УДК 629. 7. 017.1(045)

[1]**Г. П. Чорний,** канд. техн. наук,
[2]**Т. Г. Чорний**

ДОСТОВІРНІСТЬ САМОДІАГНОСТУВАННЯ АВТОМАТИЗОВАНИХ СИСТЕМ КОНТРОЛЮ

[1]Інститут електроніки і систем управління НАУ, e-mail: geochornyi@gmail.com
[2]Компанія Consumer Health Technologies, e-mail: taras.chornyi@gmail.com

Проведено дослідження достовірності самодіагностування автоматизованих систем контролю, запропоновано методику оцінювання достовірності, застосування якої дозволить підвищити одну з основних їхніх характеристик – ремонтопридатність.

Ключові слова: автоматизовані системи контролю; достовірність самодіагностування; самопошук місць відмов.

Постановка проблеми. Одним з ефективних методів підвищення ремонтопридатності автоматизованих систем контролю (АСК) є скорочення тривалості пошуку місць їх відмов, оскільки час пошуку, як свідчить практика, становить основну частку тривалості відновлення працездатного стану АСК. У структурно-інформаційному аспекті АСК являє собою сукупність стимулювальних і перетворювальних каналів, які наділені певною автономією функціонування і розміщені радіально відносно її комп'ютерного ядра [2, с. 39]. Така структура АСК дозволяє за програмою, записаною в пам'яті комп'ютера, формувати почергово, один за одним, не тільки контури контролю визначальних параметрів об'єкта контролю, а й контури її самоконтролю, що складаються з окремих функціональних пристроїв АСК: генераторів стимулювальних сигналів, аналого-цифрових і цифро-аналогових перетворювачів, комутаторів, нормалізаторів, перетворювачів кодів і т. ін. Тобто, використовуючи структурну, часову та інформаційну надлишковість АСК, можна формувати контури самоконтролю так, щоб певний функціональний пристрій, наприклад, нормалізатор сигналів перетворювального каналу, перевірявся кілька разів за один цикл самоконтролю кількома сигналами від різних стимулювальних каналів. І навпаки, певний генератор стимулювального сигналу перевірявся кількома перетворювальними каналами шляхом послідовної подачі сигналу цього генератора на входи кількох перетворювальних каналів. Таким чином, можна проводити перехресні взаємні перевірки одних каналів (функціональних пристроїв) іншими, здійснюючи автоматичне самодіагностування, тобто автоматичний пошук місць відмов самої АСК під час її самоконтролю. В одних контурах самоконтролю певний канал (стимулювальний або перетворювальний) може бути перевіряльним, в інших – таким, що підлягає перевірці. Як правило, АСК має обмежені можливості щодо повноти самоконтролю, точності перевіряльних каналів, їх конструктивної, інформаційної та інших видів сумісності з каналами, що перевіряються. З цієї причини в разі отримання негативного результату перевірки за сформованим контуром не можна достовірно визначити, який із каналів чи функціональних пристроїв, що вступили у взаємоперевірку, перейшов у відмовний стан. Тому на практиці в системах контролю «винуватця» браку у сформованому контурі визначають наближено, експертним шляхом, або ж указують всі можливі варіанти місць відмов, відкладаючи більш точний пошук на час після закінчення циклу самоконтролю та застосовуючи для цього ручні неавтоматизовані методи і засоби. Такий стан речей суттєво подовжує тривалість відновлення працездатності АСК, знижуючи одну з основних характеристик їх надійності – ремонтопридатність.

Мета роботи – дослідити достовірність результатів автоматичного пошуку місць відмов в АСК за рахунок використання її інформаційної надлишковості та розробити

методику кількісного оцінювання цієї достовірності з тим, щоб у кінцевому підсумку скоротити тривалість відновлення АСК.

Постановка завдання. Нехай технічні стани вибраного для розгляду *i*-го елемента АСК (нормалізатора, генератора стимулювального сигналу, перетворювача сигналів, стимулювального каналу, перетворювального каналу тощо) характеризуються апріорними ймовірностями працездатного $P(R)$ і непрацездатного $P(Q)$ станів відповідно; $P(R)+P(Q)=1$. Після перевірки *i*-го елемента у складі кількох контурів самоконтролю отримано підряд негативні результати $y_1, y_2, \ldots, y_n$. Необхідно визначити достовірність самодіагностування після отримання кожного з негативних результатів, якщо відомі закони розподілу і допускові межі для визначальних параметрів *i*-го елемента і тих перевіряльних елементів АСК, за участі яких отримано такі результати.

Розв'язання. Скористаймося теоремою гіпотез (формулою Бейєса) [1, с. 54], за якою апостеріорна ймовірність певної гіпотези змінюється за результатом кожного з проведених експериментів. Згідно з формулою Бейєса апостеріорну ймовірність непрацездатного стану *i*-го елемента після отримання результату y_1 знаходимо за формулою

$$P(Q/y_1)=\frac{P(Q)P(y_1/Q)}{P(Q)P(y_1/Q)+P(R)P(y_1/R)}, \tag{1}$$

де $P(Q/y_1)$ – достовірність першого негативного результату, ймовірність того, що *i*-й елемент дійсно бракований, якщо отримано перший негативний результат y_1; позначимо цю ймовірність через $D(y_1)$; $P(y_1/R)$ і $P(y_1/Q)$ – умовні ймовірності отримання негативного результату y_1 для працездатного і непрацездатного станів *i*-го елемента відповідно.

За своєю суттю останні дві ймовірності є показниками достовірності самоконтролю АСК: перша – умовна ймовірність α_{1c} помилки першого роду під час самоконтролю (аналог для α_{1c} – ймовірність хибної відмови під час контролю), друга дорівнює різниці між одиницею і умовною ймовірністю β_{1c} помилки другого роду під час самоконтролю (аналог для β_{1c} – ймовірність невиявленої відмови під час контролю). Тому формулу (1) можна подати так:

$$P(Q/y_1)=D(y_1)=\frac{P(Q)(1-\beta_{1c})}{P(Q)(1-\beta_{1c})+P(R)\alpha_{1c}}, \tag{2}$$

Імовірності α_{1c} і β_{1c} у формулі (2) знаходять за відомими співвідношеннями, які пов'язують між собою показники достовірності самоконтролю [2, с. 53, 90]:

$$\alpha_{1c}=A_{1c}/P(R); \tag{3}$$

$$\beta_{1c}=B_{1c}/P(Q), \tag{4}$$

де α_{1c} і β_{1c} – безумовні ймовірності помилок першого і другого роду відповідно під час самоконтролю *i*-го елемента у складі першого контуру.

Ураховуючи співвідношення (3) і (4), трансформуємо формулу (2) до такого вигляду:

$$D(y_1)=\frac{P(Q)-B_{1c}}{P(Q)-B_{1c}+A_{1c}}.$$

Значення ймовірностей A_{1c} і B_{1c} визначаються за відомими формулами [2, с. 95]:

$$A_{1c} = \sum_{r\in\rho} \sum_{q\notin\rho_c} p_r p_{rq} \; ; \tag{5}$$

$$B_{1c} = \sum_{r\notin\rho} \sum_{q\in\rho_c} p_r p_{rq} \; , \tag{6}$$

де p_r – імовірність знаходження значення параметра *i*-го елемента в r-му рівні (r-й градації); p_{rq} – імовірність того, що результат самоконтролю опиниться в q-му рівні (q-й градації), якщо істинне значення параметра перебуває в r-му рівні (r-й градації); ρ – область значень параметра *i*-го елемента, яка відповідає його працездатному стану; ρ_c – область результатів самоконтролю *i*-го елемента, яка відповідає рішенню «придатний».

Імовірності p_r і p_{rq} обчислюють, виходячи з відомих законів розподілення параметрів тих елементів, які беруть участь у самоконтролі, або в разі відсутності інформації про закони розподілення – за статистичними рядами (гістограмами) похибок цих каналів, отриманих експериментально [2, с. 95, 96]. Наприклад, імовірність p_r для стимулювального каналу, що підлягає перевірці, можна знайти за формулою

$$p_r = \int_{d_{нr}}^{d_{вr}} f(s)ds \, , \tag{7}$$

де $f(s)$ – щільність розподілу параметра стимулювального каналу; $d_{нr}$ і $d_{вr}$ – нижня і верхня межі r-го рівня (r-ї градації) параметра відповідно.

Для перетворювального каналу, що використовується для перевірки стимулювального, імовірність p_{rq} визначають за формулою

$$p_{rq} = \frac{\int_{d_{нr}}^{d_{вr}} f(s)\left[\int_{d_{нq}-s}^{d_{вq}-s} \varphi(t)dt\right]ds}{\int_{d_{нr}}^{d_{вr}} f(s)ds} \, , \tag{8}$$

де $\varphi(t)$ – щільність розподілу похибки перетворювального каналу.

У разі отримання першого y_1 і другого y_2 негативних результатів перевірки *i*-го елемента апостеріорна ймовірність $D(y_1)$, розрахована за результатами першої перевірки, стає апріорною для другої. Тому сумарна достовірність першого і другого негативних результатів $D(y_1, y_2)$, якою є умовна ймовірність $P(Q/y_1, y_2)$, виразиться такою загальною формулою:

$$D(y_1, y_2) = P(Q/y_1, y_2) = \frac{D(y_1)P(y_2/Q)}{D(y_1)P(y_2/Q) + \left[1 - D(y_1)\right]P(y_2/R)} \, ,$$

або конкретніше – через показники достовірності самоконтролю:

$$D(y_1, y_2) = \frac{D(y_1)(1-\beta_{2c})}{D(y_1)(1-\beta_{2c}) + \left[1 - D(y_1)\right]\alpha_{2c}} \, , \tag{9}$$

де α_{2c} і β_{2c} – умовні ймовірності помилок першого і другого роду відповідно під час перевірки *i*-го елемента в складі другого контуру, які пов'язані з безумовними ймовірностями подібно до формул (3) і (4) такими співвідношеннями:

$$\alpha_{2c} = A_{2c}/P(R) \;\text{ і }\; \beta_{2c} = B_{2c}/P(Q) \, . \tag{10}$$

У разі отримання підряд n негативних результатів перевірки i-го елемента їх сумарна достовірність

$$D(y_1, y_2, \dots, y_n) = \frac{D(y_1, y_2, \dots, y_{n-1})(1-\beta_{nc})}{D(y_1, y_2, \dots, y_{n-1})(1-\beta_{nc}) + \left[1 - D(y_1, y_2, \dots, y_{n-1})\right]\alpha_{nc}}, \quad (11)$$

де α_{nc} і β_{nc} – умовні ймовірності помилок першого і другого роду відповідно під час перевірки i-го елемента в складі n-го контуру, які пов'язані з безумовними ймовірностями подібно до формул (3) і (4) такими співвідношеннями:

$$\alpha_{nc} = A_{nc} / P(R) \quad \text{і} \quad \beta_{nc} = B_{nc} / P(Q); \quad (12)$$

$D(y_1, y_2, \dots, y_{n-1})$ – сумарна достовірність (n–1) негативних результатів.

Отримані результати розв'язання поставленої задачі дозволяють розрахувати показники достовірності самодіагностування за такою методикою:

1. Використовуючи закони розподілу або статистичні ряди похибок каналів, що беруть участь у перевірках i-го елемента, розраховують за формулами (5) – (8) безумовні ймовірності помилок першого і другого роду під час самоконтролю: $A_{1c}, A_{2c}, \dots, A_{nc}$; $B_{1c}, B_{2c}, \dots, B_{nc}$.

2. За формулами (5), (6), (10), (12) розраховують умовні ймовірності помилок першого і другого роду під час самоконтролю: $\alpha_{1c}, \alpha_{2c}, \dots, \alpha_{nc}$; $\beta_{1c}, \beta_{2c}, \dots, \beta_{nc}$.

3. За формулами (2), (9), (11) розраховують показники достовірності самодіагностування: $D(y_1), D(y_1, y_2), \dots, D(y_1, y_2, \dots, y_n)$.

Приклад. Проводиться перевірка працездатності i-го елемента у складі трьох контурів самоконтролю. Апріорна ймовірність непрацездатного стану i-го елемента – $P(Q) = 5 \cdot 10^{-4}$. Розрахунки безумовних імовірностей помилок першого і другого роду під час самоконтролю за формулами (5) – (8) дали такі результати: $A_{1c} = 2 \cdot 10^{-4}$, $A_{2c} = 2{,}5 \cdot 10^{-4}$, $A_{3c} = 3 \cdot 10^{-4}$, $B_{1c} = 1 \cdot 10^{-4}$, $B_{2c} = 1{,}25 \cdot 10^{-4}$, $B_{3c} = 2 \cdot 10^{-4}$. Обчислити достовірність самодіагностування після отримання кожного з результатів самоперевірки.

Результати обчислень за розробленою методикою зведено в таблицю.

Результати розрахунків достовірностей

Номер j-го контуру	A_{jc} $\left(\times 10^{-4}\right)$	B_{jc} $\left(\times 10^{-4}\right)$	α_{jc} $\left(\times 10^{-4}\right)$	β_{jc} $\left(\times 10^{-4}\right)$	$D(y_1)$	$D(y_1, y_2)$	$D(y_1, y_2, y_3)$
1	2	1	2,001	0,2	0,67	–	–
2	2,5	1,25	2,501	0,25	–	0,9998	–
3	3	2	3,0015	0,4	–	–	0,999999

Із цього прикладу видно, що високий рівень достовірності самодіагностування i-го елемента (0,9998) досягається вже після другої перевірки, тому потреби в третій перевірці немає, і її не варто включати до програми автоматичного самоконтролю. Аналогічно розраховуються показники достовірності самодіагностування для інших елементів АСК (каналів, функціональних пристроїв тощо).

Висновок. Запропонована методика оцінювання достовірності самодіагностування АСК дозволить сформувати такий набір самоперевірок, який, з одного боку, забезпечить достатній рівень достовірності під час розпізнавання несправних елементів АСК, а з другого – дасть змогу уникати зайвих перевірок, що в кінцевому підсумку поліпшить одну з основних характеристик надійності АСК – її ремонтнопридатність.

Список літератури

1. *Вентцель Е. С.* Теория вероятностей / Е. С. Вентцель – М.: Гос. изд-во физ.-мат. лит., 1958. – 464 с.
2. *Чорний Г. П.* Автоматизовані системи контролю літальних апаратів: навч. посіб. / Г. П. Чорний. – К.: НАУ, 2008. – 160 с.

Г. П. Черный, Т. Г. Черный

Достоверность самодиагностирования автоматизированных систем контроля

Проведено исследование достоверности самодиагностирования автоматизированных систем контроля, предложена методика оценки достоверности, применение которой разрешит повысить одну из основных их характеристик – ремонтопригодность.

G. P. Chornyi, T. G. Chornyi

The self-testing reliability of computer-aided test systems

Research about self-testing reliability of automatic test systems is carried out, the technique of this reliability evaluation is offered, which employment follow to increasing one of their main characteristics – maintainability.