

О. А. Жуковська,

к. ф.-м. н., доцент, кафедра математичного моделювання економічних систем,  
Факультет менеджменту та маркетингу, Національний технічний університет  
України "Київський політехнічний інститут"

О. І. Трубінова,

магістр, кафедра математичного моделювання економічних систем,  
Національний технічний університет України "Київський політехнічний інститут",

## МОДЕЛЮВАННЯ ІННОВАЦІЙНИХ ПРОЦЕСІВ БІЗНЕС-ТЕХНОЛОГІЙ В УМОВАХ ІНТЕРВАЛЬНОЇ НЕВИЗНАЧЕНОСТІ

---

**У статті представлена міжгалузева модель взаємодії економіки та екології з урахуванням інновацій в інтервальному вигляді. Розроблено інструмент підтримки прийняття рішення щодо впровадження нововведень.**

**The article presents cross-sectoral model of the interaction of economy and ecology in the light of innovations in interval form. Designed a decision support tool for innovation.**

---

*Ключові слова: бізнес-процес, інтервальна невизначеність.*

### ВСТУП

Масовим явищем сьогодення є процес дифузії інновацій. Для визначення стратегії підприємства та прийняття управлінських рішень актуальним є питання оцінки ефективності впровадження вже існуючих розробок та порівняння їх між собою.

У літературі, зокрема в [1; 7], описана достатня кількість методів, за допомогою яких здійснюється порівняльна характеристика показників одних проектів з іншими, виявляються економічні переваги і привабливість проекту для його учасників.

Проте, найчастіше на практиці можливо оцінити необхідні для порівняння показники тільки з точністю до деякого інтервалу. Тому актуальною є задача побудови моделі та її дослідження з метою визначення доцільності впровадження інновацій в умовах інтервальної невизначеності, тобто у стані неповного знання про ефект від впровадженої інновації, коли відома лише його належність до деякого інтервалу [2].

### ПОСТАНОВКА ЗАДАЧІ

Метою роботи є побудова інтервальної моделі прийняття управлінського рішення щодо впровадження інновації в умовах інтервальної невизначеності на основі динамічної міжгалузевої моделі Леонтьєва-Форда.

Для розв'язання поставленої задачі у статті застосовувались сучасні методи інтервального аналізу, математичної статистики та теорії ймовірностей. Для розрахунку інтервальних величин використано пакет INTLAB для MATLAB, для візуалізації та інтерпретації отриманих результатів написана програма на мові PostScript, використано програми GhostsScript та Gsview.

### РЕЗУЛЬТАТИ ДОСЛІДЖЕННЯ

Результатом дослідження є розроблена методологія побудови інтервальної оцінки ефективності впровадженої інновації. Потрібно зазначити, що інноваційний ефект може бути різних типів: економічний, екологічний, соціальний, інституційний.

Серед моделей, що мають на меті відобразити взаємозв'язок цих ефектів важливе місце посідає динамічна міжгалузева модель взаємодії економіки та екології Леонт'єва-Форда.

Розглянемо підприємство з обсягами виробництва продукції:

$$x_1(t) = (x_1^1(t), x_2^1(t), \dots, x_N^1(t))^T \quad (1).$$

У процесі його діяльності відбувається забруднення навколишнього середовища, тому здійснюється виробництво зі зниження забруднювачів (очищення викидів), обсягом:

$$x_2(t) = (x_1^2(t), x_2^2(t), \dots, x_N^2(t))^T \quad (2).$$

Так як система динамічна, абсолютні прирости виробництва продукції складають:  $\dot{x}_1(t) = (\dot{x}_1^1(t), \dot{x}_2^1(t), \dots, \dot{x}_N^1(t))^T$ , абсолютні прирости виробництва зі зниження забруднювачів —

. Споживання продукції включаючи невикористане нагромадження: , а обсяги незнищених забруднювачів:  $c_2(t) = (c_1^2(t), c_2^2(t), \dots, c_N^2(t))^T$ .

Згідно [3], динамічна міжгалузева модель взаємодії економіки та навколишнього середовища Леонт'єва-Форда для певного регіону має вигляд:

$$(3),$$

де

— квадратна матриця коефіцієнтів прямих матеріальних затрат на виробництво продукції (включаючи також витрати на відновлення вибуття і капітальний ремонт основних виробничих фондів основного виробництва);

— прямокутна матриця коефіцієнтів прямих матеріальних затрат на знищення забруднювачів (сюди включають також затрати на відновлення вибуття і капітальний ремонт основних виробничих фондів допоміжного виробництва — очисних споруд);

— прямокутна матриця коефіцієнтів випуску забруднювачів основним виробництвом;

— квадратна матриця коефіцієнтів випуску забруднювачів допоміжним виробництвом — очисними спорудами;

— квадратна матриця коефіцієнтів капіталомісткості приростів основного виробництва;

— прямокутна матриця коефіцієнтів капіталомісткості приростів допоміжного виробництва [3].

На основі моделі (3) побудуємо модель оцінки доцільності впровадження інновації.

Відомо [4], що обсяг виробництва продукції можна розглядати як функцію від економічної ефективності та масштабу виробництва:

$$(4).$$

Звідки випливає, що приріст виробництва:

$$(5),$$

можливий як за рахунок збільшення масштабів ви-

робництва так і за рахунок збільшення ефективності виробництва в результаті введення інновації. Так як не планується змінювати обсяги виробництва за рахунок збільшення ефективності виробництва, то  $\dot{M}_1(t) = 0$ , а рівність (5) набуде вигляду:

$$(6).$$

Аналогічно, для зміни виробництва зі зниження забруднювачів у часі маємо:

$$\dot{x}_2(t) = \frac{dE_2(t)}{dt} M_2 \quad (7).$$

Для визначення  $x_1, x_2$  внаслідок впровадження інновації необхідно спочатку оцінити її ефективність. З цією метою потрібно опитати всі підприємства, які вже застосовують обрану нами інновацію. Однак, це не завжди можливо. Тому сформуємо методом Монте-Карло деяку частину опитуваних підприємств та визначимо ймовірність того, що інновація успішно використовується підприємствами, тобто обіцяний ефект  $\theta_i$  досягається.

Таким чином, модель оцінки  $E$  ефективності інновації при її впровадженні в масштабах досліджуваного регіону матиме вигляд:

$$(8),$$

де

$m$  — кількість сегментів економіки у досліджуваному регіоні (однорідних за своєю суттю підприємств),

;  $k_{ij}$  — кількість інноваційних технологій, що були впроваджені в досліджуваному регіоні за певний проміжок часу,

$k_{ij}$  — загальна кількість підприємств, що впроваджують  $i$ -ту інновацію у  $j$ -му секторі;

— ймовірність того, що  $i$ -та інновація успішно використовується підприємствами в  $j$ -му секторі економіки, тобто обіцяний ефект досягається, [5].

Модель (9) передбачає відомими точкові значення імовірнісних характеристик, тоді як на практиці, знаючи кількість підприємств, що впровадили  $i$ -ту інновацію  $b_j$  — та дослідивши кількість підприємств, що впровадили її успішно  $g_{ij}$ , можливо визначити тільки частоту

$p_{ij}^* = \frac{g_{ij}}{b_j}$  успішного використання підприємствами в  $j$ -му секторі економіки  $i$ -тої інновації.

Згідно з теорією імовірності [6], заміна невідомих імовірнісних характеристик, що фігурують в моделі (8), частково правомірна лише при достатньо великому обсязі досліджуваних підприємств; водночас неможливо опитати всі підприємства-споживачі, що беруть участь в оцінці економічного ефекту від впровадження інновації. Також не завжди можна точно оцінити обіцяний економічний ефект від впровадження інновації, який залежить від багатьох чинників. Тому виникла необхідність побудови інтервальної моделі оцінки економічного ефекту від використання нововведень, яка базується тільки на апріорних знаннях про частоту успішного впровад-

ження інновації на підприємствах та потребує лише знання частотних характеристик для побудови довірчого інтервалу:

$$I_y = \left[ \frac{p_y^* + \frac{t_\beta^2}{2b_j} - t_\beta \sqrt{\frac{p_y^*(1-p_y^*)}{b_j} + \frac{t_\beta^2}{4b_j^2}}}{1 + \frac{t_\beta^2}{b_j}}, \frac{p_y^* + \frac{t_\beta^2}{2b_j} + t_\beta \sqrt{\frac{p_y^*(1-p_y^*)}{b_j} + \frac{t_\beta^2}{4b_j^2}}}{1 + \frac{t_\beta^2}{b_j}} \right] \quad (9),$$

який з довірчою імовірністю  $\beta$  накрис невідоме значення імовірнісної характеристики впровадження  $i$ -ї інновації в  $j$ -му секторі економіці, — функція, обернена гаусівській функції розподілу:

$$F\left(\frac{1+\beta}{2}\right) [4].$$

Тоді оцінка зміни ефекту від впровадження інновації у досліджуваному регіоні за певний проміжок часу визначатиметься за формулою:

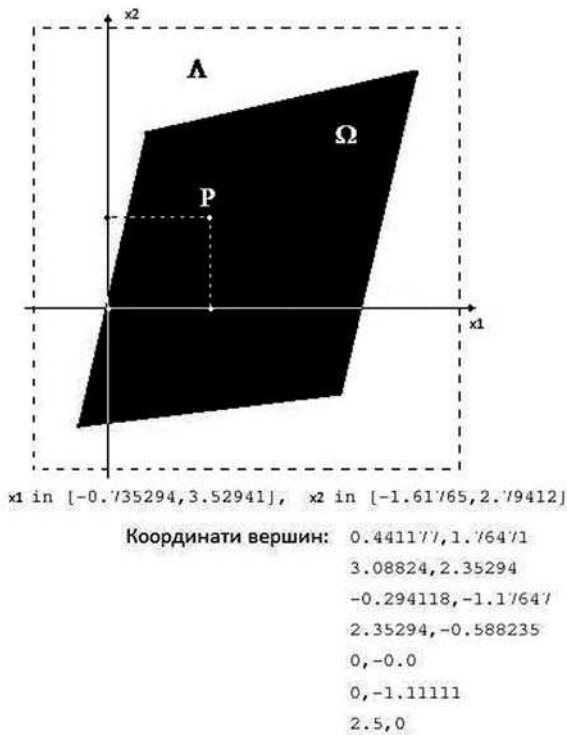
$$E = \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^m \Theta_i I_{ij} k_{ij} \quad (10).$$

Для випадку, коли цікавить інтервальне значення економічного ефекту від впровадження конкретної інновації ( $n = 1$ ) по підприємствах, в певному секторі ( ), формула (10) матиме вигляд:

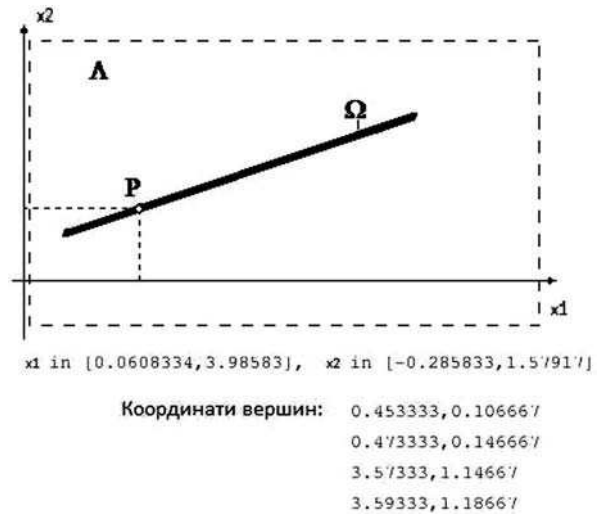
$$(11).$$

Аналіз екологічного ефекту проводиться аналогічно.

Запишемо міжгалузеву модель взаємодії економіки та навколишнього середовища з інтервальною оцін-



**Рис 1. Зображення області допустимих та оптимальних розв'язків. (Область допустимих розв'язків окреслена пунктиром, область оптимальних — зафарбована)**



**Рис. 2. Зображення області допустимих та оптимальних розв'язків. (Область допустимих розв'язків окреслена пунктиром, область оптимальних — зафарбована)**

кою інноваційного ефекту при :

$$(12),$$

або в матричному вигляді

$$(13),$$

де

$$\rightarrow \rightarrow$$

Модельний приклад.

Нові значення знаходимо за допомогою пакету для інтервальних обчислень INTLAB, для побудови розв'язку системи рівнянь (14) розроблена програма на мові PostScript.

В результаті отримуємо множини допустимих та оптимальних значень обсягів виробництва продукції  $x_1$  та обсягів виробництва зі знищення забруднювачів  $x_2$  [6].

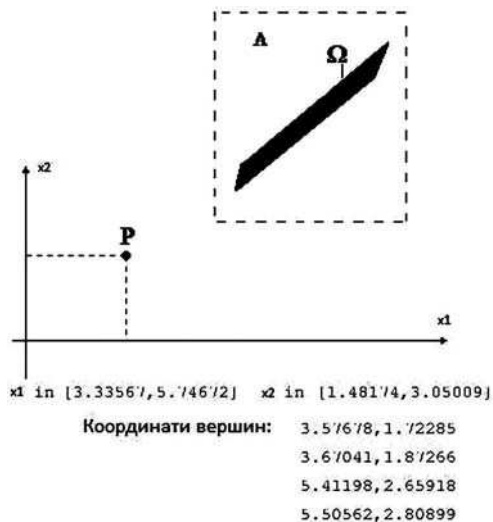
Для наочності результатів дослідження запропоновано три приклади.

На рис. 1 зображено множини допустимих та оптимальних значень обсягів виробництва продукції  $x_1$  та обсягів виробництва зі знищення забруднювачів  $x_2$  для інтервальної системи рівнянь (14) з такими значеннями

$$B = \begin{pmatrix} [0;1] \\ [-1;1.5] \end{pmatrix}.$$

Початкові умови обсягів виробництва продукції та обсягів виробництва зі знищення забруднювачів представлені на рисунку точкою  $P(x_1, x_2)$ .

З рис. 1 видно, що значна частина оптимальних розв'язків системи лежить поза межами першої чверті, а економічно доцільними вважаються лише розв'язки . Це означає, що можливе погіршення економічного та екологічного стану, що не задовольняє інтереси регіону [7]. Отже, використана у прикладі інновація не повинна бути розповсюджена на ньому.



**Рис. 3. Зображення області допустимих та оптимальних розв'язків. (Область допустимих розв'язків окреслена пунктиром, область оптимальних — зафарбована)**

Розглянемо тепер випадок, коли:

$$B = \begin{pmatrix} [0.2; 1.5] \\ [-0.03; -0.025] \end{pmatrix}.$$

Результат продемонстровано на рис. 2.

З рис. 2 видно, що незначна частина оптимальних розв'язків системи лежить нижче та лівіше початкового значення  $x_1, x_2 < P(x_1, x_2)$ . Це означає, що можливе погіршення економічного та екологічного стану, що не задовольняє інтереси регіону, але їх небагато. В той же час можливі і позитивні зміни, проте впровадження інновації є ризиковим.

Розглянемо ще один випадок:

$$B = \begin{pmatrix} [2; 3] \\ [-0.01; 0] \end{pmatrix}.$$

На рис. 3 представлений ще один результат роботи моделі для іншої інновації. Зрозуміло, що чим далі (вгору та вправо) від початку координат оптимальна область допустимих значень, тим більш пріоритетним є впровадження досліджуваної інновації, адже значення  $x_1, x_2$  там є більшими. Отже, використана у прикладі інновація може бути розповсюджена.

## ВИСНОВКИ

Побудована інтервальна модель прийняття рішення щодо впровадження інновації, коли зміна значення виробничих функцій досягається лише за рахунок впровадження інновацій, без зміни масштабів виробництва. Це є найбільш актуальним для сучасного інноваційного розвитку України. Представлена модель дозволяє оцінити результати попереднього впровадження інновацій, а також надає можливість візуального представлення усіх можливих станів обсягів виробництва та обсягів зниження забруднювачів після впровадження інновацій. Наведено модельні приклади, що відображають різні стани: небажане (висока ймовірність економічно невігідного стану після впровадження), можливе (прийнятне співвідношення кількості економічно вигідних станів до невігідних) і пріоритетне впровадження (усі можливі стани після впровадження задовольняють інтереси економічного суб'єкта).

### Література:

1. Микитюк П.П. Інноваційна діяльність: навч. посіб. — К.: ЦУЛ, 2009. — 392 с.
2. Жуковська О.А. Основи інтервального аналізу: навч. посіб. — К.: Освіта України, 2009. — 136 с.
3. Ляшенко І.М. Основи математичного моделювання економічних, екологічних та соціальних процесів: навч. пос. / Ляшенко І.М., Коробова М.В., Столяр А.М. — Тернопіль: Навчальна книга — Богдан, 2006. — 304 с.
4. Колемаев В.А. Математическая экономика: учебник для вузов. — М.: ЮНИТИ, 1998. — 240 с.
5. Жуковська О.А. Інтервальна модель оцінки ємності ринку / Жуковська О.А., Купка О.О. — К.: Науковій вісті НТУУ "КПІ", 2007. — №5. — С.10—15.
6. Вентцель Е.С. Теория вероятностей: учебн. пособ. — М.: Издательство "КноРус", 2010. — 664 с.
7. Прикладной интервальный анализ / Жолен Л., Кифер М., Дидри О., Вальтер Э.: — М.: Научно-издательский центр "Регулярная и хаотическая динамика", 2007 г. — 468 с.
8. Давіла Т. Працююча інновація: Як управляти нею, вимірювати її та здобувати з неї вигоду / Давіла Т., Епштейн М. Дж., Шелтон Р., пер. з англ.; за наук. ред. Т.Ф. Козицької — Дніпропетровськ: Баланс Бізнес Букс, 2007. — 320 с.

Стаття надійшла до редакції 11.01.2010 р.

## ПЕРЕДПЛАТА

**ВИДАННЯ МОЖНА ПЕРЕДПЛАТИТИ З БУДЬ-ЯКОГО МІСЯЦЯ!**

— ЧЕРЕЗ РЕДАКЦІЮ (ТЕЛ. 458-10-73);

— ЧЕРЕЗ ДП "ПРЕСА"  
(У КАТАЛОЗІ ВИДАНЬ УКРАЇНИ);

— ЧЕРЕЗ ПЕРЕДПЛАТНІ АГЕНТСТВА: "САММІТ", "ІДЕЯ", "БЛІЦ ІНФОРМ", "KSS", "МЕРКУРІЙ", "ПРЕСЦЕНТР", "ВСЕУКРАЇНСЬКА ПЕРЕДПЛАТНА АГЕНЦІЯ", "ФЛОРА", "ПЕРІОДИКА", "КОБЗАР", "ДІАДА", "ДОНБАС ДЕ-ЮРЕ", "ДІЛОВА ПРЕСА", "ФАКТОР"