

О.В. Половян, канд. екон. наук, доц.

АНАЛІЗ ПІДХОДІВ ДО МОДЕЛЮВАННЯ СТАЛОГО РОЗВИТКУ

Аналізовано основні підходи до моделювання сталого розвитку. Наведено основні методологічні проблеми існуючих підходів і напрями з формування моделі сталого розвитку.

The basic approaches to design of sustainable development are analyzed. The basic methodological problems of existent approaches and direction on forming model of sustainable development are resulted

Ключові слова: сталий розвиток, моделювання, модель, системна динаміка, агентні моделі

Keywords: sustainable development, modeling, model, system dynamics, agent-based models

Забезпечення стійкого економічного зростання є ключовим завданням у підвищенні конкурентоспроможності національної економіки і добробуту населення країни. Проте, як показує історичний досвід економічного розвитку більшості країн, екстенсивне економічне зростання призводить до збільшення антропогенного навантаження на природне середовище, що негативно позначається на рівні життя окремих жителів. Тому, останнім часом великого значення набуває завдання досягнення сталого розвитку – зміни якісних характеристик соціально-економічних систем в умовах екологічних обмежень для забезпечення можливостей задоволення потреб майбутніх поколінь шляхом впровадження інноваційних зрушень у всіх сферах суспільного життя [1]. Ефективність управління сталим розвитком багато в чому залежить від виявлених ключових детермінант даного явища, що досягається використанням відповідних моделей. Отже, від адекватності побудованої моделі залежать висновки і рівень обґрунтування управлінських рішень по досягненню сталого розвитку. Проте, не дивлячись на значну кількість досліджень в цьому напрямку, у теперішній час відсутній єдиний спосіб моделювання такого складного явища як сталий розвиток. Тому метою даної роботи є аналіз основних підходів і виявлення ключових напрямів формування моделі сталого розвитку.

Проблема віддзеркалення впливу природних ресурсів і оцінки екологічних наслідків економічної діяльності в концепціях економічного зростання була відсутня до середини ХХ ст. Основні обмеження були пов'язані з ключовими чинниками економічного зростання: працею і капіталом. Запропоноване А. Смітом пояснення економічного зростання ґрунтується на ендогенному капіталі, що створюється інвестиційним прибутком і екзогенною пропозицією праці [2]. При цьому земля, яка відображає ресурси, що відтворюються, може бути вільно замінена капіталом.

Т. Мальтус вважав, що зростання населення залежить від економічного зростання, а не навпаки. Основну увагу він приділяв заробітній платі, а не прибутку як

джерелу доходу. Т. Мальтус указував на можливе виснаження природних ресурсів унаслідок різкого зростання населення, викликаного збільшенням добробуту. Його ідеї були надалі розвинені в моделі світу Дж. Форрестера [3].

Екологічні, соціальні та інші види обмежень почали активно розглядатися в економічній науці з середини 70-х рр. ХХ ст. Це обумовлено тим, що гіпотеза Хоттелінгу про заміну технології у разі виснаження якого-небудь виду природних ресурсів призвела до передумови про можливість необмеженої експлуатації наявних ресурсів і дозволила відмовитися від екологічних обмежень в економічному зростанні [4]. Тільки у 1974 р. Р. Солоу запропонував модель, в якій вводилися обмеження у вигляді природних ресурсів, що відбивалося на темпах економічного зростання [5]. Проте, даний підхід враховував тільки обмеження в наявних природних ресурсах, які виступали чинником економічного зростання, і не враховував наслідків забруднень навколишнього середовища.

У роботах Д. Стігліца було продовжене дослідження питань екологічних обмежень економічного зростання [6]. Основний акцент в його роботах був зроблений на взаємозамінюваності природного і рукотворного капіталу, вплив технологічних змін і надходжень в масштабі обмеження зростання, що викликано обмеженням природних ресурсів. Для цього у виробничу функцію, що описує економічне зростання, була введена додаткова функція, яка відображає взаємний вплив рукотворного і природного капіталів. При цьому еластичність взаємозаміни рукотворного і природного капіталів передбачається більше одиниці, тоді як взаємозаміна праці та капіталу не має заданих обмежень.

Спираючись на результати досліджень Д. Стігліца, Дж. Хартвік обґрунтував правило інвестицій, згідно якому для забезпечення постійного рівня споживання всі поточні надходження необхідно направляти в біофізичну інфраструктуру [7].

У роботах Р. Петінга і Х. Зібберта для обліку проблем природокористування в питаннях економічного зростання запропоновано використовувати наступну виробничу функцію:

$$Q = f(\bar{R}, \bar{S})$$

де \bar{R} – вектор природно-сировинних ресурсів, праці і капіталу; \bar{S} – вектор екологічно небезпечних забруднень.

Отже, можна відзначити, що теорія економічного зростання з обмеженими ресурсами спирається на моделі виробничої функції і абстрагується від процесів біофізичної стійкості навколишнього середовища і наслідків антропогенного навантаження.

Часткове вирішення даної проблеми приведено в [8], де оцінювати збиток, що нанесено довіллю виробництвом і споживанням, запропоновано за допомогою індексу W , який може визначатися як маса забруднюючих речовин в навколишньому середовищі. Передбачається, що забруднення – це наслідок економічної активності, тому його зростання виражається зростаючою функцією $w(Y)$ валового національного

продукту. Часткове забруднення зменшується шляхом витрат «капіталу на очищення» (Kw), а також природним розкладанням. Ступінь усунення забруднень описується зростаючою функцією $r(Kw)$ капіталу, який вкладається в очисні роботи. Самоочищення природи (до певного моменту часу) є зростаючою функцією $p(W)$. Таким чином, виходить загальний вираз, що характеризує забруднення природного середовища:

$$W_t = \int_0^t [w(Y_\tau) - r(K_{w,\tau}) - p(W_\tau)] d\tau$$

Тоді екологічна рівновага визначається умовою:

$$w(Y_\tau) - r(K_{w,\tau}) = p(W)$$

Аналогічним чином екологічні обмеження представлені в моделях, виробнича функція яких відноситься до балансового типу [9]. У зв'язку з цим в [10] стверджується, що для віддзеркалення внеску в обсяг корисного результату антропогенної діяльності та в масштаби забруднення необхідно використовувати додаткові коефіцієнти балансової моделі (I_{ij}), які аналогічні класичним коефіцієнтам прямих витрат (a_{ij}).

Використання базових характеристик змінних і значень коефіцієнтів прямих і непрямих витрат, фондомісткості, енергоємності та трудомісткості, а також міжгалузеві пропорції викидів, що містять агресивні домішки дозволяє використовувати модель Моно-Єрусалимського [11]. Узагальнена модель кінетичної системи Моно-Єрусалимського має вигляд:

$$\begin{aligned} \dot{x} &= f(t, x, y, z) - ux, & x(0) &= x_0, \\ \dot{y} &= -\alpha f(t, x, y, z) + u(y^0 - y), & y(0) &= y_0 < y^0, \\ \dot{z} &= (\alpha - 1)f(t, x, y, z) - uz - v, & z(0) &= z_0 \end{aligned}$$

де $u \geq 0, v \geq 0$ – елементи управління (u – темп розсіювання, v – швидкість надходження контрагента).

У технології екологічно чистих виробництв ці елементи управління мають наступну інтерпретацію: u – інтенсивність основного виробництва, v – потік внутрішнього очищення, вбудований в технологічний процес.

Аналізуючи наведені моделі, можна відзначити, що основна увага дослідників була акцентована на відображенні в процесах забезпечення економічного зростання обмежених природних ресурсів. Це дозволяє виявити існуючі обмеження в темпах економічного зростання і обґрунтувати основні напрями з управління науково-технічним прогресом. При цьому в аналізі відсутній опис впливу економічного зростання на забруднення навколишнього середовища і, у свою чергу, на населення і економічні процеси, що відбуваються.

Для включення екологічного аналізу в опис процесів економічного зростання Дж. Форрестером був використаний інший методологічний принцип. Запропонована ним модель побудована на принципах системної динаміки – методу дослідження складних систем з нелінійними зворотними зв'язками. Аналітичні основи побудови моделі, призначеної для імітації світових процесів, було розглянуто в його

дослідженнях поведінки промислових і урбанізованих систем [3, 12]. Подальші удосконалення цієї моделі проводилися в рамках роботи «Межі зростання» і «Межі зростання 30 років після» [13, 14].

Дж. Форрестер виділив наступні основні процеси, які описують світовий економічний розвиток: 1) швидке зростання населення; 2) індустріалізація і економічне зростання; 3) брак продуктів харчування; 4) зростання відходів виробництва; 5) брак ресурсів. Ключовими чинниками його моделі є: населення, основні виробничі фонди, частка основних виробничих фондів сільськогосподарського призначення в загальному обсязі виробничих фондів, рівень забруднення природного середовища, обсяг природних ресурсів, що не поновлюються.

Не дивлячись на те, що в даній моделі вперше зроблена спроба оцінити не тільки вплив обмежених природних ресурсів на економічне зростання, але і зв'язок забруднення природного середовища з економікою, в ній не передбачається зміна існуючої технології. Тому модель механічно екстраполює наявні тенденції в частині споживання ресурсів, зростання забруднення, вибуття родючих земель і демографічної динаміки.

До іншого недоліку цієї моделі можна віднести те, що використання системно-динамічного моделювання припускає відмову від точного кількісного опису на користь довгострокового представлення поведінки об'єкту моделювання. Ключове положення методу полягає в припущенні про те, що поведінка системи може бути описана виходячи з її причинно-наслідкової структури. При цьому кількісні значення змінних, що використовуються, не мають істотного значення і тому достовірність результатів моделі не є основним критерієм її адекватності [15]. Дане уявлення призводить до того, що опис одного і того ж процесу може відрізнитися, оскільки уявлення про їх протікання залежать від суб'єктивної точки зору дослідника. Отже, моделі системної динаміки відображають «гіпотетичні функціональні зв'язки, які не можуть бути точно підтверджені емпіричними даними» [15].

Єдиний спосіб уникнути кризи, пов'язаної з експоненціальним зростанням, – перехід до глобальної рівноваги, коли змінні системи виходять на стаціонарні значення і не міняються. Дж. Форрестер вказав на те, що без регенерації відходів і застосування заміників виснаження природних ресурсів рано чи пізно викличе кризу в модельованій системі.

Один із варіантів запобігання глобальній кризі запропоновано в [16]. Для цього пропонується впливати на матеріальний рівень життя, відносно забруднення і рівень живлення шляхом розподілу капіталовкладень за умови того, що: (1) розроблена і упроваджена в промисловість технологія утилізації і/або відновлення ресурсів; (2) створена промислова галузь по штучному очищенню забруднення; (3) можна змінювати інвестиції до сільськогосподарських фондів.

Тоді можна направляти капітал у знов створені галузі та на зміну частки фондів в сільському господарстві. В. Єгоров показав, що підбором критерію і наближеним

рішенням варіаційної задачі, що виходить, можна добитися динаміки, при якій в моделі Дж. Форрестера не буде кризи на достатньо тривалому часовому інтервалі.

Необхідно відзначити, що вирішення даної проблеми ускладнене із-за складності визначення ключових чинників і процесів. Турбулентність глобальних змін, які відбуваються, постійно збільшується, що призводить до зміни значущості чинників. Це веде до того, що максимізація обраного критерію не покращує ситуацію, а погіршує. У запропонованому рішенні також відсутній механізм управління для частки сільського господарства, що ускладнює можливість практичної реалізації варіантів запобігання кризи.

Ще одним недоліком запропонованого рішення є те, що в моделі В. Єгорова використовується питоме забруднення навколишнього середовища (з розрахунку на одну особу). Це веде до того, що забруднення розподіляється на всіх мешканців, і чим більше населення, тим менший вплив робить забруднення на систему.

Модель «На порозі XXI століття» (Threshold 21) була створена також з використанням системно-динамічного інструментарію моделювання в Інституті тисячоліття [17]. Вона дозволяє: погоджувати загальні цілі та дії з урахуванням синергії між всіма секторами на регіональному, державному і глобальному рівнях; оцінювати впливи політичних рішень шляхом проведення кількісного аналізу; обрати оптимальні варіанти використання наявних ресурсів.

Модель «На порозі XXI століття» включає наступні сектори (див. рис. 1): економіка (іноземні позики, національний дохід, заощадження, інвестиції, торговельно-сальдо); виробничий сектор (промисловість, послуги, сільське господарство); населення; соціальний сектор (початкова освіта, охорона здоров'я, продовольство); ресурсний сектор (енергетика, вода, ліси, сільськогосподарські землі); екологічний сектор (забруднення атмосфери, парникові гази); державний сектор; інший світ.

Сектори в моделі побудовані на підставі модельної структури, кожна з яких перевірена в різних сферах. Наприклад, сектор продовольства імітує FNA-модель, яка використовується Департаментом сільського господарства США (1985). Сектор національних рахунків заснований на моделі Світового банку RMSM (1992). Блокова побудова надає можливість здійснювати вдосконалення окремих секторів моделі, що призводить до підвищення адекватності моделі в цілому.

Модель «На порозі XXI століття», на відміну від моделі Дж. Форрестера, враховує чинники, що описують не тільки економічне зростання, але і процеси соціального розвитку суспільства (рівень освіти, зайнятості, добробуту, соціальну інфраструктуру та ін.) і стану природного середовища (обсяги викидів і скидань шкідливих речовин, споживання природних ресурсів, енергії та ін.). Це в значній мірі забезпечує підвищення її адекватності і точності прогнозування. При цьому модель дозволяє здійснювати оцінку не тільки можливостей економічного зростання з урахуванням обмежених природних ресурсів, але і взаємного впливу антропогенного навантаження, соціального і економічного розвитку. Таким чином, модель враховує зворотні зв'язки і часові затримки між процесами.

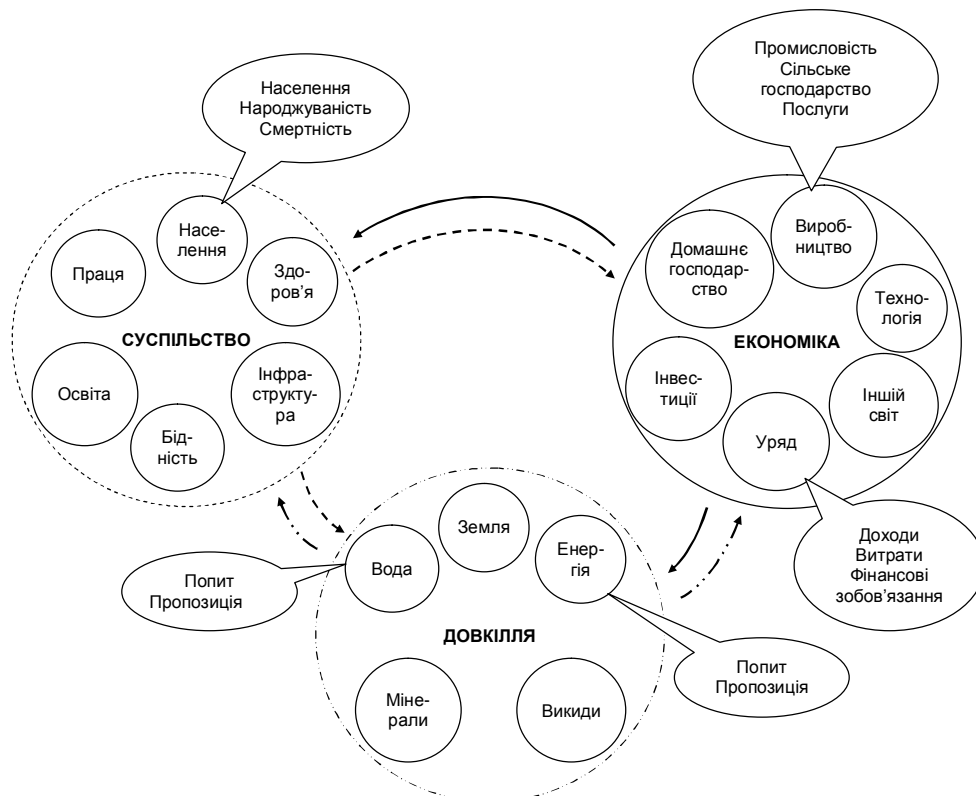


Рис.1. Структурна схема моделі «На порозі XXI століття»

Враховуючи значні переваги, слід відзначити, що модель «На порозі XXI століття» не позбавлена ряду недоліків. Так, використання системно-динамічного підходу обумовлює просту екстраполяцію наявних тенденцій, а не виявлення нових. Крім того, модель більше орієнтована на представлення тенденцій процесів, що відбуваються, а не набуття точних кількісних значень. А це істотно утрудняє ухвалення управлінських рішень. У моделі не передбачена можливість урахування специфіки окремих територіальних утворень, що особливо важливе для еколого-економічного регулювання (наприклад, із-за різного ступеня абсорбції шкідливих речовин).

У моделі «На порозі XXI століття» для опису економічного зростання використана виробнича функція Коба-Дугласа, яка передбачає одиничну еластичність заміщення чинників. Це істотно утруднює процес економічного аналізу параметрів даної функції. Крім того, опис в моделі економіки як єдиного цілого призводить до виникнення проблеми агрегації [18], а також не віддзеркалення специфіки окремих галузей.

Облік природних ресурсів і пов'язаних з ними обмежень економічного зростання знайшли віддзеркалення також в моделях Regional World IV, Towards a Fossil Free Energy Future, IEA/ORAU Long-Term Global Energy-CO₂ Model (A84PC), Інтеграційна модель світу, Global 2000, STRATEGEM, GEWS, GLOBUS, SARUM, GIOM, SIM/GDP, Daisyworld, WorldScam та ін.

Таким чином, розглянуті моделі сталого розвитку мають наступні недоліки:

1. Як основний виступає ресурсний підхід. Це веде до того, що вони враховують або вплив природних ресурсів як одного з чинників економічного зростання, або вплив економічного зростання на забруднення природного середовища, що обумовлює зміну чисельності населення і, отже, призводить до змін в темпах економічного зростання. При цьому природні ресурси виступають тільки як лімітуючий чинник.

2. Відсутність обліку впливу технологічних змін. Облік цих змін здійснюється виключно екстраполяційним шляхом, тобто включенням фіксованого показника (залежного від порядкового номера періоду) в модель виробничого процесу. При цьому не знаходить віддзеркалення еволюційний процес як в поведінці економічних суб'єктів, так і в самих технологічних змінах.

3. Відсутній облік коеволюції між соціально-економічною і екологічною системами. Сталий розвиток припускає взаємний вплив цих систем, що виражається не тільки в обмеженнях на розвиток, але в наявності певних взаємообумовлюючих адаптаційних змін.

4. Основою розглянутих еколого-економічних моделей є виробничий процес, який описується за допомогою агрегованої виробничої функції. При цьому найбільш використовуваною є функція Кобба-Дугласа. До її основних недоліків відносять одиничну еластичність заміщення праці капіталом. Отже, при зменшенні одного з чинників (наприклад, скорочення чисельності населення унаслідок зростання екологічних проблем) економічне зростання можна забезпечити збільшенням іншого чинника (наприклад, фізичного капіталу). Проте на практиці дане явище не спостерігається, оскільки фактична еластичність взаємозаміщення відмінна від одиниці. Вирішення даної проблеми можливе в рамках використання виробничих функцій, що враховують еластичність взаємозаміщення чинників (наприклад, CES, VES та ін.). Проте, при описі макроекономічних процесів економічного зростання виникає інша методологічна проблема використання виробничих функцій – проблема агрегації.

Вирішення даних протиріч в описі сталого розвитку можливо за допомогою формування моделі, що враховує еволюційні зміни в поведінці економічних суб'єктів в рамках агентного моделювання. Особливостями агентного моделювання є обмежена раціональність, ендогенна нерівноважна динаміка і безпосередні взаємодії агентів. Економічні агенти функціонують в складних системах, що еволюціонують з часом. Тому агреговані властивості економіко-екологічних систем повинні виводитися з взаємодій, що «повторюються, між об'єктами, а не з вимог раціональності та рівноваги» [19]. Віртуальні агенти в цих моделях наділяються поведінковими характеристиками і стають все більш схожими на реальних суб'єктів. Агентні моделі характеризуються необоротною динамікою, яка відображає особливості розвитку економіко-екологічної системи «залежно від пройденої траєкторії, що є наслідком адаптивних очікувань» [20]. Даний підхід дозволяє визначити вектор траєкторії розвитку і стійкі стани систем, що є основою опису і моделювання сталого розвитку соціально-економічних систем.

Література:

1. Александров І.О. Стратегія сталого розвитку регіону//І.О. Александров, О.В. Половян, О.Ф. Коновалов, О.В. Логачова, М.Ю. Тарасова//НАН України. Ін-т економіки пром-сті. – Донецьк, 2010. – 204 с.
2. Смит А. Исследование о природе и причинах богатства народов/ А.Смит. – М.: Изд-во соц.-экон. л-ры, 1962. – 684 с.
3. Forrester, Jay W. World Dynamics. Portland, Oregon: Productivity Press., 1970.
4. Hotelling H. The economics of exhaustible resources. J. Polit. Econ., Vol. 39:137-175.
5. Solow R. W. Intergenerational equity and exhaustible resources/ R. W. Solow// Rev. econ. stud. 1974.
6. Стиглиц Дж. Экономика государственного сектора/ Дж. Стиглиц. – М.: 1997. – 720 с.
7. Hartwick J. The economics of natural resource use/ J. Hartwick, N. Olewiler//Addison Wesley, 1997, 432 p.
8. Черниченко Г.А. Развитие промышленного производства (эколого-экономический аспект)/ Г.А. Черниченко. – Донецк: ИЭП НАН Украины, 2001. – 320 с.
9. Леонтьев В. Межотраслевой анализ воздействия структуры экономики на окружающую среду/ В. Леонтьев, Д. Форд // Экономика и математические методы, Т. VIII, вып. 3, 1972. – С. 370-400
10. Александров И.А. Экономический рост и окружающая среда (введение в методологию измерения и анализа)/ И.А. Александров. – Донецк: ИЭП НАН Украины, 1996. - 158с.
11. Ляшенко І.М. Еколого-економічне моделювання / І.М. Ляшенко //Проблеми сталого розвитку України. - К.: Б.М.Т., 1998. - 402 с.
12. Forrester, Jay W. Urban Dynamics. Portland, Oregon: Productivity Press., 1969.
13. Meadows, Donella H., Dennis L. Meadows, Jorgen Randers, and William W. Behrens, III. The Limits to Growth: A Report for the Club of Rome's Project on the Predicament of Mankind. New York: Universe Books., 1972.
14. Meadows, Donella H., Dennis L. Meadows, and Jørgen Randers. Beyond the Limits: Confronting Global Collapse, Envisioning a Sustainable Future. Post Mills, Vermont: Chelsea Green, 1992.
15. Magne Myrtveit The world model controversy// The System Dynamics Group. Department of Geography. University of Bergen. 27 p.
16. Егоров В.А. Математические модели глобального развития/ В.А.Егоров, Ю.Н. Каллистов, В.Б. Митрофанов, А.А. Пионтковский. – Л.: Гидрометеиздат, 1980. – 305 с.
17. www.millenniuminstitute.net
18. Felipe J., Fisher F. Aggregation in Production Functions: What Applied Economists Should Know/J. Felipe, F. Fisher. //Metroeconomica. – 5. – 2. – 2003. – pp. 208-262
19. Фаджиоло Д. О научном статусе экономической политики: повесть об альтернативных парадигмах/ Д. Фаджиоло, А. Ровентини//Вопросы экономики, №6. – 2009. – С. 24-47
20. Коландер Д. Революционное значение теории сложности и будущее экономической науки/Д. Коландер//Вопросы экономики, №1. – 2009. – С. 84-100.