

# НАУКОВІ ВІСТІ

## 2002-2

ЕКОНОМІКА  
ТА ОРГАНІЗАЦІЯ  
ВИРОБНИЦТВА

ЕЛЕКТРОНІКА,  
РАДІОТЕХНІКА ТА ЗАСОБИ  
ТЕЛЕКОМУНІКАЦІЙ

ЕНЕРГЕТИКА  
ТА ЕНЕРГОГЕНЕРУЮЧІ  
ТЕХНОЛОГІЇ

ІНФОРМАЦІЙНІ ТЕХНОЛОГІЇ,  
СИСТЕМНИЙ АНАЛІЗ  
ТА КЕРУВАННЯ

МАТЕРІАЛОЗНАВСТВО  
ТА МАШИНОБУДУВАННЯ

ПРИЛАДОБУДУВАННЯ  
ТА ІНФОРМАЦІЙНО-  
ВИМІРЮВАЛЬНА ТЕХНІКА

ПРОБЛЕМИ  
ЕНЕРГОЗБЕРЕЖЕННЯ

ПРОБЛЕМИ ХІМІЇ  
ТА ХІМІЧНОЇ ТЕХНОЛОГІЇ

СОЦІАЛЬНІ ТА ГУМАНІТАРНІ  
ПРОБЛЕМИ ОСВІТИ

ТЕОРЕТИЧНІ ТА ПРИКЛАДНІ  
ПРОБЛЕМИ ФІЗИКО-  
МАТЕМАТИЧНИХ НАУК

НАЦІОНАЛЬНОГО  
ТЕХНІЧНОГО  
УНІВЕРСИТЕТУ  
УКРАЇНИ

«КИЇВСЬКИЙ  
ПОЛІТЕХНІЧНИЙ  
ІНСТИТУТ»





УДК 330.132: 330.4: 368.025.5

Є.В. Бридун, В.В. Новицький

## МОДЕЛІ ВИБОРУ СТРАХОВОЇ СУМИ В СИСТЕМІ ЕКОЛОГІЧНОГО СТРАХУВАННЯ

## Вступ

Існуючий механізм природокористування України дозволяє говорити про обмеження відшкодування на попередження і ліквідацію надзвичайних екологічних ситуацій та екологічних аварій. Ці відшкодування, як правило, мають страховий характер і повинні здійснюватись через систему екологічного страхування, механізм та умови якого розглянуто в працях [1, 2]. Важливе значення в страхуванні має вибір оптимальної страхової суми, що б могла покривати ринкову вартість (ціну) ризику, якого зазнають окремі громадяни (або суспільство в цілому) внаслідок певних видів впливу на навколишнє середовище. Цей вибір залежить від схильності до ризику особи, яка приймає рішення про застосування страхового методу відшкодування збитків.

## Основні підходи до вимірювання збитків, заподіяних навколишньому середовищу

Ризик впливу на навколишнє природне середовище (НПС) визначається сукупністю всіх можливих наслідків і розподілом їх ймовірності. Він залежить від величини впливу, або її середнього значення, і включає в себе очікувані значення всіх можливих наслідків та відповідні ймовірності їх реалізації, тобто вартість ризику є таким же очікуваним (вірогідним) показником, як й інші показники промислових об'єктів. В такому контексті основне положення екологічної економіки полягає в тому, що вартість (ціна) екологічного ризику, пов'язаного з певним шкідливим викидом, або будь-яким іншим екологічним впливом, дорівнює грошовій сумі, яку середньостатистичний індивідуум мав би заплатити за уникнення ризику, або, навпаки, сумі компенсації, яка була б потрібна, щоб спонукати його до такого ризику добровільно [3, 4]. Це й є той ризик, який сприймається всіма членами суспільства. Економічне значення екологічних ризиків може базуватися на ряді різних способів його вимірювання. Одним із загальноприйнятих способів ви-

мірювання витрат, пов'язаних із збитками НПС, є вартість компенсації або пом'якшення наслідків.

Іншим способом оцінки вартості збитків є вартість запобігання (контролю) причині впливу, який потребує оцінки вартості зниження викидів до нуля або до певного безпечного рівня, при якому немає наслідків впливу.

В загальному випадку суспільство бажає платити за мінімальну соціальну вартість одного з варіантів виробництва. Однак типова проблема в аналізі збитків НПС полягає у визначенні вартості залишкових екологічних ризиків після очищення викидів. Оскільки компанії не враховують вартості залишкового збитку НПС, то вони й не вибирають заходів контролю викидів на основі потенційної корисності для суспільства. В них нема ніякого інтересу платити за заходи додаткового контролю більше, ніж вимагають регулюючі органи.

Слід зазначити, що потенційна вигода від використання контролю дорівнює вартості збитків, які (як і залишкові) необхідно оцінити. Не можна визначати корисність контролю, прирівнюючи його до витрат на здійснення контролю. Тому одним із найважливіших завдань оцінки вартості збитків є визначення економічно ефективного рівня контролю. Це саме той збиток, який оцінюється за допомогою методів екологічної економіки. Наступний спосіб вимірювання збитку — визначення економічних витрат (вартості збитку), пов'язаних з впливом на навколишнє середовище відповідного варіанта виробництва, наприклад електроенергії (повного паливного циклу).

Оцінку вартості екологічних ризиків здійснюють за допомогою методів, які ґрунтуються на згоді платити (ЗП) і згоді отримувати компенсацію (ЗК). В цих методах вигода або витрати визначаються, як правило, максимумом ЗП або мінімумом ЗК. Їх вибір пов'язаний з визначенням прав власності, які для багатьох суспільних (що використовуються колективно) товарів і послуг (у тому числі й природних ресурсів) не завжди можна чітко визначити. По суті, методи ЗП і ЗК — це розвиток ринкових цін на товари і послуги (коли покупець “згодний платити”, а продавець “згодний на відповідну грошову компенсацію”), на екологічні блага або товари й послуги (включаючи ризики збитку), які не мають ринку.

Ризик визначається набором всіх можливих наслідків на збурення навколишнього середовища і відповідних ймовірностей реалізації



цих наслідків. Виведення функції ризику, яка описує фізичні, хімічні, біологічні, психологічні та інші наслідки на різні види впливів, є серйозною проблемою для фахівців. І тому складність прогнозування агрегованих наслідків екосистеми на збурення навколишнього середовища при оцінці може стати найбільшою перешкодою.

Більшість оцінок, що використовуються при аналізі збитків НПС від діяльності об'єктів, є прогнозними (очікуваними, найвірогіднішими) величинами, які часто в основі мають експертні висновки [5]. Деякі з них пов'язані з визначеними та цілком передбачуваними наслідками, які добре описуються певними фізичними закономірностями. Інші оцінки є статистично обґрунтованими з різною мірою точності (що підтверджуються досвідом експлуатації об'єктів).

Індивідууми, які зазнають ризику, можуть, однак, сприймати його по-різному. Зокрема, деякі наслідки, які фахівці вважають неістотними, можуть непокоїти громадськість. Аналогічно, ймовірності реалізації певних небажаних наслідків можуть здаватися набагато більшими, ніж насправді. Ця невідповідність між уявленим і дійсним ризиком може ініціювати завищену величину "згоди платити" за те, щоб уникнути уявного ризику, що перевищує дійсне його значення. Відповідно, на економічну поведінку індивідуумів може безпосередньо впливати їх сприйняття ризику.

Істотне значення в економічних оцінках ризику має те, що суспільство ставиться негативно до додаткового некомпенсованого ризику [6]. Це не означає, що йому не подобаються тільки недобрі наслідки. Скоріше за все такі наслідки набагато "гірші", ніж еквівалентні позитивні – "кращі". Неприйняття ризику є одним із пояснень іноді істотної розбіжності між величинами ЗК і ЗП [7].

### Основні припущення і моделі вибору страхової суми

Оскільки страхування – один із засобів, що пом'якшує негативні наслідки ризику, то дуже важливо оцінити величину майбутніх збитків, завданих НПС та третім особам, від яких залежатиме страховий внесок.

Розглянемо випадок, коли підприємство (суб'єкт господарювання) хоче застрахувати певну частку майбутніх збитків (страхова сума)  $x$  від загальної можливої величини збитків  $S$ , завда-

них НПС. З цією метою підприємство сплачує страховий внесок  $rx$  страховій компанії, а в разі екологічної аварії отримує від неї винагороду  $qx$  (згодом компенсує збитки, завдані НПС та третім особам). Якщо особа, яка приймає рішення (ОПР), на підприємстві має інформацію про ймовірність ненастання страхової події  $p$  (ймовірність настання події  $(1 - p)$ ), то модель визначення частки страхової суми  $x$  має вигляд [8]

$$F(x) = pU(S - rx) + (1 - p)U(qx) \rightarrow \rightarrow \max, 0 \leq x \leq S, \quad (1)$$

де  $U(x)$  – функція корисності власника активу.

Особа, яка іде на ризик (підписує контракт), при якому вона має шанси отримати великий прибуток або зазнати збитків (фінансового провалу), як правило, іде на страхування контракту, погоджуючись з певною втратою відносно невеликої суми грошей (страхового внеску) на противагу комбінації невеликої ймовірності великої втрати і великою ймовірністю уникнення втрат. Спадаюча корисність і максимізація очікуваної корисності є основною мотивацією звернення до послуг страхового бізнесу.

Функція корисності залежить від схильності або несхильності до ризику особи, яка приймає рішення. Ставлення до ризику визначаються за допомогою означень.

Особа, яка приймає рішення, *не схильна до ризику*, якщо вона бажає отримати прибуток у будь-якому випадку (ймовірність отримати прибуток дорівнює одиниці). Міра несхильності до ризику в точці  $x$  визначається за допомогою функції несхильності  $R(x)$ , яка виражається формулою [8, 9]

$$R(x) = -\frac{U''(x)}{U'(x)}, \text{ або } R(x) = -\frac{d[\ln U'(x)]}{dx}.$$

Особа, яка приймає рішення, *схильна до ризику*, якщо вона виявляє бажання іти на ризик для того, щоб в цьому випадку отримати гарантований прибуток певного розміру.

Розглянемо реалізацію деяких моделей для кількох видів функції корисності  $U(x)$ .

1. Функція корисності  $U(x) = \frac{x}{S}$  лінійна, що відповідає нейтральності до ризику ОПР [9].

2. Функція корисності  $U(x) = \left(\frac{x}{S}\right)^2$  нелінійна, тобто ОПР у цьому випадку не схильна до ризику [9].



3. Функція корисності має вигляд  $U(x) = 1 - \frac{(x-S)^2}{S^2}$  (статистична модель з нелінійним загальним критерієм очікуваної корисності). Для цієї функції корисності маємо

$$U'(x) = -\frac{2(x-S)}{S^2}; \quad U''(x) = -\frac{2}{S^2};$$

$$r(x) = -\frac{U''(x)}{U'(x)} = -\frac{2/S^2}{2(x-S)/S^2} = -\frac{1}{x-S} > 0,$$

тобто особа, яка приймає рішення, в цьому випадку не схильна до ризику.

Отже, функція, для якої треба знайти найбільше значення, набуває вигляду

$$F(x) = p \left( 1 - \frac{r^2 x^2}{S^2} \right) + (1-p) \left( 1 - \frac{(qx-S)^2}{S^2} \right).$$

Обчислимо  $F(0) = p - pr^2 - q^2 + 2q + pq^2 - 2pq$ ;  $F(S) > F(0)$ , якщо  $p > 0$ ;  $2q + pq^2 - 2pq - pr^2 - q^2 > 0$ , тобто якщо  $p > \frac{q^2 - 2q}{q^2 - 2q - r^2} > 1$ .

**Висновок 1.** Оскільки  $F(S) < F(0)$ , то страхування всього активу  $S$  для ОПР з функцією корисності, що розглядається, є недоцільним.

Дослідимо тепер функцію  $F(S)$  всередині інтервалу  $[0; S]$ . Для цього обчислимо похідну  $F'(x) = -\frac{2}{S}(pr^2 x + (1-p)(qx-S)q)$ . Прирівнявши її до нуля і розв'язавши відповідне рівняння, отримаємо

$$x = \frac{(1-p)qS}{pr^2 + (1-p)q^2}. \quad (2)$$

Одержане значення є шуканою точкою максимуму функції  $F(x)$  при умові, що виконується нерівність

$$1 \geq \frac{(1-p)q}{pr^2 + (1-p)q^2},$$

тобто тоді, коли ми потрапляємо в область значення функції  $F(x)$ :  $0 < x/S < 1$ ,  $0 < p < 1$ ,  $0 < q < 1$ ,  $0 < r < 1$ . В графічному вигляді це показано на рис. 1. Графік побудовано після здійснення перетворень

$$\frac{x}{S} = \frac{(1-p)q}{pr^2 + (1-p)q^2}.$$

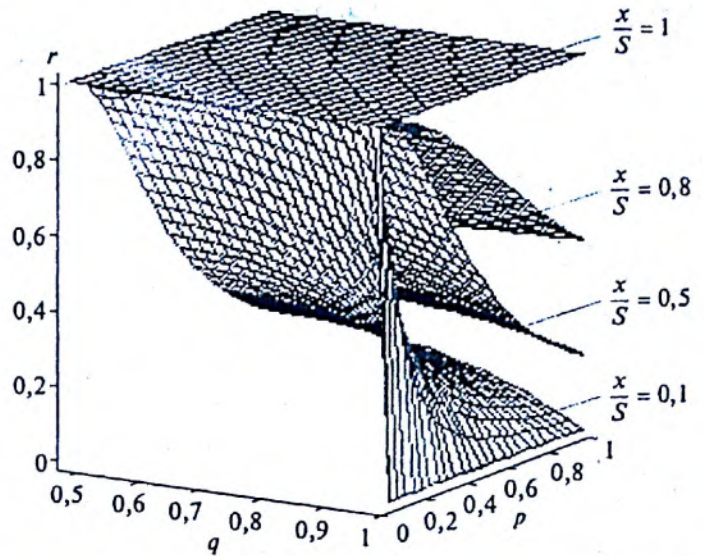


Рис. 1. Графік залежності ймовірності ненастання страхової події від страхового внеску і страхового відшкодування

Поклавши  $x/S = 1$  і побудувавши графік за параметрами  $r, q, p$  (див. рис.1), значення, які не визначені, знаходяться під "сіткою" воріт (під значенням функції  $x/S = 1$ ). Розглянуто випадки, коли:  $x/S = 1$ ;  $x/S = 0,8$ ;  $x/S = 0,5$ ;  $x/S = 0,1$  [11].

**Висновок 2.** Для заданої функції корисності страхова частка активу  $x$  визначається формулою (2). Відмова від страхування ( $x = 0$ ) можлива лише в разі, коли  $p = 1$ , тобто коли є повна гарантія недоторканості активу. Якщо ж  $p = 0$ , то треба повністю застрахуватись на можливу суму збитків. Наприклад, якщо актив  $S = 10000$  умовних грошових одиниць (у.г.о.), то страхувальник має заплатити 2,5% страхової частки, тобто при  $r = 0,025$  страхова компанія зобов'язується компенсувати 90% вартості застрахованого активу в разі його втрати  $q = 0,9$ , ймовірність ненастання страхової події  $p = 0,996$ , тоді, згідно з отриманою формулою (2), страхова сума  $x$  дорівнюватиме 9446,6 у.г.о.

В запропонованому прикладі було показано, що дана модель для розглянутої функції корисності "не працює", якщо ймовірність ненастання страхової події  $p$  менша 0,993 ( $0,993 < p \leq 1$ ). Отже, модель має обмеження на параметри, які чітко зображено на рис. 1 [12].

4. Аналогічно досліджується випадок, коли функція корисності має вигляд  $U(x) = \sqrt{x/S}$  (статистична модель з нелінійним загальним критерієм очікуваності).



Розв'язання задачі зводиться до дослідження найбільшого значення функції  $F(x) = p \times$

$$\times \sqrt{\frac{S-rx}{S}} + (1-p) \sqrt{\frac{qx}{S}}.$$

Опускаючи алгебраїчні викладки, наведемо кінцевий результат. При  $0 < p < 1$  страхова сума  $x$  визначається за формулою

$$x = \frac{qS(1-p)^2}{p^2r^2 + rq(1-p)^2}. \quad (3)$$

Після проведення перетворень матимемо

$$\frac{x}{S} = \frac{q(1-p)^2}{p^2r^2 + rq(1-p)^2}.$$

Поклавши  $\frac{x}{S} = 1$ , побудуємо графік за параметрами  $r, q, p$  (рис. 2), визначивши, що дана модель діє тільки в залежності від параметрів  $p, q$  (рис. 3).

5. Випадок, коли міра неохочності до ризику стала,  $k = \text{const}$  [9].

Розглянуті випадки п. 3 і 4 вигідні для фірми (підприємства) з точки зору визначення страхової суми, якщо ОПР не схильна до ризику.

На практиці інколи неможливо точно визначити ймовірність ненастання страхової події  $p$ . Тоді варто розглянути випадок, коли  $p$  знаходиться в інтервалі  $[p_1; p_2]$ . Застосовуючи методи інтервального аналізу [13], знаходимо інтервальні значення для ОПР, яка не схильна до ризику рівняння (2).

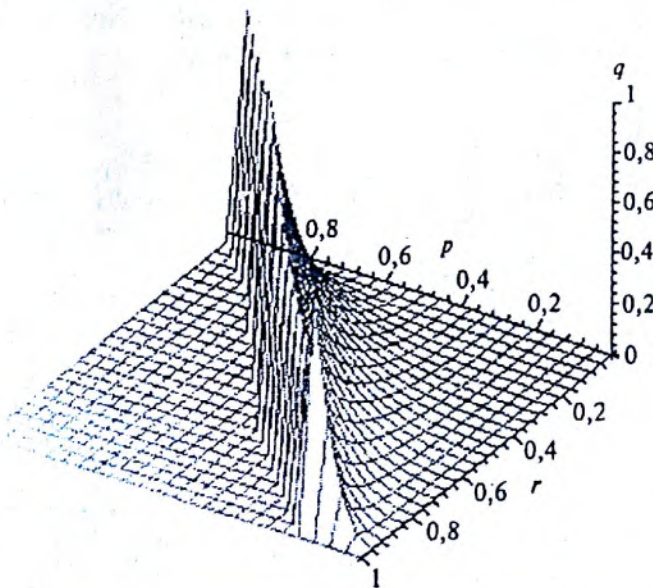


Рис. 2. Графік залежності ймовірності недоторканості активу від страхового внеску і страхового відшкодування

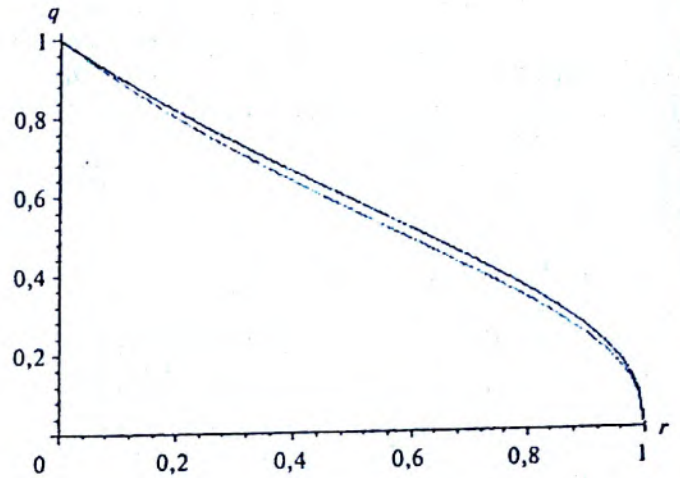


Рис. 3. Графік залежності ймовірності недоторканості активу від страхового внеску

Використовуючи результати інтервального аналізу [13] формули (2) і (4), після проведення перетворень матимемо

$$\begin{aligned} x &= \frac{(1-p)qS}{r^2 - (1-p)r^2 + (1-p)q^2} = \\ &= \frac{qS}{r^2 / (1-p) + q^2 - r^2} = \\ &= \frac{qS}{r^2 [1/(1-p_1); 1/(1-p_2)] + q^2 - r^2} = \\ &= \frac{qS}{[q^2 - r^2 + r^2 / (1-p_2); q^2 - r^2 + r^2 / (1-p_1)]}. \end{aligned}$$

Далі для випадків неохочності до ризику ОПР визначимо, на якому проміжку знаходиться страхова сума (алгебраїчний розв'язок рівняння (2)):

$$x = [x_1, x_2] = qS \times \left[ \frac{1}{q^2 - r^2 + r^2 / (1-p_2)}; \frac{1}{q^2 - r^2 + r^2 / (1-p)} \right].$$

Розглянемо приклад визначення страхової суми за формулою (4). Нехай ймовірності ненастання страхової події  $p = [p_1, p_2] = [0,9956; 0,9999]$  та інші значення параметрів аналогічні тим, що застосовувались у прикладі п. 3. Тоді визначений інтервал страхової суми буде таким:  $x = [x_1, x_2] = [1274,9; 9446,6]$ .



## Висновки

Різні підходи до оцінки вартості ризику впливу на навколишнє середовище не дають можливості визначити оптимальну страхову су-

му в системі екологічного страхування. Тому для цих досліджень запропоновано застосування функції корисності, в тому числі й в інтервальному численні, залежно від особи, що приймає рішення.

Е.В. Бридун, В.В. Новицкий

МОДЕЛИ ВЫБОРА СТРАХОВОЙ СУММЫ В СИСТЕМЕ ЭКОЛОГИЧЕСКОГО СТРАХОВАНИЯ

Рассматриваются модели выбора оптимальной страховой суммы в зависимости от лица, которое принимает решение о применении системы экологического страхования. Проанализированы области определения функций для различных моделей функции полезности. На основе анализа имеющихся данных предложено применение интервального анализа для определения страховых сумм.

Ye.V. Brydun, V.V. Novitsky

CHOICE MODELS OF THE INSURANCE SUM IN THE SYSTEM OF ECOLOGICAL INSURANCE

Models of choice of the optimum insurance sum depending on the person who makes a decision on application of the system of ecological insurance are considered. The degree of definition of the functions for different models of the utility function is analysed. On the basis of the analysis of the available data the applications of interval calculation to definite the insurance sums are offered.

1. *Моткин Г.А.* Основы экологического страхования. — М.: Наука, 1996. — 192 с.
2. *Бридун Е.В., Новицкий В.В.* Необходимость та шляхи впровадження екологічного страхування в Україні // Науковий вісник АДПСУ. — 2000. — №3 (9). — С. 60–67.
3. *Viscusi W.* Toward a Diminished Role for Tort Liability: Social Insurance, Government Regulation, and Contemporary Risks to Health and Safety // *Yale Journal on Regulation.* — 1989. — Vol. 6. — P. 22–24.
4. *Viscusi W.* Fatal Tradeoffs: Public and Private Responsibilities for Risk. — N. Y., Oxford: Oxford University Press, 1995. — 306 p.
5. *Gregory R., Mendelsohn R., Slovic P.* Review of Uncertainty and Risk in BPA-Sponsored Anal of Energy Resources. Bonneville Power Administration. — Portland: OR, 1987.
6. *Kahneman D., Tversky A.* Prospect Theory: An Analysis of Decision Under Risk // *Economet.* — 1979. — Vol. 47, N2.— P. 45–50.
7. *Carson R., Navarro P.* Natural Resources Damage Assessment // *Natural Resources Journal.* — 1988. — P. 815.
8. *Вітлінський В.В., Наконечний С.І.* Ризик у менеджменті. — Київ: Борисфен, 1996. — 336 с.
9. *Олексюк О.С.* Системи підтримки прийняття фінансових рішень на мікрорівні. — Київ: Наук. думка, 1998. — 507 с.
10. *Andreu Mas-Colell, Michael D. Whinston, Jerr R. Green.* Microeconomic Theory // N. Y.: Oxford University Press, 1995. — P. 199–207.
11. *Бридун Е.В.* Дослідження математичної моделі оптимального страхування основних та оборотних фондів за допомогою пакета Maple // Тези конф. "Проблеми впровадження інформаційних технологій в економіці та бізнесі". — Ірпінь: АДПСУ, КНЕУ, 2000. — С. 200–201.
12. *Бридун Е.В., Новицкий В.В.* Функція корисності для моделі оптимального страхування власника активу// Тези конф. "Abstracts 3 International school on Applied Statistics, Financial and Actuarial mathematics", September, 4–13. — 2000. — С. 14.
13. *Алефельд Г., Херцбергер Ю.* Введение в интервальные вычисления / Пер. с англ. — М.: Мир, 1987. — С. 16–31.

Рекомендована Радою факультету менеджменту та маркетингу НТУУ "КПІ"

Надійшла до редакції  
28 січня 2002 року