

УДК 681.3.06.+519.718.2

С.Є. Гнатюк¹**Л.М. Сакович², к.т.н., доц.****Є.В. Рижов³, к.т.н.**¹Державний науково-дослідний інститут Спецзв'язку, м. Київ, Україна²Інститут спеціального зв'язку та захисту інформації, м. Київ, Україна³Національна академія сухопутних військ імені гетьмана Петра Сагайдачного, м. Львів, Україна

МОДЕЛЮВАННЯ НАДІЙНОСТІ ПРОГРАМНОГО ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ ПРОГРАМНО-КЕРОВАНИХ ЗАСОБІВ ЗВ'ЯЗКУ

У статті досліджено наявні математичні моделі надійності програмних засобів та показано відсутність єдиної універсальної моделі і великий діапазон відхилення результатів моделювання при отриманні одних і тих же вихідних даних. Запропоновано математичні статичну та динамічну моделі надійності залежно від умов фіксування відмов програмних засобів, які відрізняються мінімальним значенням середньоквадратичного відхилення результатів моделювання від статистичних даних про відмови програмних засобів в умовах реальної експлуатації програмно-керованих засобів зв'язку.

Ключові слова: програмно-керовані засоби зв'язку, математичні моделі надійності програмних засобів, система спеціального зв'язку.

Постановка проблеми та аналіз останніх досліджень і публікацій

Система зв'язку Збройних Сил (СЗЗС) України розвивається у напрямку підвищення значень показників її якості, що викликає відповідне ускладнення військової техніки зв'язку. Вона удосконалюється впровадженням цифрової обробки сигналів між абонентами (окремими пристроями або обчислювальними центрами) і використанням програмно-керованих засобів зв'язку (ПКЗЗ) [1]. Об'єм програмних засобів (ПЗ), які використовуються, неперервно зростає, розробляються та впроваджуються нові програмні продукти, спрямовані на забезпечення захищеності інформації, що передається. Однак оцінка показників надійності СЗЗС здійснюється тільки із врахуванням можливих відмов апаратних засобів (АЗ), хоча помилки нового ПЗ в початковий період його впровадження надають істотний вплив на збої та перерви обміну інформацією.

Питання вдосконалення і підвищення (або забезпечення) необхідних значень показників надійності ПЗ, цифрових радіоелектронних засобів різного призначення, а також комп'ютерних систем (КС) і мереж в теперішній час досить глибоко розглянуті і досліджені в наукових роботах вітчизняних та зарубіжних авторів, серед яких Волочій Б.Ю., Маєвський Д.А., Половко А.М., Харченко В.С., Яковина В.С. та багато інших. Проте у відомих роботах в недостатній мірі враховують особливості оцінки показників надійності сучасних ПКЗЗ за результатами їх дослідної експлуатації в початковий період використання за призначенням перспективних цифрових систем спеціального зв'язку (ССЗ). Але відомі моделі і методики оцінки показників надійності ПЗ і АЗ головним чином орієнтовані на використання під час тестових випробувань, ще до вводу цих засобів в експлуатацію, коли ПЗ містять досить багато помилок. Тобто, виникає необхідність розробки моделей і методик оцінки та прогнозування значень показників надійності за результатами випробувань в початковий період експлуатації нових зразків ПКЗЗ з помилками в ПЗ, які не виявлені під час тестових випробувань. Цю задачу можна вирішити удосконаленням відомих моделей за рахунок отримання нових аналітичних виразів і алгоритмів обчислення їх коефіцієнтів з метою мінімізації середньоквадратичного відхилення (СКВ) результатів моделювання від експериментальних даних [2, 3].

Мета статті

Мета роботи полягає в дослідженні впливу якості ПЗ на стійкість СЗЗС для отримання і використання результатів досліджень в методиках кількісної оцінки показників надійності ПЗ, АЗ та системи в цілому, які можуть бути практично реалізовані.

Виклад основного матеріалу

Статична модель надійності ПЗ ПКЗЗ – сукупність аналітичних виразів, що описують функціональні залежності показників надійності від часу і дозволяють отримати їх кількісну оцінку для визначення надійності системи в цілому у реальних умовах експлуатації при щомісячному підбитті кількості відмов в постійних умовах використання за призначенням. Модель призначена для кількісної оцінки і прогнозування значень показників надійності ПЗ за результатами обробки статистичних даних про відмови за деякий період часу.

В результаті аналізу даних підконтрольної експлуатації за n місяців і припущенні про експоненціальний закон зміни числа відмов ПЗ від часу з використанням методу найменших квадратів виконується апроксимація залежності експериментальних даних від часу, після чого обчислюються значення коефіцієнтів статичної моделі надійності ПЗ.

Сутність моделі полягає в отриманні кількісної оцінки показників надійності ПЗ ПКЗЗ при заданих обмеженнях і припущеннях на базі використання нових функціональних залежностей, які аналізують зміну значень показників від часу, та нових алгоритмів їх розрахунку.

Вихідні дані для використання моделі у випадку щомісячного підведення підсумків про відмови: K_m – число відмов ПЗ за місяць m ; T – період прогнозування показників надійності ПЗ.

Обмеження на використання моделі: умови експлуатації АЗ КС і ПКЗЗ за час отримання початкових даних і на період прогнозування постійні; ПЗ функціонує у середовищі близькому до реальних умов експлуатації КС і ПКЗЗ.

Припущення при використанні моделі: інтенсивність виявлення помилок пропорційна їх поточному числу в ПЗ; всі помилки ПЗ однаково ймовірні, а їх поява незалежна одна від іншої; проява кожної помилки веде до порушення правильності функціонування ПЗ; час до наступної відмови ПЗ розподілений експоненціально; помилки ПЗ після виявлення усуваються без внесення нових; інтенсивність виявлення помилок постійна в інтервалі між двома суміжними моментами появи помилок.

Математичний апарат моделі базується на використанні методів теорії надійності і теорії ймовірностей. Основні аналітичні вирази і функціональні залежності статичної моделі зведені в табл. 1, де A_1 та A_n – результати апроксимації кількості відмов ПЗ за перший та останні місяці підконтрольної експлуатації.

Адекватність моделі підтверджується за критерієм узгодження χ^2 Пірсона за виразом:

$$\chi^2 = \sum_{m=1}^n \frac{(N_m - K_m)^2}{N_m},$$

де N_m – прогнозована кількість відмов ПЗ.

У даному випадку адекватність моделі кількісно оцінюється мінімальним значенням СКВ результатів моделювання від статистичних даних про відмови, отриманих в процесі дослідної або підконтрольної експлуатації обладнання ССЗ.

Ефект від використання запропонованої моделі в порівнянні з відомими полягає в підвищенні точності кількісної оцінки і прогнозування значень показників надійності ПЗ: розрахункове значення числа відмов ПЗ за T місяців експлуатації відрізняється від істинного всього на 1,5 %; помилка в оцінці числа відмов ПЗ за місяць експлуатації КС не перевищує 0,6 %; зменшення значення СКВ результатів обчислень від експериментальних даних за n місяців експлуатації КС, порівняно із кращими з відомих моделей, до 9 %.

Сутність подальшого розвитку моделі, що забезпечує порівняно з відомими мінімізацію СКВ результатів моделювання від експериментальних даних, полягає в тому, що отримані нові аналітичні вирази і алгоритм розрахунку коефіцієнтів статичної моделі надійності ПЗ.

Відрізняється від відомих:

- доступним набором вихідних даних і можливістю використання в реальних умовах експлуатації обладнання СЗЗС на вузлах зв'язку та обчислювальних центрах з метою оцінки та прогнозування надійності ПЗ існуючих, а також перспективних зразків ПКЗЗ;
- припущеннями та обмеженнями на використання, які відповідають реальним умовам експлуатації обладнання СЗЗС;
- зменшенням значення СКВ результатів моделювання від експериментальних даних за рахунок використання нових алгоритмів розрахунку значень коефіцієнтів моделі;
- позитивним ефектом від використання, що полягає в підвищенні точності оцінки і прогнозування значень показників надійності ПЗ.

Таблиця 1

Розрахунок кількісних оцінок значень показників надійності ПЗ статичної моделі надійності

Показник надійності ПЗ	Розрахунок а і b	Апроксимація
Значення коефіцієнтів моделі за результатами апроксимації даних про відмови ПЗ	$b = \ln(A_n / A_1) / (1 - n)$ $a = A_1 (A_n / A_1)^{1/(1-n)}$	Розрахунок методом найменших квадратів на ЕОМ
Кількість відмов ПЗ за місяць m (N_m)	$a \exp(-mb)$	$A_1 (A_n / A_1)^{(1-m)/(1-n)}$
Сумарна кількість відмов ПЗ за T місяців (N_T)	$\frac{a(e^{bT} - 1)}{e^{bT}(e^b - 1)}$	$\frac{A_1 [(A_n / A_1)^{T/(1-n)} - 1]}{(A_n / A_1)^{(T-1)/(n-1)} [(A_n / A_1)^{1/(1-n)} - 1]}$
Ймовірність безвідмовної роботи ПЗ за місяць m (P_{nm})	$\exp(-ae^{-mb})$	$\exp\left[-A_1 \left(\frac{A_n}{A_1}\right)^{\frac{m-1}{n-1}}\right]$
Інтенсивність потоку відмов ПЗ за місяць m (λ_m)	$-ab(A_n / A_1)^m$	$\frac{A_1 (A_n / A_1)^{\frac{m-1}{n-1}} \ln(A_n / A_1)}{1 - n}$
Напрацювання ПЗ на відмову за місяць m (T_{nm})	$-\left(\frac{A_n}{A_1}\right)^m / ab$	$\frac{1 - n}{A_1 (A_n / A_1)^{\frac{m-1}{n-1}} \ln(A_n / A_1)}$
Середньоквадратичне відхилення результатів прогнозування N_m від даних про відмови ПЗ за n місяців (σ)	$\sqrt{\frac{1}{n} \sum_{m=1}^n (ae^{-mb} - K_m)^2}$	$\sqrt{\frac{1}{n} \sum_{m=1}^n \left(A_1 \left(\frac{A_n}{A_1} \right)^{\frac{1-m}{1-n}} - K_m \right)^2}$

Достовірність результатів моделювання підтверджується використанням апробованого математичного апарату, подібністю результатів до відомих в часткових випадках, а її адекватність – перевіркою відповідності результатів розрахунків дослідним даним за критерієм узгодження і мінімізацією значення СКВ [4].

Динамічна модель надійності ПЗ – функціональна залежність загальної кількості відмов з початку експлуатації, що прогнозується на заданий період часу, від статистичних даних для оцінки надійності системи в реальних умовах експлуатації при фіксації відмов у момент їх виявлення в постійних умовах використання за призначенням.

Аналіз залежності сумарних статистичних даних про відмови (N_{cm}) від часу з початку експлуатації (m) показує можливість апроксимації експериментальних даних функцією виду:

$$N_{cm} = a \left(\frac{m}{T} \right)^b \exp \left(- \frac{m}{T} b \right),$$

де T – період прогнозування числа відмов ПЗ.

Значення коефіцієнтів a і b обчислюються за результатами апроксимації експериментальних даних за час i та j із початку експлуатації ($1 < i < j < m$) та уточнюються методом найменших квадратів.

Отримана модель дозволяє кількісно оцінити інтенсивність відмов (λ_n) і напрацювання на відмову ($T_n = 1/\lambda_n$) ПЗ.

Основні математичні вирази кількісних оцінок показників надійності ПЗ приведені в табл. 2.

Укрупнений алгоритм реалізації моделі складається з наступних операцій: отримання та аналіз вихідних даних за результатами підконтрольної експлуатації виробів; апроксимація залежності сумарної кількості відмов від часу; розрахунок коефіцієнтів динамічної моделі за алгоритмом; розрахунок кількісних показників надійності ПЗ за виразами табл. 2; вивід результатів моделювання у вигляді таблиць або функціональних залежностей.

Таблиця 2

Розрахунок кількісних оцінок значень показників надійності ПЗ з використанням динамічної моделі

Показник надійності ПЗ	Аналітичний вираз розрахунку показника
Значення коефіцієнтів моделі за результатами апроксимації даних про відмови ПЗ	$b = \frac{\ln(N_{cj}/N_{ci})}{(i-j)/T - \ln(i/T) + \ln(j/T)}$ $a = N_{ci} / \left[\left(\frac{i}{T} \right)^b \exp(-ib/T) \right]; 0 < i < j \leq T$
Кількість відмов ПЗ за місяць m (N_m)	$\frac{a}{T^b} \cdot \frac{m^b - (m-1)^b e^{b/T}}{e^{mb/T}}$
Сумарна кількість відмов ПЗ за T місяців (N_T)	$a \exp(-b)$
Ймовірність безвідмовної роботи ПЗ за місяць m (P_{nm})	$\exp \left[- \frac{a \left(m^b - (m-1)^b e^{b/T} \right)}{T^b e^{mb/T}} \right]$
Інтенсивність потоку відмов ПЗ за місяць m (λ_m)	$\frac{a \left[m^b e^{-b/T} - (m-1)^b \right]}{T^b \exp[b(m-1)/T]}$
Напрацювання ПЗ на відмову за місяць m (T_{nm})	$\frac{T^b \exp[b(m-1)/T]}{a \left[m^b e^{-b/T} - (m-1)^b \right]}$
Середньоквадратичне відхилення результатів прогнозування N_m від даних про відмови ПЗ за n місяців (σ)	$\sqrt{\frac{1}{n} \sum_{m=1}^n \left(K_{cm} - \frac{a \left[m^b - (m-1)^b e^{b/T} \right]}{T^b e^{mb/T}} \right)^2}$

Адекватність динамічної моделі кількісно оцінюється мінімальним значенням СКВ результатів моделювання від вихідних статистичних даних про відмови ПЗ.

Ефект від використання динамічної моделі надійності ПЗ полягає в зменшенні значень σ (більше 9 %) та відносної помилки прогнозування кількості відмов за місяць експлуатації δN (до 5 %), а також за весь період прогнозування $\delta N_{\text{ст}}$ (до 3,1 %).

Наукова новизна моделі полягає в тому, що вперше:

– запропонована нова динамічна модель надійності ПЗ, алгоритм її реалізації із обґрунтуванням достовірності та адекватності отриманих результатів; в моделі, на відміну від відомих, використані нові аналітичні вирази для розрахунку показників надійності ПЗ (табл. 2), які уточнюють функціональні залежності їх зміни з часом; пропонується новий алгоритм розрахунку коефіцієнтів моделі; розроблений новий алгоритм реалізації динамічної моделі надійності ПЗ, що забезпечує мінімізацію значення СКВ результатів моделювання від експериментальних даних про експлуатаційну надійність.

Запропонована динамічна модель оцінки і прогнозування надійності ПЗ відрізняється від відомих зменшенням значення СКВ результатів розрахунків від дослідних даних більше 9 %.

Отриману модель доцільно використовувати у методиках кількісної оцінки значень показників надійності спеціальних ПКЗЗ [5].

Висновки

1. Дослідження відомих математичних моделей надійності ПЗ показало відсутність єдиної універсальної моделі та великий діапазон відхилення результатів моделювання при отриманні одних і тих же вихідних даних, що потребує створення і використання моделей, які мінімізують СКВ результатів моделювання від експериментальних даних при використанні доступної вихідної інформації в умовах реальної експлуатації обладнання і ССЗ.

2. Залежно від умов фіксування відмов ПЗ запропоновано математичні статичну та динамічну моделі надійності, що відрізняються мінімальним значенням СКВ результатів моделювання і статистичних даних про відмови, наукова новизна яких полягає у тому, що вперше: отримали подальший розвиток статична та динамічна моделі надійності ПЗ; в моделях оцінки і прогнозування надійності ПЗ, на відміну від відомих, використані нові аналітичні вирази для визначення числа помилок в ПЗ і оцінки його надійності; пропонуються нові алгоритми реалізації моделей, які забезпечують мінімізацію СКВ результатів моделювання від експериментальних даних щодо кількості відмов ПЗ.

3. Впровадження результатів досліджень в процес оцінки якості функціонування ССЗ дозволяє: підвищити точність оцінки і прогнозування значень показників надійності ПЗ; підтвердити високу імовірність відповідності гіпотези щодо функціональної залежності кількості відмов ПЗ від часу результатам експлуатації від 0,78 до 0,94 за критерієм χ^2 Пірсона, і відхилення числа відмов за період прогнозування від 1,5 до 3,1 %, зменшення значення СКВ від 0,463 до 0,966, тобто 9,32 % до 10,35 %.

Список використаних джерел

1. Гнатюк С.Є. Принципи побудови та перспективи розвитку програмно-керованих радіостанцій / С.Є. Гнатюк, С.П. Лівенцев, В.П. Павлов, Л.М. Сакович // Зв'язок, 2013. – № 1. – С. 11-15.
2. Сакович Л.М. Моделювання надійності програмних засобів техніки зв'язку / Л.М. Сакович, Я.Е. Небесна, С.Є. Гнатюк // Зв'язок, 2013. – № 1 – С. 15-19.
3. Сакович Л.М. Оцінювання надійності програмно-керованих засобів зв'язку / Л.М. Сакович, С.Є. Гнатюк // Зв'язок, 2013. – № 2. – С. 25-29.
4. Гнатюк С.Є. Аналітична модель надійності програмних засобів комп'ютерних систем і програмно-керованих засобів зв'язку / С.Є. Гнатюк, Л.М. Сакович // Зв'язок, 2013. – № 3. – С. 45-49.

5. Гнатюк С.С. Аналітична модель надійності програмних засобів комп'ютерних систем і програмно-керованих засобів зв'язку / С.С. Гнатюк // Наука і техніка Повітряних Сил Збройних сил України. – № 3 (16). – Харків, 2014. – С. 104-108.

Рецензент: Давіденко С.В., к.т.н., доц., Національна академія сухопутних військ імені гетьмана Петра Сагайдачного, м. Львів.

МОДЕЛИРОВАНИЕ НАДЕЖНОСТИ ПРОГРАММНОГО ОБЕСПЕЧЕНИЯ ПРОГРАММНО УПРАВЛЯЕМЫХ СРЕДСТВ СВЯЗИ

С.Е. Гнатюк, Л.Н. Сакович, Е.В. Рыжов

В статье исследованы существующие математические модели надежности программных средств и показано отсутствие единой универсальной модели, большой диапазон отклонения результатов моделирования при получении одних и тех же исходных данных. Предложено математические статическую и динамическую модели надежности в зависимости от условий фиксации отказов программных средств, которые отличаются минимальным значением среднеквадратического отклонения результатов моделирования от статистических данных об отказах программных средств в условиях реальной эксплуатации программно-управляемых средств связи.

Ключевые слова: *программно-управляемые средства связи, математические модели надежности программных средств, система специальной связи.*

MODELING OF THE RELIABILITY OF THE PROGRAM DRIVEN COMMUNICATION MEANS SOFTWARE

S. Hnatiuk, L. Sakovych, Y. Ryzhov

The article examines existing mathematical models of software reliability and shows the lack of single universal model, as well as great deviation range of modeling results given the same input data. Mathematical statistic and dynamic reliability models depending on the conditions of software failure recording, that differ by minimal value of mean square deviation of modeling results from statistic data on software failure in the conditions of actual exploitation of computer driven communication means have been suggested.

Keywords: *computer driven communication means, mathematical models of software reliability, special communication system.*