

В. Б. Войцеховський, доктор економічних наук, професор
Буковинський університет, Чернівці

В. В. Войцеховська, кандидат економічних наук
Національний університет «Львівська політехніка», Львів

МЕТОДИ КІЛЬКІСНОГО АНАЛІЗУ ІННОВАЦІЙНИХ ПРОЦЕСІВ ЕКОНОМІЧНОГО РОЗВИТКУ

Aims at analyzing rates of increase of resource-saving during the process of innovative development. Aiming the following was proposed an alternative approach based at proven indicator of innovativity. The economical-mathematic model of optimization of investments distribution has been developed in order to decrease air pollution. The model has been interpreted according to the data of polish voevodships.

Key words: rates of increase, innovation, indicator of innovativity, investments, resources, distribution, optimization, economical-mathematic model.

Розглядаються методи економічного аналізу динаміки ресурсівіддачі у процесі інноваційного розвитку. Обґрунтовується методологічний підхід до аналізу, котрий базується на використанні запропонованого показника інноваційності техніки. Для цілей оптимізації інноваційного розвитку використовується розроблена нелінійна економіко-математична модель, яка інтерпретується на прикладі розподілу фінансових засобів з метою впровадження інноваційних проектів зі зменшення забруднення навколишнього середовища.

Ключові слова: темпи зростання, інновації, показник інноваційності, інвестиції, ресурси, оптимізація, економіко-математична модель.

Сучасному економічному розвитку дедалі більше притаманна тенденція інтенсифікації впровадження інновацій у різних сферах економічної діяльності. Важливими завданнями при цьому виступають вимірювання та оцінювання інноваційних процесів з метою вибору оптимальних варіантів їх реалізації. У даному напрямку проводяться активні наукові дослідження у країнах-членах Європейського Союзу. Згідно з CIS (програма статистичних досліджень інновацій), проводиться порівняння та ранжування інноваційної активності за регіонами та секторами економіки Європи.

Аналіз інноваційних процесів повинен базуватись на певних теоретичних положеннях та практичних підходах щодо оцінки статистичних даних. Із цією метою перш за все можуть бути використані економетричні залежності, зокрема, лінійні функції, які описують залежність обсягів продукції від двох факторів – вартості основних засобів та кількості працюючих:

$$P = b(Ln + F), \quad (1)$$

де P – обсяги продукції,

n – кількість працюючих ,

F – вартість основних засобів.

Можна довести, що така лінійна функція матиме місце, коли в процесі виробництва продукції одночасно використовуються стара техніка та нове інноваційне устаткування

[1]. Тоді в лінійній функції константи b і L визначатимуться із використанням даних про вартість та продуктивність одиниць техніки:

$$b = \frac{P_2 - P_1}{F_2 - F_1}, \quad L = \frac{\frac{F_2}{P_2} - \frac{F_1}{P_1}}{\frac{1}{P_1} - \frac{1}{P_2}}. \quad (2)$$

Слід підкреслити, що параметр L характеризує вартість заміщення основними засобами одного працюючого, а параметр b – ефективність зваженої суми двох ресурсів – праці і капіталу.

Динамічний варіант лінійної залежності (1) має такий вигляд:

$$\Delta\eta_P = \frac{F^*}{L + F^*} \Delta\eta_F + \frac{L}{L + F^*} \Delta\eta_N, \quad (3)$$

де $\Delta\eta_P, \Delta\eta_F, \Delta\eta_N$ - темпи приросту продукції, вартості основних засобів та кількості працюючих;

F^* - фондоозброєність одного працюючого у базовому періоді.

Із позиції оцінки інноваційності економічного розвитку важливим є аналіз динаміки зростання продуктивності праці. Остання може бути охарактеризована різницею темпів росту обсягів продукції та кількості працюючих. Відповідна різниця може бути визначена із використанням залежності (3):

$$\Delta\eta_P - \Delta\eta_n = \frac{F^*}{L + F^*} (\Delta\eta_F - \Delta\eta_n). \quad (4)$$

Таким чином, ріст продуктивності праці обумовлюється зростанням її фондоозброєності. У залежності від відношення $\frac{F^*}{L + F^*}$, котре може бути більшим ($L < 0$) або меншим ($L > 0$) від одиниці, зростання продуктивності праці випереджує або повільніше зростає, ніж фондоозброєність. У варіанті розвитку, в якому заміщення праці не потребує додаткового капіталу ($L = 0$), темпи зростання продуктивності та фондоозброєності праці є однаковими.

Свого часу Лауреат Нобелівської премії Соллоу запропонував методологічний підхід до оцінки впливу технологічних змін на зростання продуктивності праці [2]. Безпосередньо була використана така залежність динамічного характеру:

$$\frac{\Delta y}{y} = \frac{\Delta A}{A} + w_k \frac{\Delta k}{k}, \quad (5)$$

де $\frac{\Delta y}{y}$ - темпи приросту продуктивності праці;

$\frac{\Delta A}{A}$ - темпи приросту фактора технологічних змін;

w_k - частка нагромадження капіталу;

$\frac{\Delta k}{k}$ - темпи приросту капіталоозброєності праці.

Згідно з розрахунками Соллоу, підвищення продуктивності праці в США за період 1909-1949 р.р., зумовлювалось 1/8 збільшенням капіталоозброєності праці та 7/8 технологічними змінами.

Однак моделі такого типу недостатньо описують суть фактора технологічних змін і характеризують цей процес під кутом зору результативності.

З метою оцінки впливу інноваційних змін можна запропонувати і інший підхід, який базується на встановленій кількісній закономірності динаміки ресурсовіддачі у процесі реалізації технічних інновацій [3].

Зміст вказаної закономірності полягає у тому, що різниця між темпами зростання продукції і ресурсів певного виду (праця, енергія, матеріали і т.п.), котрий використовується для виробництва продукції, обумовлюється множенням двох показників – оновлення основних засобів і запропонованого показника інноваційності техніки. Кількісно закономірність сформульовано так:

$$\Delta\eta_P - \Delta\eta_C = k_{on} k_{in(C)}, \quad (6)$$

де $\Delta\eta_P$ - темпи приросту продукції;

$\Delta\eta_C$ - темпи приросту ресурсу С;

k_{on} - показник оновлення ОЗ;

$k_{in(C)}$ - показник інноваційності.

Показник оновлення визначається як відношення інвестицій (К) до базової вартості ОЗ (F):

$$k_{on} = \frac{K}{F}. \quad (7)$$

Показник інноваційності розраховується за формулою

$$k_{in(C)} = \frac{\frac{P_2}{F_2} - \frac{C_2}{F_1}}{\frac{P_1}{F_1} - \frac{C_1}{F_1}}, \quad (8)$$

де F_1, P_1 - вартість та продуктивність одиниці діючої техніки,

F_2, P_2 - вартість та продуктивність одиниці інноваційної техніки,

C_1, C_2 - обсяги використання ресурсу у процесі експлуатації одиниць діючої та інноваційної техніки.

До ресурсів відносимо не лише окремі їх види, але також і їх сукупність.

Для прикладу розглянемо показник інноваційності, який стосується працюючих, за припущення, що вартість і продуктивність інноваційної техніки є пропорційно більшими, а одиниця устаткування потребує обслуговування однакової кількості працівників ($C_1 = C_2$). Результати відповідних розрахунків зображені на рис. 1.

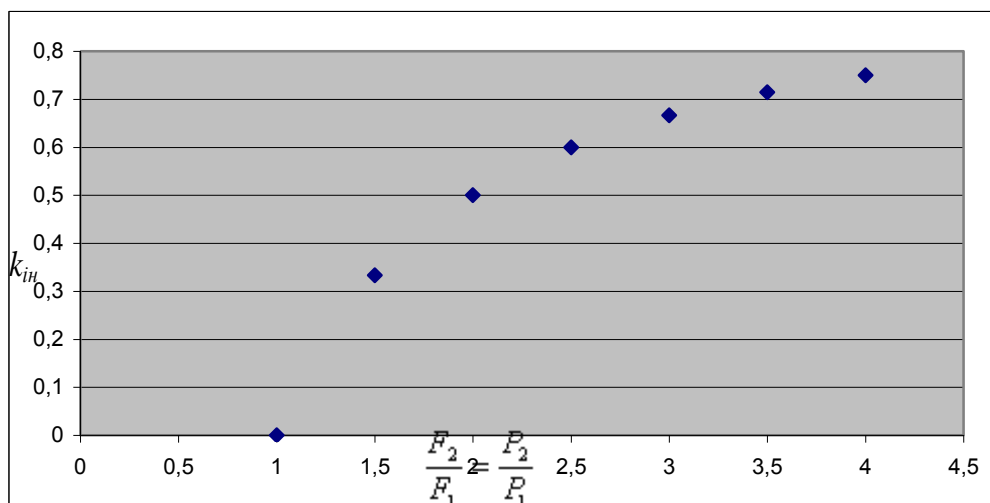


Рис.1. Показник інноваційності в залежності від вартості та продуктивності одиниці устаткування

Аналіз зміни показника інноваційності згідно з прийнятими припущеннями показує, що цей показник асимптотично наближається до одиниці. Загалом, коли відсутня пропорційність між зростанням вартості та продуктивності устаткування, буде спостерігатись відхилення від розглянутої тенденції.

Залежність (6) може бути представлена і у формі таблиці .

Таблиця 1

Темпи приросту ресурсівіддачі в залежності від показників оновлення та інноваційності

$k_{он}$	$k_{ин(C)}$					
0	0,200	0,400	0,600	0,800	1,000	
0,02	0,004	0,008	0,012	0,016	0,020	
0,04	0,008	0,016	0,024	0,032	0,040	
0,06	0,012	0,024	0,036	0,048	0,060	
0,08	0,016	0,032	0,048	0,064	0,080	
0,10	0,020	0,040	0,060	0,080	0,100	

Використовуючи дані табл.1, можна розрахувати зміну ресурсівіддачі для того чи іншого виду ресурсів у процесі інноваційного оновлення техніки. Якщо, наприклад, відносний розмір інвестицій становить $k_{одн}=0,08$ (8% по відношенню до вартості ОЗ у базовому періоді) і показник інноваційності $k_{ин}=0,6$, то згідно з даними таблиці слід очікувати збільшення ресурсівіддачі на 4,8% ($0,08*0,6=0,048$).

Інноваційний розвиток висуває певні вимоги до нової техніки. Такою вимогою, наприклад, може бути реалізація розвитку при майже сталій величині використання окремих ресурсів. До таких ресурсів перш за все відносимо чисельність працюючих.

Можна запропонувати такий підхід до визначення відповідних нормативних показників інноваційності.

Слід зауважити, що показник інноваційності при $\Delta\eta_c = 0$ визначається ось як:

$$k_{ин} = \frac{\Delta\eta_P}{k_{он}} \quad (9)$$

Для усталеної динаміки основних засобів показник оновлення розраховується за темпами їх зростання і термінами експлуатації:

$$k_{он} = \eta^T \frac{\eta - 1}{\eta^T - 1} \quad (10)$$

Якщо темпи зростання продукції збігаються із темпами зростання вартості ОЗ, то показник інноваційності буде становити:

$$k_{ин} = 1 - \frac{1}{\eta^T} \quad (11)$$

У певній мірі цей показник можна розглядати як нормативний, оскільки забезпечується ріст продукції при сталій абсолютній величині ресурсу що використовується. Значення показника інноваційності в залежності від взятих параметрів наведені у табл. 2.

Таблиця 2

Нормативний показник інноваційності ОЗ в залежності від темпів їх зростання та періоду експлуатації ($\Delta\eta_c = 0$)

T	$k_{ин}$ при η			
	1,02	1,04	1,06	1,08

5	0,094	0,173	0,254	0,320
10	0,180	0,320	0,435	0,534
15	0,257	0,441	0,581	0,684
20	0,327	0,557	0,686	0,785

Із наведених розрахунків випливає, що показник інноваційності повинен бути більшим для вищих темпів зростання ОЗ і триваліших термінів їх використання. Відхилення даного показника у той чи інший бік від його нормативного значення буде пов'язане із відхиленням потреб у ресурсах. Наприклад, таке відхилення може призвести до явища безробіття або до дефіциту працюючих.

У господарській практиці часто виникають завдання поділу інвестиційних ресурсів між різними напрямками інноваційного розвитку. Навіть на рівні окремих підприємств виникають проблеми розподілу інвестицій між окремими його підрозділами. Одним із підходів до виконання таких завдань є визначення пріоритетів оновлення ОЗ згідно з критерієм, що характеризує вартість заміщення ресурсу інвестиціями або ефективність інвестицій:

$$E_c = \frac{\frac{P_2}{P_1} C_1 - C_2}{F_2} \rightarrow \max. \quad (12)$$

Окрім економічних критеріїв можуть бути й інші, наприклад екологічного характеру, коли виникає проблема інноваційного оновлення або модернізації ОЗ з метою зменшення забруднення навколишнього середовища.

Зокрема, проаналізуємо аспекти оптимізації зменшення промислових забруднень повітря згідно із даними воєводства Польщі. Негативний ефект таких забруднень визначається їх інтенсивністю та густиною населення території.

Сумарний негативний ефект від забруднень можна представити зобразити так:

$$L = \frac{Z_1}{S_1} n_1 + \frac{Z_2}{S_2} n_2 + \dots + \frac{Z_n}{S_n} n_n, \quad (13)$$

де $\frac{Z_i}{S_i}$ - забруднення у розрахунку на одиницю поверхні і-ї території,

n_i - чисельність жителів на цій території.

При реалізації проектів із зменшення забруднень сумарний екологічний ефект становить:

$$\Delta L = \frac{\Delta Z_1(K_1)}{S_1} n_1 + \frac{\Delta Z_2(K_2)}{S_2} n_2 + \dots + \frac{\Delta Z_n(K_n)}{S_n} n_n, \quad (14)$$

де $\Delta Z_i(K_i)$ - залежність зменшення територіальних забруднень від розмірів інвестування.

Заслуговує на увагу лінійний варіант цієї залежності:

$$\Delta Z_i = b_i K_i \quad (15)$$

Тоді цільова функція набуває лінійного вигляду:

$$\Delta L = \frac{b_1 n_1}{S_1} K_1 + \frac{b_2 n_2}{S_2} K_2 + \dots + \frac{b_n n_n}{S_n} K_n, \quad (16)$$

За умови $b_i = b$ вигляд цієї функції буде спрощеним:

$$\Delta L = b \left(\frac{n_1}{S_1} K_1 + \frac{n_2}{S_2} K_2 + \dots + \frac{n_n}{S_n} K_n \right), \quad (17)$$

Вибрана умова характеризує ситуацію, коли на різних територіях реалізуються проекти з однаковими екологічними ефектами.

Аналіз цільової функції показує, що сумарний ефект суттєво залежить від поділу загальних інвестицій між територіями. Досить простим є пропорційний поділ інвестицій між територіями за принципом відносної величини забруднень:

$$K_i = \lambda Z_i, \quad \lambda = \frac{K_1 + K_2 + \dots + K_n}{Z_1 + Z_2 + \dots + Z_n}, \quad (18)$$

Проте такий поділ не можна вважати оптимальним, оскільки не ставиться питання про ефективність використання інвестицій. Завдання поділу інвестицій набирає більш досконалого змісту у варіанті допущення відхилень від пропорційного поділу. Відповідна модель оптимізації може бути сформульована так:

$$E = \frac{n_1}{S_1} K_1 + \frac{n_2}{S_2} K_2 + \dots + \frac{n_n}{S_n} K_n \rightarrow \max, \quad (19)$$

обмеження на загальні фінансові ресурси

$$K_1 + K_2 + \dots + K_n \leq K, \quad (20)$$

$$K_i \geq 0$$

Обмеження на суму квадратичних відхилень виділених фінансових ресурсів від їх середньої вартості:

$$\left(\frac{K_1}{Z_1} - \lambda \right)^2 + \left(\frac{K_2}{Z_2} - \lambda \right)^2 + \dots + \left(\frac{K_n}{Z_n} - \lambda \right)^2 \leq \delta^2. \quad (21)$$

У роботі [4] розроблено метод розв'язання даної моделі за умов $b_i = \frac{n_i}{s_i}$, $K_{pi} = Z_i$. Невідомі

величини K_i визначаються так:

$$K_i = \lambda K_{pi} \left(1 + \sigma \frac{K_{pi} \Delta b_i}{\sqrt{\frac{K_{p_1}^2 \Delta b_1^2 + K_{p_2}^2 \Delta b_2^2 + \dots + K_{p_n}^2 \Delta b_n^2}{n}}} \right), \quad (22)$$

$$\text{де } \Delta b_i = b_i - \gamma, \quad (23)$$

$$\gamma = \frac{\sum_{i=1}^n b_i K_{pi}^2}{\sum_{i=1}^n K_{pi}^2}. \quad (24)$$

Підставляючи визначені значення K_i у цільову функцію, обчислюємо максимальний ефект від поділу фінансових ресурсів.

Із аналізу співвідношення (22) можна зробити висновок, що для $\sigma = 0$ розподіл інвестиційних ресурсів здійснюється пропорційним методом.

Розглянемо відповідні статистичні дані щодо польських воєводств [5] (табл. 3).

Статистичні дані стосовно емісії газових забруднень (2007 рік)

№ п/п Воєводства	Густина населення на 1 км ²	Емісія газових викидів, тис. тонн
1.Дольношльонське	145	87
2.Куявсько-поморське	115	71
3.Любельське	87	37
4.Любуське	72	27
5.Лодзьке	143	232
6.Малопольське	214	175
7.Мазовецьке	144	210
8.Опольське	112	50
9.Подкарпатське	118	28
10.Подляське	60	14
11.Поморське	120	43
12.Шльонське	282	649
13.Свентокжиське	110	76
14.Вармінсько-мазурське	59	11
15.Велькопольське	113	195
16.Заходньо-поморське	74	42

Для того, щоб розрахунки не були складними, згрупуємо дані згідно з величиною $\frac{n}{S}$

у 4 групи воєводств:

I – 12;

II – 6;

III – 13, 8, 15, 2, 9, 11, 12, 1, 5;

IV – 14, 10, 4, 6, 3.

В символах, які застосовані у праці [4], отримаємо:

$$b_1 = 382; \quad b_2 = 214; \quad b_3 = 124; \quad b_4 = 70.$$

$$K_{p1} = 649; \quad K_{p2} = 175; \quad K_{p3} = 992; \quad K_{p4} = 131.$$

Надалі оперуватимемо із даними K_{pi} , поділеними на 1000, і з $K = 1$, тобто розв'язки шукаємо у відносних величинах.

За формулами (22), (23), (24) визначаємо величини K_i :

$$K_1 = 0,3333(1 + 1,6732 \sigma);$$

$$K_2 = 0,0899(1 + 0,0347 \sigma);$$

$$K_3 = 0,5095(1 - 1,0680 \sigma);$$

$$K_4 = 0,0673(1 - 0,2412 \sigma).$$

Невідомі величини K у певній мірі залежать від параметра σ . У варіанті пропорційного поділу фінансових коштів ($\sigma = 0$) отримаємо:

$$K_1 = 0,3333;$$

$$K_2 = 0,0899;$$

$$K_3 = 0,5095;$$

$$K_4 = 0,0673.$$

У цьому варіанті сумарний ефект становитиме:

$$E_1 = 382 * 0,3333 + 214 * 0,0899 + 124 * 0,5095 + 70 * 0,0677 = 224,25;$$

Розглядаємо оптимізацію поділу за умови $K_3 = 0$ ($\sigma = 9,936$), що означає неотримання коштів третьою групою.

У цьому варіанті величини K_i дорівнюватимуть:

$$K_1 = 0,3333(1 + 1,6732 * 0,936) = 0,8553;$$

$$K_2 = 0,0899(1 + 0,0347 * 0,936) = 0,0928;$$

$$K_3 = 0;$$

$$K_4 = 0,0673(1 - 0,2412 * 0,936) = 0,0521.$$

Аналіз оптимального розв'язку показує, що 85% інвестицій слід скерувати у Шльонське воєводство, де найбільша густина населення на 1 км² і найбільш значна емісія газових викидів. У варіанті пропорційного розподілу цьому воєводу належало лише 33% інвестицій.

Знаходимо в оптимальному варіанті сумарний ефект:

$$E_{II} = 382 * 0,8553 + 214 * 0,0928 + 124 * 0 + 70 * 0,0521 = 351,34$$

Відношення ефектів E_{II} і E_I становить :

$$\frac{E_{II}}{E_I} = \frac{351,34}{224,25} = 1,5667$$

В оптимальному варіанті розподілу ефект більший на 57%.

Загалом можна зробити висновок, що використання встановлених закономірностей для інноваційних процесів, нелінійних економіко-математичних методів оптимізації дозволяє глибше зрозуміти суть інноваційного розвитку і можливості підвищення його ефективності.

Література

1. В. Войцеховский. Оптимизация развития производственных систем. – К.: Наукова думка, - 1991.
2. Solow R. Technical change and the aggregate production function// Review of Economics and Statistics. August 1957.
3. В. Войцеховська. Економічне оцінювання та вибір варіантів інноваційного розвитку підприємств машинобудування. Автореферат дисертації на здобуття наукового ступеня кандидата економічних наук. Національний університет „Львівська політехніка”, Львів.- 2007.
4. Wiktor Wojciechowski, Wiktoria Wojciechowska. Metoda: optymalizacja podziału zasobów finansowych między obiektami gospodarczymi. Rocznik wydziału nauk prawnych i ekonomicznych KUL, Towarzystwo Naukowe KUL, Lublin 2005.
5. GUS. Rocznik statystyczny Rzeczypospolitej Polskiej, Warszawa, 2008.