

УДК 681.518.3:519.21(045)

¹Є. А. Реуцький,²Л. М. Щербак, д-р техн. наук

МЕТОД ПРОГНОЗУВАННЯ МЕТРОЛОГІЧНИХ ХАРАКТЕРИСТИК ДЛЯ ВИРІШЕННЯ ЗАВДАНЬ НАДІЙНОСТІ ЗАСОБІВ ВИМІРЮВАНЬ

Інститут інформаційно-діагностичних систем НАУ, e-mail:

¹evgeniy@ukr.net, ²prof_Scherbak@ukr.net

Запропоновано і обґрунтовано метод прогнозування метрологічних характеристик засобів вимірювань з поетапним коригуванням на основі статистичної обробки даних їх періодичних випробувань.

Ключові слова: засіб вимірювань, випадковий процес, метрологічна характеристика, прогнозування, точність.

Вступ. Науково-технічні проблеми підвищення надійності засобів вимірювальної техніки зумовлені збільшенням кількості вимірювальних задач, підвищенням вимог до експлуатаційних характеристик цих засобів, передусім до характеристик надійності. При цьому зростає кількість метрологічних характеристик, ширше враховуються реальні умови експлуатації, що дає змогу адаптувати до умов експлуатації розрахункові характеристики надійності під час проектування і відповідно розробити програми та методики проведення комплексних випробувань засобів вимірювань.

Метрологічні характеристики засобів вимірювань є основними функціональними характеристиками у процесі експлуатації. Зазначивши змін, одна або декілька метрологічних характеристик можуть вийти за межі, нормовані в технічній документації, і тим самим перевести засіб вимірювань у непрацездатний (або частково працездатний) стан. Відмови такого типу через прихований характер їх виникнення та неможливість реєстрації і швидкого усунення є особливо небезпечними [5 – 7]. Тому актуальними є дослідження, пов'язані з прогнозуванням метрологічних характеристик для вирішення завдань надійності засобів вимірювань.

Аналіз досліджень і публікацій. Методам прогнозування метрологічних характеристик присвячено значну кількість вітчизняних і зарубіжних праць, оскільки зміна цих характеристик впливає на важливий показник функціонування засобів вимірювань – метрологічну надійність [1; 3 – 8]. У більшості цих праць зазначається, що метрологічна характеристика засобу вимірювання описується моделлю нестационарного випадкового процесу, але разом з тим всі подальші дослідження проводяться з використанням стаціонарних випадкових процесів або наближення апроксимаційними поліномами, що зумовлює потребу у додатковому оцінюванні точності таких підходів та відповідності реальним експериментальним даним [2]. У зв'язку з цим актуальним є розроблення такого методу прогнозування зміни метрологічних характеристик, який буде стійким до особливостей характеристик засобів вимірювань, і який, враховуючи дані, отримані під час періодичних випробувань, у тому числі повірочних, дозволить їх коригувати у процесі їх функціонування.

Постановка завдання. Обґрунтувати метод прогнозування зміни метрологічних характеристик засобів вимірювань за значної апіорної невизначеності характеру цих змін з поетапним коригуванням за результатами періодичних випробувань на основі статистичної обробки даних вимірювань при таких випробуваннях.

Пряма і обернена задачі надійності. На етапі проектування засобів вимірювань виникають декілька варіантів схем їх побудови, в результаті чого необхідно виконувати аналіз і розрахунок, яка із зазначених моделей схем більш точно відповідає необхідним

заданим технічним характеристикам, у першу чергу характеристикам надійності. Таким чином, пряма задача надійності ґрунтується на використанні математичної моделі вимірювальних засобів, апріорних даних про характеристики їх надійності та передбачає розрахунок показників відповідних схем засобів вимірювань, порівняння показників їх надійності.

У процесі налагодження, відпрацювання і експлуатації засобів вимірювань виконують експериментальну оцінку показників надійності, закладених на етапі проектування, із застосуванням статистичної обробки експериментальних даних, отриманих за результатами випробувань. При цьому розв'язується обернена задача надійності, результатом якої є статистичне обґрунтування характеристики надійності. Тобто обернена задача надійності полягає в оцінюванні апріорних характеристик надійності вимірювальних засобів і зводиться до постійного моніторингу за реалізаціями цих характеристик [1; 6; 8].

Задачі і методика прогнозування. На етапі заводських випробувань маємо партію однотипних засобів вимірювальної техніки $i=1, 2, \dots, n$. За результатами статистичної обробки заводських випробувань отримуємо статистичну оцінку метрологічної характеристики вимірювального каналу.

Постановка задачі прогнозування динаміки метрологічної характеристики в часі. У загальному випадку метрологічна характеристика під дією значної кількості випадкових факторів описується нестационарним випадковим процесом $\xi(\omega, t), \omega \in \Omega, t \in T$. На основі його досліджень пропонується така модель характеристики вимірювального каналу:

$$A(t) = M\{\xi(\omega, t)\} \pm k\sqrt{D\{\xi(\omega, t)\}}, t \in T, \quad (1)$$

де $M\{\xi(\omega, t)\}$ і $D\{\xi(\omega, t)\}$ – відповідно математичне сподівання та дисперсія метрологічної характеристики; k – коефіцієнт формування довірчого інтервалу (для гауссівського закону розподілу $k=2$ при $P=0,95$ або $k=3$ при $P=0,997$), T – інтервал часу.

У загальному випадку для оцінки (1) використовується також концепція невизначеності результатів вимірювань, яка по суті дає змогу враховувати вплив різних факторів шляхом визначення відповідного значення коефіцієнта k у рівнянні (1).

Після проведення заводських випробувань в процесі передачі засобів вимірювань в експлуатацію отримують статистичну оцінку досліджуваної метрологічної характеристики вигляду (1) за умови, що $t=0$. Відповідно до такого підходу модель метрологічної характеристики вимірювального каналу розглядається як переріз випадкового процесу для фіксованих моментів часу, тобто для відповідної випадкової величини $\xi(\omega) = \xi(\omega, t)|_{t=0}$ і

$$A(0)|_{t=0} = M\xi(\omega, 0) \pm k\sqrt{D\xi(\omega, 0)}.$$

Обчисливши статистичні оцінки математичного сподівання та дисперсії метрологічної характеристики на основі отриманої реалізації її значень і підставивши їх у вираз (1), будують її прогнозоване значення:

$$\hat{A}(0) = \hat{m}(0) \pm k\hat{\sigma}(0). \quad (2)$$

Коригування моделі метрологічної характеристики. У процесі експлуатації засобів вимірювань проводять їх випробування у момент часу $t=t_j$ (як t_j обирають фіксований час повірки чи калібрування засобів вимірювань), отримують реалізації метрологічної характеристики, розраховують відповідні статистичні оцінки, фактично починають розв'язувати обернену задачу надійності. При цьому необхідно забезпечити належну точність результатів випробувань, передусім визначити наявність та скоригувати систематичні складові [3].

Зупинимось більш детально на моделі метрологічної характеристики (1) відповідно до її оцінки (2). Далі вважаємо, що оцінка математичного сподівання характеристики $\hat{A}(0)$, яке є систематичною складовою, скориговане, тобто $\hat{m}(0) \equiv 0$.

У цьому випадку вираз (2) для оцінювання метрологічної характеристики набуває вигляду

$$B(0) = \pm k \hat{\sigma}(0).$$

Після проведення перших періодичних випробувань у момент часу $t = t_1$ отримаємо оцінку середньоквадратичного відхилення метрологічної характеристики $\hat{\sigma}_n(t_1)$ (індекс n означає номер вибірки, характеристика якої використовується для прогнозування) і розраховуємо приріст отриманої оцінки, потрібний для прогнозування:

$$\Delta_1 \hat{\sigma}_n(t_1) = \hat{\sigma}_n(t_1) - \hat{\sigma}_n(0).$$

Як модель на інтервалі часу прогнозування $t \in [0, t_1]$ використаємо лінійну модель

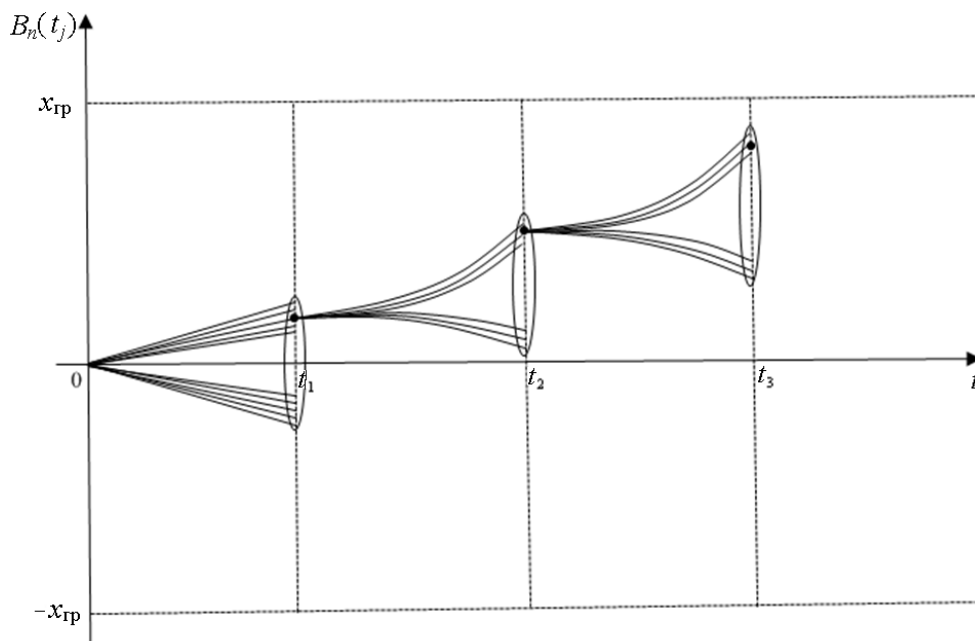
$$B_n(t_1) = \pm k [\hat{\sigma}_n(0) + \Delta_1 \hat{\sigma}_n(t_1)].$$

Прогнозування між періодичними повітками засобів вимірювань. На наступному етапі випробування $t \in [t_1, t_2]$ використовуємо нелінійну квадратичну модель

$$B_n(t_1) = \pm k [\hat{\sigma}_n(0) + q_1 \Delta_1 \hat{\sigma}_n(t_1) + q_2 \Delta_1 \hat{\sigma}_n(t_1)^2].$$

Прогнозовані криві на інтервалі $t \in [t_1, t_2]$ будуть починатися з точки відліку, яка найточніше відповідає околу невизначеності у момент часу t_1 . Обґрунтування і визначення вагових коефіцієнтів q_1 і q_2 проводяться на основі статистичної обробки результатів вимірювань, отриманих під час періодичних випробувань.

Побудуємо графічне зображення прогнозованих значень метрологічної характеристики які наведено на рисунку. Як граничне значення $\pm x_{\text{гр}}$ беремо клас точності досліджуваних засобів вимірювань.



Модель зміни метрологічної характеристики при $q_1 = 0,1$, $q_2 = 0,9$, $k = 2$

Після проведення випробувань у моменти часу $t = 0$, використовуючи лінійну модель, будемо прогноз метрологічної характеристики до наступного моменту випробувань $t = t_1$.

За результатами цих випробувань конкретизуємо статистичну оцінку характеристики. Наступний крок прогнозу метрологічної характеристики будемо з використанням нелінійної квадратичної моделі до наступного моменту випробувань $t = t_2$. Знову конкретизуємо статистичну оцінку характеристики і продовжуємо наступний крок прогнозу.

Наведена методика прогнозування є певною мірою інваріантною до закону розподілу, оскільки в основу покладено приріст характеристики, який отримують за результатами статистичного оброблення даних. У подальших дослідженнях ця методика може бути розвинена для прогнозування з урахуванням закону розподілу результатів вимірювань під час періодичних випробувань.

Висновки. Запропоновано метод прогнозування метрологічних характеристик з поетапним коригуванням, яке є необхідним, оскільки у процесі експлуатації під дією дестабілізуювальних факторів динаміка досліджуваної характеристики постійно змінюється. У наведеному методі розглянуто тільки один випадок прогнозу метрологічної характеристики засобів вимірювань за відсутності систематичних складових похибок вимірювань.

Список літератури

1. *Азарсков В. Н.* Надежность систем управления и автоматики: учеб. пособие / В. Н. Азарсков, В. П. Стрельников. – К.: НАУ, 2004. – 164 с.
2. *Виленкин С. Я.* Статистическая обработка результатов исследования случайных функций / С. Я. Виленкин. – М.: Энергия, 1979. – 320 с.
3. *Опрацювання результатів вимірювань: навч. посіб.* / М. М. Дорожовець – Львів: Вид-во Нац. ун-ту «Львівська політехніка», 2007. – 624 с.
4. *Метрологія.* Міжповірочний інтервал засобів вимірювальної техніки. Основні положення та вимоги : ДСТУ 6044:2008. – [Чинний від 2009 – 01 – 01]. – К.: Держспоживстандарт України, 2009. – 10 с. (Національні стандарти України).
5. *Екимов А. В.* Надежность средств электроизмерительной техники / А. В. Екимов, М. И. Ревяков. – Л.: Энергоатомиздат. Ленингр. отд-ние, 1986. – 208 с.
6. *Ермаков А.А.* Основы надежности информационных систем: учеб. пособие. – Иркутск: ИРГУПС, 2006. – 151 с.
7. *Микийчук М. М.* Актуальні питання метрологічної надійності промислових ЗВТ / М. М. Микийчук // Методи та прилади контролю якості. – 2009. – №23. – С. 57 – 60.
8. *Мищенко С. В.* Метрологическая надежность измерительных средств / С. В. Мищенко, Э. И. Цветков, Т. И. Чернышева. – М.: Машиностроение, 2001. – 96 с.

Е. А. Реуцкий, Л. Н. Щербак

Метод прогнозирования метрологических характеристик для решения задач надежности средств измерений

Предложен и обоснован метод прогнозирования метрологических характеристик средств измерений с поэтапной коррекцией на основе статистической обработки данных их периодических испытаний.

E. A. Reutskiy, L. M. Scherbak

The method of forecasting the metrological characteristics in problems of reliability of measurement devices

The method of forecasting the metrological characteristics of measurement devices is proposed and justified, it based on statistical data of their periodic testing.