

УДК 389(076.5)

АНАЛІЗ АЛГОРИТМІВ ВИМІРЮВАЛЬНОГО КОНТРОЛЮ ПАРАМЕТРІВ СКЛАДНОЇ ТЕХНІЧНОЇ СИСТЕМИ

В.В. Стаднік, доцент, к.т.н., ХНАДУ

Анотація. Проведено аналіз алгоритмів контролю параметрів складних технічних систем, що забезпечують заданий рівень апіорної або апостеріорної достовірності контролю.

Ключові слова: помилки першого роду, помилки другого роду, достовірність контролю, складна технічна система.

АНАЛИЗ АЛГОРИТМОВ ИЗМЕРИТЕЛЬНОГО КОНТРОЛЯ ПАРАМЕТРОВ СЛОЖНОЙ ТЕХНИЧЕСКОЙ СИСТЕМЫ

В.В. Стадник, доцент, к.т.н., ХНАДУ

Аннотация. Проведен анализ алгоритмов контроля параметров сложных технических систем, обеспечивающих заданный уровень априорной или апостериорной достоверности контроля.

Ключевые слова: ошибки первого рода, ошибки второго рода, достоверность контроля, сложная техническая система.

ALGORITHMS ANALYSIS OF MEASURING CONTROL OF COMPLEX TECHNICAL SYSTEM PARAMETERS

V. Stadnik, Associate Professor, Candidate of Technical Science, KhNAHU

Abstract. The analysis of parameters control algorithms of complex technical systems providing the set level of priori or posteriori authenticity of control is conducted.

Key words: mistake of the first type, mistake of the second type, authenticity of control, complex technical system.

Вступ

Для складної технічної системи (СТС) вибір необхідної точності вимірювань параметрів є одним з найважливіших завдань. Це обумовлено тим, що від його вирішення залежать показники ефективності контролю – інформативність, оперативність і економічність. Підвищення достовірності контролю параметрів СТС за рахунок використання точніших засобів вимірювальної техніки неминуче призводить до зниження швидкодії і дорожчання систем контролю. Тому є очевидною доцільність оцінки необхідної точності вимірювального контролю, що передбачає забез-

печення заданої достовірності контролю застосуванням засобів вимірювальної техніки мінімальної точності, яка допускається при цьому.

Аналіз публікацій

Серед різних чинників на достовірність контролю параметрів СТС принциповий вплив справляє алгоритм контролю. По суті цього впливу розрізняють два види алгоритмів контролю [1–4]. Алгоритми контролю першого виду спрямовані на забезпечення заданого рівня апіорної достовірності контролю, а алгоритми контролю другого виду – на за-

безпечення заданого рівня апостеріорної достовірності контролю. Відмінність цих видів алгоритмів полягає у способі прийняття рішення за результатами контролю. При використанні алгоритму контролю першого виду рішення про технічний стан СТС приймається залежно від того, знаходяться виміряні значення параметрів у допустимих інтервалах чи ні [1, 2]. При використанні алгоритму контролю другого виду додатково проводиться апостеріорна оцінка достовірності контролю, і лише за результатами цієї оцінки приймається остаточне рішення про придатність СТС до подальшого застосування за призначенням [2–4]. Алгоритми контролю, що забезпечують необхідний рівень апріорної достовірності, є простими в реалізації, ефективними у статистичному змісті і широко застосовуються для контролю масової продукції. Алгоритми контролю з апостеріорною оцінкою достовірності є складнішими, вимагають застосування обчислювальної техніки; їх доцільно застосовувати у тому випадку, коли СТС є унікальною або контроль проводиться досить рідко, тобто є високою ціна прийнятого за результатами контролю рішення. Але найбільш суттєва відмінність цих двох видів алгоритмів контролю полягає у неспівпадінні вимог до точності вимірювань параметрів СТС, за рівної достовірності їх контролю.

Мета і постановка задачі

Визначити і провести порівняльну оцінку необхідної точності вимірювань параметрів СТС при використанні алгоритмів контролю параметрів, що забезпечують заданий рівень апріорної або апостеріорної достовірності контролю.

Алгоритми контролю параметрів СТС з апріорною оцінкою достовірності контролю

Припустимо, що стан СТС характеризується N незалежними параметрами. За допомогою ЗВТ визначаються значення x_i кожного i -го параметра. СТС є справною, якщо ..., і несправною при $x_i < -d_i$, $x_i > d_i$, де d_i – значення симетричного допуску на i -й параметр, $i = \overline{1, N}$.

Нехай відомі закони розподілу щільності ймовірності контрольованих параметрів

$\phi(x_i)$ і похибок їх вимірювання $\phi(\Delta_i)$ і задані гранично допустимі значення безумовної ймовірності того, що працездатна СТС визнається непрацездатною, а СТС, що відмовила, – працездатною. Позначимо їх $P_{пв}$, $P_{нв}$ відповідно. Визначимо вплив гранично допустимих похибок вимірювання кожного параметра Δ_{oi} на достовірність прийняття рішення про придатність СТС до застосування.

При контролі за алгоритмами першого виду рішення про придатність СТС до подальшого використання за призначенням приймається, якщо виміряні значення параметрів x_i знаходяться в межах контрольних допусків d_i . При цьому якщо хоча б один параметр СТС виходить за межі свого допуску, то СТС визнається непридатною до подальшого використання. Залежності показників достовірності контролю СТС в цілому від достовірності контролю її параметрів виглядають таким чином [2, 3]

$$P_{пв} = \prod_{i=1}^N P_{ci} - \prod_{i=1}^N (P_{ci} - P_{пви}); \quad (1)$$

$$P_{нв} = \prod_{i=1}^N (P_{ci} - P_{пви} + P_{нви}) - \prod_{i=1}^N (P_{ci} - P_{пви}), \quad (2)$$

де P_{ci} – ймовірність справного стану СТС за i -м параметром контролю; $P_{пв}$ і $P_{нв}$ – апріорна ймовірність помилкової і невиявленої відмов СТС за i -м параметром.

Якщо значення $P_{пви}$ і $P_{нви}$ прагнуть до нуля, то співвідношення (1), (2) набувають вигляду

$$P_{пв} \approx P_{пви} \rightarrow 0; \quad P_{нв} \approx P_{нви} \rightarrow 0.$$

За допустимими значеннями безумовних ймовірностей помилкової $P_{пв}$ і невиявленої $P_{нв}$ відмов визначають вимоги до показників достовірності контролю кожного параметра. За рівнозначності параметрів допустимі ймовірності помилкової і невиявленої відмов за i -м параметром визначаються виразами

$$P_{пви}^{\partial} = P_{пв} / N; \quad P_{нви}^{\partial} = P_{нв} / N.$$

З урахуванням відомих законів розподілу щільності ймовірності контрольованих параметрів $\phi(x_i)$ і похибок їх вимірювання $\phi(\Delta_i)$ складемо систему рівнянь [1, 5]

$$\left\{ \begin{aligned} P_{\text{пв } i}^{\hat{c}} &= \int_{-d_i}^{d_i} \phi(x_i) \left[\int_{-\infty}^{-d_i-x_i} \phi(\Delta_i) d\Delta_i + \int_{d_i-x_i}^{\infty} \phi(\Delta_i) d\Delta_i \right] dx_i; \\ P_{\text{нв } i}^{\hat{c}} &= \int_{-\infty}^{-d_i} \phi(x_i) \int_{-d_i-x_i}^{d_i-x_i} \phi(\Delta_i) d\Delta_i dx_i + \\ &+ \int_{d_i}^{\infty} \phi(y_i) \int_{-d_i-x_i}^{d_i-x_i} \phi(\Delta_i) d\Delta_i dx_i. \end{aligned} \right. \quad (3)$$

Із системи рівнянь (3) визначаються значення контрольного допуску і середнє квадратичне відхилення похибки вимірювання кожного контрольованого параметра. Математичне очікування похибки вимірювання приймається рівним нулю, тобто передбачається введення поправки на систематичну складову похибки.

Розглянутий вид алгоритмів контролю параметрів має ряд суттєвих недоліків:

- по-перше, достовірність контролю кожного параметра повинна бути значно вище, ніж достовірність контролю СТС в цілому, що суттєво підвищує вимоги до точності вимірювань контрольованих параметрів. Наприклад, при $P_{\text{пв}} = P_{\text{нв}} = 0,05$, нормальному законі розподілу рівнозначних і незалежних параметрів, рівномірному законі розподілу похибок вимірювань, ймовірності справного стану СТС $P_{\text{стс}} = P_c = 0,9$ для кількості контрольованих параметрів $N=1$ граничне значення похибки вимірювання параметрів СТС $\Delta_{oi} = 0,205$; при $N=10$ $\Delta_{oi} = 0,013$, тобто зі зростанням числа контрольованих параметрів вимоги до точності їх вимірювання також зростають. Це обмежує можливість підвищення методичної достовірності контролю СТС за рахунок збільшення кількості контрольованих параметрів;

- по-друге, навіть за таких високих вимог до точності вимірювань параметрів не завжди забезпечується необхідна достовірність одичного результату контролю, наприклад, якщо параметр знаходиться поблизу меж свого допуску;

- по-третє, якщо не відомі закони розподілу контрольованих параметрів, то доводиться ще більше посилювати вимоги до точності вимірювань параметрів СТС.

Алгоритми контролю параметрів СТС з апостеріорною оцінкою достовірності контролю

При перевірці технічного стану СТС за алгоритмами другого виду рішення приймається

за результатами апостеріорної оцінки достовірності контролю, тобто якщо всі параметри знаходяться в межах допуску і ймовірність невиявленої відмови не більше допустимої, то СТС є придатною до подальшої експлуатації; якщо хоча б один параметр СТС вийшов за межі свого допуску і ймовірність помилкової відмови не більше допустимої, то СТС є непридатною до подальшої експлуатації.

Залежності апостеріорної ймовірності помилкової (першого роду) α і невиявленої (другого роду) β відмов від імовірності помилок контролю першого α_i і другого β_i роду за i -м параметром визначаються зі співвідношень (1), (2)

$$\alpha = 1 - \prod_{i=1}^N (1 - \alpha_i); \quad (4)$$

$$\beta = \frac{\prod_{i=1}^N [P_{ci} (1 - \alpha_i - \beta_i) + \beta_i]}{1 - \prod_{i=1}^N (1 - \bar{P}_{ci})} - \frac{\prod_{i=1}^N (1 - \bar{P}_{ci}) (1 - \alpha_i)}{1 - \prod_{i=1}^N (1 - \bar{P}_{ci})}, \quad (5)$$

де $\alpha = P_{\text{пв}} / P_c$; $\beta = P_{\text{нв}} / (1 - P_c)$; \bar{P}_{ci} – ймовірність того, що виміряне значення i -го параметра СТС не належить до свого допуску;

$P_c = \prod_{i=1}^N P_{ci}$ – ймовірність того, що виміряні значення всіх контрольованих параметрів

знаходяться в полі допуску; $\bar{P}_c = \prod_{i=1}^N \bar{P}_{ci} =$

$= 1 - P_c$ – ймовірність того, що виміряне значення хоча б одного контрольованого параметра знаходиться поза полем допуску.

Аналіз співвідношення (5) показує, що другий доданок чисельника є рівним нулю, якщо хоча б один контрольований параметр знаходиться за межами свого допуску, тобто $\bar{P}_{ci} = 1$. Знаменник у цьому випадку дорівнює одиниці. Якщо всі виміряні контрольовані параметри знаходяться в межах допусків, то при контролі можлива тільки помилка контролю першого роду, і її визначають за формулою (4). Якщо виміряне значення хоча б

одного контрольованого параметра знаходиться за межами допуску, то при контролі можлива помилка контролю другого роду, і її визначають за співвідношенням (5).

За допустимими значеннями апостеріорної ймовірності помилок контролю першого $\alpha^{\hat{\delta}} = P_{\text{пв}}^{\hat{\delta}} / P_c$ і другого $\beta^{\hat{\delta}} = P_{\text{нв}}^{\hat{\delta}} / \bar{P}_c$ роду визначимо вимоги до показників достовірності контролю кожного параметра СТС

$$1 - \prod_{i=1}^N (1 - \alpha_i) \leq \alpha^{\hat{\delta}} ;$$

$$\frac{\prod_{i=1}^N [P_{ci}(1 - \alpha_i - \beta_i) + \beta_i] - \prod_{i=1}^N (1 - \bar{P}_{ci})(1 - \alpha_i)}{1 - \prod_{i=1}^N (1 - \bar{P}_{ci})} \leq \beta^{\hat{\delta}} .$$

При використанні апостеріорної оцінки достовірності результату контролю граничні значення помилок контролю за кожним параметром СТС є рівними допустимій ймовірності помилкової і невиявленої відмов СТС в цілому: $\alpha_i^{\hat{\delta}} = \alpha^{\hat{\delta}}$; $\beta_i^{\hat{\delta}} = \beta^{\hat{\delta}}$. Це пояснюється так: відповідно до формули (4) ймовірність помилки контролю першого роду не може перевищувати ймовірності помилкової відмови за кожним параметром, оцінка ймовірності невиявленої відмови (5) у процесі контролю дозволяє не вводити обмеження на ймовірність невиявленої відмови за кожним параметром більш жорсткі, ніж на ймовірність такої відмови СТС в цілому. Граничні значення похибки вимірювань кожного параметра, допуску на ці параметри, а отже, і необхідна точність вимірювального контролю, визначаються за допомогою розв'язання системи рівнянь (3) за значеннями $\alpha^{\hat{\delta}}$, $\beta^{\hat{\delta}}$.

Таким чином, алгоритми контролю параметрів СТС з апостеріорною оцінкою достовірності мають наступні переваги:

- необхідна точність вимірювання параметрів контролю не залежить від їх загальної кількості;
- забезпечується необхідна достовірність контролю кожного параметра;
- відсутність інформації про закони розподілу контрольованих параметрів практично не впливає на необхідну точність вимірювань.

Недоліки алгоритмів даного виду пов'язані з трудністю прийняття рішення за великих імовірностей помилок і необхідністю виконання обчислень у процесі контролю. Ці недоліки усуваються при використанні статистичних методів підвищення точності вимірювань параметрів, які роблять максимальний внесок до сумарної помилки контролю СТС, та при застосуванні вимірювально-обчислювальних комплексів або автоматизованих систем контролю.

Висновки

Проведено аналіз алгоритмів контролю параметрів СТС, що забезпечують заданий рівень апріорної або апостеріорної достовірності контролю. Показано, що при використанні алгоритмів першого виду зі збільшенням числа контрольованих параметрів суттєво зростає необхідна точність їх вимірювань, тому пропонується використовувати апостеріорну оцінку достовірності контролю параметрів СТС, що дозволить значно розширити можливості вимірювального контролю.

Література

1. Евланов Л.Г. Контроль динамических систем / Л.Г. Евланов. – М. : Наука, 1979. – 432 с.
2. Савин С.К. Точность и работоспособность радиоэлектронных систем летательных аппаратов / С.К. Савин. – М. : Машиностроение, 1988. – 192 с.
3. Барзилович Е.Ю. Модели технического обслуживания сложных систем : учеб. пособие / Е.Ю. Барзилович. – М. : Высшая школа, 1982. – 232 с.
4. Рубичев Н.А. Достоверность допускового контроля качества / Н.А. Рубичев, В.Д. Фрумкин. – М. : Изд-во стандартов, 1990. – 172 с.
5. Мигаль В.Д. Технічна кібернетика транспорту : навч. посібник / В.Д. Мигаль, В.П. Волков. – Х.: ХНАДУ, 2007. – 308 с.

Рецензент: О.Б. Богаєвський, доцент, д.т.н., ХНАДУ.

Стаття надійшла до редакції 23 квітня 2012 р.