

АНАЛІЗ АЛГОРИТМІВ ВИМІРЮВАЛЬНОГО КОНТРОЛЮ ПАРАМЕТРІВ АВТОМОБІЛЯ, ЯК СКЛАДНОЇ ТЕХНІЧНОЇ СИСТЕМИ

В.В. Стаднік, доцент, к.т.н., ХНАДУ

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

Ключові слова: помилки першого роду, помилки другого роду, достовірність контролю, засіб вимірювальної техніки.

АНАЛИЗ АЛГОРИТМОВ ИЗМЕРИТЕЛЬНОГО КОНТРОЛЯ ПАРАМЕТРОВ АВТОМОБИЛЯ, КАК 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, средство измерительной техники.

ANALYSIS OF ALGORITHMS MEASURING CONTROL OF CAR PARAMETERS AS COMPLEX TECHNICAL SYSTEM

V. Stadnik, assistant professor, cand. eng. sc., KhNAHU

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

Key words: errors of the first family, error of the second family, authenticity of control, mean of measuring technique.

Вступ

Сучасний автомобіль – складна технічна система (СТС), для якої 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 автомобіля за рахунок використання точніших засобів вимірювальної техніки (ЗВТ) неминуче призводить до зниження швидкодії і дорожчання систем контролю. Тому очевидна доцільність

оцінки необхідної точності вимірювального контролю, що передбачає забезпечення заданої достовірності контролю застосуванням ЗВТ мінімальної точності, яка допускається при цьому.

Аналіз публікацій

Серед різних чинників на достовірність контролю параметрів СТС принциповий вплив робить 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 забезпечення заданого рівня апостеріорної достовірності контролю. Відмінність цих видів алгоритмів полягає в способі прийняття рішення за результатами контролю. При використанні алгоритму контролю першого виду рішення про технічний стан СТС приймається залежно від того, знаходяться вимірні значення параметрів в 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 апіорної достовірності, прості в реалізації, ефективні в статистичному змісті і широко застосовуються для контролю масової продукції. Алгоритми контролю з апостеріорною оцінкою достовірності складніші, вимагають застосування обчислювальної техніки; їх доцільно застосовувати у тому випадку, коли СТС унікальна або контроль проводиться досить рідко, тобто висока ціна прийнятого за результатами контролю рішення. Але найбільш суттєвою відмінністю цих двох видів алгоритмів контролю є неспівпадання вимог до точності вимірювань параметрів СТС при рівній достовірності їх контролю.

Мета та постановка задачі

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

Алгоритми контролю параметрів СТС з апіорною оцінкою достовірності контролю

Припустимо, що стан СТС характеризується N незалежними параметрами. За допомогою ЗВТ визначаються значення x_i кожного i -го параметра. СТС справна, якщо $-d_i \leq x_i \leq d_i$, і несправна 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 по алгоритмах першого виду рішення про придатність СТС до подальшого використання за призначенням приймається, якщо вимірні 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]

$$P_{пв} = \prod_{i=1}^N P_{ci} - \prod_{i=1}^N (P_{ci} - P_{пви}); \quad (2)$$

$$P_{нв} = \prod_{i=1}^N (P_{ci} - P_{пви} + P_{нви}) - \prod_{i=1}^N (P_{ci} - P_{пви}), \quad (3)$$

де P_{ci} – ймовірність справного стану СТС по i -му параметру контролю, $P_{пв}$ і $P_{нв}$ – апіорна ймовірність помилкової і невиявленої відмов СТС по i -му параметру.

Якщо значення $P_{пви}$ і $P_{нви}$ прагнуть до нуля, то співвідношення (2), (3) перетворюються до 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. При рівнозначності параметрів допустимі ймовірності помилкової і невиявленої відмов по i -му параметру визначаються виразами

$$P_{пви}^0 = P_{пв} / N; \quad P_{нви}^0 = P_{нв} / N.$$

З урахуванням відомих законів розподілу щільності ймовірності контрольованих пара-

метрів $\phi(x_i)$ і похибок їх вимірювання $\phi(\Delta_i)$ складемо систему рівнянь [1, 5]

$$\begin{cases} P_{\text{пв } i}^{\hat{c}} = \int_{-d_i}^{d_i} \phi(x_i) \left[\int_{-\infty}^{-d_i-x_i} \phi(\Delta_i) d\Delta_i + \int_{d_i-x_i}^{\infty} \phi(\Delta_i) d\Delta_i \right] dx_i; \\ P_{\text{пв } i}^{\hat{c}} = \int_{-\infty}^{-d_i} \phi(x_i) \int_{-d_i-x_i}^{d_i-x_i} \phi(\Delta_i) d\Delta_i dx_i + \\ + \int_{d_i}^{\infty} \phi(y_i) \int_{-d_i-x_i}^{d_i-x_i} \phi(\Delta_i) d\Delta_i dx_i. \end{cases} \quad (4)$$

З системи рівнянь (4) 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 $P_{\text{пв}} = P_{\text{пв}} = 0,05$, 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 із 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 при таких високих вимогах до точності вимірювань параметрів не завжди забезпечується необхідна достовірність одиничного результату контролю, наприклад, якщо параметр знаходиться поблизу меж свого допуску;
- по-третє, якщо невідомі закони розподілу контрольованих параметрів, то доводиться ще більш посилювати вимоги до точності вимірювань параметрів СТС.

Алгоритми контролю параметрів СТС з апостеріорною оцінкою достовірності контролю

При перевірці технічного стану СТС по алгоритмах 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 придатна до подальшої експлуатації, якщо хоча б один параметр СТС вийшов за межу свого допуску і ймовірність помилкової відмови не більше допустимої, то СТС непридатна до подальшої експлуатації.

Залежності апостеріорної ймовірності помилкової (першого роду) α і невиявленої (другого роду) β відмов від ймовірності помилок контролю першого α_i і другого β_i роду по i -му параметру визначаються із співвідношень (2), (3)

$$\alpha = 1 - \prod_{i=1}^N (1 - \alpha_i); \quad (5)$$

$$\beta = \frac{\prod_{i=1}^N [P_{ci} (1 - \alpha_i - \beta_i) + \beta_i]}{1 - \prod_{i=1}^N (1 - \bar{P}_{ci})} - \frac{\prod_{i=1}^N (1 - \bar{P}_{ci})(1 - \alpha_i)}{1 - \prod_{i=1}^N (1 - \bar{P}_{ci})}, \quad (6)$$

де $\alpha = P_{\text{пв}} / P_c$; $\beta = P_{\text{пв}} / (1 - P_c)$; \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 би одного контрольованого параметра знаходиться поза полем допуску.

Аналіз співвідношення (6) показує, що другий доданок чисельника рівний нулю, якщо хоча би один контрольований параметр знаходиться за межами свого допуску, тобто $\bar{P}_{ci} = 1$. Знаменник в цьому випадку рівний

одиниці. Якщо всі виміряні контрольовані параметри знаходяться в межах допусків, то при контролі можлива тільки помилка контролю першого роду і вона визначається за формулою (5). Якщо виміряне значення хоча б одного контрольованого параметра знаходиться за межами допуску, то при контролі можлива помилка контролю другого роду і вона знаходиться за співвідношенням (6).

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

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

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

При використанні апостеріорної оцінки достовірності результату контролю граничні значення помилок контролю по кожному параметру СТС рівні допустимій ймовірності помилкової і невиявленої відмов СТС в цілому: $\alpha_i^{\hat{\theta}} = \alpha^{\hat{\theta}} ; \beta_i^{\hat{\theta}} = \beta^{\hat{\theta}}$. Це пояснюється наступним. Відповідно до формули (5) ймовірність помилки контролю першого роду не може перевищувати ймовірності помилкової відмови по кожному параметру, оцінка ймовірності невиявленої відмови (6) в процесі контролю дозволяє не вводити обмеження на ймовірність невиявленої відмови по кожному параметру 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 (4) по значеннях $\alpha^{\hat{\theta}}, \beta^{\hat{\theta}}$.

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 при великих ймовірностях помилок і необхідністю виконання обчислень в процесі контролю. Ці недоліки усуваються при використанні статистичних методів підвищення точності вимірювань параметрів, які вносять 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 апіорної або апостеріорної ймовірності контролю. Показано, що при використанні алгоритмів першого виду із збільшенням числа контрольованих параметрів суттєво зростає необхідна точність їх вимірювань, тому пропонується використовувати апостеріорну оцінку достовірності контролю параметрів СТС, що дозволить значно розширити можливість вимірювального контролю.

Література

1. Евланов Л.Г. Контроль динамических систем / Л.Г. Евланов. – М. : Наука, 1989. – 432 с.
2. Савин С.К. Точность и работоспособность радиоэлектронных систем летательных аппаратов / С.К. Савин. – М. : Машиностроение, 1988. – 191 с.
3. Барзилович Е.Ю. Модели технического обслуживания сложных систем : учебное пособие / Е.Ю. Барзилович. – М. : Высшая школа, 1982. – 232 с.
4. Рубинчев П.А. Достоверность допускового контроля / П.А. Рубинчев, В.Д. Фрумкин. – М. : Изд-во стандартов, 1999. – 171 с.
5. Мигаль В.Д. Технічна кібернетика транспорту : Навчальний посібник / В.Д. Мигаль, Волков В.П. – Харків : ХНАДУ, 2007. – 308 с.

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

Стаття надійшла до редакції 28.10.2011.