

УДК 004.052

СЕРГІЙ ГНАТЮК,
ЛЕВ САКОВИЧ,
ЄВГЕН РИЖОВ

КІЛЬКІСНА ОЦІНКА НАДІЙНОСТІ ПРОГРАМНО-КЕРОВАНИХ ЗАСОБІВ ЗВ'ЯЗКУ

В статті запропонована методика оцінки і прогнозування значень показників надійності програмно-керованих засобів зв'язку для забезпечення ефективного функціонування системи зв'язку в реальних умовах її експлуатації. Вона полягає в дослідженні впливу якості програмних засобів на стійкість системи зв'язку для отримання і використання результатів досліджень в методиках кількісної оцінки показників надійності програмних засобів, апаратних засобів та системи в цілому, які можуть бути практично реалізовані. Отримані результати дозволяють: підвищити об'єктивність оцінки значень показників надійності програмних та апаратних засобів за рахунок зменшення середньоквадратичного відхилення результатів моделювання від статистичних даних про відмови; кількісно оцінювати надійність програмно-керованих засобів зв'язку з врахуванням наявності помилок в програмних засобах.

Ключові слова: надійність, кількісна оцінка надійності, програмно-керовані засоби зв'язку, математичні моделі надійності програмних засобів, помилка в програмному засобі.

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

Мета статті полягає в дослідженні впливу якості ПЗ на стійкість СЗ для отримання і використання результатів досліджень в методиках кількісної оцінки показників надійності ПЗ, АЗ та системи в цілому, які можуть бути практично реалізовані [1-3].

На основі використання нових аналітичних моделей надійності ПЗ [4, 5] теоретично обґрунтовано та запропоновано методику кількісної оцінки і прогнозування значень показників надійності ПКЗЗ, що практично реалізується в реальних умовах експлуатації.

Методика оцінки і прогнозування значень показників надійності ПКЗЗ призначена для кількісної оцінки і прогнозування за результатами даних підконтрольної експлуатації числа помилок в ПЗ, напрацювання на відмову ПЗ, АЗ і ПКЗЗ в цілому, ймовірності безвідмовної роботи ПЗ, АЗ і засобів спеціального зв'язку в цілому за заданий період часу.

Сутність методики полягає в отриманні кількісної оцінки показників надійності ПКЗЗ при заданих обмеженнях і припущеннях на базі використання нової аналітичної моделі надійності ПЗ із марківським процесом виявлення помилок і нових функціональних залежностей показників, що досліджуються, від часу (див. табл. 1).

Якщо кількість відмов ПЗ оцінюється за місяць експлуатації ПКЗЗ, то використовують статичну модель надійності, де A_1 та A_n – апроксимація кількості відмов ПЗ за перший та останній місяці підконтрольної експлуатації ПКЗЗ. Якщо сумарну кількість відмов ПЗ фіксують в момент прояви відмови, використовують динамічну модель, де i та j – моменти фіксації, а N_{ci} та N_{cj} – загальна кількість відмов ПЗ з початку експлуатації до цих моментів часу.

Початкові дані залежать від виду моделі надійності ПЗ: R – число робочих місць (ПКЗЗ або персональних комп'ютерів з ПЗ, яке досліджується); T_a – напрацювання на відмову АЗ у період нормальної експлуатації (згідно технічного опису, вимог керівного технічного матеріалу або аналізу даних щодо експлуатації у таких же умовах аналогічних зразків); T_b – середній час відновлення АЗ; $T_{вп}$ – середній час відновлення ПЗ; T – період прогнозу (в місяцях); t_{rm} – час роботи (в годинах) ПКЗЗ $r = \overline{1, R}$ за місяць $m = \overline{1, T}$; K_m – число відмов ПЗ на R робочих місцях за місяць m підконтрольної експлуатації; n – число місяців підконтрольної експлуатації ПКЗЗ.

Обмеження на використання методики:

- умови експлуатації АЗ ПКЗЗ за час отримання початкових даних і на період прогнозування постійні;
- розглядається період нормальної експлуатації АЗ, коли значення параметру потоку відмов і напрацювання на відмову постійні.

Припущення при використанні методики:

- значення показників надійності АЗ і ПЗ змінюються з часом за експоненціальним законом;
- при усуненні виявлених помилок ПЗ нові помилки не вносяться;
- помилка ПЗ виявлена на одному робочому місці, усувається на усіх робочих місцях;
- швидкість виявлення помилок ПЗ залежить від їх кількості;
- помилка ПЗ усувається до наступного звернення в систему або доводяться до користувачів умови її виникнення для запобігання можливих наслідків прояву.

Математичний апарат методики базується на використанні теорії надійності складних технічних об'єктів та систем, теорії ймовірностей та аналітичних моделей надійності ПЗ, приведених в табл. 1.

Алгоритм реалізації методики складається із наступних операцій:

1. Отримання початкових даних.
2. Вибір моделі надійності ПЗ (статична або динамічна).
3. Апроксимація даних про відмови ПЗ.
4. Обчислення коефіцієнтів a і b згідно табл. 1.

Таблиця 1 – Обчислення кількісних оцінок значень показників надійності програмного забезпечення

Показник надійності ПЗ	Динамічна модель	Статична модель	
	Аналітичний вираз обчислення показника	Обчислення а і b	Апроксимація
Значення коефіцієнтів моделі за результатами апроксимації даних про відмови ПЗ	$b = \frac{\ln(N_{ci}/N_{ci})}{(i-j)/T - \ln(i/T) + \ln(j/T)}$ $a = N_{ci} / \left[\left(\frac{i}{T} \right)^b \exp(-ib/T) \right];$ $0 < i < j \leq T$	$b = \ln(A_n/A_1)/(1-n)$ $a = A_1(A_n/A_1)^{1/(1-n)}$	Обчислення методом найменших квадратів на ЕОМ
Кількість відмов ПЗ за місяць m (N_m)	$\frac{a}{T^b} \cdot \frac{m^b - (m-1)^b e^{b/T}}{e^{mb/T}}$	$a \exp(-mb)$	$A_1(A_n/A_1)^{(1-m)/(1-n)}$
Сумарна кількість відмов ПЗ за T місяців (N_T)	$a \exp(-b)$	$\frac{a(e^{bT} - 1)}{e^{bT}(e^b - 1)}$	$\frac{A_1[(A_n/A_1)^{T/(1-n)} - 1]}{(A_n/A_1)^{(T-1)/(n-1)} [(A_n/A_1)^{1/(1-n)} - 1]}$
Імовірність безвідмовної роботи ПЗ за місяць m (P_{nm})	$\exp \left[- \frac{a(m^b - (m-1)^b e^{b/T})}{T^b e^{mb/T}} \right]$	$\exp(-ae^{-mb})$	$\exp \left[- A_1 \left(\frac{A_n}{A_1} \right)^{\frac{m-1}{n-1}} \right]$
Інтенсивність потоку відмов ПЗ за місяць m (λ_m)	$\frac{a[m^b e^{-b/T} - (m-1)^b]}{T^b \exp[b(m-1)/T]}$	$-ab(A_n/A_1)^m$	$\frac{A_1(A_n/A_1)^{\frac{m-1}{n-1}} \ln(A_n/A_1)}{1-n}$
Напрацювання ПЗ на відмову за місяць m (T_{nm})	$\frac{T^b \exp[b(m-1)/T]}{a[m^b e^{-b/T} - (m-1)^b]}$	$-(A_n/A_1)^{-m} / ab$	$\frac{1-n}{A_1(A_n/A_1)^{\frac{m-1}{n-1}} \ln(A_n/A_1)}$
Середньоквадратичне відхилення результатів прогнозування N_m від даних про відмови ПЗ за n місяців (σ)	$\sqrt{\frac{1}{n} \sum_{m=1}^n \left(K_{cm} - \frac{a[m^b - (m-1)^b e^{b/T}]}{T^b e^{mb/T}} \right)^2}$	$\sqrt{\frac{1}{n} \sum_{m=1}^n (ae^{-mb} - K_m)^2}$	$\sqrt{\frac{1}{n} \sum_{m=1}^n \left(A_1 \left(\frac{A_n}{A_1} \right)^{\frac{1-m}{1-n}} - K_m \right)^2}$

5. Обчислення для кожного місяця за період $m = \overline{1, T}$ значень числа відмов ПЗ (N_m), напрацювання на відмови ПЗ (T_{nm}) і ПКЗЗ в цілому (T_{cm}), значення ймовірностей безвідмовної роботи АЗ (P_{am}), ПЗ (P_{nm}) і ПКЗЗ в цілому (P_{cm}).

6. Оцінка прогнозованого числа помилок ПЗ (N).

7. Обчислення середньоквадратичного відхилення (СКВ) результатів прогнозування від істинного значення числа відмов ПЗ за n місяців підконтрольної експлуатації ПКЗЗ

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

8. Виведення отриманих результатів у вигляді таблиці і залежностей $N_m, T_{nm}, T_{cm}, P_{am}, P_{nm}, P_{cm}$ від часу прогнозування $m = \overline{1, T}$.

9. Виведення значень N і σ_n .

Реалізацію методики розглянуто із використанням реальних початкових даних щодо експлуатації спеціальної комп'ютерної системи (КС): $R = 5$, $T_a = 10000$ год., $T = 12$ міс., $t_{rm} = 192$ год., $T = 12$ міс., $K_1 = 8$, $K_2 = 6$, $K_3 = 6$, $K_4 = 4$, $n = 4$ [6]. У результаті апроксимації початкових даних за $n = 4$ місяці дослідної експлуатації отримуємо $A_1 = 8$; $A_2 = 6,7$; $A_3 = 5,5$; $A_4 = 4,5$.

Далі за алгоритмом: $b = 0,192$; $a = 9,693$; $\tau_m = 960$ год., $N_m = 9,693e^{-0,192m}$; $T_{nm} = 99,04e^{0,192m}$; $P_{am} = e^{-0,0192m}$; $P_{nm} = \exp(-8 \cdot 0,5625^{(m-1)/3})$, $\sigma = 1,14$.

Для прикладу, який розглядається, в область $N_m \pm \sigma_n$ попадає 91,7% експериментальних даних (див. рис. 1), що свідчить про достатньо високу точність прогнозу числа відмов ПЗ за n місяців експлуатації КС.

Остаточо отримуємо: $A_a = 0,9999$; $A_n = 0,9905$; $m = 6$. Тоді для об'єкту в цілому $A_{KC} = 0,9905$. Відповідно, при $m = 12$ отримуємо $A_n = 0,996997 = A_{KC}$.

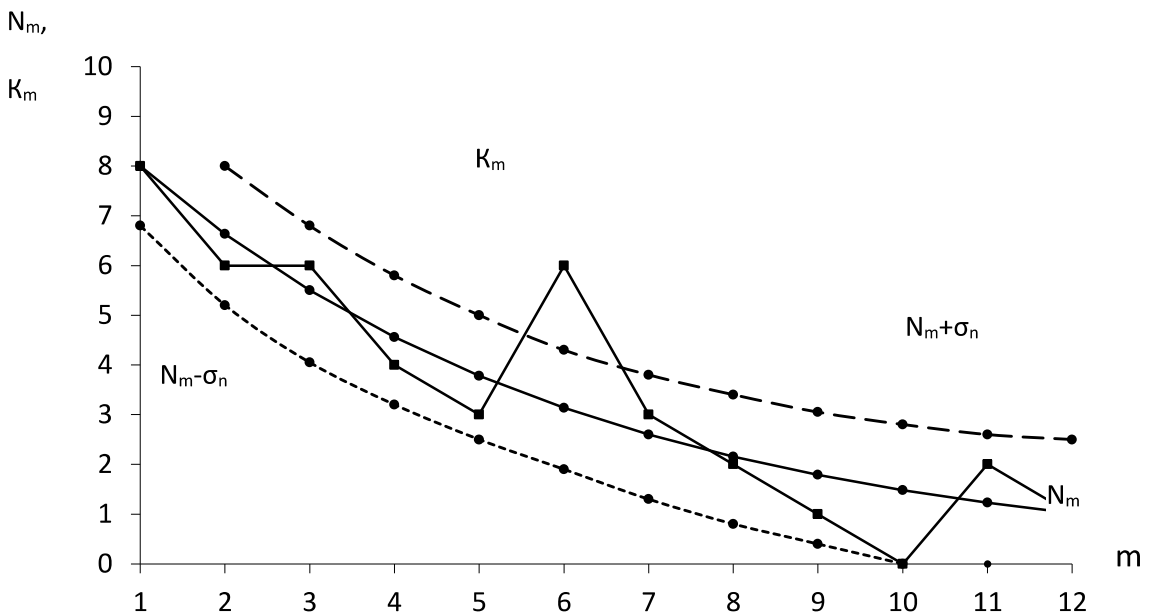


Рисунок 1 – Залежності прогнозованого (N_m) і істинного (K_m) числа відмов за рік експлуатації ПЗ від часу користування спеціальною КС

Ефект від використання методики полягає в підвищенні точності прогнозу значень показників надійності системи по мірі накопичення статистичних даних, а також в уточненні значень напрацювання на відмову нових зразків ПКЗЗ, які вводяться в експлуатацію, в початковий період за рахунок обліку надійності ПЗ: напрацювання на відмову системи за перший рік експлуатації в 1,5-3,2 рази відрізняється від напрацювання на відмову тільки АЗ; прогнозування значення кількості помилок в ПЗ відрізняється від виявлених за рік експлуатації обладнання від 0,3 до 3,1%, а за місяць експлуатації не перевищує 0,6%; значення СКВ експериментальних даних від розрахункових щодо відмов ПЗ складає від 0,97 до 1,14, що краще, ніж при використанні відомих методик; методика дозволяє кількісно оцінити і прогнозувати напрацювання на відмову ПЗ і системи в цілому, а також оцінити ймовірність безвідмовної роботи АЗ, ПЗ і ПКЗЗ за визначений час.

Наукова новизна методики полягає в тому, що вперше удосконалено методику оцінки показників надійності засобів спеціального зв'язку у напрямку врахування надійності їх ПЗ за рахунок використання нової аналітичної моделі зміни їх надійності з часом; комплексно здійснюється кількісний облік показників надійності АЗ і ПЗ (напрацювання на відмову та

середній час відновлення) при кількісній оцінці коефіцієнта готовності ПКЗЗ.

Відрізняється від відомих врахуванням особливостей порядку фіксації відмов залежно від умов експлуатації; відсутністю потреби попередньої оцінки кількості помилок в ПЗ; достатньою для практики точністю результатів; автоматизацією процесу оцінки і прогнозування показників якості ПКЗЗ.

Методика може застосовуватися при дослідженні, оцінці та прогнозуванні надійності існуючих і перспективних ПКЗЗ.

Висновки. 1. На основі використання отриманих моделей надійності ПЗ розроблена методика оцінки і прогнозування значень показників надійності ПКЗЗ, яка дозволяє, особливо в початковий період експлуатації нових або модернізованих ПКЗЗ оцінити і спрогнозувати, з автоматизацією процесу, значення показників надійності із зростанням точності по мірі накопичення статистичних даних про відмови, як програмних, так і апаратних засобів, в результаті використання нових аналітичних виразів та алгоритмів рішення.

2. Практичне значення отриманих результатів полягає в тому, що розроблена на основі використання запропонованих моделей надійності ПЗ методика та науково-технічні рішення дозволяють забезпечити ефективність функціонування системи зв'язку в реальних умовах експлуатації, а також забезпечити необхідний рівень надійності ПЗ на етапі дослідної експлуатації за рахунок оцінки та прогнозування значень показників надійності і прийняття заходів щодо їх удосконалення при невідповідності потрібним вимогам, причому, отримані результати доведені до практичної реалізації.

3. Результати роботи дозволяють: підвищити об'єктивність оцінки значень показників надійності ПЗ та АЗ за рахунок зменшення СКВ результатів моделювання від статистичних даних про відмови; кількісно оцінювати надійність ПКЗЗ з врахуванням наявності помилок в ПЗ.

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

- [1] С.Є. Гнатюк, С.П. Лівенцев, В.П. Павлов, і Л.М. Сакович, “Принципи побудови та перспективи розвитку програмно-керованих радіостанцій”, *Зв'язок*, № 1, с. 11-15, 2013.
- [2] Л.М. Сакович, Я.Е. Небесна, і С.Є. Гнатюк, “Моделювання надійності програмних засобів техніки зв'язку”, *Зв'язок*, № 1, с. 15-19, 2013.
- [3] Л.М. Сакович, і С.Є. Гнатюк, “Оцінювання надійності програмно-керованих засобів зв'язку”, *Зв'язок*, № 2, с. 25-29, 2013.
- [4] С.Є. Гнатюк, і Л.М. Сакович, “Аналітична модель надійності програмних засобів комп'ютерних систем і програмно-керованих засобів зв'язку”, *Зв'язок*, № 3, с. 45-49, 2013.
- [5] С.Є. Гнатюк, “Аналітична модель надійності програмних засобів комп'ютерних систем і програмно-керованих засобів зв'язку”, *Наука і техніка Повітряних Сил Збройних Сил України*, № 3 (16), с. 104-108, 2014.
- [6] Л.М. Сакович, В.П. Павлов, С.П. Лівенцев, С.Є. Гнатюк, і Я.Е. Небесна, “Порівняльний аналіз моделей надійності програмного забезпечення засобів спеціального зв'язку”, *Information technology and security*, vol. 1, iss. 2 (2), с. 61-71, 2012.

Стаття надійшла до редакції 25 березня 2016 року.

REFERENCE

- [1] S.Ye. Hnatiuk, S.P. Liventsev, V.P. Pavlov, and L.M. Sakovych, “Principles of creating and perspectives of software-controlled radios development”, *Zviatok*, no. 1, pp. 11-15, 2013.
- [2] L.M. Sakovych, Ya.E. Nebesna, and S.Ye. Hnatiuk, “Software reliability simulation of communications technology”, *Zviatok*, no. 1, pp. 15-19, 2013.
- [3] L.M. Sakovych, and S.Ye. Hnatiuk, “Evaluation of reliability of program-controlled means of communication”, *Zviatok*, no. 2, pp. 25-29, 2013.

- [4] S.Ye. Hnatiuk, and L.M. Sakovych, "The analytical model of reliability of software systems and computer program-controlled means of communication", *Zviyazok*, no. 3. pp. 45-49, 2013.
- [5] S.Ye. Hnatiuk, "The analytical model of reliability of software systems and computer program-controlled means of communication", *Nauka i tekhnika Povitrianyh Syl*, no. 3 (16), pp. 104-108, 2014.
- [6] L.M. Sakovych, V.P. Pavlov, S.P. Liventsev, S.Ye. Hnatiuk, and Ya.E. Nebesna, "Comparative analysis of reliability models of software for special communication equipment", *Information technology and security*, vol. 1, iss. 2 (2)., pp. 61-71, 2012.

СЕРГЕЙ ГНАТЮК,
ЛЕВ САКОВИЧ,
ЕВГЕНИЙ РЫЖОВ

КОЛИЧЕСТВЕННАЯ ОЦЕНКА НАДЕЖНОСТИ ПРОГРАММНО-УПРАВЛЯЕМЫХ СРЕДСТВ СВЯЗИ

В статье предложена методика оценки и прогнозирования значений показателей надежности программно-управляемых средств связи для обеспечения эффективного функционирования системы связи в реальных условиях ее эксплуатации. Она заключается в исследовании влияния качества программных средств на устойчивость системы связи для получения и использования результатов исследований в методиках количественной оценки показателей надежности программных средств, аппаратных средств и системы в целом, которые могут быть практически реализованы. Полученные результаты позволяют: повысить объективность оценки значений показателей надежности программных и аппаратных средств за счет уменьшения среднеквадратического отклонения результатов моделирования от статистических данных об отказах; количественно оценивать надежность программно-управляемых средств связи с учетом наличия ошибок в программных средствах.

Ключевые слова: надежность, количественная оценка надежности, программно-управляемые средства связи, математические модели надежности программных средств, ошибка в программном средстве.

SERGEY HNATIUK,
LEV SAKOVYCH,
YEVHEN RYZHOV

QUANTITATIVE EVALUATION OF RELIABILITY OF THE SOFTWARE-CONTROLLED COMMUNICATIONS

The article proposes a method of estimating and forecasting of the values of reliability indicators of program-controlled means of communication to ensure the effective functioning of the communication system in real conditions of its operation. It is designated to study the effect of the quality of the software communication system on the resistance to use procedures indicators quantifying software reliability, hardware and system that can be practically implemented. The results allow: to increase the objectivity of the evaluation of the values of indicators of hardware and software reliability by reducing the standard deviation of the simulation results of the statistical data on failures; quantify the reliability of the program-controlled means of communication taking into account the presence of bugs in software. Scientific novelty of the technique is that first, improved method of estimation of reliability indices of special connection towards consideration of the reliability of their software through the use of new analytical model changes their reliability over time; comprehensively implemented quantitative calculation of indicators of reliability of hardware and software in the quantitative evaluation factor preparedness program-controlled communications. It differs from the known, to the specific procedure of fixing failures depending on operating

conditions; lack of necessary preliminary estimation errors in software; enough to practice accuracy of results; automation of assessment and prediction of quality parameters program-controlled communication means. The method can be used in research, evaluation and reliability analysis of existing and future software-driven communications.

Keywords: reliability, quantitative evaluation of reliability, computer driven communication means, mathematical models of software reliability, software tool error.

Сергій Євгенович Гнатюк, начальник Державного науково-дослідного інституту спеціального зв'язку та захисту інформації України, Київ, Україна.

E-mail: Gnatyk-2@i.ua.

Лев Миколайович Сакович, кандидат технічних наук, доцент, професор кафедри теоретичних основ експлуатації засобів спеціальних інформаційно-телекомунікаційних систем, Державний заклад “Інститут спеціального зв'язку та захисту інформації Національного технічного університету України “Київський політехнічний інститут”, Київ, Україна.

E-mail: lev@sakovich.com.ua.

Євген Вікторович Рижов, кандидат технічних наук, старший науковий співробітник, Національна академія сухопутних військ імені гетьмана Петра Сагайдачного. Львів, Україна.

E-mail: zheka1203@ukr.net.

Сергей Евгеньевич Гнатюк, начальник Государственного научно-исследовательского института специальной связи и защиты информации Украины, Киев, Украина.

Лев Николаевич Сакович, кандидат технических наук, доцент, профессор кафедры теоретических основ эксплуатации средств специальных информационно-телекоммуникационных систем, Государственное учреждение “Институт специальной связи и защиты информации Национального технического университета Украины “Киевский политехнический институт”, Киев, Украина.

Евгений Викторович Рыжов, кандидат технических наук, старший научный сотрудник, Национальная академия сухопутных войск имени гетьмана Петра Сагайдачного, Львов, Украина.

Serhii Hnatiuk, chief of the State scientific-researching institute of special communication and information security of Ukraine, Kyiv, Ukraine.

Lev Sakovych, candidate of technical sciences, professor of theoretically bases of operation of special means information-telecommunications systems academic department, State institution “Institute of special communication and information protection of National technical university of Ukraine “Kyiv polytechnic institute”, Kyiv, Ukraine.

Yevhen Ryzhov, candidate of technical sciences, senior researcher, National Army Academy named after Hetman Sahaidachny, Lviv, Ukraine.