

2. Макашина О.В. Механизм определения финансового состояния территории [Электронный ресурс]. – Режим доступа: [http://auditfin.com/fin/2010/3/01\\_02/01\\_02%20.pdf](http://auditfin.com/fin/2010/3/01_02/01_02%20.pdf).
3. Яшина Н.И., Емельянова О.В., Прончатова-Рубцова Н.Н. Оценка финансового состояния субъектов РФ для определения перспектив развития инновационной деятельности в регионах [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://cyberleninka.ru/article/n/otsenka-finansovogo-sostoyaniya-subektov-rf-dlya-opredeleniya-perspektiv-razvitiya-innovatsionnoy-deyatelnosti>.
4. Аникеева А.А., Щекочихин В.В. Факторный подход к характеристике финансового состояния макрорегиона Методика определения [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://cyberleninka.ru/article/n/faktornyy-podhod-k-harakteristike-finansovogo-sostoyaniya-makroregiona-metodika-opredeleniya>.
5. Никулина Е.В., Макаревич А.Ю. Оценка функционирования механизма региональных финансов [Электронный ресурс] – Режим доступа: <http://cyberleninka.ru/article/n/otsenka-funktsionirovaniya-mehanizma-regionaln>.
6. Мацук З.А. Оцінка фінансового стану івано-франківського регіону в процесі бюджетного регулювання // Вісник соціально-економічних досліджень . - 2013. - Вип. 1. - С. 256-263.
7. Журавльова І.В. Методичний підхід до моделювання фінансової безпеки регіонів України // Бізнес Інформ . - 2012. - № 6. - С. 156-159.

УДК 330.4: 519.866

**А.М. Онищенко**

## **МОДЕЛЮВАННЯ СКЛАДОВИХ НАЦІОНАЛЬНОЇ ЕКОЛОГО-ЕКОНОМІЧНОЇ ПОЛІТИКИ В РАМКАХ ВИКОНАННЯ ПАРИЗЬКОЇ УГОДИ**

*На основі теорії оптимального керування в статті запропоновано двосекторну еколого-економічну модель поведінки виробника в умовах встановлених обмежень на емісії парникових газів. При цьому розглядається випадок необхідності залучення додаткової емісійної квоти з*

*Збірник наукових праць*

*метою виконання положень Паризької угоди. На основі достатніх умов оптимальності розглянуто існування оптимальних траєкторій моделі, зокрема виділено серед них магістральні.*

**Ключові слова:** *еколого-економічне моделювання, Паризька угода, теорія оптимального керування, магістральні траєкторії.*

*На основании теории оптимального управления в статье рассматривается построение и исследование двухсекторной эколого-экономической модели поведения производителя в условиях действующих ограничений на выбросы парниковых газов. При этом рассматривается случай необходимости привлечения дополнительной эмиссионной квоты с целью выполнения положений Парижского соглашения. На основании достаточных условий оптимальности рассмотрен вопрос существования оптимальных траекторий модели, в частности, выделены магистральные.*

**Ключевые слова:** *еколого-экономическое моделирование, Парижское соглашение, теория оптимального управления, магистральная траектория.*

*On the ground of the optimizing control theory is suggested a two-sector ecology-economy model of the producer by emission of hotair gases limit. The authors discuss the necessity of the additional quota according to Paris Agreement. Economy-mathematical analyses allowed to construct the optimal trajectories and specifically turnpike trajectory.*

**Keywords:** *Environmental modeling, Paris Agreement, optimal control theory, turnpike trajectory.*

**Актуальність.**

Стрімкий розвиток сучасної наукової думки та технічного прогресу призводить до широкого впровадження математичних методів в області, які ще

нещодавно здавалися неформалізованими. Не виключенням в даному переліку є економіка. Будь-яка економічна система є складною системою, в якій функціонує та взаємодіє значна кількість технічних, соціальних, економічних процесів, які постійно змінюються під дією внутрішніх та зовнішніх умов. В таких умовах управління економікою стає задачею, успішне розв'язання якої потребує використання наукового апарату системного аналізу, одним з ефективних методів якого є економіко-математичне моделювання.

Значний прогрес у міждисциплінарній взаємодії економіки та математики дозволив перейти до включення в економічну систему соціальної політики, покликаної забезпечити узгодженість між економічним розвитком та соціальними стандартами. Окремим аспектом такої політики є екологічна складова, яка на сучасному етапі розвитку цивілізації виходить за рамки національних та територіальних кордонів і набуває масштабу глобального питання. Більшість дослідників погоджуються, що у випадку масштабних змін природного середовища та клімату безпосереднього впливу зазнає економічна система. Як приклад, в першу чергу це стосується природоексплуатуючих галузей, оскільки подібні зміни позначаються на якості ресурсної бази, що зрештою призводить до змін у економіці в цілому.

Відповіддю міжнародної спільноти на проблеми негативного впливу зміни клімату на соціально-економічний розвиток стало прийняття Організацією Об'єднаних Націй Паризької угоди з захисту клімату, яка зокрема спрямована на зменшення емісій парникових газів у глобальному вимірі [1].

### **Аналіз останніх досліджень і публікацій.**

Проблема математичного моделювання взаємодії економіки та екології в рамках виконання положень Кіотського протоколу не є новою.

Першим класом таких моделей можна назвати моделі міжгалузевого балансу, які досліджують вплив структури економіки на навколишнє природне середовище. До даного класу моделей належать міжгалузева модель Леонт'єва-Форда та її узагальнення [2]. Еколого-економічне моделювання за схемою міжгалузевого балансу дозволяє визначити ціни, балансові фінанси галузей та економічні витрати на регулювання забруднення, прогнозувати вплив зміни доданої вартості на ціни, і відповідно, на обсяги виробництва за умови виконання тієї чи іншої природоохоронної стратегії. Основним недоліком даного класу моделей є їх неспроможність представити вплив економічних інструментів скорочення викидів парникових газів на поведінку суб'єктів ринку.

Іншим класом моделей, які можна застосувати для оцінки економічних наслідків від запровадження обмежень на викиди вуглекислого газу, є енергетичні моделі. Вони широко застосовуються для аналізу енергетичних ринків, оцінки прямих витрат на скорочення енергоспоживання та емісій парникових газів, можливостей субституції між енергоресурсами, зміни цін на енергетичні ресурси, прогнозування ціни дозволів на вуглецевих ринках, тощо. Як приклад, можна вказати на моделі Primes, Poles, Markal та їх численні модифікації [3]. Слід зазначити, що енергетичні моделі не можна застосовувати для оцінки загальноекономічних наслідків від запровадження обмежень на викиди парникових газів. Істотним недоліком моделей даного класу є обмежена можливість їх

застосування для задач, які вимагають детального урахування міжгалузевих зв'язків.

Для розв'язання задачі дослідження можуть застосовуватися макроекономічні моделі, основані на теорії Кейнса. Найчастіше такі моделі використовують для дослідження рівноваги на окремих ринках, циклічних перетворень, конвергенції та стабільності, довгострокового зростання та прогнозування. В таких моделях не використовуються припущення щодо повної зайнятості первинних факторів виробництва та досконалої конкуренції на всіх ринках. Параметри макроекономічних моделей, як правило, оцінюються на базі часових рядів. Як приклад їх застосування для аналізу різних аспектів скорочення емісій парникових газів можна вказати моделі Oxford та Dri-Wefa [4].

В якості ще одного класу моделей можна вказати прикладні моделі загальної рівноваги. Їх істотною перевагою є те, що вони оперують значними масивами статистичних даних міжгалузевого балансу або системи національних рахунків і таким чином дозволяють максимально повно врахувати структур міжгалузевих зв'язків, а також досліджувати галузеві та макроекономічні ефекти економіки. На початку 90-х років ХХ ст. прикладні моделі загальної рівноваги стали стандартним інструментом аналізу наслідків від запровадження різноманітних механізмів економічної, соціальної енергетичної або природоохоронної політики. Вони є найбільш застосованими абстракціями, які дозволяють розглянути економічні взаємозв'язки в економічній системі з максимальною повнотою, на підставі об'ємного масиву статистичних даних. В якості застосування вказаного класу моделей можна вказати багаторівневу динамічну модель GEM-E3 [5], створену на замовлення

Європейської комісії. Модель обчислює економічні наслідки кіотських обмежень за допомогою торгівлі дозволами на емісії парникових газів між країнами Європейського союзу та порівнює дані результати зі сценаріями скорочення викидів в умовах відсутності торгівлі квотами. К.Борінгер та Т.Разерфорд застосували прикладні моделі загальної рівноваги для оцінки економічного впливу від виконання Кіотських зобов'язань Канадою [6]. Експерти Масачусетського інституту застосували даний вид моделей для оцінки економічних наслідків запровадження альтернативних обмежень на викиди у США на період 2008-2050 років.

### **Невирішені проблеми.**

Необхідність розв'язання проблеми зменшення антропогенного впливу на довкілля повинна призводити до створення міжнародних угод, спрямованих на обмеження емісій парникових газів. Виконання їх умов передбачає зростаючу роль заходів з екологічної політики, зокрема виділення окремого сектору в структурі національної економіки. Дослідження даної задачі на рівні математичного моделювання дозволить запропонувати еколого-економічні моделі, які, зокрема, включають два види балансів: економічний та екологічний, динаміку ресурсних змінних та ставлять за мету максимізацію кінцевого споживання, як соціального фактору розвитку суспільства.

### **Мета статті.**

Таким чином, постає необхідність дослідити методи побудови одно- та двохсекторних моделей економічного зростання з обмеженнями на забезпечення виконання економічного балансу та балансу парникових газів з критерієм ефективності у вигляді максимізації середньодушового споживання. На відміну від існуючих

аналогів такі моделі дозволяють визначити в явному аналітичному вигляді траєкторії розвитку еколого-економічної системи.

### **Постановка завдання.**

Розглянемо проблему врахування в односекторній моделі екологічних обмежень на основі запропонованої у першому розділі методології побудови еколого-економічних моделей. Як початковий етап аналізу вказаних проблем поставимо завдання дослідження загальної економічної рівноваги в умовах екологічних обмежень – емісії парникових газів. Основним економічним показником при цьому виступає обсяг валового випуску продукції та його складові. З метою вивчення еколого-економічної взаємодії у часі застосуємо апарат економіко-математичного моделювання для побудови та дослідження відповідних динамічних моделей. Останнє дозволяє отримати траєкторії досліджуваних змінних, зокрема виокремити серед них рівноважні, що дає можливість визначити оптимальні параметри та спрогнозувати поведінку досліджуваних показників [7].

### **Результати дослідження.**

На першому етапі сформулюємо основні припущення стосовно предмета дослідження, визначимо суттєві економічні та екологічні показники, введемо в розгляд відповідні їм змінні. Припускаємо, що розглядається ринок однорідного товару, на якому деяка сукупність незалежних виробників пропонує товар. Виробники діють в умовах досконалої конкуренції. Виробничі можливості сукупності виробників задаються величиною їх сумарної виробничої потужності  $M$  – максимально можливим випуском продукту за одиницю часу. Єдиним виробничим фактором є однорідна робоча

сила  $R$ . Згідно з неокласичною теорією виробництва будемо описувати технології і виробничі можливості неокласичною виробничою функцією, яка представляє залежність максимального рівня випуску  $Y$  від виробничої потужності  $M$  та обсягів залучених виробничих факторів  $R$ , а саме  $Y = F(M, R)$ .

З урахуванням властивості лінійної однорідності неокласичну виробничу функцію представимо у вигляді:

$$Y = Mf(x), \quad x = \frac{R}{M}, \quad f(x) = F(1, x),$$

де

$$f(0) = 0, \quad f'(x) > 0, \quad f''(x) < 0, \quad f(x^*) = 1, \quad x^* = \frac{R^*}{M},$$

$R^*$  – повна зайнятість робочих місць на виробництві потужності  $M$ .

Виробники наймають робочу силу на ринку. Пропонує робочу силу населення, яке водночас є основним споживачем продукту. Населення становить однорідну групу споживачів та працівників. Споживчу поведінку населення описують монотонно зростаючою функцією корисності, де  $C$  – попит на споживчий продукт. Будемо вважати, що й виробники для своїх виробничих потреб проявляють попит на продукт величини  $J$ . Окрім введеного, будемо розглядати також екологічне обмеження, яке виражається в тому, що виробники не повинні перевищувати встановленої для них квоти емісій парникових газів  $Q^s$ .

В подальшому дослідженні враховується важлива властивість конкурентної ринкової рівноваги. Вона парето-оптимальна, або економічно ефективна [8], тобто в рівновазі повністю використовується робоча сила  $R$ , встановлена квота емісій  $Q^s$  та випущений валовий



продукт  $Y$ . Звідси випливає, що рівновагу потрібно шукати серед парето-оптимальних розподілів ресурсів і продукту, а самій задачі про рівновагу можна поставити у відповідність задачу про оптимальний розподіл ресурсів. Для цього проведемо певні уточнення.

Пропозиція робочої сили змінюється у часі за експоненціальним законом:

$$R^s = R_0 e^{\lambda t}.$$

Випущений продукт може використовуватися як споживчий, так і фондоутворюючий для створення нових виробничих потужностей. Рівняння балансу виробництва та розподілу продукту запишемо у вигляді:

$$Y = J + S, \quad x = \frac{R}{M}, \quad (1)$$

де  $J$  – обсяг фондоутворюючого продукту,  $S$  – обсяг кінцевого продукту,  $R$  – обсяг використаної робочої сили.

Процес створення нової потужності описуємо сталою  $b$  – коефіцієнтом приростної фондоємності. Якщо за одиницю часу створюється  $I$  одиниць нової потужності, то необхідно використовувати

$$J = bI$$

одиниць фондоутворюючого продукту.

Швидкість зміни потужності у часі задаємо рівнянням

$$\frac{dM}{dt} = I - \mu M,$$

де  $\mu$  – коефіцієнт амортизації виробничих потужностей.

Система введених рівнянь допускає множину траєкторій зростання, які залежать від степеня використання робочої сили, емісійної квоти та розподілу продукту на фондоутворюючий та споживчий. Серед

траєкторій економічного зростання вирізняють характерні траєкторії збалансованого експоненціального зростання. З метою відшукування таких траєкторій сформулюємо задачу оптимальної програми економічного зростання.

Згідно з умовою (1) валовий продукт розподіляється на проміжне споживання та кінцевий продукт. Враховуючи екологічне обмеження та необхідність передбачити частку валового випуску на екологічні заходи, будемо вважати, що кінцевий продукт складається зі споживчого продукту та продукту, передбаченого на екологічні витрати, тобто

$$S = C + U ,$$

де  $C$  – величина споживчого продукту,  $U$  – екологічні витрати.

В такому випадку рівняння (1) набуде вигляду

$$Y = J + C + U , \quad x = \frac{R}{M} .$$

В контексті порушеної вище проблеми доцільно сформулювати задачу оптимального розвитку на основі введених припущень з критерієм оптимальності, що представляє максимум величини питомого споживання населення протягом планового періоду  $[0, T]$ :

$$\int_0^T \frac{C}{R} dt \rightarrow \max .$$

При цьому кожен виробник ідентифікується рівнянням відтворення основних виробничих потужностей в припущенні, що інвестиції повністю витрачаються без врахування запізнення на приріст основних виробничих потужностей та на амортизаційні відрахування при відомому рівні виробничих потужностей в базовому році:

$$\frac{dM}{dt} = I - \mu M, \quad M(0) = M_0.$$

Виробничі можливості задаються виробничою функцією, а весь валовий випуск продукції розподіляється на проміжне та кінцеве споживання (економічне та екологічне):

$$Y = bI + C + U.$$

Екологічне обмеження на емісії парникових газів будемо розглядати як різницю двох складових: обсягу викидів, який вважаємо пропорційним обсягу випущеного продукту з коефіцієнтом  $k$ , та обсягу знищених забруднень, пропорційного величині екологічних витрат з коефіцієнтом  $n$ :

$$kY - nU = Q^s, \quad k < n. \quad (2)$$

Нерівність  $k < n$  є умовою екологічно ефективної економічної системи. А саме, означає такий рівень засвоєння екологічного споживання в частці валового випуску, який би дозволив виконувати емісійне обмеження за умов зростання обсягів валового випуску продукції.

Об'єднуючи введені економічні та екологічні співвідношення, отримуємо модель оптимального розвитку еколого-економічної системи:

$$\int_0^T \frac{C}{R} dt \rightarrow \max, \quad (3)$$

$$\frac{dM}{dt} = I - \mu M, \quad M(0) = M_0, \quad (4)$$

$$Y = bI + U + C, \quad (5)$$

$$kY - nU \leq Q^s, \quad (6)$$

$$Y = Mf\left(\frac{R}{M}\right), \quad (7)$$

$$0 \leq R = R_0 e^{\lambda t}, \quad (8)$$

$$I \geq 0, C \geq 0, U \geq 0, 0 \leq t \leq T. \quad (9)$$

Отримана модель відображає задачу визначення такого варіанта валового випуску продукції, а також кінцевого споживання та витрат на екологічну складову, які забезпечать найбільше інтегральне питоми споживання. При цьому модель враховує не лише динаміку розвитку економіки, а й мету цього розвитку. Кількісне визначення оптимального варіанта розвитку економіки за допомогою побудованої моделі пов'язане з використанням апарату теорії оптимального керування [9].

Задача оптимального керування (3)-(9) завдяки присутності в ній екологічного обмеження (6) належить до класу складних задач. Для її подальшого дослідження проведемо деякі перетворення.

З рівняння (6) та (7) досліджуваної моделі отримуємо:

$$U = \frac{k}{n}Y - \frac{1}{n}Q^s = \frac{k}{n}Mf\left(\frac{R}{M}\right) - \frac{1}{n}Q^s.$$

Враховуючи отриманий результат та рівність (5) моделі, приходимо до умови:

$$Mf\left(\frac{R}{M}\right) = bI + C + \frac{k}{n}Mf\left(\frac{R}{M}\right) - \frac{1}{n}Q^s$$

або

$$\left(1 - \frac{k}{n}\right)Mf\left(\frac{R}{M}\right) = bI + C - \frac{1}{n}Q^s.$$

Звідси визначаємо обсяг кінцевого споживання:

$$C = \left(1 - \frac{k}{n}\right)Mf\left(\frac{R}{M}\right) - bI + \frac{1}{n}Q^s.$$

З метою приведення отриманої моделі до загальної постановки задачі оптимального керування введемо нові змінні:

$$\rho = \frac{M}{R^s}, \quad \sigma = \frac{I}{R^s}, \quad u = \frac{bI}{Y}, \quad v = \frac{R}{R^s}, \quad \omega^s = \frac{Q^s}{R^s}.$$

Це дозволяє переписати підінтегральну функцію (3) у вигляді:

$$\frac{C}{R^s} = \left(1 - \frac{k}{n}\right) \frac{M}{R^s} f\left(\frac{R}{M}\right) - b \frac{I}{R^s} + \frac{1}{n} \frac{Q^s}{R^s} = \left(1 - \frac{k}{n}\right) f\left(\frac{v}{\rho}\right) \rho - u f\left(\frac{v}{\rho}\right) \rho + \frac{1}{n} \omega^s.$$

Зміна за часом нової фазової змінної задачі  $\rho$  відбувається через співвідношення:

$$\begin{aligned} \frac{d\rho}{dt} &= \frac{\frac{dM}{dt} R^s - M \lambda R^s}{(R^s)^2} = \frac{1}{R^s} \frac{dM}{dt} - \lambda \frac{M}{R^s} = \frac{I}{R^s} - (\lambda + \mu) \frac{M}{R^s} = \\ &= \frac{u}{b} f\left(\frac{v}{\rho}\right) \rho - (\lambda + \mu) \rho \end{aligned}$$

Таким чином, в нових змінних модель (3)-(9) набуде вигляду:

$$\int_0^T \left(1 - u - \frac{k}{n}\right) f\left(\frac{v}{\rho}\right) \rho dt + \frac{1}{n} \int_0^T \omega^s ds \rightarrow \max, \quad (10)$$

$$\frac{d\rho}{dt} = \frac{u}{b} f\left(\frac{v}{\rho}\right) \rho - (\lambda + \mu) \rho, \quad \rho(0) = \rho_0, \quad (11)$$

$$0 \leq u \leq 1, \quad 0 \leq v \leq 1. \quad (12)$$

Застосуємо до отриманої еколого-економічної моделі загальний алгоритм дослідження задач оптимального керування на основі принципу максимуму Понтрягіна.

Функція Гамільтона для досліджуваної задачі має вигляд:

$$H = \left(1 - \frac{k}{n} - u\right) f\left(\frac{v}{\rho}\right) \rho + p \left(\frac{u}{b} f\left(\frac{v}{\rho}\right) \rho - (\lambda + \mu) \rho\right) =$$

$$= \left( \left( \frac{p}{b} - 1 \right) u + 1 - \frac{k}{n} \right) f \left( \frac{v}{\rho} \right) \rho - p(\mu + \lambda) \rho.$$

Спряжена змінна задовольняє задачу

$$\frac{dp}{dt} = -\frac{\partial H}{\partial \rho} = (\lambda + \mu) p - \left( \frac{p}{b} u + 1 - \frac{k}{n} - u \right) \cdot \left( f \left( \frac{v}{\rho} \right) - \left( \frac{v}{\rho} \right) f' \left( \frac{v}{\rho} \right) \right),$$
$$p(T) = 0.$$

З аналізу функції Гамільтона (існування максимуму) випливає, що оптимальне керування  $u = 0$ , якщо  $p < b$ ;  $0 < u < 1$ , якщо  $p = b$ ;  $u = 1$ , якщо  $p > b$ . Тобто існує точка перемикання  $p = b$ .

Завдяки властивостям виробничої функції  $f \left( \frac{v}{\rho} \right)$

функція Гамільтона зростає по  $v$ . Тому на оптимальній траєкторії  $v = 1$ , що відповідає умові повної зайнятості.

Розглянемо оптимальні програми у фазовому просторі. Вище лінії перемикання  $p > b$  точка рухається по траєкторії розв'язків системи

$$\frac{d\rho}{dt} = \frac{1}{b} f \left( \frac{1}{\rho} \right) \rho - (\lambda + \mu) \rho, \quad (13)$$

$$\frac{dp}{dt} = (\lambda + \mu) p - \left( \frac{p}{b} - \frac{k}{n} \right) \left( f \left( \frac{1}{\rho} \right) - \left( \frac{1}{\rho} \right) f' \left( \frac{1}{\rho} \right) \right).$$

Нижче лінії перемикання  $p < b$ :

$$\frac{d\rho}{dt} = -(\lambda + \mu) \rho,$$

$$\frac{dp}{dt} = (\lambda + \mu) p - \left( 1 - \frac{k}{n} \right) \left( f \left( \frac{1}{\rho} \right) - \left( \frac{1}{\rho} \right) f' \left( \frac{1}{\rho} \right) \right).$$

На лінії перемикання  $p = b$ :

$$\frac{d\rho}{dt} = \frac{\hat{u}}{b} f\left(\frac{1}{\rho}\right)\rho - (\lambda + \mu)\rho,$$

$$\frac{d\rho}{dt} = (\lambda + \mu)\rho - \left(1 - \frac{k}{n}\right) \left( f\left(\frac{1}{\rho}\right) - \left(\frac{1}{\rho}\right) f'\left(\frac{1}{\rho}\right) \right).$$

Стационарна точка моделі при  $\frac{d\rho}{dt} = 0$ ,  $\frac{dp}{dt} = 0$

визначається системою рівнянь

$$\hat{u} f\left(\frac{1}{\rho}\right) = b(\lambda + \mu),$$

$$f\left(\frac{1}{\rho}\right) - \frac{1}{\rho} f'\left(\frac{1}{\rho}\right) = \frac{1}{1 - \frac{k}{n}} b(\lambda + \mu).$$

Це дозволяє за знайденим з другого рівняння  $\rho$  визначити оптимальне керування  $\hat{u}$  з першого рівняння системи. А за відомим керуванням та фазовою змінною знайти максимум інтегрального кінцевого споживання (3) побудованої еколого-економічної моделі та обсяг валового випуску продукції в умовах обмежень на емісії парникових газів.

В монографії [10] побудовано фазову площину оптимальних траєкторій, яка визначається системою, подібною до системи (13), та доведено існування збалансованої траєкторії експоненціального зростання (магістралі). Ці результати переносяться і на систему (13). Це дозволяє знайти стійку стаціонарну точку еколого-економічної моделі (3)-(9), яка визначається рівнянням:

$$uf\left(\frac{1}{\rho}\right) = b(\lambda + \mu), \quad (14)$$

а двоїста змінна, що відповідає стаціонарній траєкторії,

$$p = \frac{\left(1 - \frac{k}{n}\right) \left( f\left(\frac{1}{\rho}\right) - \left(\frac{1}{\rho}\right) f'\left(\frac{1}{\rho}\right) \right)}{\lambda + \mu}. \quad (15)$$

З еколого-економічного аналізу отриманих залежностей випливає такий результат. Загальний горизонт планування запропонованої еколого-економічної системи складається з трьох відрізків, а саме: руху до стаціонарної точки, руху в режимі збалансованого розвитку (14)-(15) та переходу в кінцеву точку. При цьому траєкторія збалансованого експоненціального зростання або магістраль в цілому характеризує оптимальну програму еколого-економічного зростання тим краще, чим довший період збалансованого розвитку [11].

Таким чином, запропоновано модель поведінки виробника в умовах встановлених обмежень на обсяги викидів парникових газів. Економіко-математичний аналіз дозволив отримати стаціонарну траєкторію поведінки досліджуваної еколого-економічної системи. Як подальше дослідження питання розвитку економічної системи з обмеженнями на емісії парникових газів можна запропонувати її подальшу модифікацію з уточненням витрат на екологічний сектор. Наприклад, розгляд відповідної системи, в якій відображено поряд з основним виробництвом діяльність виробника у сфері утилізації частини забруднень.

Проведемо модельні розрахунки на основі запропонованої односекторної еколого-економічної моделі



(3)-(9). З метою конкретизації її екзогенних змінних будемо використовувати статистичні показники економіки України за 2008 рік, а у випадку відсутності відповідних даних – умовні значення.

Темп приросту пропозиції трудових ресурсів  $\lambda$  визначаємо як відношення об'єму зайнятих у 2008 році до відповідного показника 2007 року. Згідно даних таблиці

додатку А:  $\lambda = \frac{20972,3}{20904,7} \approx 1,003$ . Коефіцієнт приростної

фондоємності  $b$  визначає необхідний обсяг інвестиційних ресурсів для збільшення об'єму основних виробничих фондів на одиницю. Згідно даних таблиці додатку А значення інвестицій, основних виробничих фондів у 2007, 2008 роках становлять 222679 млн. грн., 198348 млн. грн. та 272074 млн. грн., 250158 млн. грн. відповідно. Розраховуємо параметр  $b$  як відношення приросту інвестицій до приросту капіталу:

$b = \frac{272074 - 222679}{250158 - 198348} \approx 0,95$ . В якості виробничої функції

будемо розглядати мультиплікативну виробничу функцію з параметрами  $A = 1$  – рівень виробничої продуктивності та  $\alpha$  – коефіцієнт еластичності випуску за обсягом задіяних потужностей, який будемо розраховувати як відношення приросту основних виробничих фондів до приросту випуску продукції. Згідно даним таблиці додатку А рівень валового випуску продукції у 2007 та 2008 роках становить 720731 млн. грн. та 948056 млн. грн. відповідно.

Параметр  $\alpha = \frac{250158 - 198348}{948056 - 720731} \approx 0,23$ . Враховуючи той

факт, що коефіцієнт ізносів нормативно визначається окремо для кожного виду діяльності, будемо розглядати його середньостатистичне значення  $\mu = 10\%$ . Коефіцієнт

пропорційності  $k$  визначаємо як відношення об'ємів емісій парникових газів 232,9 млн. т. та валового випуску продукції 948056 млн. грн.:  $k = \frac{232,9}{948056} \approx 0,000246$ .

Коефіцієнт пропорційності  $n$  дорівнює відношенню обсягу утилізованих парникових газів 21,7 млн. т. до об'єму залучених для цього фінансових ресурсів 2009,32 млн. грн.:  $n = \frac{21,7}{2009,32} \approx 0,0108$ .

Представимо введені екзогенні змінні односекторної еколого-економічної моделі (3-9) у вигляді таблиці.

Таблиця 1

Екзогенні змінні односекторної еколого-економічної моделі (3)-(9)

$b$	$\lambda$	$A$	$\alpha$	$\mu$	$k$	$n$
0,95	0,33	1	0,23	0,1	0,000246	0,0108

Джерело: Складено автором за даними: [12], [13], [14].

В умовах введених змінних визначимо значення стаціонарної змінної та керування згідно рівнянь (14-15):

$$\rho^{-0,23} + 0,23 \cdot \rho^{-2,23} = \frac{1}{1 - \frac{0,000246}{0,0108}} \cdot 0,95 \cdot (1,003 + 0,1),$$
$$\rho \approx 44,38,$$

$$\hat{u} \cdot \left( \frac{1}{44,38} \right)^{0,23} = 0,95 \cdot (0,33 + 0,1),$$
$$\hat{u} \approx 0,977.$$

За відомими значеннями фазової змінної та керування на стаціонарній траєкторії визначимо значення питомих змінних на стаціонарній траєкторії, а саме:  $y$  –

обсяг випуску на одного зайнятого,  $c$  – душеве кінцеве споживання,  $j$  – об'єм питомого фондоутворюючого продукту,  $u$  – витрат на екологічну складову,  $t$  – фондоозброєність. Останнє дозволяє перейти до основних ендогенних змінних моделі (3)-(9):  $Y, C, J, U, M$ .

*Таблиця 2*

Ендогенні змінні односекторної еколого-економічної моделі (3)-(9)

$y$	$c$	$j$	$u$	$t$
18,55	0,31	18,12	0,12	44,38
$Y$	$C$	$J$	$U$	$M$
389036,165	6501,413	380018,076	2516,676	930750,674

*Джерело: Складено автором самостійно.*

### **Висновки.**

Запропоновані вище еколого-економічні моделі дають можливість визначити оптимальні траєкторії розвитку макроекономічних систем, для яких екологічне обмеження у вигляді ліміту на викиди парникових газів розглядається як обмеження, а для інших як додатковий ресурс. При цьому розрахунки на їх основі дають значення основних максимально агрегованих економічних показників. До недоліків такого підходу належить обмеженість відображення структурної будови національної економіки, взаємодії напрямів економічної діяльності у питаннях виконання вимог КП. Останнє змушує перейти до розгляду балансового методу побудови еколого-економічних моделей.

### **Список використаних джерел**

1. Sustainable Innovation Forum, 2016. – [Elektronnyy resurs]. – Режим доступу: <http://www.cop21paris.org>
2. Ляшенко І.М. Економіко-математичні методи та моделі сталого розвитку. – К.: Вища школа, 1999. – 236с.

*Збірник наукових праць*

3. Canes M. Economic Modeling of Climate Change Policy. – Brussels: International Council for Capital Formation, 2002. – 17 p.
4. Research on Output Growth Rates and Carbon Dioxide Emissions of the Industrial Sectors of EU-ETS: Final Report; Oxford Economic Forecasting. – Oxford. – 2006. – 63 p.
5. Capros P. Climate Technology Strategies 2: The Macro-Economic Cost and Benefit of Reducing Greenhouse Gas Emissions in the European Union / P.Capros, P.Georgakopoulos, D.Van Regemorter, et. al; ZEW Economic Studies. – Vol. 4. – New York: Physica-Verlag Heidelberg, 1999. – 224 p.
6. Boehringer C., Rutherford T. The Cost of Compliance: A CGE Assessment of Canada's Policy Options under the Kyoto Protocol / C.Boehringer, T.Rutherford // World Economy. Volume 33 Issue 2, 2009, 211 p.
7. Ляшенко І.М. Моделювання динамічної ринкової рівноваги в умовах обмежень на викиди парникових газів / І.М. Ляшенко, А.М. Онищенко // Науковий вісник Київського національного торговельно-економічного університету, серія: економіка. – 2010. – №6. – С. 5–13.
8. Ильин С.С. О равновесии и пропорциональности в рыночной макроэкономике / С.С. Ильин, Ю.В. Брызгин // Экономика и коммерция. – 1996. – Вып. 2. – С. 5–17.
9. Основы теории оптимального управления: Учеб. пособие для экон. вузов / В.Ф. Кротов, Б.А. Лагоша, С.М. Лобанов, Н.И. Данилина, С.И. Сергеев; Под общ. ред. В.Ф. Кротова. – М.: Высш. шк., 1990. – 430 с.
10. Петров А.А. Опыт математического моделирования экономики / А.А.Петров, И.Г. Поспелов, А.А. Шананин. – М.: Энергоатомиздат, 1996. – 544 с.
11. Онищенко А.М. Побудова магістральної траєкторії розвитку еколого-економічної системи / А.М. Онищенко // Економіка: проблеми теорії та практики. Збірник наукових праць. – 2003. – Випуск 178. – С. 314-325.
12. Паливно-енергетичні ресурси України: статистичний збірник / Відповідальний за випуск А.О. Фризоренко. – К.: Державний комітет статистики України, 2011. – 444 с.
13. Статистичний щорічник України за 2007 рік: статистичний збірник / за редакцією О.Г. Осауленка – К.: Державний комітет статистики України, 2008. – 572 с.

14. Статистичний щорічник України за 2008 рік: статистичний збірник / за редакцією О.Г. Осауленка – К.: Державний комітет статистики України, 2009. – 567 с.

УДК 336.146

**О.П. Остапенко**

## **МОДЕЛЮВАННЯ РИЗИКІВ ВИКОНАННЯ ПРОГРАМ РОЗВИТКУ ОЗБРОЄННЯ ТА ВІЙСЬКОВОЇ ТЕХНІКИ В УМОВАХ ОБОРОННОЇ РЕФОРМИ В УКРАЇНІ**

*Наведена модель оцінки ризиків невиконання програми розвитку озброєння і військової техніки у Збройних Силах України, розроблена на основі методу експертних оцінок з наступним застосуванням дисперсійного методу кількісної оцінки ризику. Дана модель може бути використана під час розробки інтегрованої системи управління ризиками у Збройних Силах України, передбаченої Стратегічним оборонним бюлетенем.*

**Ключові слова** *ризик, бюджетна програма, оцінка ризику, озброєння і військова техніка, Збройні Сили України.*

*Приведена модель оценки рисков невыполнения программы развития вооружения и военной техники в Вооруженных Силах Украины, разработанная на основе метода экспертных оценок с последующим применением дисперсионного метода количественной оценки риска. Данная модель может быть использована при разработке интегрированной системы управления рисками в Вооруженных Силах Украины, предусмотренной Стратегическим оборонным бюллетенем.*