

УДК 330.4:519.866

Григорків М.В., к.е.н.

Чернівецький національний університет імені Юрія Федьковича,
м. Чернівці

МОДЕЛЮВАННЯ ДИНАМІКИ ОДНОСЕКТОРНОЇ ЕКОНОМІКИ У ВИПАДКУ УТИЛІЗАЦІЇ ВИРОБНИЧИХ ВІДХОДІВ ТА КОНТРОЛЮ НАД ЗАБРУДНЕННЯМ ДОВКІЛЛЯ

Стаття присвячена проблемам побудови екологічної економіки, у якій виробничі процеси обов'язково супроводжуються процесами утилізації створеного забруднення. Розроблено динамічні моделі односекторної економіки у випадку утилізації виробничих відходів та контролю над забрудненням довкілля їх неутілізованою частиною. При цьому у формалізації моделей враховані різні базові припущення щодо поведінкових особливостей учасників виробничих та утилізаційних процесів. Запропоновані моделі можуть бути використані для встановлення основних закономірностей розвитку економічних систем в умовах їх екологізації, а також для дослідження економічної структури суспільства, процесів ціноутворення на ринку основної та агрегованої продукції, тарифоутворення на ринку утилізації забруднення та при розробці та перевірці так званих екологічних обмежень або стандартів на допустимі обсяги забруднення довкілля виробничими відходами.

Ключові слова: односекторна економіка, утилізація виробничих відходів, динамічна модель, динамічні величини, забруднення довкілля.

The article is devoted to the problems of building of ecological economy in which the production processes are always accompanied by the process of created pollution utilization. There were developed dynamic models of single sectoral economy in case of industrial wastes utilization and of the control over the environmental pollution by their unutilized part. Thus, formalization of models included different basic assumptions about the behavioral characteristics of participants of production and utilization processes. The proposed models would be used to establish the basic patterns of the development of economic systems in the context of their ecologization and research the economic structure of a society, the process of pricing in the market and the aggregate principal products, tariff market of utilization pollution and the development and review of so-called ecological constraints or standards for allowable amounts of pollution industrial wastes.

Keywords: single sectoral economy, utilization of industrial wastes, dynamic model, dynamic values, environmental pollution.

Постановка проблеми. Сучасні тенденції розвитку людської цивілізації достатньо чітко відображають прагнення передової частини людського суспільства до гармонійного співвідношення з природою, що звісно передбачає екологізацію господарської діяльності людини, її бережне ставлення до навколишнього середовища, природних ресурсів тощо. Ці прагнення закладені сьогодні у концептуальні основи так званого сталого або стійкого розвитку, тобто екологічно та соціально збалансованого розвитку економіки [1, 2]. Однак побудова такої економіки не тільки у планетарних масштабах, але й навіть на будь-якому регіональному рівні є надзвичайно складним завданням, часто-густо непосильним для вирішення із-за нерозуміння та неусвідомлення його актуальності певними групами суспільства, органами державної влади,

політичними та громадськими структурами, а також окремими індивідуумами, що мають особливі преференції щодо прийняття відповідних рішень та управління в економічних системах щодо їх екологізації та соціалізації.

Закцентувавшись надалі на проблемах екологізації економіки, зазначимо, що вони безпосередньо пов'язані з процесами утилізації виробничого забруднення, яке є побічним продуктом багатьох виробництв. Для успішної реалізації цих процесів виробникам замало впевненості у тому, що утилізацію обов'язково потрібно здійснювати, їм необхідні професійні та науково обґрунтовані теоретичні і прикладні розробки стратегій економічного розвитку їхніх підприємств в умовах інтенсивної утилізації виробничого забруднення, а також сучасні технології утилізації і відповідні інвестиційні та інноваційні проекти. Особлива роль у створенні інтелектуального забезпечення процесів утилізації та екологізації економіки у цілому належить науці, зокрема тим її напрямкам дослідження, які пов'язані з економіко-математичним моделюванням.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Історично склалося так, що проблеми гармонізації процесів еколого-економічної взаємодії, корисного для людського суспільства збалансування економічних і екологічних інтересів, а також соціалізації результатів і наслідків економічної діяльності в умовах еколого-економічної рівноваги вперше набули особливої гостроти та актуальності у другій половині ХХ сторіччя, коли відбулося чимало загрозливих для людства екологічних криз, породжених агресивним антропогенним впливом на динаміку природних систем.

З тих пір всі ці проблеми опинилися у колі пріоритетних не тільки для багатьох економістів, екологів, суспільних й політичних діячів, але й для науковців різного фахового спрямування, що власне і призвело до значної кількості наукових праць, присвячених процесам екологізації економіки та її переходу до сталого розвитку. Деякі з цих праць фактично започаткували нові напрями наукових досліджень, серед яких особливо слід виділити ті, у яких сформовано концептуальні основи екологічної економіки та її сталого розвитку, а також ті, що пов'язані з математичними методами, моделями та інформаційними технологіями в економіці та суспільних науках. У цьому сенсі хотілося б відзначити вагомий вклад таких зарубіжних учених, як В. Леонтьєв, Д. Форд [3], Дж. Форрестер [4], учасники так званого Римського клубу [5, 6] та інші. До вітчизняних учених, котрі мають значні наукові здобутки, пов'язані із питаннями еколого-економічної взаємодії, зокрема з моделюванням еколого-економічних систем, належать І. Ляшенко, М. Михалевич, В. Григорків, А. Онищенко [7-10] та їхні учні. У працях зазначених авторів запропоновано комплекс статичних і динамічних моделей економіки з урахуванням екологічних факторів, обґрунтовано можливі варіанти екологізації економіки та її зростання, що не виходить за межі принципово важливої для сталого розвитку еколого-економічної рівноваги, створено відповідне прикладне забезпечення практичної реалізації розроблених методів і моделей. Незважаючи на дані результати, цілий ряд питань, пов'язаних з моделюванням еколого-економічних систем, зокрема з їх динамікою в умовах екологічних виробництв і економічної

структуризації суспільства, залишаються відкритими і потребують подальшого дослідження. До них належать зокрема питання впливу на виробничі процеси та пов'язані з ними соціально-економічні і екологічні наслідки економічної структури суспільства, тобто розподілу елементів суспільства за ліквідними заощадженнями, питання загальної гармонізації природних і економічних систем, питання збалансування процесів утилізації шкідливих виробничих решток із неминучими на практиці процесами викидів частини цих решток у довкілля, а також питання взаємозв'язків між процесами ціноутворення на продукцію основного виробництва та тарифоутворення на утилізацію створеного виробничого забруднення. Поєднати всі ці питання у межах одного дослідження зазвичай складно або й неможливо, хоча саме комплексний підхід до їх вивчення приводить до системних результатів і висновків, які мають важливе теоретичне та прикладне значення. Саме такий підхід у певному сенсі застосовується нижче для постановки завдання та викладення основного матеріалу.

Постановка завдання. Ядром будь-якої економіки є її виробнича підсистема, яка займається випуском необхідної для суспільства продукції. У зв'язку з цим екологізація економіки у першу чергу повинна починатися з екологізації виробництва, оскільки виробниче забруднення було і залишається одним із основних джерел забруднення довкілля. Це означає, що при розробці моделей екологічної економіки обов'язково повинні враховуватися процеси утилізації виробничого забруднення, а також можливості контролю над забрудненням довкілля залишками неутілізованих виробничих відходів. Крім того, дуже важливо, щоб еколого-економічна взаємодія, відтворена у моделях, була динамічною, тобто динамічними були ті показники чи характеристики еколого-економічних систем, які формують середовище їх руху або їх фазовий простір, оскільки саме у цьому випадку є можливість дослідити основні закономірності та тенденції розвитку цих систем або за допомогою якісного аналізу або на основі експериментальних досліджень з побудованими моделями. Тому основним завданням даної праці і є розробка моделей екологізації економіки, які б задовольняли вищезазначені вимоги на цілі.

Виклад основного матеріалу. Для побудови динамічних моделей односекторної економіки, у якій поряд з випуском основної агрегованої продукції (ОАП) здійснюється (принаймні часткова) утилізація виробничих відходів (ВВ) і контролюється частка неутілізованого забруднення, що попадає у довкілля, конкретизуємо простір змінних (показників), у якому пропонувані моделі будемо формалізувати. Попередньо зазначимо, що розмірність цього простору тісно пов'язана з учасниками виробництва, тобто тими групами елементів суспільства, які беруть безпосередню участь у виробництві ОАП та утилізації ВВ, що зазвичай є супутними продуктами будь-якої виробничої діяльності. Будемо припускати, що учасниками виробництва є власники підприємств (організатори виробництва або виробники) та робітники (наймані працівники), причому всередині кожної з цих груп учасників виробництва всі члени вважаються «рівнозначними», тобто, описуючи економічну поведінку окремого представника групи власників чи робітників, ми фактично моделюємо

поведінку відповідної групи у цілому. До основних показників, які характеризують власника та робітника, віднесемо їх ліквідні капітали або заощадження y_V та y_R , які власник і робітник використовує згідно зі своїми функціями та призначеннями як учасників виробництва та економіки у загальному випадку. Крім цих змінних, введемо також змінні p_A , p_B , та z_N , які відповідно означають ціну ОАП, тариф на утилізацію забруднення та обсяг неутилізованих ВВ. У сукупності змінні y_V , y_R , p_A , p_B , z_N , власне і формують той простір змінних, у якому будемо моделювати динаміку односекторної економіки з утилізацією ВВ та контролем над забрудненням довкілля неутилізованою частиною ВВ, адже змінні y_V , y_R , p_A , p_B , та z_N залежать від часу t , тобто є динамічними величинами.

Перш, ніж приступити до опису моделей, уточнимо ще деякі додаткові припущення та позначення, а саме будемо вважати, що V та R – відповідно чисельність власників та робітників; α_V та α_R ($0 \leq \alpha_V \leq 1$, $0 \leq \alpha_R \leq 1$) – частки заощаджень власника та робітника, які вони використовують на особисте споживання ОАП; β_V ($0 \leq \beta_V \leq 1$) – частка заощаджень власника, виділених на виробництво ОАП; γ_V ($0 \leq \gamma_V \leq 1$) – частка заощаджень власника, виділених на утилізацію ВВ ($\alpha_V + \beta_V + \gamma_V \leq 1$); $s_V^\alpha = \frac{\alpha_V y_V}{p_A}$ та $s_R^\alpha = \frac{\alpha_R y_R}{p_A}$ – купівельні спроможності власника та робітника; $s_V^\beta = \frac{\beta_V y_V}{p_A}$ та $s_V^\gamma = \frac{\gamma_V y_V}{p_B}$ – виробнича (щодо виробництва ОАП) та утилізаційна (щодо утилізації ВВ) спроможності власника; F_α , F_β , F_β^* та F_γ – функції попиту на ОАП, випуску ОАП, випуску ВВ та утилізації ВВ (аргументами для $F_\alpha \in s_V^\alpha$ та s_R^α , для $F_\beta - s_V^\beta$, для $F_\beta^* - s_V^\beta$ (вважається, що обсяг створеного забруднення залежить від обсягу випуску F_β , тобто від s_V^β) та для $F_\gamma - s_V^\gamma$).

Зазначимо, що функції F_α , F_β , F_β^* та F_γ у економіко-математичній літературі часто називають функціями економічної поведінки, оскільки вони справді характеризують поведінку учасників економіки, зокрема учасників виробництва, тобто власників (виробників) і робітників. Питання про класи цих функцій, специфіку та методи їх побудови складає предмет окремих досліджень, на яких у цій праці зупинятися не будемо. Однак зауважимо, що ми будемо вважати всі ці функції як мінімум неперервними в області свого визначення, що цілком достатньо для опису моделей, яким власне присвячені подальші викладення. Крім того, зрозуміло, що функції економічної поведінки повинні адекватно відображати найбільш логічні та характерні властивості, наприклад бути монотонно неспадними чи опуклими, що часто узгоджується з поведінковими особливостями учасників економіки на ринку товарів і ресурсів.

Формалізацію рівнянь для динамічних змінних y_V , y_R , p_A , p_B , z_N почнемо із заощаджень робітника, дохід котрого формується із встановленої зарплатні D_R (сталой чи змінної), а витрати пов'язані лише з особистим споживанням ОАП. Якщо k_0 – ставка податку на дохід, то рівняння зміни у часі величини y_R має вигляд

$$\frac{dy_R}{dt} = (1 - k_0)D_R - p_A F_\alpha(s_R^\alpha). \quad (1)$$

Рівняння для динаміки заощаджень власника є дещо складнішим. Власник отримує дохід від реалізації усім власникам і робітникам випущеної ним ОАП (припускається, що попит на ОАП інших груп суспільства тут прямо не врахований, хоча він може бути опосередковано врахований у попиті власника), а його витрати – це відрахування заощаджень на особистий попит щодо ОАП, зарплатню робітникам і податок на фонд заробітної платні (ставка k_1), невраховані внутрішні потреби своєї основної діяльності (v_β – частка цих витрат від доданої вартості), податок на додану вартість (ставка k_2) та утилізацію ВВ. Отже, для y_V маємо рівняння

$$\begin{aligned} \frac{dy_V}{dt} = & \frac{p_A(1 - k_0)}{V} \left[VF_\alpha(s_V^\alpha) + RF_\alpha(s_R^\alpha) \right] - \\ & - p_A F_\alpha(s_V^\alpha) - \frac{RD_R(1 + k_1)}{V} - p_A(v_\beta + k_2)F_\beta(s_V^\beta) - p_B F_\gamma(s_V^\gamma). \end{aligned} \quad (2)$$

Як відомо, ціна ОАП залежить від попиту та пропозиції цієї продукції, тому

$$\frac{dp_A}{dt} = \theta_A \left[VF_\alpha(s_V^\alpha) + RF_\alpha(s_R^\alpha) - VF_\beta(s_V^\beta) \right], \quad (3)$$

де θ_A – так званий коефіцієнт регулювання ціни.

Тариф на утилізацію ВВ також визначається попитом і пропозицією забруднення, тобто частиною ВВ, яка утилізується, та загальним обсягом створених ВВ. Це означає, що рівняння динаміки p_B буде таким:

$$\frac{dp_B}{dt} = \theta_B \left[VF_\beta^*(s_V^\beta) - VF_\gamma(s_V^\gamma) \right], \quad (4)$$

де θ_B – коефіцієнт регулювання тарифу.

Якщо μ_N – коефіцієнт природного спаду забруднення, тобто та частка викинутих у довкілля ВВ, яку природа сама здатна утилізувати, то зміна обсягу неутілізованих ВВ залежить від різниці між обсягом створеного забруднення та обсягом утилізованого забруднення (виробниками та природою), тому

$$\frac{dz_N}{dt} = VF_\beta^*(s_V^\beta) - VF_\gamma(s_V^\gamma) - \mu_N z_N. \quad (5)$$

Звичайно, слід припускати, що стан досліджуваної еколого-економічної системи у початковий момент часу t_0 відомий, тобто

$$y_R(t_0) = y_R^{(0)}, y_V(t_0) = y_V^{(0)}, p_A(t_0) = p_A^{(0)}, p_B(t_0) = p_B^{(0)}, z_N(t_0) = z_N^{(0)}, \quad (6)$$

де $y_R^{(0)}, y_V^{(0)}, p_A^{(0)}, p_B^{(0)}, z_N^{(0)}$ – задані величини.

Система співвідношень (1)-(6) формалізує одну з моделей динаміки односекторної економіки у випадку часткової утилізації ВВ та контролю над забрудненням довкілля. Якщо обсяг створених ВВ прямо пропорційний з деяким коефіцієнтом λ_V до обсягу випуску ОАП (таке припущення є цілком логічним), тобто $F_\beta^*(s_V^\beta) = \lambda_V F_\beta(s_V^\beta)$, то, здійснивши у (4) та (5) відповідну заміну, отримаємо рівняння

$$\frac{dp_B}{dt} = \theta_B \left[V \lambda_V F_\beta(s_V^\beta) - V F_\gamma(s_V^\gamma) \right], \quad (7)$$

$$\frac{dz_N}{dt} = V \lambda_V F_\beta(s_V^\beta) - V F_\gamma(s_V^\gamma) - \mu_N z_N. \quad (8)$$

Сукупність співвідношень (1)-(3), (7), (8), (6) описує інший варіант моделі досліджуваної економіки, який є незначною модифікацією моделі (1)-(6).

Інколи при вивченні економічної динаміки, особливо у випадку якісного аналізу її основних закономірностей, приходиться використовувати також інші припущення, достатньо добре узгоджені з економічною практикою. Одним із таких припущень є припущення про те, що кожний власник (виробник) виділяє у фонд заробітної платні робітників величину вартості, яка прямо пов'язана з вартістю створеної ОАП та вартістю утилізованих ВВ, тобто величину $\left[\mu_\beta p_A F_\beta(s_V^\beta) + \mu_\gamma p_B F_\gamma(s_V^\gamma) \right]$, де μ_β та μ_γ – відповідні коефіцієнти пропорційності. Це означає, що зарплатню робітника можна описати формулою

$$D_R = \frac{V \left[\mu_\beta p_A F_\beta(s_V^\beta) + \mu_\gamma p_B F_\gamma(s_V^\gamma) \right]}{R}. \quad (9)$$

З огляду на співвідношення (9) рівняння для динамічних змінних y_R та y_V трансформуються у рівняння

$$\frac{dy_R}{dt} = \frac{(1-k_0)V}{R} \left[\mu_\beta p_A F_\beta(s_V^\beta) + \mu_\gamma p_B F_\gamma(s_V^\gamma) \right] - p_A F_\alpha(s_R^\alpha), \quad (10)$$

$$\begin{aligned} \frac{dy_V}{dt} = & \frac{p_A(1-k_0)}{V} \left[V F_\alpha(s_V^\alpha) + R F_\alpha(s_R^\alpha) \right] - p_A F_\alpha(s_V^\alpha) - \\ & -(1+k_1) \left[\mu_\beta p_A F_\beta(s_V^\beta) + \mu_\gamma p_B F_\gamma(s_V^\gamma) \right] - \\ & - p_A(v_\beta + k_2) F_\beta(s_R^\alpha) - p_B F_\gamma(s_V^\gamma). \end{aligned} \quad (11)$$

Отже, врахувавши (9) у рівняннях (1), (2), прийдемо до нових варіантів динамічної моделі односекторної економіки, у якій здійснюється утилізація ВВ та контроль над забрудненням неутілізованою частиною ВВ довкілля, а саме до моделей (10), (11), (3)-(6) та (10), (11), (3), (7), (8), (6), у яких використано співвідношення (9). Можливі й інші модифікації цих моделей.

Висновки. Запропоновані моделі формалізують процеси виробництва односекторною економікою основної агрегованої продукції, утилізації

створених під час виробництва цієї продукції виробничих відходів і контролю над забрудненням довкілля неутилізованими виробничими відходами. Відтворена моделями динаміка цих процесів дозволяє отримати важливу інформацію щодо їх гармонізації та збалансування еколого-економічної взаємодії у виробництві. Крім того, враховуючи, що до змінних моделей належать такі важливі економічні показники як ліквідні капітали (заощадження) учасників виробництва, ціна на основну агреговану продукцію та тариф на утилізацію забруднення, результати моделювання можна використати при дослідженні економічної структури суспільства (тобто при вивченні розподілів елементів суспільства за їх заощадженнями), а також процесів ціноутворення на ринку основної агрегованої продукції та тарифоутворення на ринку утилізації забруднення. Що стосується динаміки неутилізованих виробничих відходів, то наявні про неї знання можуть бути ефективні при розробці та перевірці так званих екологічних обмежень або стандартів на допустимі обсяги забруднення довкілля виробничими рештками. У цілому запропоновані динамічні моделі призначені для експериментальних досліджень на їх основі основних закономірностей розвитку односекторної економіки в умовах її екологізації та розробки адекватного забезпечення систем підтримки процесів прийняття управлінських рішень в економіці.

Література

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. Проблеми сталого розвитку України. – К. : БМТ, 2001. – 423 с.
3. Леонтьев В. В. Межотраслевой анализ влияния структуры экономики на окружающую среду / В. В. Леонтьев, Д. Форд // Экономика и математические методы. – 1972. – Т.8. – №3. – С. 370-400.
4. Форрестер Дж. Мировая динамика / Дж. Форрестер. – М. : Наука, 1978. – 168 с.
5. Месарович М. Человечество на повороте. Второй доклад для Римского клуба / М. Месарович, Е. Пестель. – СПб : Нева – ПРЕСС, 1994. – 200 с.
6. Пределы роста : Доклад для Римского клуба / Д. Г. Медоуз, Д. Л. Медоуз, Дж. Райндерс, В. В. Беренс. – СПб : Нева – ПРЕСС, 1994. – 153 с.
7. Ляшенко И. Н. Методы эколого-экономического моделирования / И. Н. Ляшенко, М. В. Михалевич, Н. У. Утеулиев. – Нукус : Билим, 1994. – 236 с.
8. Григорків В. С. Моделирование динамики эколого-экономических систем с учетом экономической структуризации общества. Часть I / В. С. Григорків, М. В. Григорків // Международный научно-технический журнал «Проблемы управления и информатики». – 2015. – №2. – С. 128-137.
9. Григорків В. С. Моделирование динамики эколого-экономических систем с учетом экономической структуризации общества. Часть II / В. С. Григорків, М. В. Григорків // Международный научно-технический журнал «Проблемы управления и информатики». – 2015. – №3. – С. 127-134.
10. Онищенко А. М. Моделивання еколого-економічної взаємодії в процесі виконання рішень Кіотського протоколу : [монографія] / А. М. Онищенко. – Полтава : Полтавський літератор, 2011. – 398 с.