

АВТОМАТИКА ТА ІНФОРМАЦІЙНО- ВИМІРЮВАЛЬНА ТЕХНІКА

УДК 621.317

О. М. Васілевський, канд. техн. наук

НОРМУВАННЯ ПОКАЗНИКІВ МЕТРОЛОГІЧНОЇ НАДІЙНОСТІ

Запропоновано новий підхід до визначення міжперіодичного інтервалу засобів вимірювальної техніки на основі нормованих показників метрологічної надійності та математичний апарат для його реалізації.

Вступ і постановка задачі

Характерною особливістю сучасного розвитку засобів вимірювальної техніки (ЗВТ) є широке впровадження елементів та пристроїв автоматики та інформаційно-вимірювальної техніки у виробничі та технологічні процеси для їх автоматизації. В умовах сучасної економіки автоматизація є одним з основних напрямів розвитку науково-технічного прогресу. І, звичайно, покращення ефективності та якості роботи ЗВТ неможливе без оцінювання надійності їх функціонування. Таким чином, вищевикладене є першою причиною необхідності нормування показників як технічної, так і метрологічної надійностей ЗВТ. Другою причиною, яка потребує нормування показників метрологічної надійності, є підвищення складності ЗВТ, апаратури їх обслуговування, умов їх експлуатації і відповідальності задач, які на них покладають. Недостатня надійність ЗВТ призводить до збільшення долі експлуатаційних витрат порівняно із загальними витратами на проектування, виробництво і використання цих засобів. Через це вартість експлуатації ЗВТ може в багато разів перевищити вартість їх розробки і виготовлення. Крім того відмови ЗВТ призводять до таких наслідків: втрат важливої інформації, простоїв виробництва, аварій тощо. Таким чином, наступною причиною підвищення ролі нормування показників метрологічної надійності в сучасних умовах є економічний фактор.

Надійність є найважливішим техніко-економічним показником якості будь-якого ЗВТ, що означає здатність безвідмовно працювати з незмінними технічними характеристиками протягом заданого проміжку часу за певних умов експлуатації. Надійність зберігається шляхом правильного зберігання і підтримується правильною експлуатацією ЗВТ, профілактичним контролем, повіркою і ремонтом. Таким чином, розробка математичного апарату, який дозволить розраховувати міжперіодичний інтервал ЗВТ за допомогою показників метрологічної надійності для контролю і підтримки експлуатаційних характеристик є актуальною науковою задачею.

З огляду на вищесказане *метою статті* є створення математичної моделі, яка дозволить визначати міжперіодичний інтервал ЗВТ на основі основних показників метрологічної надійності для перевірки відповідності метрологічних характеристик, встановленим нормам і підтримання працездатності ЗВТ.

Аналіз стану досліджень та публікацій

Основними показниками, що можуть використовуватися для розрахунку характеристик метрологічної надійності, є [1]:

- вірогідність безвідмовної роботи;
- інтенсивність метрологічних відмов;
- середній час до першої метрологічної відмови;
- параметр потоку відмов (метрологічних);
- напрацювання до першої метрологічної відмови.

Вірогідністю безвідмовної роботи називається вірогідність того, що за певний проміжок часу в

ЗВТ не відбудеться відмови. Наближено її можна визначити за формулою [2]

$$P(t) \approx \frac{N(t)}{N_0}, \quad (1)$$

де $N(t)$ — кількість працюючих ЗВТ в кінці проміжку часу t ; N_0 — кількість працюючих ЗВ на початку проміжку часу t .

Інтенсивністю відмов називають вірогідність відмови ЗВТ, що не ремонтується, за одиницю часу за умови, що відмова до кінця цього часу не виникла. Вона може бути визначена так:

$$\lambda(t) \cong \frac{\Delta n}{N(t) \Delta t}, \quad (2)$$

де Δn — кількість ЗВТ, що відмовили за час Δt ; $N(t)$ — кількість справних ЗВТ в кінці проміжку часу; Δt — час спостереження [3].

Середнім напрацюванням до першої відмови T_{cp} є середнє значення напрацювань ЗВТ в партії до першої відмови. Воно визначається за таким виразом:

$$T_{cp} = \frac{\sum_{i=1}^n T_i}{n}, \quad (3)$$

де T_i — час роботи i -го ЗВТ до першої відмови; n — кількість ЗВТ в партії, для якої визначається T_{cp} .

Параметром потоку відмов $\omega(t)$ називається середня кількість відмов ЗВТ, що ремонтуються за одиницю часу для моменту часу, який розглядається. Він визначається за формулою

$$\omega(t) = \frac{\Delta n}{N_0 \Delta t}, \quad (4)$$

де N_0 — кількість працюючих ЗВТ в проміжку часу Δt ; Δn — кількість ЗВТ, які відмовили за проміжок часу Δt .

Необхідно врахувати, що під час визначення величини $\omega(t)$ ЗВТ, які відмовляють протягом часу Δt , ремонтуються. В цьому випадку $N_0 = N(t)$.

Напрацюванням на відмову T називається середнє значення напрацювання ЗВТ, які ремонтуються між відмовами

$$T = \frac{\sum_{i=1}^n T_{cpi}}{n}, \quad (5)$$

де T_{cpi} — середнє значення напрацювання до відмови i -го ЗВТ; n — кількість ЗВТ в партії, що досліджується.

Значення T_{cpi} визначається за формулою

$$T_{cpi} = \frac{\sum_{i=1}^m T_{ij}}{m}, \quad (6)$$

де T_{ij} — середній час роботи i -го ЗВТ між j -м та $(j + 1)$ -ю відмовами; m — кількість відмов i -го ЗВТ.

Інтенсивність відмов, що розраховується за (2), визначається експериментально в процесі випробувань ЗВТ на надійність, що потребує значного часу досліджень. На практиці інтенсивність відмов можна прогнозувати. Для більшості серійно виготовлених елементів ЗВТ існують спеціальні таблиці, в яких зазначаються інтенсивності відмов за одиницю часу.

Знаючи інтенсивність відмов кожного з елементів λ_i , що входять до складу ЗВТ, можна визначити інтенсивність відмови ЗВТ в цілому за формулою

$$\lambda_{\Sigma}(t) = \sum_{i=1}^n \lambda_i m_i, \quad (7)$$

де n — загальна кількість типів елементів, що входять до складу ЗВТ; m — кількість елементів i -го типу.

Ймовірність безвідмовної роботи ЗВТ в цьому випадку можна розрахувати за формулою [1, 2]

$$P(t) = e^{-\int_0^t \lambda_{\Sigma}(t) dt} \quad (8)$$

Середній час безвідмовної роботи, що називається напрацюванням до відмови, можна визначити за формулою

$$T_{cp} = \int_0^{\infty} P(t) dt \quad (9)$$

Інтенсивність відмови $\lambda_{\Sigma}(t)$, ймовірність безвідмовної роботи $P(t)$ і напрацювання до відмови T_{cp} є показниками, які найчастіше використовуються для визначення метрологічної надійності.

Оскільки випадкова відмова може відбутися в будь-який момент часу, незалежно від того, скільки часу пропрацював ЗВТ, то інтенсивність раптової відмови не залежить від часу, тобто $\lambda_{\Sigma}(t) = \lambda_{\Sigma} = \text{const}$.

Тому, коли йдеться про раптові відмови, то ймовірність безвідмовної роботи ЗВТ можна визначити за простішою залежністю

$$P(t) = e^{-\lambda_{\Sigma} t} \quad (10)$$

Напрацювання до відмови в цьому випадку розраховується за формулою [2]

$$T_{cp} = \frac{1}{\lambda_{\Sigma}} \quad (11)$$

Викладення основного матеріалу

Метрологічною відмовою називають вихід метрологічних характеристик ЗВТ за межі встановлених норм. Метрологічна надійність ЗВТ встановлюється експериментальним шляхом у ході випробувань ЗВТ на метрологічну надійність. Для випробувань відбирається n ЗВТ конкретного типу. У кожного конкретного екземпляра ЗВТ визначаються індивідуальні значення метрологічних характеристик, а потім закони розподілу цих значень та їх числові характеристики. Для більшості ЗВТ сумарний закон розподілу ймовірності досліджуваної метрологічної характеристики є нормальним. Оцінку середнього значення ймовірності можна визначити за формулою

$$\bar{q}_1 = \frac{\sum_{i=1}^{n_1} q_i}{n_1} \quad (12)$$

Її дисперсію можна оцінити за формулою

$$S_{q_1}^2 = \frac{\sum_{i=1}^{n_1} (q_i - \bar{q}_1)^2}{n_1 - 1} \quad (13)$$

У разі правильного нормування середнє арифметичне значення має збігатися з номінальним значенням досліджуваної метрологічної характеристики, а максимальні та мінімальні межі, в яких повинна знаходитись конкретна метрологічна характеристики будь-якого ЗВТ цього типу, встановлюються симетричними номінальному значенню.

Для практичних розрахунків пропонується використати спрощену методику визначення міжперевіркового інтервалу (МПІ), який розраховується за формулою

$$T_{МПІ} = \frac{\ln(1 - Q_M(t))}{\ln P_M(t)}, \quad (14)$$

де $P_M(t)$ — метрологічна вірогідність безвідмовної роботи; $Q_M(t)$ — вірогідність метрологічної відмови за час між повіркми, що визначається за встановленими довідниковими значеннями (табл.).

Значення допустимих вірогідостей метрологічної відмови

Для ЗВТ, що використовуються для:	Значення допустимої ймовірності метрологічної відмови
технічних вимірювань	0,2 ... 0,1
передачі інформації про розмір одиниці	0,15 ... 0,005
особливо важливих та відповідальних вимірювань	0,003 ... 0,001

Як показує досвід, в матеріалах розробників ЗВТ, поданих на випробування з метою затвердження типу, часто відсутня достовірна інформація про нестабільність ЗВТ, що необхідна для ґрунтованого присвоєння первинного міжперевіркового інтервалу (МПІ) ЗВТ. У цих випадках для його орієнтовної оцінки можна скористатися нормованими значеннями показників надійності, що вказані в технічних умовах на ЗВТ.

Якщо вдається визначити, хоча б орієнтовно, середню частку q метрологічних відмов в загальному потоці відмов ЗВТ, то оцінюють вірогідність роботи ЗВТ без метрологічних відмов $P_M(t)$ за час (напрацювання) t за формулою

$$P_M(t) = 1 - q[1 - P(t)], \quad (15)$$

де $P(t)$ — вірогідність безвідмовної роботи ЗВТ (технічна) за час напрацювання t [4].

Якщо середню частку метрологічних відмов q визначити не вдається, то приймають $P_M(t) = P(t)$.

На підставі матеріалів, наданих на випробування, визначають СКВ σ_0 розподілу похибки градування ЗВТ під час випуску з виробництва, межу Δ_H допустимої похибки (нестабільності) ЗВТ, що пронормована в технічних умовах (ТУ), межу Δ_E допустимої похибки (нестабільності) ЗВТ в реальних умовах експлуатації.

Встановлюють відповідно до критеріїв значення вірогідності метрологічної справності $P_{м.с.}$ чи довірчої вірогідності P .

В якості критеріїв під час встановлення МПІ слід вибрати показники метрологічної надійності або стабільності ЗВТ. Вид критерію визначається способом повірки ЗВТ.

Для повірки, що полягає у встановленні дійсних значень ЗВТ або його градуванні, критерієм є межа допустимих значень довірчих меж нестабільності ЗВТ за МПІ за заданої довірчої вірогідності P .

Для повірки, що полягає у визначенні придатності до застосування ЗВТ за критерієм стабільності (із забракуванням екземплярів, зміна дійсних значень або градувальної характеристики яких за МПІ перевищує встановлену межу допустимої нестабільності) та подальшому встановленні його дійсного значення, показником метрологічної надійності є межа допустимих значень вірогідності метрологічної справності ЗВТ в момент повірки $P_{м.с.}$.

Для повірки, що полягає у визначенні придатності до застосування ЗВТ за критерієм точності (із забракуванням екземплярів, дійсні значення характеристик похибок яких перевищують встановлені межі допустимих значень), показником метрологічної надійності також є вірогідність метрологічної справності $P_{м.с.}$.

В припущенні про симетричність закону розподілу похибок оцінити міжперевірковий інтервал T_1 можна за формулою

$$T_1 = t \frac{\ln\left(\frac{\Delta_E}{\lambda_P \sigma_0}\right)}{\ln\left(\frac{\Delta_H}{\lambda_{P_{м.с.}(t)} \sigma_0}\right)}, \quad (16)$$

де λ_P — коефіцієнт нормального розподілу, що відповідає ймовірності $P(t)$ або $P_M(t)$; $\lambda_{P_{м.с.}(t)}$ — коефіцієнт нормального розподілу, що відповідає вірогідності метрологічної справності $P_{м.с.}$.

Прийнявши припущення про те, що випадковий процес зміни в часі похибки ЗВТ полягає в лінійній зміні середнього значення похибки (за сукупністю ЗВТ цього типу) у разі незмінного СКВ розподілу похибки σ , оцінку МПІ T_2 можна визначити за формулою

$$T_2 = t \frac{\Delta_E - \lambda_P \sigma_0}{\Delta_H - \lambda_{P_{MC}}(t) \sigma_0}. \quad (17)$$

За знайденими МПІ T_1 і T_2 пропонується встановити первинний міжперевірковий інтервал ЗВТ, прийнявши його рівним мінімальному значенню між значеннями T_1 і T_2 , тобто

$$T = \min [T_1, T_2]. \quad (18)$$

Якщо вдається визначити, хоча б приблизно, середню частку q метрологічних відмов в загальному потоці відмов ЗВТ цього типу, то можна також оцінити і середній час (середнє напрацювання) до першої метрологічної відмови $T_{\text{ср.м}}$ за формулою

$$T_{\text{ср.м}} = \frac{1}{q} [T_{\text{ср.в}} - T_{\text{ср.в}} (1 - q)], \quad (19)$$

де $T_{\text{ср.в}}$ — середній час ЗВТ до першої раптової відмови (визначається структурним розрахунком надійності ЗВТ за даними про інтенсивність відмов його елементів). Якщо q невідомо, то приймають $T_{\text{ср.м}} = T_{\text{ср}} [4]$.

На підставі матеріалів, наданих на випробування, визначають СКВ σ_0 розподілу похибки градування ЗВТ при випуску з виробництва, межу Δ_H допустимої похибки (нестабільності) ЗВТ, що пронормована в ТУ та межу Δ_E допустимої похибки (нестабільності) ЗВТ в реальних умовах його експлуатації.

Для оцінки МПІ T_1 пропонується прийняти припущення про симетричність розподілу похибки ЗВТ відносно нуля і МПІ розрахувати за формулою

$$T_1 = T_{\text{ср.м}} \frac{\ln \left(\frac{\Delta_E}{\lambda_P \sigma_0} \right)}{\ln \left(\frac{\Delta_H}{\sigma_0} + 0,635 \right)}. \quad (20)$$

Потім в припущенні про лінійний випадковий процес оцінити МПІ T_2 за формулою

$$T_2 = T_{\text{ср.м}} \frac{\Delta_E - \lambda_P \sigma_0}{\Delta_H}. \quad (21)$$

Кінцевий МПІ визначаємо за формулою (18).

Висновки

З використанням нормованих показників метрологічної надійності розроблено математичний апарат для визначення міжповіркового інтервалу ЗВТ, який дозволяє розраховувати інтервали між повірками як за допомогою метрологічної вірогідності безвідмовної роботи (або технічної вірогідності безвідмовної роботи, якщо частку метрологічних відмов визначити не вдається), так і за допомогою середнього часу до відмови.

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Матвеевский В. Р. Надежность технических средств управления : учеб. пос. / В. Р. Матвеевский. — М. : МГИЭМ, 1993. — 92 с.
2. Половко А. М. Основы теории надёжности : книга / А. М. Половко. — М. : Наука, 1964. — 446 с.
3. Васілевський О. М. Практикум з метрологічного нагляду за засобами вимірювань : практикум / О. М. Васілевський, В. О. Поджаренко. — Вінниця : ВНТУ, 2008. — 87 с.
4. Васілевський О. М. Нормування показників надійності технічних засобів : навч. пос. / О. М. Васілевський, В. О. Поджаренко. — Вінниця : ВНТУ, 2010. — 129 с.

Рекомендована кафедрою метрології та промислової автоматики

Стаття надійшла до редакції 14.04.11
Рекомендована до друку 25.06.11

Васілевський Олександр Миколайович — начальник відділу захисту інформації та інформаційно-технічного забезпечення Міністерства освіти і науки, молоді та спорту України, Київ, доцент кафедри метрології та промислової автоматики Вінницького національного технічного університету, Вінниця