

Метрологія та економіка: обґрунтування оптимальних варіантів розвитку метрологічних систем за критерієм мінімуму необхідних витрат — огляд

О.В. Прокопов¹, В.В. Склярів¹, Л.М. Красноха², А.Є. Олійник¹

¹ ННЦ “Інститут метрології”, вул. Мироносицька, 42, 61002, Харків, Україна
alexvas49@ukr.net

² Департамент технічного регулювання Міністерства економіки України, вул. Грушевського, 12/2, 01008, Київ, Україна

Анотація

Сформульовано загальний підхід до обґрунтування оптимальних шляхів розвитку національних метрологічних систем, що базується на умові мінімізації необхідних для цього фінансових інвестицій. Виконано аналіз розроблених в ННЦ “Інститут метрології” методів оцінювання ефективності інвестицій для можливих варіантів функціонування елементів метрологічної інфраструктури, що стосуються окремих видів вимірювань. Варіанти є такими: існує державний первинний (національний) еталон одиниці вимірювання, який пройшов міжнародні звірення; первинного еталона немає, але він розробляється; первинного еталона немає, і він не розробляється; за відсутності первинного еталона як вихідного використовується вторинний еталон, відкалібрований за кордоном.

Представлено математичні алгоритми аналізу економічної доцільності інвестицій, що дозволяють обрати найменш затратні рішення. Запропоновано підхід до розрахунку часу окупності інвестицій, що враховує інфляційні процеси.

Наведено приклади застосування розроблених алгоритмів для аналізу економічної доцільності створення конкретних еталонів, зокрема державних первинних еталонів одиниці об’ємної активності радону-222 та одиниці сили світла. Описані в статті алгоритми вибору оптимальних варіантів розвитку метрологічних систем і підвищення ефективності інвестицій у метрологію є особливо актуальними для країн з обмеженими фінансовими ресурсами.

Ключові слова: економічна доцільність; інфляція; інвестиції; еталон одиниці вимірювань; метрологічна система.

Отримано: 11.11.2024

Відредаговано: 30.11.2024

Схвалено до друку: 05.12.2024

1. Вступ

Останніми роками значно зросли вимоги до метрології як основи високоточних вимірювань, що забезпечують одержання кількісної інформації, необхідної для ухвалення обґрунтованих рішень у всіх галузях людської діяльності. Ці вимоги відображені в стратегічних документах міжнародних і регіональних метрологічних організацій [1, 2]. Серед критеріїв, що відображають ці вимоги, важливу роль відіграють економічні критерії.

Економічні аспекти метрології вже давно є однією з найактуальніших галузей досліджень як на міжнародному, так і на національному рівні. Існуючі бази даних [3] та окремі огляди публікацій на цю тему [4–6] показують, що в таких дослідженнях часто використовують методи експертних оцінок

та статистичні методи, які ґрунтуються на відомих (отриманих до моменту дослідження) даних, що характеризують вплив метрології на інші сфери діяльності. Подібні дослідження зазвичай потребують суттєвих витрат часу і грошових ресурсів. Для провідних країн із високорозвиненою економікою, в яких найчастіше виконуються такі дослідження, ці витрати зрештою окупаються. Адже їхньою кінцевою метою є одночасне підвищення і національного, і міжнародного метрологічного рівня, а це забезпечить і відповідне підвищення якості продукції, що виробляється в цих країнах, порівняно з продукцією інших країн.

Для країн, рівень розвитку яких поступається провідним, питання економіки та метрології можуть розглядатися і з іншого боку. Основним

завданням для таких країн є створення функціонуючої національної метрологічної системи, яка забезпечує вільний доступ виробленої в цих країнах продукції на міжнародний ринок. Для цього згідно з міжнародними вимогами національна метрологічна система повинна забезпечувати міжнародне визнання результатів виконуваних у країні вимірювань, необхідних для контролю якості виробленої продукції.

Можливі різні варіанти забезпечення такого визнання (забезпечення простежуваності до прийнятих на міжнародному рівні одиниць вимірювань). Тому для країн з обмеженими економічними можливостями доцільно аналізувати зв'язок метрології з економікою в іншій постановці, а саме: з метою обґрунтування такої структури національної метрологічної системи, що забезпечить простежуваність результатів вимірювань і національних вихідних еталонів до міжнародних еталонів за мінімум коштів, необхідних для її створення.

Слід зазначити, що для аналізу впливу метрології на економіку, крім використання вищезгаданого статистичного підходу, останніми роками в низці публікацій (наприклад, у [7–13]) запропоновано також різноманітні аналітичні методи (алгоритми), застосування яких дає змогу обґрунтувати варіанти побудови національних метрологічних систем та їхніх окремих елементів, які задовольняють міжнародні вимоги. Матеріали цих публікацій становлять інтерес для країн, що розвиваються, і заслуговують на окремий аналіз.

Ця стаття має оглядовий характер і присвячена аналізу та систематизації результатів досліджень, виконаних від початку 2000-х років у Національному науковому центрі “Інститут метрології” (м. Харків, Україна) у межах вищезгаданого підходу до економічних проблем метрології, що спирається на вимогу мінімізації витрат на створення національної метрологічної системи та її окремих елементів. Основні результати цих досліджень опубліковано в роботах [8–13]. Особливу увагу під час підготовки огляду приділено як загальним принципам оцінювання економічної доцільності інвестицій у метрологічну діяльність, так і конкретним прикладам реалізації цих принципів в алгоритмах оцінювання економічної доцільності створення національних еталонів – як такі розглядаються або первинні еталони (ті, що проходять міжнародні звірення), або вторинні (калібровані за кордоном). Алгоритми подано у вигляді математичних співвідношень для оцінювання економічної доцільності витрат і співвідношень для оцінювання терміну окупності цих витрат. Розглянуто два варіанти алгоритмів: перший варіант є справедливим за умови відсутності інфляційних процесів, другий – враховує вплив інфляції.

2. Основний зміст

2.1. Узагальнена схема обґрунтування співвідношень для аналізу економічної доцільності інвестицій у метрологічну діяльність та оцінки терміну їх окупності

Як уже зазначалося у Вступі, предметом обговорення в цій статті є дослідження, у яких наведено математичні алгоритми, що дають змогу здійснювати порівняльний аналіз двох (і більше) варіантів інвестицій у метрологічну діяльність та обирати той варіант, що виявляється найменш витратним. Матеріал, викладений у розділі 2.1, стосується й окремої лабораторії, й організації, й галузі, й сфери метрологічної діяльності в країні загалом. Для стислості далі тут буде використовуватися термін “підприємство”. Причому характер метрологічної діяльності в рамках обговорюваної загальної постановки завдання в цьому розділі не конкретизується. Питання економічної доцільності інвестицій для конкретних прикладів такої діяльності, зокрема, для створення еталонів різного рівня, участі в міжнародних звіреннях тощо розглядатимуться в наступних розділах огляду.

Далі формулюється схема аналізу економічної доцільності інвестицій у метрологічну діяльність, що узагальнює підходи, викладені в публікаціях [10, 12, 13] і в цитованій у них літературі. При цьому використовуються такі позначення:

T – проміжок часу (в роках), протягом якого аналізується діяльність підприємства;

E – щорічні витрати підприємства на здійснення цієї діяльності;

I – щорічні доходи, які отримує підприємство в результаті цієї діяльності.

Аналогічно [12] розглянемо розрахункові співвідношення, необхідні для порівняльного аналізу двох варіантів діяльності підприємства. Перший варіант передбачає, що протягом періоду T років жодних змін у характері діяльності підприємства немає (новації відсутні). При сталих щорічних витратах E і доходах I підприємства баланс “витрати мінус дохід” B для цього варіанта може бути подано у вигляді

$$B = (E - I) \cdot T. \quad (1)$$

Для другого варіанта аналізований проміжок часу T поділяється на два етапи тривалістю T_1 і T_2 :

$$T = T_1 + T_2. \quad (2)$$

Тут T_1 – етап (період часу), протягом якого здійснюється інвестування коштів з метою вдосконалення діяльності підприємства (вважатимемо, що протягом цього періоду $E = E_1$ і $I = I_1$); T_2 – етап експлуатації нових можливостей, що були закладені на етапі T_1

внаслідок інвестування (для цього періоду $E = E_2$ і $I = I_2$).

З урахуванням введених для другого варіанта позначень баланс B – “витрати мінус дохід” для підприємства (при стабільних на кожному етапі щорічних витратах і доходах) можна подати так:

$$B_1 = (E_1 - I_1) \cdot T_1 - \text{для етапу інвестування та} \quad (3)$$

$$B_2 = (E_2 - I_2) \cdot T_2 - \text{для етапу експлуатації.} \quad (4)$$

Складаючи B_1 і B_2 з урахуванням співвідношень (3), (4), отримуємо повні витрати коштів для другого варіанта:

$$B_1 + B_2 = (E_1 - I_1) \cdot T_1 + (E_2 - I_2) \cdot T_2. \quad (5)$$

Вочевидь, варіант з інвестиціями буде менш витратним (економічно вигідним), якщо повні баланси коштів за період, що розглядається, $T = T_1 + T_2$ задовольнятимуть нерівності $B_1 + B_2 < B$, тобто

$$(E_1 - I_1) \cdot T_1 + (E_2 - I_2) \cdot T_2 < (E - I) \cdot (T_1 + T_2). \quad (6)$$

Різниця між правою і лівою частинами нерівності (6) при цьому визначатиме той додатковий дохід, який отримає підприємство протягом періоду $T_1 + T_2$ внаслідок інвестицій.

Для визначення часу окупності $T_{\text{окуп}}$ інвестованих коштів необхідно перейти від нерівності до рівності у співвідношенні (6), замінити T_2 на $T_{\text{окуп}}$ і розв’язати отримане рівняння відносно $T_{\text{окуп}}$:

$$T_{\text{окуп}} = (E_1 - E + I - I_1) \cdot (E - E_2 + I_2 - I)^{-1} \cdot T_1. \quad (7)$$

Починаючи з моменту часу $T > T_{\text{окуп}}$ стає справедливою нерівність (6). У подальші моменти часу ця нерівність посилюється, оскільки збільшується додатковий дохід у результаті інвестицій.

Таким чином, у цьому розділі сформульовано загальні співвідношення (6), (7) для оцінювання

економічної доцільності інвестицій у метрологічну діяльність і визначення часу окупності цих інвестицій. Слід зазначити, що вищенаведені співвідношення справедливі в умовах відсутності інфляції. Вплив інфляції буде розглянуто в наступних розділах огляду під час аналізу економічної доцільності інвестицій для конкретних прикладів метрологічної діяльності.

2.2. Оцінка економічної доцільності та терміну окупності витрат на створення національного первинного еталона за наявності вторинного еталона, який калібрують за кордоном

Відповідно до схеми, викладеної в розділі 2.1, розглянемо два можливі варіанти стану верхньої (еталонної) ланки національної метрологічної системи для деякого (конкретного) виду вимірювань [8, 9]. Обидва варіанти аналізуються протягом періоду часу N_T років (відповідає проміжку часу T у формулах (1), (2) розділу 2.1). Для першого варіанта припускають, що протягом усіх N_T років національний первинний еталон у країні відсутній, а як вихідний еталон використовують вторинний еталон, який калібрують за кордоном. Для другого варіанта період часу N_T ділиться на два етапи: $N_T = N_{Cr} + N_0$. На першому етапі тривалістю N_{Cr} (що відповідає проміжку часу T_1 у формулах (2)–(7) розділу 2.1), як і раніше, як вихідний еталон використовують вторинний еталон, але протягом цього етапу здійснюють розробку первинного еталона за рахунок додаткових щорічних інвестицій E_{Cr-NPS} . На другому етапі тривалістю N_0 (відповідає проміжку часу T_2 у формулах (2), (4) – (6) розділу 2.1) як вихідний еталон використовується вже не вторинний, а первинний еталон, створений на першому етапі.

Щорічні баланси “витрати мінус дохід”, які введені формулами (1), (3), (4) розділу 2.1, з урахуванням методології [8, 9] ілюструються табл.1, де NPS – national primary measurement standard (національний первинний еталон); RS – reference standard (вторинний еталон).

Таблиця 1

Структура щорічного балансу засобів, що належать до вищої ланки національної метрологічної системи для виду вимірювань, що аналізується

Стан вищої ланки національної метрологічної системи	Витрати			Дохід
NPS відсутній і не розробляється (варіант 1)	Витрати на техобслуговування RS, E_{MRS}		Витрати на калібрування RS за кордоном, E_{CRS}	Доходи від виконання повірок і калібрувань з використанням RS, I_{PRS}
NPS відсутній, але розробляється (варіант 2, етап 1)	Витрати на техобслуговування RS, E_{MRS}	Витрати на калібрування RS за кордоном, E_{CRS}	Витрати на створення NPS, E_{CrNPS}	Доходи від виконання повірок і калібрувань з використанням RS, I_{PRS}
NPS існує та використовується (варіант 2, етап 2)	Витрати на техобслуговування NPS, E_{MNPS}			Доходи від виконання повірок і калібрувань з використанням NPS, I_{PNPS}

Ці баланси відповідно до табл. 1 можуть бути представлені у вигляді:

- варіант 1: величина $E - I$ позначається як $E - I = B^A = E_{MRS} + E_{CRS} - I_{PRS}$, де E_{MRS} – щорічні витрати на забезпечення функціонування вторинного еталона; E_{CRS} – щорічні витрати на калібрування вторинного еталона за кордоном; I_{PRS} – щорічні доходи від послуг, які надають із використанням вторинного еталона (калібрування, перевірка);

- варіант 2: для етапу 1 тривалістю N_{Cr} величина $E_1 - I_1$ позначається як $E_1 - I_1 = B^W = E_{MRS} + E_{CRS} + E_{CrNPS} - I_{PRS}$, де до щорічного балансу за першим варіантом додано щорічні витрати E_{CrNPS} на створення первинного еталона; для етапу 2 тривалістю N_0 величина $E_2 - I_2$ позначається як $E_2 - I_2 = B^S = E_{MNPS} - I_{PNPS}$, де E_{MNPS} – щорічні витрати на забезпечення функціонування первинного еталона; I_{PNPS} – щорічні доходи від послуг, що надаються з використанням первинного еталона.

Використовуючи вищевказані позначення, умову (6) економічної доцільності інвестицій у створення національного первинного еталона можна сформулювати так:

$$B^W \cdot N_{Cr} + B^S \cdot N_0 + E_{ICNPS} + E_{IRS}^* < B^A \cdot (N_{Cr} + N_0) + E_{IRS}, \quad (8)$$

де додано разові витрати E_{ICNPS} , що не враховуються річними балансами, на проведення міжнародних звірень національного первинного еталона для варіанта 2, а також на вдосконалення вторинного еталона E_{IRS} для варіанта 1 і E_{IRS}^* для етапу 1 варіанта 2.

Для визначення часу окупності витрат на створення національного первинного еталона t відповідно до розділу 2.1 необхідно перейти від нерівності до рівності у співвідношенні (8), а також замінити N_0 на t і розв'язати отримане рівняння щодо t :

$$t = \frac{(B^W - B^A)N_{Cr} + E_{ICNPS} + E_{IRS}^* - E_{IRS}}{B^A - B^S}. \quad (9)$$

Величина t визначає проміжок часу, відлік якого починається з моменту введення в експлуа-

тацію створеного національного первинного еталона і закінчується в той момент, коли повністю окупляться витрати на створення цього еталона. Подальша експлуатація створеного еталона забезпечуватиме прибуток, який збільшуватиметься зі зростанням відношення часу експлуатації еталона до часу окупності витрат t .

2.3. Врахування впливу інфляційних процесів на терміни окупності та оцінку економічної доцільності створення еталонів

Математичні співвідношення, наведені в розділах 2.1–2.2, справедливі для цін на роботи, що виконуються, та послуг (а також на необхідні матеріали і комплектуючі), які не змінюються протягом розглянутих проміжків часу. Звідси випливає, що результати цих розділів можуть бути застосовані лише в тих випадках, коли можна знехтувати інфляційними процесами.

Далі розглянемо модель [10–12], що враховує інфляційні зміни купівельної спроможності (вартості) грошей, тобто зміни вартості робіт, матеріалів і комплектуючих. Ми розглядаємо цю проблему, використовуючи узагальнення розрахункових співвідношень, отриманих у розділі 2.2 (розділ 2.1 може бути розглянуто аналогічно). Для того щоб урахувати інфляційні процеси під час аналізу економічної доцільності створення національних первинних еталонів NPS, візьмемо за основу математичний алгоритм розділу 2.2, у якому враховуватимемо зміну вартості грошей.

Для врахування інфляції у формулах (8), (9) необхідно зазначити, що річні баланси B^S , B^A , B^W не залишаться фіксованими, а в різні роки змінюватимуться залежно від інфляції. Врахуємо інфляційні зміни у витратах і доходах, увівши $d_m > 0$ – відносну величину приросту до вартості товарів і послуг у m -му році. Тобто якщо в першому році баланс був, наприклад, B^A , то наступного року аналогічні витрати характеризуватимуться величиною $B^A \cdot (1 + d_1)$, а за рік – $B^A \cdot (1 + d_1) \cdot (1 + d_2)$, потім – $B^A \cdot (1 + d_1) \cdot (1 + d_2) \cdot (1 + d_3)$ і т. д.

Тоді для $N_{Cr} + N_0$ років ми маємо такий баланс:

$$B^A + B^A(1 + d_1) + B^A(1 + d_1)(1 + d_2) + \dots + B^A(1 + d_1) \cdot (1 + d_2) \cdot \dots \cdot (1 + d_{N_{Cr} + N_0 - 1}) = B^A [1 + (1 + d_1) + (1 + d_1)(1 + d_2) + \dots + (1 + d_1)(1 + d_2) \cdot \dots \cdot (1 + d_{N_{Cr} + N_0 - 1})] = B^A \left[1 + \sum_{k=1}^{N_{Cr} + N_0 - 1} \prod_{m=1}^k (1 + d_m) \right]. \quad (10)$$

Тобто врахування інфляції означає, що замість $N_{Cr} + N_0$ у формулі (8) ми маємо використовувати $1 + \sum_{k=1}^{N_{Cr} + N_0 - 1} \prod_{m=1}^k (1 + d_m)$. Аналогічно, замість N_{Cr} треба взяти $1 + \sum_{k=1}^{N_{Cr} - 1} \prod_{m=1}^k (1 + d_m)$, а замість N_0 взяти $1 + \sum_{k=1}^{N_0 - 1} \prod_{m=1}^k (1 + d_m)$. Якщо зробити вищезазначені підстановки, то формули враховуватимуть інфляцію (за допомогою дисконтуючих факторів d_m). Однак отримані співвідношення виходять громіздкими, що ускладнює їх практичне використання. Суттєвого спрощення цих співвідношень можна домогтися,

задавши $d_m = d = const$, тобто вважаючи дисконтуючий фактор однаковим для кожного року (іншими словами, вважаючи, що показники інфляції не змінюються з року в рік). У цьому разі

$$1 + \sum_{k=1}^{N_0-1} \prod_{m=1}^k (1 + d_m), \text{ наприклад, ми отримаємо}$$

$$1 + \sum_{k=1}^{N_0-1} (1 + d)^k = 1 + (1 + d) + (1 + d)^2 + \dots + (1 + d)^{N_0-1} = [(1 + d)^{N_0} - 1] \cdot d^{-1}. \quad (11)$$

Останнє перетворення в цій формулі виконано з використанням правил сумування геометричної прогресії.

Таким чином, за постійної (незмінної) у часі інфляції замість N_{Cr} , N_0 , $N_{Cr} + N_0$ у формулах (8), (9) необхідно взяти, відповідно:

$$\frac{(1 + d)^{N_{Cr}} - 1}{d}; \frac{(1 + d)^{N_0} - 1}{d}; \frac{(1 + d)^{N_{Cr} + N_0} - 1}{d},$$

де d – дисконтуючий фактор, що враховує відносне зниження вартості грошей (наприклад, $d=0,1$ означає, що гроші “дешевшають” на 10%).

У результаті співвідношення (8) і (9) (де також необхідно врахувати, що замість B^S беруть значення $B^S \cdot (1 + d)^{N_{Cr}-1}$, оскільки від початку реалізації етапу, пов’язаного зі створенням еталона, і до моменту введення в експлуатацію минає N_{Cr} років) набудуть вигляду

$$B^W [(1 + d)^{N_{Cr}} - 1] + B^S (1 + d)^{N_{Cr}-1} [(1 + d)^{N_0} - 1] < B^A [(1 + d)^{N_{Cr} + N_0} - 1] + d \cdot B_{MB}, \quad (12)$$

$$t = \frac{1}{\ln(1 + d)} \cdot \ln \frac{B^W [(1 + d)^{N_{Cr}} - 1] + B^A - B^S (1 + d)^{N_{Cr}-1} - dB_{MB}}{B^A (1 + d)^{N_{Cr}} - B^S (1 + d)^{N_{Cr}-1}}, \quad (13)$$

де величина $B_{MB} = E_{IRS} - E_{IRS}^* - E_{ICNPS}$ також враховує інфляційні зміни компонентів, які її формують.

При $d \rightarrow 0$ співвідношення (12) і (13) переходять у співвідношення (8), (9), відповідно (за умови коректного розкриття невизначеностей, що виникають при такому переході).

Порівняльний аналіз формул (12), (13) і формул (8), (9) розділу 2.1 показує, що інфляція зменшує час окупності витрат. Таке зменшення спостерігалось для еталонів, що розробляються останніми роками в ННЦ “Інститут метрології” [10–12]. Наприклад, для еталона об’ємної активності радону-222 він становив близько 2,5 років, а для еталона одиниці сили світла – приблизно 2 роки [10].

2.4. Приклади практичного застосування зазначених алгоритмів оцінки економічної доцільності створення національних еталонів

Алгоритми, наведені в попередніх розділах статті, вже багато років використовують в ННЦ “Інститут метрології” для вибору й обґрунтування найактуальніших варіантів розвитку національної еталонної бази. Як приклад наведемо результати розрахунків, виконаних за допомогою співвідношень (8), (9) розділу 2.2 під час оцінювання економічної доцільності створення державних національних первинних еталонів NPS одиниці об’ємної активності радону-222 та одиниці сили світла (див. табл. 2). Початкові дані для розрахунків враховують строки та обсяги робіт, виконаних у ННЦ “Інститут метрології” при створенні цих еталонів. Витрати і доходи оцінювалися в українській гривні, масштаби цін відповідають періоду, що передує початку робіт зі створення еталонів (до 2000 року). Розрахунки проведено за умови $E_{ICNPS} = E_{IRS}^* = E_{IRS} = 0$.

За даними таблиці можна зробити висновок про те, що створення зазначених еталонів є економічно доцільним, а терміни окупності витрат на

Таблиця 2

Приклади оцінок економічної доцільності створення NPS України

NPS	Вихідні дані для розрахунків, тис. UAH (у цінах 2000 року)	Результати оцінок за формулою (8), тис. UAH	Розрахунок часу окупності за (9), років
NPS одиниці об’ємної активності радону-222 $N_{Cr} = 3$ роки $N_0 = 15$ років	$E_{CrNPS} = \frac{1}{3} \cdot 184,893$ $E_{MRS} = E_{MNPS} = 19,700$ $I_{PNPS} = I_{PRS} = 32,096$ $E_{CRS} = 20,000$	21,765 < 136,872	9,245
NPS одиниці сили світла $N_{Cr} = 4$ роки $N_0 = 15$ років	$E_{CrNPS} = \frac{1}{4} \cdot 152,888$ $E_{MRS} = E_{MNPS} = 15,100$ $I_{PNPS} = I_{PRS} = 3,793$ $E_{CRS} = 33,000$	499,721 < 841,833	4,362

їхнє створення менші за терміни їхньої планової експлуатації. Крім того, з таблиці випливає, що термін окупності витрат на створення еталона одиниці сили світла менший, ніж для еталона об'ємної активності радону. Економія коштів за період експлуатації еталона одиниці сили світла $841833-499721=342112$ грн утричі перевищує економію коштів за період експлуатації еталона радону $136872-21765=115107$ грн. Ці дані стали свого часу підставою не тільки для ухвалення рішення про необхідність створення обговорюваних еталонів, а й для більш раннього початку робіт зі створення еталона сили світла в Україні.

3. Висновок

Наведені алгоритми можуть бути використані як для аналізу економічних аспектів метрологічної діяльності та обґрунтування економічно доцільних варіантів організації цієї діяльності, так і для розв'язання загальніших завдань вибору найкращих (найефективніших) шляхів розвитку сфери метрології та її окремих елементів, які реалізуються з урахуванням багатьох (не тільки економічних) критеріїв. Зокрема, під час розв'язання задач багатокритеріальної оптимізації метрологічних систем із використанням ризик-орієнтованого підходу [14] або методу аналізу ієрархій Сааті [15] та ін.

Metrology and economics: on the choice of the best options for the development of metrology systems by the criterion of minimum necessary costs – a review

O. Prokopov¹, V. Skliarov¹, L. Krasokha², A. Oliinyk¹

¹ National Scientific Centre "Institute of Metrology", Myronosytska Str., 42, 61002, Kharkiv, Ukraine
alexvas49@ukr.net

² Department of Technical Regulation of Ministry of Economy of Ukraine, Grushevsky Str., 12/2, 01008, Kyiv, Ukraine

Abstract

A general approach to substantiating the best ways to develop national metrology systems based on minimizing the financial investments needed is formulated. The methods that have been developed at the NSC "Institute of Metrology" for estimating the effectiveness of investments for different possible options of functionality of metrological infrastructure elements related to certain types of measurements are analysed. In particular, the following options have been considered: a state primary (national) measurement standard of a unit that has passed international comparisons; there is no primary measurement standard yet, but it is being developed; there is no primary measurement standard yet and it is not being developed; a calibrated abroad secondary measurement standard used as a reference standard in the absence of a primary one.

The paper presents mathematical algorithms for analysing the economic feasibility of investments, which allow choosing the least costly solutions. An approach to calculating the payback period of the investments that takes into account inflationary processes is proposed.

Examples of application of the developed algorithms to analyse the economic feasibility to establish measurement standards, specifically, state primary measurement standards of the unit of volume activity of radon-222 and luminous intensity, are given. The algorithms presented in the paper for selecting the best options for the development of metrology system and increasing the efficiency of investments in metrology are especially relevant for countries with limited financial resources.

Keywords: economic feasibility; inflation; investments; measurement standard, metrology system.

Список літератури

1. EURAMET 2030 Strategy. URL: <https://www.euramet.org/about-euramet/strategy-2030>
2. Strategic Research Agenda for Metrology in Europe. URL: https://www.euramet.org/Media/news/G-GNP-STR-003_SRA_web.pdf
3. National impact and case studies related to metrology. URL: <https://www.bipm.org/en/impact-studies-national>
4. Birch J. Benefit of Legal Metrology for the Economy and Society. CIML Report, 2003. URL: https://www.oiml.org/en/files/pdf_e/e002-e03.pdf
5. Williams G. The Assessment of the Economic Role of Measurement and Testing in Modern Society: European Measurement Project. Final Report, 2002. URL: https://books.google.com.ua/books/about/The_Assessment_of_the_Economic_Role_of_M.html?id=Jp8vjwEACAAJ&redir_esc=y
6. Robertson K., Swanepoel J.A. The economics of metrology. Research paper 6/2015. Department of Industry, Innovation and Science of Australian Government. URL: https://www.industry.gov.au/sites/default/files/June%202018/document/pdf/the_economics_of_metrology.pdf

7. Usuda T., Henson A. Economic Impact of Equivalence of Measurement Standards. *NCSLI Measure*, 2012, vol. 7, no. 1, pp. 62–70. doi: <https://doi.org/10.1080/19315775.2012.11721588>
8. Neyezhnikov P.I., Prokopov A.V. Evaluating the Economic Feasibility of Creating National Primary Standards. *Measurement Techniques*, 2014, vol. 57, pp. 373–377. doi: <https://doi.org/10.1007/s11018-014-0463-7>
9. Neyezhnikov P., Prokopov A. Estimation of economic feasibility of development of national measurement standards. *Proceedings of 17th International Congress of Metrology*, 19001, Paris, France, 2015. doi: <https://doi.org/10.1051/metrology/20150019001>
10. Neyezhnikov P., Prokopov A. The Principles of Evaluating the Economic Feasibility of Expenses for the Creation and Maintenance of the National Measurement Standards at the Required Level. *2017 NCSLI Workshop & Symposium*, Gaylord National Convention Center, National Harbor, Maryland, USA, 2017. URL: <https://ncsli.org/store/viewproduct.aspx?ID=16873719>
11. Красоха Л.М., Прокопов О.В. Оцінка економічної доцільності створення державних первинних еталонів з урахуванням інфляційних факторів. *Український метрологічний журнал*. 2008. № 1. С. 8–11.
12. Neyezhnikov P., Prokopov A. Economic feasibility for the creation and maintenance of physical quantities primary measurement standards. *Proceedings of 18th International Congress of Metrology*, 01006, Paris, France, 2017. doi: <https://doi.org/10.1051/metrology/201701006>
13. Красоха Л.М., Неєжмаков П.І., Прокопов О.В. Щодо обґрунтування економічної доцільності створення державного первинного або вихідного еталона. *Наукові праці ІХ МНТК “Метрологія та вимірювальна техніка” (Метрологія-2014)*. ННЦ “Інститут метрології”, Харків, 2014. С. 28–30. URL: http://metrology.kharkov.ua/fileadmin/user_upload/data_gc/conference/M2014/pages/01/2.pdf
14. Dowell A.M., Hendershot D.C. Simplified Risk Analysis – Layer of Protection Analysis (LOPA). Presented at the *AICHE National Meeting*, paper 281a. Indianapolis, USA, 2002.
15. Saaty T.L. *Fundamentals of the Analytic Hierarchy Process*. RWS Publications, Pittsburgh, 2000.
6. Robertson K., Swanepoel J.A. The economics of metrology. Research paper 6/2015. Department of Industry, Innovation and Science of Australian Government. Available at: https://www.industry.gov.au/sites/default/files/June%202018/document/pdf/the_economics_of_metrology.pdf
7. Usuda T., Henson A. Economic Impact of Equivalence of Measurement Standards. *NCSLI Measure*, 2012, vol. 7, no. 1, pp. 62–70. doi: <https://doi.org/10.1080/19315775.2012.11721588>
8. Neyezhnikov P.I., Prokopov A.V. Evaluating the Economic Feasibility of Creating National Primary Standards. *Measurement Techniques*, 2014, vol. 57, pp. 373–377. doi: <https://doi.org/10.1007/s11018-014-0463-7>
9. Neyezhnikov P., Prokopov A. Estimation of economic feasibility of development of national measurement standards. *Proceedings of 17th International Congress of Metrology*, 19001, Paris, France, 2015. doi: <https://doi.org/10.1051/metrology/20150019001>
10. Neyezhnikov P., Prokopov A. The Principles of Evaluating the Economic Feasibility of Expenses for the Creation and Maintenance of the National Measurement Standards at the Required Level. *2017 NCSLI Workshop & Symposium*, Gaylord National Convention Center, National Harbor, Maryland, USA, 2017. Available at: <https://ncsli.org/store/viewproduct.aspx?ID=16873719>
11. Krasokha L.M., Prokopov O.V. Otsinka ekonomichnoi dotsilnosti stvorennia derzhavnykh pervynnykh etaloniv z urakhuvanniam inflitsiinykh faktoriv [Evaluating the economic feasibility of creating national primary standards taking into account the inflation factors]. *Ukrainian Metrological Journal*, 2008, no. 1, pp. 8–11 (in Ukrainian).
12. Neyezhnikov P., Prokopov A. Economic feasibility for the creation and maintenance of physical quantities primary measurement standards. *Proceedings of 18th International Congress of Metrology*, 01006, Paris, France, 2017. doi: <https://doi.org/10.1051/metrology/201701006>
13. Krasokha L.M., Neyezhnikov P.I., Prokopov O.V. Shchodo obgruntuvannia ekonomichnoi dotsilnosti stvorennia derzhavnogo pervynnoho abo vykhidnoho etalona [Regarding the justification of the economic feasibility of creating a national primary or reference standard]. *Proceedings of IX International Scientific and Technical Conference “Metrology and Measurement Techniques” (Metrology-2014)*. Kharkiv, 2014, pp. 28–30 (in Ukrainian). Available at: http://metrology.kharkov.ua/fileadmin/user_upload/data_gc/conference/M2014/pages/01/2.pdf
14. Dowell A.M., Hendershot D.C. Simplified Risk Analysis – Layer of Protection Analysis (LOPA). Presented at the *AICHE National Meeting*, paper 281a, Indianapolis, USA, 2002.
15. Saaty T.L. *Fundamentals of the Analytic Hierarchy Process*. RWS Publications, Pittsburgh, 2000.

References