

МЕТОД ОЦІНКИ ОПТИМАЛЬНОЇ КІЛЬКОСТІ СХОДИНОК ПОВІРОЧНИХ СХЕМ

І.Р.Івицький
(подав д.т.н. В.Ю. Камінський)

Запропоновано та обгрунтовано можливість однозначного визначення оптимальної кількості сходинок повірочної схеми (ПС), започатковану на розрахунку множини варіаційних значень імітаційно-експертної моделі функції витрат на забезпечення метрологічної справності засобів вимірювальної техніки (ЗВТ) за допомогою метода координатної сітки.

Основою формування технічної структури будь-якої системи забезпечення єдності та точності вимірювань (СЗЄТВ) та її функціонування є ПС, яка встановлює ієрархічність між ЗВТ шляхом регламентації кількості сходинок передачі розмірів одиниць вимірювань (РОВ). Тому одною з першочергових задач при розробці ПС постає задача їхньої оптимізації.

Існуюча у нинішній час методологія обгрунтування кількості сходинок ПС сконцентрована в ряді основоположних нормативних документах [1–3].

Згідно методикам [1,2] по окремоті виконується розрахунок мінімально і максимально допустимої кількості сходинок k за такими формулами:

$$k_{\min} = [\lg(2N_{\Sigma})/\lg(2N_{PE})]+1; \quad k_{\max} = (\lg\Delta_{\varepsilon}/\lg\bar{\Delta})+1,$$

де Δ_{ε} – відношення довірчої похибки вихідного еталона (ВЕ) до меж допустимої похибки робочих засобів вимірювальної техніки (РЗВТ); $\bar{\Delta}$ – відношення меж допустимих похибок ВЕ і РЗВТ; N_{Σ} – загальна кількість робочих еталонів (РЕ) та РЗВТ; N_{PE} – кількість РЕ, передати одиницю яким можливо безпосередньо від ВЕ (виходячи з його продуктивності).

У цих же методиках рекомендується встановлювати оптимальне число сходинок $k_{\text{opt}} \in [k_{\min}, k_{\text{mas}}]$, на підставі того, щоб „... найбільш раціонально забезпечити повіркою всю різноманітність засобів вимірювань...“. При цьому конкретні рекомендації (метод) вибору k_{opt} відсутні.

У Міжнародному документі [3], також не встановлюються принципи та способи розрахунку кількості сходинок ПС, а лише зазначено, що

значення k_{opt} вибирається в залежати від організаційних принципів передачі РОВ та від співвідношення точностей між ВЕ, РЕ, РЗВТ.

З огляду на розглянуте, можна стверджувати, що однозначне визначення k_{opt} методично не обґрунтовано. Для розв'язання цієї задачі аксіоматично приймемо, що мета функціонування СЗСТВ буде досягатися оптимальним чином, якщо із множини альтернативних варіантів числа еталонних полів ієрархічної структури ПС, кількість РЕ, які класифікуються за цими полями на розряди, забезпечить необхідну повноту охоплення повіркою РЗВТ за встановлений міжповірочний інтервал $\tau_{РЗВТ}$ при максимальній економічності. При цьому будемо вважати, що повірка РЕ вищих розрядів здійснюється за допомогою еталона-переносника (ЕП) моноканальним способом [4].

У загальному випадку процес передачі РОВ характеризується станом знаходження РЗВТ на місцях застосування у справному стані, що забезпечується при виконанні вимоги:

$$N_{ГРЗВТ}^{(н)} \cdot K_{ГРЗВТ}^{(н)} \geq N_{ГРЗВТ}^{(в)} \cdot K_{ГРЗВТ}^{(в)}, \quad (1)$$

де $N_{РЗВТ}^{(н)}$ і $N_{РЗВТ}^{(в)}$ – наявна і встановлена (необхідна) кількість РЗВТ відповідно; $K_{ГРЗВТ}^{(н)}$ і $K_{ГРЗВТ}^{(в)}$ – наявний (фактичний) і встановлений коефіцієнт готовності РЗВТ до їх застосування відповідно.

В той же час, зазначена вимога функціонально пов'язана з витратами на забезпечення повноти та одноманітності всього парку ЗВТ. Тому за цільовий функціонал приймемо функцію витрат C , яка буде погоджувати в єдиному критерії зазначені витрати, показник кількісного складу всього парку ЗВТ, коефіцієнт його готовності та числа сходенок ПС, яке приймемо за основний операнд.

Розрахунок функції витрат будемо проводити шляхом зворотно-послідовного підсумовування витрат по сходинкам ПС, тобто „знизу–доверху“. Виходячи з цього, функція витрат для останньої сходинки, тобто між $(i+1)$ -м полем ПС, що встановлене для РЕ нижчого розряду, де $i = \overline{1, (k+1)}$, та i -м полем, призначеним для РЗВТ, буде мати вигляд:

$$C(N_{РЗВТ}) = C^K(N_{РЗВТ}) + C^E(N_{РЗВТ}),$$

де $C^K(N_{РЗВТ})$ – витрати на забезпечення умови (1); $C^E(N_{РЗВТ})$ – витрати, пов'язані з проведенням повірки РЗВТ.

Зважаючи на те, що наявна кількість парку РЗВТ, практично завжди, не перебільшує встановлену кількість, тобто $N_{РЗВТ}^{(н)} \leq N_{РЗВТ}^{(в)}$, введемо перемінну $\Delta N_{РЗВТ} = N_{РЗВТ}^{(в)} - N_{РЗВТ}^{(н)}$, яка дозволить вимогу (1) трансформувати до виду

$$\Delta N_{PЗВТ} \leq N_{PЗВТ}^{(B)} \cdot \left(1 - K_{\Gamma(i)}^{(B)} / K_{\Gamma(i)}^{(H)}\right). \quad (2)$$

Тоді виходячи з (2) можемо записати:

$$C^K(N_{PЗВТ}) = C_{PЗВТ}^B \cdot \Delta N_{PЗВТ} = C_{PЗВТ}^B \cdot N_{PЗВТ}^{(B)} \cdot \left(1 - K_{\Gamma(i)}^{(B)} / K_{\Gamma(i)}^{(H)}\right),$$

де $C_{PЗВТ}^B$ – середня вартість одного PЗВТ.

Сукупні витрати $C^E(N_{PЗВТ})$ будуть розраховуватися як:

$$C^E(N_{PE(i+1)}) = C^K(N_{PE(i+1)}) + C^E(N_{PE(i+1)}) + C^{Tp}(N_{PE(i+1)}), \quad (3)$$

де $C^K(N_{PE(i+1)}) = C_{PE(i+1)}^B \cdot \Delta N_{PE(i+1)}$ – витрати на виконання умови (2), що пов'язані з придбанням необхідних для проведення повірок PЗВТ, робочих еталонів для (i+1)-го поля ПС; $C_{PE(i+1)}^B$ – вартість одного PE, необхідного для повірки PЗВТ; $N_{PE(i+1)}$ – необхідна кількість PE; $C^E(N_{PE(i+1)})$ – витрати на проведення повірок PE; $C^{Tp}(N_{PE(i+1)}) = C_{PE(i+1)}^{Tp} \cdot N_{PE(i+1)}^{(B)}$ – витрати на транспортування PE до місць експлуатації PЗВТ.

Функцію витрат для проведення повірок PE нижчого поля можна записати у такому вигляді:

$$C^E(N_{PE(i+1)}) = C^K(N_{PE(i+2)}) + C^{Tp}(N_{PE(i+2)}) + C^E(N_{PE(i+2)}).$$

Значення $C^K(N_{PE(i+2)})$ і $C^{Tp}(N_{PE(i+2)})$ будуть розраховуватися за аналогію щодо визначення $C^E(N_{PЗВТ})$ (3).

Що стосується витрат на проведення повірок ЗВТ для (i+s)-х (вищих) еталонних полів ПС, де $s = \overline{2, (k+1)}$, то вони пов'язані з транспортуванням ЕП та процедурою передачі йому РОВ. При цьому передбачається, що продуктивність ЕП забезпечує проведення повірки ЗВТ (i+s)-х полів у повному обсязі. Це дає можливість записати:

$$C_{\Sigma}^E(N_{PE(i+s)}) = \sum_{s=2}^{k+1} \left(C_{EP}^{Tp} + C_{EP}^E \right)_{(s)}.$$

Підсумувавши витрати по всім сходинкам ПС та зробивши нескладні перетворення, отримаємо вираз для загальносистемної функції витрат у вигляді подвійного ряду:

$$C_{\Sigma}(N) = N_{ЗВТ}^{(B)} \sum_{i=1}^s \sum_{s=2}^{k+1} C_{ЗВТ(i)}^B \left(1 - \frac{K_{\Gamma(i)}^{(B)}}{K_{\Gamma(i)}^{(H)}} \right) + C_{PE(i+1)}^{Tp} + \left(C_{EP}^{Tp} + C_{EP}^E \right)_{(s)}. \quad (4)$$

Розрахувати загальну кількість ЗВТ можна за такою формулою:

$$N_{ЗВТ}^{(B)} = N_{PЗВТ}^{(B)} + N_{PE(i+1)}^{(B)} + \sum_{s=2}^{k+1} N_{PE(i+s)}^{(B)} \cdot L_{(i+s)} \cdot Z_{(i+s)}, \quad (5)$$

де $L_{(i+s)}$ – число вимірювальних лабораторій, в яких знаходяться PE $(i+s)$ -х розрядів; $Z_{(i+s)}$ – кількості номінальних значень одиниці вимірювань, розмір якої передається моноканальним способом.

Кількість $N_{PE(i+1)}^{(B)}$, яку необхідно для обхвату повіркою парку PЗВТ за $\tau_{PЗВТ}$, нескладно встановити виходячи з умови:

$$N_{PE(i+1)}^{(B)} \cdot \Pi_{PE(i+1)} \cdot \tau_{PЗВТ} \geq N_{PЗВТ}^{(H)} + \Delta N_{PЗВТ},$$

де $\Pi_{PE(i+1)}$ – середня продуктивність PE для $(i+1)$ -го поля ПС.

Тоді метаморфоза формули (5) набуває вигляду

$$N_{ЗВТ}^{(B)} = \left(N_{PЗВТ}^{(H)} + \Delta N \right) \cdot \left(1 + 1 / \Pi_{CE(i)} \cdot \tau_{PЗВТ} \right) + \sum_{s=2}^{k+1} N_{CE(i+s)}^{(B)} \cdot J_{(i+s)} \cdot Z_{(i+s)}$$

На випадок можливих відмов PE, при розрахунках доцільно передбачити деяку їх кількісну надмірність: для $(i+1)$ -го поля на 10 %; для інших полів на 20 %.

Подальша задача відшукування k_{opt} полягає у розрахунку множини варіаційних значень цільового функціоналу (4) і визначенні того варіанту для якого він мінімальний.

Реалізація цієї задачі була проведена шляхом із застосуванням методу координатної сітки [5] для ПС засобів вимірювань електричного опору. На підставі результатів математичної апробації моделі (4) була побудована залежність зведених витрат C_3 від натурального ряду значень k , яка відображена на рисунку. Зведення здійснювалося відносно витрат, які необхідні для варіанту функціонування СЗСТВ з $k = 1$. Для порівняння були проведені за методикою МИ 83–76 [1] розрахунки k_{min} і k_{mas} , значення яких, також наведені на рисунку. Якщо, за цими розрахунками, за оптимальне значення кількості сходинок ПС прийняти середнє між значення k_{min} і k_{mas} , як це робиться на практиці, то отриманий результат, який дорівнює чотирьом, не буде відповідати оптимальній кількості сходинок.

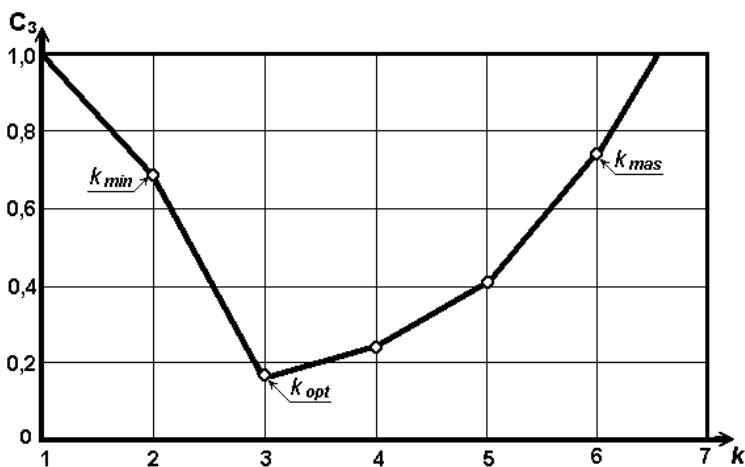


Рис. Залежність зведених витрат C_3 на функціонування системи передачі РОЕО від кількості k сходинок ПС

Необхідно зазначити, що кількість сходинок державної ПС для засобів вимірювань електричного опору, також дорівнює чотирьом, що приводить до зниження оперативності передачі розмірів одиниці електричного опору та до зайвої втрати точності при повірці РЗВТ.

Таким чином, застосування запропонованого методу при розробках ПС надасть реальну можливість підвищити техніко-економічні показники ефективності СЗСТВ за рахунок оптимізації кількості сходинок передачі РОВ.

ЛІТЕРАТУРА

1. МИ 83–76. Методика определения параметров поверочных схем.
2. МИ 2230–92 Методика количественного обоснования поверочных схем при их разработке.
3. МД № 5 МОЗМ. Принципы установления иерархических схем для поверки средств измерений. –М: Изд-во стандартов, 1982.–17с.
4. Коротков Б.В.// Обґрунтування структури системи передавання розміру одиниці електричного опору постійного струму// Український метрологічний журнал.–1997.–Вип.4.–С.18–20.
5. Растрингин Л.А. Случайный поиск. – Рига: Зинатне.– 1965.– 326с.