

Василь Вікторович Кузавков (доктор технічних наук)¹
Олег Георгійович Янковський (кандидат технічних наук)²
Юлія Володимирівна Болотюк¹

¹Військовий інститут телекомунікацій та інформатизації імені Героїв Крут, Київ, Україна

²Одеська державна академія технічного регулювання та якості, Одеса, Україна

ОБҐРУНТУВАННЯ ВИБОРУ ПОКАЗНИКІВ ОЦІНКИ ЕФЕКТИВНОСТІ ФУНКЦІОНУВАННЯ АВТОМАТИЗОВАНОЇ СИСТЕМИ КОНТРОЛЮ

Сучасна складна радіоелектронна техніка, в тому числі автоматизовані системи контролю, будуються як системи з вбудованим програмним забезпеченням. Процес функціонування таких систем полягає у взаємодії програмних та апаратних складових. Зростання складності технічних систем накладає додаткові вимоги до забезпечення високих (заданих) показників надійності. Відмови в цих засобах можуть бути спричинені випадковими відмовами та дефектами апаратної складової, помилками та відмовами програмного забезпечення, збоями внаслідок зовнішнього впливу (температури, іонізуючого випромінювання чи інших зовнішніх дестабілізуючих факторів). Відмови програмної складової, під управлінням якої працює уся система, можуть спричиняти непередбачений стан чи поведінку системи, що може приводити до значних матеріальних збитків.

Метою статті є вибір показників надійності функціонування програмно-апаратних засобів контролю технічного стану сучасного радіоелектронного озброєння для їхнього подальшого обґрунтованого та чисельної оцінки ефективності функціонування розроблених систем діагностування.

Ключові слова: програмне забезпечення, відмова, надійність, час експлуатації.

Вступ

Завдання забезпечення ефективного контролю функціонування сучасного радіоелектронного озброєння (технічних засобів спеціального призначення) Міністерства оборони України являється актуальним, зважаючи на зростання ціни можливої помилки під час застосування засобів за призначенням. Наприклад, автоматизовані системи управління інтегровані безпосередньо у процес управління системами озброєння та військової техніки, збій або відмова в їх роботі може привести до суттєвих втрат. Оскільки робота в реальному масштабі часу означає, що процедури виявлення помилок і попередження їх розповсюдження по ланцюгу управління повинні здійснюватися у короткий термін, ефективне забезпечення контролю таких систем не можливо без використання автоматизованих систем контролю.

Постановка проблеми. Аналіз засобів контролю технічного стану сучасного радіоелектронного обладнання показав, що ці системи є програмно-апаратними вимірювальними комплексами, тобто, автоматизованими системами, які перетворюють результати вимірювань діагностичних параметрів в інформацію для прийняття рішення про технічний стан об'єкту контролю.

В свою чергу, вибір варіанту будови такого вимірювального комплексу та оцінка ступеню його ефективності розпочинається вже на етапі

проекування, або під час вдосконалення існуючих систем і потребує не лише якісних показників но і цілком конкретних чисельних значень.

Обґрунтований вибір параметрів для оцінки якості функціонування системи контролю є актуальною задачею.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Для оцінки надійності програмно-апаратних засобів сьогодні застосовують ряд підходів та методики, які з певною достовірністю дозволяють визначити показники надійності таких систем. У ряді праць ПЗ вважають безвідмовними і розглядають тільки надійність АЗ, що суттєво завищує значення показників надійності. [1-2] В інших працях стверджують, що надійність програмно-апаратних засобів залежить як від надійності ПЗ, так і від надійності АЗ. Причому прийнято, що відмови АЗ не впливають на надійність ПЗ та навпаки. [3,4,5] У статтях під час оцінювання надійності засобів з вбудованим ПЗ враховуються особливості ПЗ на етапі експлуатації. Для цього застосовано модель, яка використовує припущення, що надійність ПЗ зростає стрибкоподібно після його оновлення. Це припущення ґрунтується на тому, що після кожного оновлення кількість дефектів зменшується. Однак навіть у випадку використання такої моделі надійності ПЗ ймовірність безвідмовної роботи цих засобів буде заниженою, оскільки не враховується поведінка системи у разі появи відмов і збоїв АЗ та ПЗ. Модель поведінки програмно-апаратних

засобів будується на основі Марковської моделі, з якої визначаються стани, пов'язані з надійністю ПЗ, і стани, які від надійності ПЗ не залежать. Однак така модель поведінки програмно-апаратних засобів не враховує усіх різновидів збоїв і відмов ПЗ, наслідків, до яких вони призводять, та способів подолання цих наслідків. Описано модель надійності поведінки програмно-апаратних засобів у вигляді графа станів та переходів, яка враховує появу відмов та збоїв ПЗ та АЗ, їх наслідки, що призводять до простою, а також способи відновлення працездатності. За рахунок досягнутого ступеня адекватності моделі підвищено достовірність оцінки показників надійності програмно-апаратних засобів. Для визначення показників надійності ПЗ, і зокрема інтенсивності відмов, необхідної для визначення показників надійності програмно-апаратних засобів на основі моделі її функціонування, широко використовуються моделі на основі підрахунку відмов.

Метою статті є вибір показників надійності функціонування програмно-апаратних засобів контролю технічного стану сучасного радіоелектронного озброєння для їхнього подальшого обґрунтованого та чисельної оцінки ефективності функціонування розроблених систем діагностування.

Виклад основного матеріалу дослідження

У випадку використання програмного контролю для вирішення задач технічного діагностування коректність функціонування системи встановлюється за допомогою спеціально розробленого програмного забезпечення, яке може здійснювати програмно-логічний або тестові перевірки [6, 7]. Реалізація програмно-логічного контролю передбачає додавання до основної програми додаткових операцій, які формують по певним правилам надлишкову інформацію. У деяких випадках це дозволяє виявити, а іноді і виправити, помилку програмного забезпечення об'єкту контролю. Наочним прикладом програмно-логічного контролю є двократне виконання фрагменту коду з однаковими початковими умовами і подальшим порівнянням отриманих результатів. Даний метод дозволяє виявити збої, які приводять до спотворення інформації яка обробляється.

У випадку тестового контролю працездатність системи встановлюється шляхом виконання спеціальної тестової програми, для якої відомий правильний результат. Висновок про непрацездатність програмного забезпечення робиться у випадку не співпадіння цього результату з фактично отриманим у результаті розрахунку по тестовій програмі. В залежності від призначення розрізняються налагоджувальні, перевірочні і діагностичні тести. Налгоджувальні тести забезпечують перевірку працездатності окремих елементів програмної системи у процесі її наладки на початковому етапі. Перевірочні тести

використовуються при періодичній перевірці працездатності системи і виявлення несправностей у процесі експлуатації. Діагностичні тести застосовуються при виявленні помилки і використовуються для локалізації місця несправності.

Апаратні засоби контролю представляють собою додаткове обладнання, яке дозволяє проводити перевірку правильності функціонування об'єкту контролю без зниження функціональної швидкодії, незалежно від конкретного програмного забезпечення, працюючого в даний момент. Апаратні засоби контролю є більш ефективні ніж програмні, оскільки відбувається постійне вдосконалення апаратної складової і зменшення її вартості.

Найбільш перспективний варіант системи контролю це сукупність програмно-апаратних засобів, які призначені для розв'язання задач технічного діагностування сучасних засобів радіоелектронного обладнання. Системи діагностування на базі комп'ютерно вимірювальних засобів дозволяють визначати технічний стан широкого круга технічних систем, забезпечують підвищення показників надійності і ефективності функціонування [8].

Процедури контролю і діагностики досить тісно пов'язані між собою. Формально ціллю контролю являється виявлення факту помилки у роботі системи (або підтвердження її працездатності), а ціллю діагностики являються визначення причини виникнення помилки після того, як факт помилки був виявлений. Процес діагностики при цьому можна поділити на окремі частини.

Оскільки досліджується ефективність застосування автоматизованої система оцінки технічного стану, яка є програмно-апаратним комплексом, то оцінку надійності та ефективності потрібно розділити на оцінку для програмної та апаратної складової.

Надійність програмного забезпечення і апаратної складової суттєво по різному залежить від вхідних даних і часу функціонування системи. Оброблені дані, як правило, на апаратуру не впливають (хоча, наприклад, більш інтенсивне завантаження процесора призводить до збільшення споживаної потужності та його додаткового нагрівання, що, як наслідок, у деяких ситуаціях може спричинити підвищення частоти збоїв). У той же час поява помилок у програмному забезпеченні пов'язана з тим, що в деякі моменти часу на обробку надходять дані, які не входили в набір даних під час налагодження і які програма не може коректно обробити. Таким чином, вхідні дані значною мірою впливають на функціонування ПЗ. Типові криві надійності апаратно програмних засобів наведено на рис.1.

Інтенсивність відмови апаратури залежить від часу експлуатації. На початку періоду функціонування на етапі виявлення та виправлення помилок проектування та виробничих дефектів інтенсивність відмов апаратури зменшується з часом.

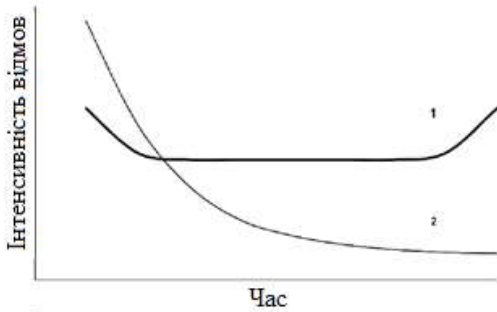


Рис. 1. Залежність інтенсивності відмов від часу експлуатації апаратних (1) і програмних (2) засобів.

Потім протягом більшої частини терміну служби вона залишається постійною. Наприкінці терміну служби інтенсивність потоку відмов значно збільшується внаслідок зношування апаратури.

Залежність надійності ПЗ іноді непряма. Насправді частота прояву помилок визначається лише вхідними даними. Показане на рис.1 зниження інтенсивності відмов ПЗ з часом є наслідком того, що у процесі експлуатації виявляються і усуваються приховані помилки ПЗ.

Надійність ПЗ визначається його безвідмовністю і здатністю до відновлення.

Безвідмовність ПЗ – це його властивість зберігати працездатність при використанні в процесі обробки інформації на ЕОМ. Безвідмовність ПЗ можна визначити через показник імовірності його роботи без відмов при визначених умовах зовнішнього середовища в проміжку заданого періоду спостереження. Під відмовою програми або системи програмного забезпечення розуміються недопустимі відхилення характеристик процесу функціонування програми від тих що вимагаються [2]. Визначені умови зовнішнього середовища розуміються як сукупність вхідних даних і стану обчислювальної системи. Заданий період спостереження відповідає, як правило, часу що необхідний для (багаторазового) виконання задачі, що вирішується на машині.

Безвідмовність ПЗ можна охарактеризувати середнім часом між виникненням відмов і функціонуванням системи. При цьому передбачається, що збої апаратних засобів відсутні.

З точки зору надійності принципова відмінність ПЗ від апаратури полягає у тому, що програми не зношуються і вихід з ладу із за помилки неможливий. Тому характеристики ПЗ залежать від ретельності розробки, налагодження, умов зберігання носіїв з програмним продуктом.

Безвідмовність ПЗ визначається його коректністю і, відповідно, цілком залежить від наявності у ньому помилок, внесених на етапах створення, зберігання, копіювання, у той час як безвідмовність апаратури визначається в основному випадковими відмовами, які залежать

від зміни параметрів апаратури під час експлуатації.

Надійність програмного забезпечення (ПЗ) це здатність ПЗ виконувати свої функції, зберігати задані характеристики в установлених межах при визначених умовах експлуатації.

При визначенні параметрів надійності програмного забезпечення враховується той факт, що помилки, що виникають при роботі програм, усуваються, кількість помилок зменшується і, отже, їх інтенсивність знижується, а напруження відмови програми збільшується.

Кількісні показники надійності можуть використовуватися для оцінки досягнутого рівня технології програмування, для вибору методу проектування майбутнього програмного засобу. Основним засобом визначення кількісних показників надійності є моделі надійності, під якими розуміють математичну модель, побудовану для оцінки залежності надійності від заздалегідь відомих або оцінених в ході створення програмних засобів параметрів.

Важливою характеристикою надійності ПЗ є його відновлюваність, яка визначається витратами часу на усунення відмови через помилку у програмі та її наслідки. Відновлення після відмови може полягати у коригуванні та відновленні тексту програми, виправленні даних, внесенні змін до організації обчислювального процесу. Остання міра буває необхідна, наприклад, під час роботи ЕОМ реальному масштабі часу. Відновлюваність програми може бути оцінена середньою тривалістю усунення помилки у програмі та відновлення її працездатності і залежить від багатьох факторів, у тому числі від складності структури комплексу програм, структурованості самих програм, алгоритмічної мови, якості документації тощо.

Можна також говорити про стійкість функціонування ПЗ, розуміючи під цим його здатність обмежувати наслідки власних помилок та несприятливих впливів зовнішнього середовища або протистояти їм. Стійкість ПЗ може бути підвищена за допомогою різних форм структурної, інформаційної та тимчасової надмірності, що дозволяють мати дублюючі модулі програм, альтернативні програми для вирішення тих самих завдань, здійснювати контроль за процесом виконання програм (за зациклованням, виникненням блокування, зависань, перевантаженнями по пропускну можливості).

Для збільшення ефективності процесів відновлення ПЗ передбачають: спеціальні засоби діагностики кодів аварійних завершень; програмні контрольні точки; можливість рестарту з контрольних точок.

Показники відновлюваності є:

час відновлення T_B ;

вірогідність відновлення програми за заданий час $P_k(t)$;

коефіцієнт відмов K_B ;

коефіцієнт готовності K_T ;

коефіцієнт оперативної готовності K_{or} ;

параметр потоку коректування $w_k(t)$.

Коефіцієнт відмов – це умовна щільність імовірності появи відмови:

$$K_B = \frac{n(t)}{N_p \cdot \Delta t},$$

де N_p – кількість працездатних машин;

$n(t)$ – кількість відмов машини за час;

Δt – інтервал часу.

Коефіцієнт готовності K_r – ймовірність того, що ПЗ очікується в працездатному стані в довільний момент часу його використання за призначенням визначається як:

$$K_r = \frac{T_M}{T_M + T_B},$$

де T_M – середній час наробітку до відмови;

T_B – середній час наробітку після відновлення.

Коефіцієнт оперативної готовності – це ймовірність того, що за винятком тих запланованих періодів, протягом яких використання за призначення не передбачено, об'єкт у довільний момент часу виявиться у працездатному стані та надалі виконуватиме потрібні функції протягом заданого інтервалу часу, визначається як добуток коефіцієнта готовності (K_r) на ймовірність безвідмовної роботи $P(t)$:

$$K_{or} = K_r \cdot P(t).$$

Оцінку ефективності функціонування програмної складової системи автоматизованого контролю можливо здійснювати на основі аналітичних моделей надійності спеціалізованого програмного забезпечення СПЗ (модель з дискретно-знижувальною частотою (інтенсивністю) появи помилок; моделі з дискретним збільшенням часу напрацювання до відмови; експоненційної моделі, або моделями по імені їх авторів (Джелінського-Моранди, Шика-Уолвертона, Липова тощо) [9].

Найбільший інтерес викликає експоненційна модель. Така модель відповідає процесам відмов радіоелектронного устаткування під керуванням програмного забезпечення (фізико-хімічні процеси старіння напівпровідникових структур і характер зміни у часі числа помилок в програмі) дають можливість досліджувати закономірності появи помилок в програмах, а також прогнозувати надійність СПЗ при його розробці та експлуатації. В цьому випадку використовуються наступні характеристики надійності:

функція надійності $P(t)$, визначається як ймовірність того, що помилки програми не виявляться на інтервалі часу від 0 до t , тобто час її безвідмовної роботи буде більше t ;

функція ненадійності $Q(t)$, визначається як ймовірність того, що на інтервалі часу від 0 до t виникне відмова СПЗ:

$$Q(t) = -P(t),$$

Інтенсивність відмов і функція надійності пов'язані між собою виразом [10]:

$$P(t) = \exp[-n\lambda(t)dt].$$

Нехай: M – кількість помилок у програмі перед фазою тестування;

$m(\tau)$ – кінцева кількість виправлених помилок;

$m_0(\tau)$ – число помилок, що залишилися;

τ – інтервал тестування (час тестування).

Тоді:

$$m_0(\tau) = M - m(\tau).$$

Якщо виходити з припущення, що в процесі коригування нові помилки не з'являються, тобто інтенсивність виправлення помилок дорівнює інтенсивності їх виявлення, у цьому випадку T_0 – середній час напрацювання до відмови – математичне очікування часового інтервалу між послідовними відмовами; n – число виявлених відмов протягом певного інтервалу часу; $\lambda(\tau)$ – інтенсивність відмов – середнє число відмов в одиницю часу:

$$T_0 = T_0' \exp\left(\frac{\lambda(\tau)}{MT_0}\right); \lambda(\tau) = \frac{1}{T_0},$$

де T_0' – вихідне значення середнього часу напрацювання перед тестуванням.

Очевидно, що час напрацювання до відмови збільшується по мірі виявлення та усунення помилок.

Розглянемо ймовірність функціонування окремого СПЗ на прикладі.

Нехай функціонування СПЗ описується графом станів (рис. 2).

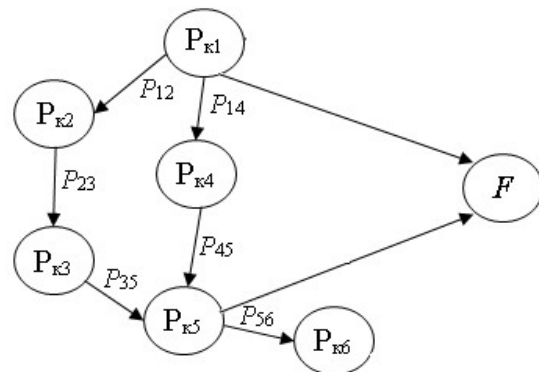


Рис. 2. Граф станів програмної складової

Оцінка надійності програмно-апаратних засобів – це процес, пов'язаний з обробкою результатів певної кількості тестових прогонів. Показником надійності в цьому випадку є ймовірність безвідмовної роботи (P_k) або ймовірність досягнення цілі визначається співвідношенням:

$$P_k = \frac{m}{n},$$

де n – загальна кількість реалізацій алгоритму функціонування;

m – число позитивних реалізацій алгоритм функціонування.

У зв'язку з тим, що складне СПЗ, будується по модульному принципу, надійність кожного n -го прогону всього програмно-апаратного забезпечення визначається як функція надійності його складових частин [11]:

$$P_{kn} = f(P_{ki}),$$

де P_{kn} – ймовірність безвідмовної роботи всього комплексу за один прогін;

P_{ki} – ймовірність безвідмовної роботи i -го програмного модуля.

Ймовірність безвідмовної роботи P_{kn} за один прогін визначається виразом:

$$P_{kn} = \prod_{i=1}^k P_{ki},$$

де P_{ki} – ймовірність виконання i – роботи;

k – загальна кількість прогонів.

При визначенні P_{kn} приймаємо припущення: надійності модулів – величини незалежні; загальний результат роботи програми буде некоректним, якщо хоча б в одному модулі буде виявлено помилку в процесі прогону; надійність кожного модуля визначено; надійність міжмодульного обміну визначено.

Час досягнення поставленої цілі визначається як математичне очікування часу виконання однієї реалізації алгоритму функціонування $M(T_u)$:

$$M(T_u) = \sum_{i=1}^m M(T_i),$$

де $M(T_i)$ – математичне очікування часу виконання A_i роботи:

$$M(T_i) = \frac{\sum_{i=1}^m T_i}{m},$$

де m – число позитивних реалізацій алгоритму функціонування;

T_i – час виконання i -ої роботи.

На графі кожна вершина, відповідає програмному модулю, який має певну надійність P_{ki} , а кожна дуга відповідає напрямку передачі управління від модуля до модуля. Передача управління від модуля до модулю також здійснюється з певною надійністю P_{ij} .

Таким чином, показниками надійності усього СПЗ при n прогоні є: ймовірність безвідмовної роботи за один прогін, ймовірність безвідмовної роботи i -го програмного модуля P_{ij} – ймовірність безвідмовної передачі управління між модулями.

Якщо модуль N_i видає правильний результат, то здійснюється перехід до виконання модуля N_j з ймовірністю $P_{ki} P_{ij}$.

Перехід в стан P_9 відповідає коректному завершенню програми і відбувається з ймовірністю P_{kn} :

$$P_{kn} = \prod_{i=1}^N P_{ki} P_{ij}.$$

З появою помилки перехід здійснюється у стан F , що відповідає некоректному виконанню програми, незалежно від того, як виконані інші модулі програмного комплексу і, як слідство, негативній реалізації прогону загалом.

При оцінці ефективності функціонування апаратної складової системи контролю необхідно враховувати надійність та оперативність функціонування цієї системи [12]:

прирошення надійності прогнозу (ΔP_3) за рахунок впровадження підсистеми контролю:

$$\Delta P_3 = P_{\text{ц}} - P_{\text{бс}};$$

прирошення оперативності прогнозу (ΔT_3) за рахунок впровадження підсистеми прогнозування:

$$\Delta T_3 = M(T_{\text{ц}}) - M(T_{\text{бс}}).$$

Однак, як правило, ці два показники розрахувати неможливо, оскільки не існує достовірних відомостей про надійність та час проведення робіт у випадку відсутності системи контролю.

Відомі також наступні параметри ефективності функціонування системи контролю:

$P_{\text{вн}}$ – ймовірність виявлення несправності системою контролю;

ΔP – програш у безвідмовності контрольованого пристрою під час використання вбудованої системи контролю;

ΔD – вигравш у достовірності під час використання системи контролю;

Як було показано, в умовах оцінки ефективності функціонування системи контролю є показник “програш у безвідмовності контрольованого пристрою з вбудованою системою контролю”. Значення даного параметра визначається виразом:

$$\Delta P = |P_{\text{внх}} P_{\text{к}} - P_{\text{внх}}|, \quad (1)$$

де $P_{\text{внх}}$ – ймовірність безвідмовної роботи об'єкта контролю (ОК) без системи контролю;

$P_{\text{к}}$ – ймовірність безвідмовної роботи за наявності системи контролю.

У свою чергу, ймовірність безвідмовної роботи вихідної схеми:

$$P_{\text{внх}} = \frac{1}{1 + \frac{\lambda_0}{\theta}}, \quad (2)$$

де λ_0 – параметр потоку відмов всього обладнання;

θ – інтенсивність відновлення контрольованої системи.

Ймовірність безвідмовної роботи автономних (не вбудованих) засобів контролю $P_{\text{внх}}$ приймаємо рівними 1, оскільки виготовлення таких систем відбувається за окремим технологічним процесом, а забезпечення високих показників надійності закладено вже на етапі проектування. Окрім того, використання автономної системи діагностування не змінює обсяг основного обладнання ОК (не призводить до зниження надійності об'єкта

контролю). Тому при оцінці ефективності таких систем використання показника ΔP недоцільно.

Виграш у достовірності при використанні системи контролю визначається виразом:

$$\Delta D = P_{\text{вих}} - D, \quad (3)$$

де D – достовірність функціонування ОК у процесі перевірки:

$$D = P_{\text{вн}} + P_{\text{вих}} \cdot P_{\text{к}} - P_{\text{вих}} P_{\text{к}} P_{\text{вн}}, \quad (4)$$

Підставивши цей вираз в (3) отримаємо:

$$\Delta D = P_{\text{вн}} - P_{\text{вих}} (1 - P_{\text{к}}) - P_{\text{вих}} P_{\text{к}} P_{\text{вн}}. \quad (5)$$

Графік залежності ΔD від величини обсягу діагностичної інформації δ при різних значеннях ймовірності виявлення несправності $P_{\text{вн}}$ і ймовірності безвідмовної роботи вихідної системи $P_{\text{вих}}$ наведено на рис. 3, 4.

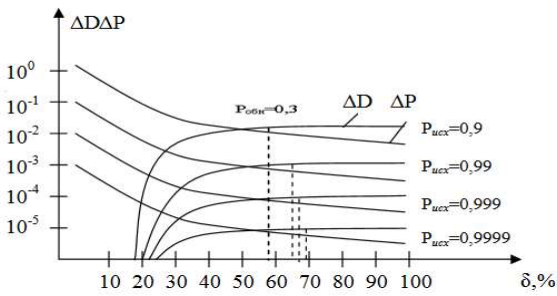


Рис. 3. Графік залежності $\Delta D = f(\delta)$ при $P_{\text{вн}} = 0,3$ та різних значеннях ймовірності безвідмовної роботи вихідної схеми $P_{\text{вих}}$.

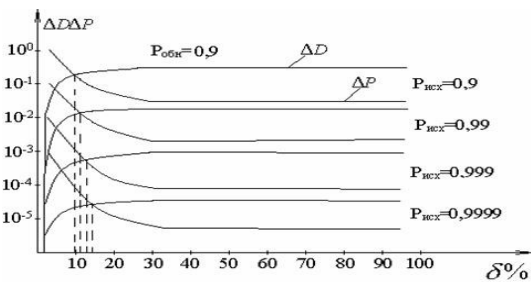


Рис. 4. Графік залежності $\Delta D = f(\delta)$ при $P_{\text{вн}} = 0,9$ та різних значеннях ймовірності безвідмовної роботи вихідної схеми $P_{\text{вих}}$.

З повного набору графіків, частину яких наведених на рис. 3, 4, можливо отримати залежність величини обсягу (повноти) діагностичної інформації ОК від ймовірності виявлення несправності $P_{\text{вн}}$ при різних значеннях ймовірності безвідмовної роботи вихідної схеми $P_{\text{вих}}$. Цю залежність наведено на графіку рис. 5 та у таблиці 1.

З даних наведених в таблиці видно, що значення $P_{\text{вн}}$ зростає приблизно в 4 рази, зі збільшенням обсягу діагностичної інформації у 6 разів. Дане співвідношення зберігається при різних ймовірностях безвідмовної роботи вихідної схеми $P_{\text{вих}}$. [13]

Чисельні значення реєструються в точках перетину кривих ΔP та ΔD як компроміс між

виграшом у достовірності та програшом у безвідмовності системи контролю.

Таблиця 1

Залежність $P_{\text{вн}}$ при різних значеннях ймовірності безвідмовної роботи вихідної схеми $P_{\text{вих}}$ від обсягу діагностичної інформації $\delta\%$.

	$P_{\text{вих}} \%$							
	20	30	40	50	60	70	80	90
$P_{\text{вих}} = 0,9$	10	13	16	22	30	45	59	81
$P_{\text{вих}} = 0,99$	11	15	17	23	32	48	64	82
$P_{\text{вих}} = 0,999$	12	16	18	24	33	52	66	84
$P_{\text{вих}} = 0,9999$	13	17	20	25	34	54	68	86

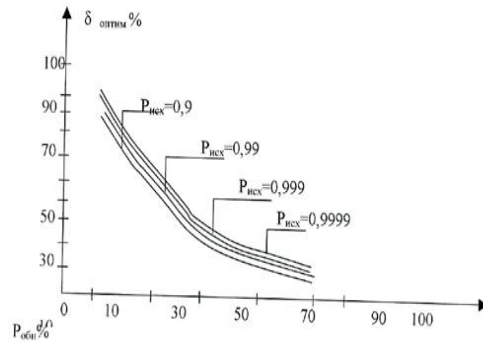


Рис. 5. Графік залежності $P_{\text{вн}} = f(\delta)$ при різних значеннях ймовірності безвідмовної роботи вихідної схеми $P_{\text{вих}}$.

Порівняння показника ймовірності виявлення несправності $P_{\text{вн}}$ для автономної системи контролю з системою діагностування вбудованою свідчить про можливий приріст у виграші достовірності виявлення несправності в межах від 10 до 30% в залежності від ймовірності безвідмовної роботи вихідної схеми. Подальше збільшення обсягу діагностичної інформації призводить до незначного зростання ймовірності виявлення несправності ОК, а ускладнення системи контролю в напрямку збільшення кількості діагностичних показників є економічно недоцільним.

Висновки й перспективи подальших досліджень

Аналіз показників надійності функціонування програмно-апаратних засобів контролю показує, що загальна характеристика відмов такої системи відрізняється від звичайної технічної системи, має зростаючий характер протягом усього життєвого циклу системи і потребує спеціальних підходів для визначення технічного стану, локалізації причин відмов, прогнозування технічного стану. Особливий інтерес викликає питання визначення чисельних параметрів ефективності систем контролю. З такою задачею стикаються майже всі розробники і дослідники засобів діагностування. Ці задачі набувають особливої важливості оскільки всі сучасні системи функціонують під керівництвом програмного забезпечення, а фізичні прояви несправності не завжди вказують на причині.

Література

1. Иыуду К. А. Кривошеков С. А. Метематические модели отказоустойчивых вычислительных систем. М.: МАИ, 1989. 144 с. 2. Половко А. М., Гуров С. В. Основы теории надежности. СПб.: БВХ-Петербург, 2006. 702 с.
3. Pham H, Pham M. Software Reliability models for Critical Applications. 1991.107 p. 4. Pham H. Handbook of Reliability Engineering. London.: British Library Cataloguing in Publication, 2003. 696 p. 5. Lyu M. R. Handbook of Software Reliability Engineering. USA.: Copyright by The McGraw - Hill Companies, 1996. 851 p.
6. Ершов А.П. Введение в теоретическое программирование: беседы о методе. М.: Наука, 1977. 288 с. 7. Котов В.Е., Сабельфельд В.К. Теория схем программ. М.: Наука, 1991. 246 с. 8. Кузавков В.В., Хусайнов П.В. Прогнозування технічного стану однотипних програмно-апаратних засобів. *Інформатика та математичні методи в моделюванні*. 2018, № 1 С. 57–68. 9. Половко А. М., Гуров С.В. Основы теории надежности. СПб.: БВХ-Петербург, 2006. 704 с.
10. Нормування показників надійності технічних засобів. URL: https://web.posibnyky.vntu.edu.ua/fksa/1vasilevskiy_normuvannya_pokaznykiv_nadiynosti_tekhnichnyh_zasobiv/1104.htm.
11. Озірковський, Л. Д., Панський Т. І. Модель поведінки програмно-апаратних електронних систем *Електроніка*. Вісник Національного університету «Львівська політехніка». 2013 № 764. С. 36–43.
12. Методика визначення показників надійності відмовостійких програмно-апаратних радіоелектронних систем. *Радіотехніка. Радіо-апаратобудування*. Вісник НТУУ «КПІ» / Волочий, Б. Ю., Озірковський Л. Д., Панський Т. І., Муляк О. В. 2013. № 55. С. 71–79.
13. Арипов М. Н, Джураев Р. Х., Джаббаров Ш. Ю. Техническая диагностика цифровых систем: Учебное пособие. Ташкент, 2006. 76 с.

JUSTIFICATION FOR CHOOSING INDICATORS FOR ASSESSING THE EFFICIENCY OF THE FUNCTIONING OF THE AUTOMATED CONTROL SYSTEM

Vasyl Kuzavkov (Doctor of technical sciences)¹
 Oleg Iankovskii (Candidate of technical sciences)²
 Yuliia Bolotiuk¹

¹Military Institute of Telecommunications and Informatization named after the Heroes of Kruty, Ukraine

²Odessa State Academy of Technical Regulation and Quality, Ukraine

Modern sophisticated electronic equipment, including control systems, are built as systems with built-in software. The process of functioning of such systems consists in the interaction of software and hardware components. The increasing complexity of technical systems imposes additional requirements to ensure high (given) reliability indicators. Failures in these tools can be caused by random failures and defects of the hardware component, software errors and failures, failures due to external influences (temperature, ionizing radiation or other external destabilizing factors). Failures of the software component that controls the entire system can cause an unexpected state or behavior of the system, which can lead to significant material losses.

The purpose of the article is the selection of indicators of the reliability of the functioning of software and hardware means of monitoring the technical condition of modern radio-electronic weapons for their further justified and numerical evaluation of the effectiveness of the functioning of the developed diagnostic systems.

Key words: software, failure, reliability, uptime.

References

1. Iyudu K. A. Krivoshchekov S. A. Metematcheskiye modeli otkazoustoychivyykh vycheslitelnykh sistem. M.: MAI. 1989. 144 s. 2. Polovko A. M., Gurov S. V. Osnovy teorii nadezhnosti. SPb.: BVKh-Peterburg. 2006.702 s.
3. Pham H, Pham M. Software Reliability models for Critical Applications. 1991.107 p. 4. Pham H. Handbook of Reliability Engineering. London.: British Library Cataloguing in Publication, 2003. 696 p. 5. Lyu M. R. Handbook of Software Reliability Engineering. USA.: Copyright by The McGraw - Hill Companies, 1996. 851 p.
6. Ershov A.P. Vvedeniye v teoreticheskoe programmirovaniye: besedy o metode. M.: Nauka. 1977. 288 s. 7. Kotov V.E., Sabelfeld V.K. Teoriya skhem programm. M.: Nauka. 1991. 246 s. 8. Kuzavkov V.V., Khusainov P.V. Prohnozuvannya tekhnichnogo stanu odnotypnykh prohranno-aparatnykh zasobiv. *Informatyka ta matematychni metody v modeliuванні*. 2018, № 1 S. 57–68.
9. Polovko A. M., Gurov S.V. Osnovy teorii nadezhnosti. SPb.: BKHV-Peterburg. 2006. 704 s. 10. Normuvannya pokaznykiv nadiynosti tekhnichnykh zasobiv. URL: https://web.posibnyky.vntu.edu.ua/fksa/1vasilevskiy_normuvannya_pokaznykiv_nadiynosti_tekhnichnyh_zasobiv/1104.htm.
11. Ozirkovskiy, L. D., Panskiy T. I. Model povedinky prohranno-aparatnykh elektronnykh system *Elektronika*. Visnyk Natsionalnoho universytetu «Lvivska politekhnika». 2013 № 764. S. 36–43. 12. Metodyka vyznachennia pokaznykiv nadiynosti vidmovostiikykh prohranno-aparatnykh radioelektronnykh system. *Radiotekhnika. Radio-aparatobuduvannya*. Visnyk NTUU «KPI» / Volochii, B. Yu., Ozirkovskiy L. D., Panskiy T. I., Muliak O. V. 2013. № 55. S. 71–79. 13. Aripov M. N. Dzhurayev R. Kh., Dzhabbarov Sh. Yu. Tekhnicheskaya diagnostika tsifrovyykh sistem: Uchebnoe posobiye. Tashkent. 2006. 76 s.