
3. Programma dejstvij. Povestka dnja na XXI vek i drugie dokumenty konferencii v Rio-de-Zhanejro v populjarnom izlozhenie [Program of action. Agenda 21 and other documents of the Rio de Janeiro conference in a popular presentation]. (1993). Zheneva: Centr «Za nashe obshhee budushhee» [in Russian].
4. Forrester, Dzh. (1978). Mirovaja dinamika [World dynamics]. M, Nauka [in Russian].
5. Leont'ev, V.V., Ford, D. (1972). Interdisciplinary analysis of the influence of economic structure on the environment Mezhotraslevoj analiz vlijanija struktury jekonomiki na okruzhajushhuju sredu [Economics and Mathematical Methods], vol. 3, pp. 370-400 [in Russian].
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 [in Russian].
7. 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].
8. Ljashenko, I.N., Mihalevich, M.V., Uteuliev, N.U. (1994). Metody jekologo-jekonomicheskogo modelirovanija [Methods of the ecologic-economic modeling]. Nukus: Bilim [in Russian].
9. Onyschenko, A.M. (2011). Modeliuvannia ekolooho-ekonomichnoi vzaємodii v protsesi vykonannia rishen' Kiots'koho protokolu : [monohrafiia] [Modelling of ecologic-economic interaction in the process of implementation decisions of Kiotskogo protocol]. Poltavsk'kyj literator, Poltava [in Ukrainian].
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], monograph, Chernivetskyi nats. un-t, Chernivtsi, Ukraine [in Ukrainian].
11. Hryhorkiv M.V. (2020). Dynamichni modeli ekologo-ekonomichnykh system v umovakh socialno-ekonomichnoyi klasteryzatsiyi [Dynamic models of eco-economic systems in the conditions of socio-economic clustering]: monografiya. Ternopil': «Ekonomiczna dumka TNEU» [in Ukrainian].
12. Hryhorkiv, V.S., Hryhorkiv, M.V. (2021). Dynamic models of one-sector economy taking into account the utilization of pollution products Dynamichni modeli odnosekturnoi ekonomiky z urakhuvanniam utylizatsii produktiv zabrudnennia [Naukovo-vyrobnychyj zhurnal. Innovatsijna ekonomika]. vol 1-2. pp. 174-179. [in Ukrainian].
13. 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 Dynamichni modeli dvosekturnoi ekolohichnoi ekonomiky u vypadku linijnykh povedinkovykh funktsij ii sub'iektiv. [Naukovyj zhurnal «Naukovi zapysky Natsional'noho universytetu «Ostroz'ka akademiia» serija «Ekonomicna»]. Vol 20(48). pp. 141-146 [in Ukrainian].
14. Hryhorkiv, V.S., Hryhorkiv, M.V. (2021). Models of ecological and economic functions as a tool for decision support in a market economy Modeli ekolooho-ekonomichnykh funktsij iak instrumentarij pidtrymky pryjniattia rishen' u rynkovij ekonomitsi. Visnyk Chernivets'koho torhovel'no-ekonomichnogo instytutu. – Chernivtsi : ChTEI KNTEU, Vyp. I(81). Ekonomichni nauky. pp. 102-114 [in Ukrainian].

Отримано 31.01.2022