

СЕРГІЙ ГНАТЮК,
ОЛЕКСАНДР КОРНЕЙКО

МОДЕЛЮВАННЯ ЕКСПЛУАТАЦІЙНОЇ НАДІЙНОСТІ ПРОГРАМНОГО ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ ЗАСОБІВ СПЕЦІАЛЬНОГО ЗВ'ЯЗКУ

Запропонована математична модель надійності програмних засобів, яка дозволяє кількісно оцінити і прогнозувати значення показників надійності, що відрізняється від відомих підвищенням точності результатів. Сутність моделі полягає в отриманні кількісної оцінки показників надійності комп'ютерних систем при заданих обмеженнях і припущеннях на базі використання нових функціональних залежностей, які відображають зміну значень показників від часу.

Ключові слова: комп'ютерна система, програмні засоби, модель надійності, напрацювання на відмову.

Постановка проблеми. Комп'ютерна система (КС) – це інформаційно-технічний комплекс, до складу якого входять апаратні засоби (АЗ) із програмним забезпеченням (ПЗ), призначена для обробки, зберігання та вводу-виводу інформації. Програмно-керовані засоби зв'язку (ПКЗЗ) використовують стандартні АЗ для виконання функцій під управлінням ПЗ [1, 2].

Сучасні системи зв'язку відрізняються наявністю ПКЗЗ і комп'ютерного обладнання аналогово-цифрових систем зв'язку (сервери, кінцеві засоби та інше), тобто відносяться до КС. [2]. Таким чином, система спеціального зв'язку (ССЗ) являє собою сукупність АЗ та ПЗ, тому при оцінці і прогнозуванні її надійності необхідно комплексно враховувати вплив усіх складових на значення показників надійності [3-5]. Ця задача, яка не вирішена у відомих роботах [2, 6-11] і вирішується у статті.

Аналіз літератури. Питання вдосконалення і підвищення або забезпечення необхідних значень показників надійності ПЗ, радіоелектронних засобів різного призначення, а також КС і мереж в теперішній час досить глибоко розглянуті і досліджені в наукових роботах вітчизняних і зарубіжних авторів серед яких Бобало Ю. Я., Вишневський В. В., Волочій Б. Ю., Гуров С. В., Жердев М. К., Каштанов В. А., Креденцер Б. П., Ленков С. В., Ліпаєв В. В., Ліпов М., Локазюк В. М., Маєвський Д. А., Майерс Г., Озірковський Л. Д., Острейковський В. А., Половко А. М., Яковина В. С. та багато інших [2, 6-14]. У цих роботах досліджені різні моделі, методи і способи розрахунку, оцінки, прогнозування значень показників надійності ПЗ та АЗ різноманітного призначення. 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, які є основою перспективних комп'ютерних мереж і ССЗ. Відомі моделі і методики оцінки показників надійності ПЗ і АЗ комп'ютерних мереж головним чином орієнтовані на використання під час тестових випробувань ще до вводу цих засобів в експлуатацію, коли ПЗ містить досить багато помилок. Виникає необхідність розробки моделей оцінки та прогнозування показників надійності за результатами випробувань в початковий період експлуатації нових зразків обладнання комп'ютерних мереж і ПКЗЗ.

Мега статті – створення моделі надійності ПЗ, що дозволяє в умовах реальної експлуатації ПКЗЗ кількісно оцінити значення їх показників надійності з достатньою точністю.

Створення моделі надійності програмного забезпечення. Програмний засіб – об'єкт, який складається із програм, процедур, правил, а також, якщо передбачено, додаткової документації і даних, які відносяться до функціонування системи обробки інформації. Надійність ПЗ – сукупність властивостей, що характеризують здатність ПЗ зберігати заданий рівень придатності при заданих умовах та протягом заданого інтервалу часу [3].

Показники надійності ПЗ характеризують здатність у конкретних сферах застосування виконувати задані функції відповідно до програмних документів в умовах виникнення відхилень у середовищі функціонування, що викликані збоями АЗ, помилками у вихідних даних, помилками обслуговування та іншими дестабілізаційними чинниками [3].

Оцінки показників надійності використовують за кількісного аналізу результатів експлуатації та за контролем показників надійності за допомогою довірчих границь. Для визначення показників надійності використовують методи [5]:

непараметричний – за невідомого виду закону розподілу випадкової величини (напрацювання до відмови), який містить у собі безпосередню оцінку показників надійності за вибірковими даними;

параметричний – за відомого виду закону розподілу випадкової величини, який містить у собі оцінку параметрів закону розподілу, що входить у розрахункову формулу показника надійності, який визначається.

При невідомому законі розподілу випадкової величини і наявності даних про відмови ПЗ під час експлуатації КС використовують моделі надійності [6-9]:

аналітичні – розрахунок кількісних показників надійності за статистичними даними потоку відмов за час експлуатації;

динамічні – поява відмов ПЗ як неперервний часовий процес із фіксацією моменту кожної відмови;

статичні – фіксація загального числа відмов ПЗ за визначений час.

Модель надійності ПЗ КС і ПКЗЗ – сукупність аналітичних виразів, що описують функціональні залежності показників надійності від часу і дозволяють отримати їх кількісну оцінку. Структура математичної моделі надійності ПЗ приведена в [9]. Модель призначена для кількісної оцінки і прогнозування значень показників надійності ПЗ за результатами обробки статистичних даних про відмови ПКЗЗ за деякий період часу.

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

Вихідні дані для використання моделі залежать від порядку обліку відмов ПЗ.

У випадку щомісячного підведення підсумків використовується статична модель надійності ПЗ з вихідними даними: n – число місяців під контрольної експлуатації ПЗ; Km – число відмов ПЗ за місяць m ; T – період прогнозування показників надійності ПЗ.

При фіксації відмов ПЗ безпосередньо після їх виникнення використовується динамічна модель надійності ПЗ з вихідними даними: Kct – сумарне число зафіксованих відмов ПЗ до моменту часу t ; T – період прогнозування показників надійності ПЗ.

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

Припущення при використанні моделі: інтенсивність виявлення помилок пропорційна їх поточному числу в ПЗ; всі помилки ПЗ однаково ймовірні і 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 [2, 10-13] і теорії ймовірностей [15]. Основні аналітичні вирази і функціональні залежності використаних статичної та динамічної моделей зведені в табл. 1, де додатково позначено:

A_1, A_n – апроксимація даних про відмови ПЗ за перший і останній місяці підконтрольної експлуатації;

N_{ci}, N_{cj} – сумарна кількість відмов ПЗ за час i та j із початку експлуатації ($1 < i < j < n$).

Таблиця 1 – Розрахунок кількісних оцінок значень показників надійності ПЗ

Показник надійності ПЗ	Вид моделі надійності ПЗ		
	Статична		Динамічна
Значення коефіцієнтів моделі за результатами апроксимації даних про відмови ПЗ	$b = \ln(A_n/A_1)/(l-n)$ $a = A_1(A_n/A_1)^{l/(l-n)}$	Розрахунок по алгоритму за критерієм мінімуму середньоквадратичного відхилення від експериментальних даних	$b = \frac{\ln(N_{cj}/N_{ci})}{(i-j)/T - \ln(i/T) + \ln(j/T)}$ $a = N_{ci} \sqrt{\left[\left(\frac{i}{T}\right)^b \exp(-ib/T)\right]}$ $0 < i < j \leq T$
Кількість відмов ПЗ за місяць m (N_m)	$a \exp(-mb)$	$A_1(A_n/A_1)^{(l-m)/(l-n)}$	$\frac{a}{T^b} \cdot \frac{m^b - (m-1)^b e^{b/T}}{e^{mb/T}}$
Сумарна кількість відмов ПЗ за T місяців (N_T)	$\frac{a(e^{bT} - 1)}{e^{bT}(e^b - 1)}$	$\frac{A_1 \left[\left(\frac{A_n}{A_1} \right)^{T/(l-n)} - 1 \right]}{\left(\frac{A_n}{A_1} \right)^{(T-1)/(l-n)} \left[\left(\frac{A_n}{A_1} \right)^{l/(l-n)} - 1 \right]}$	$a \exp(-b)$
Ймовірність безвідмовної роботи ПЗ за місяць m (P_{nm})	$\exp(-ae^{-mb})$	$\exp \left[-A_1 \left(\frac{A_n}{A_1} \right)^{\frac{m-1}{l-n}} \right]$	$\exp \left[-\frac{a \left(m^b - (m-1)^b e^{b/T} \right)}{T^b e^{mb/T}} \right]$
Інтенсивність потоку відмов ПЗ за місяць m (λ_m)	$-ab(A_n/A_1)^m$	$\frac{A_1 \left(\frac{A_n}{A_1} \right)^{\frac{m-1}{l-n}} \ln \left(\frac{A_n}{A_1} \right)}{1-n}$	$\frac{a \left[m^b e^{-b/T} - (m-1)^b \right]}{T^b \exp[b(m-1)/T]}$
Напрацювання ПЗ на відмову за місяць m (T_{nm})	$-\left(\frac{A_n}{A_1}\right)^{-m} / ab$	$\frac{l-n}{A_1 \left(\frac{A_n}{A_1} \right)^{\frac{m-1}{l-n}} \ln \left(\frac{A_n}{A_1} \right)}$	$\frac{T^b \exp[b(m-1)/T]}{a \left[m^b e^{-b/T} - (m-1)^b \right]}$
Середньоквадратичне відхилення результатів прогнозування N_m від даних про відмови ПЗ за n місяців (σ)	$\sqrt{\frac{l}{n} \sum_{m=1}^n (ae^{-mb} - K_m)^2}$	$\sqrt{\frac{l}{n} \sum_{m=1}^n \left(A_1 \left(\frac{A_n}{A_1} \right)^{\frac{l-m}{l-n}} - K_m \right)^2}$	$\sqrt{\frac{l}{n} \sum_{m=1}^n \left(K_{cm} - \frac{a \left[m^b - (m-1)^b e^{b/T} \right]}{T^b e^{mb/T}} \right)^2}$

В результаті аналізу даних підконтрольної експлуатації за n місяців і припущення про експоненціальний закон зміни числа відмов ПЗ від часу з використанням методу найменших квадратів [15] виконується апроксимація залежності експериментальних даних від часу, після чого обчислюється значення коефіцієнтів аналітичної моделі надійності ПЗ.

На рис. 1 представлена блок-схема укрупненого алгоритму розрахунку показників надійності ПЗ по аналітичній моделі, що складається із операцій: визначення порядку обліку відмов ПЗ (щомісяця або по мірі виникнення); вибір динамічної або статичної моделі надійності ПЗ; введення вихідних даних за результатами підконтрольної експлуатації ПЗ за n місяців; апроксимація статистичних даних про відмови ПЗ із використанням методу найменших квадратів одним із способів, що розглянуті в [15];

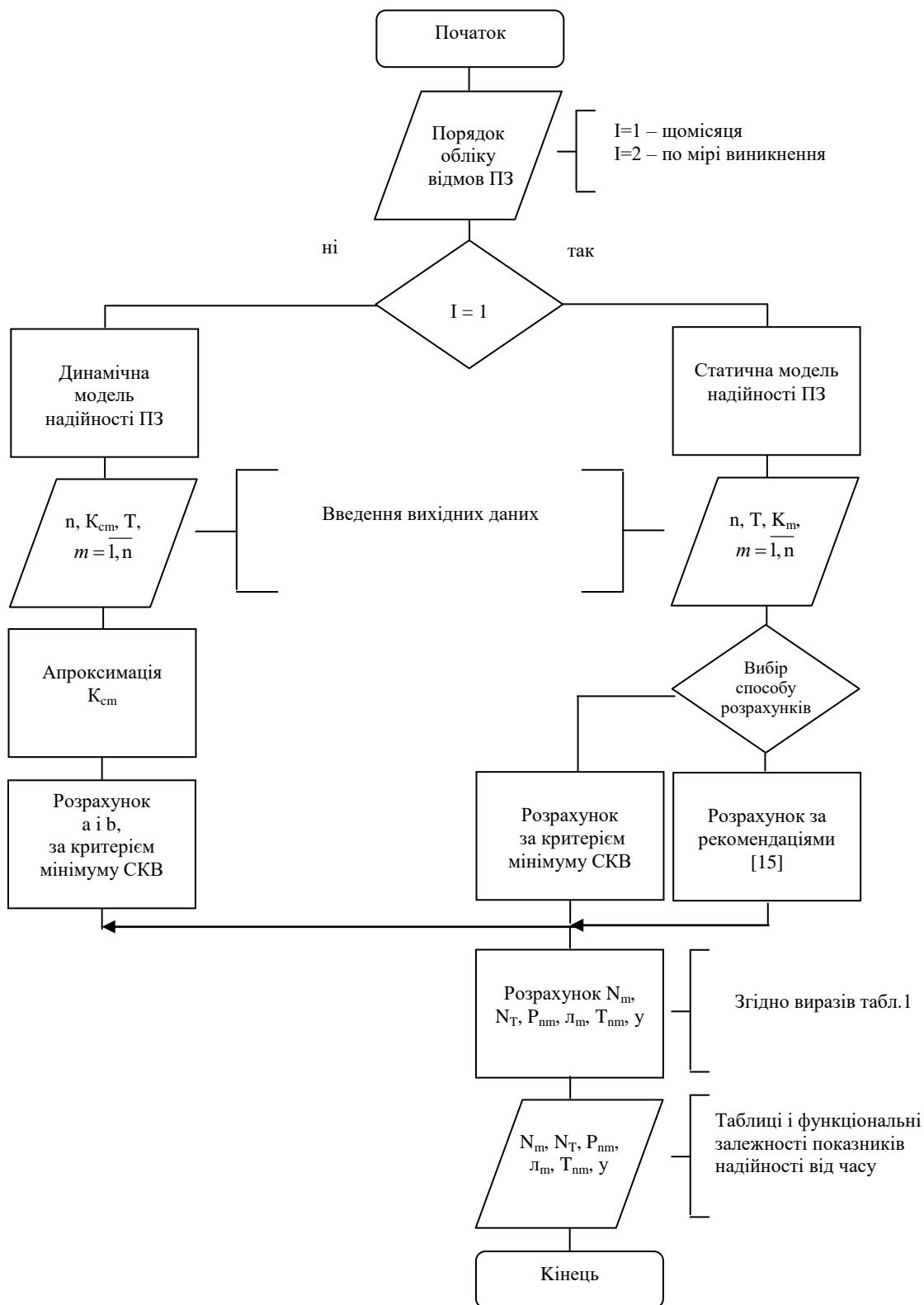


Рисунок 1 – Блок-схема укрупненого алгоритму розрахунку показників надійності програмних засобів за аналітичною моделлю

розрахунок кількісних оцінок значень показників надійності ПЗ за n місяців і прогнозування на період T відповідно до аналітичних виразів у табл. 1;

оцінка точності обчислення числа відмов ПЗ за n місяців за моделлю надійності в порівнянні з дослідними даними по середньоквадратичному відхиленню (СКВ) результатів (y);

виведення результатів оцінки і прогнозування значень показників надійності ПЗ за період T у вигляді таблиць і їх функціональних залежностей від часу.

Приклади використання моделей надійності ПЗ на основі аналізу і обробки реальних статистичних даних щодо експлуатації КС приведені в [2, 6-14].

Адекватність моделі підтверджується за критерієм узгодження χ^2 Пірсона [15]

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

За виразом знаходяться значення цього критерію для запропонованих моделей. Далі, передбачаючи нормальний закон розподілу K_m для $n = 12$, знаходиться число степенів свободи $r = 9$ і за табличними значеннями [15] визначається імовірність того, що величина розподілена за законом χ^2 перевершить це значення.

При використанні статичної моделі за вхідними даними прикладу [8, 13] отримаємо $\chi^2 = 5,57$ і з імовірністю, рівною 0,78 гіпотезу про відповідність моделі досліджуваному процесу зміни числа відмов ПЗ за місяць експлуатації КС можна вважати правдоподібною.

При використанні динамічної моделі за вхідними даними того ж прикладу при перерахунку числа відмов ПЗ з початку експлуатації КС отримаємо $\chi^2 = 3,25$ і з імовірністю, рівною 0,94 гіпотезу про відповідність моделі досліджуваному процесу накопичення сумарної кількості відмов ПЗ з початку експлуатації КС можна вважати правдоподібною.

Ефект від використання запропонованої моделі в порівнянні з відомими [2, 6-12] полягає в підвищенні точності кількісної оцінки і прогнозування значень показників надійності ПЗ:

розрахункове значення числа відмов ПЗ за T місяців експлуатації КС відрізняється від істинного всього на 1,5-3,1 %;

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 на 10,35% порівняно із кращими з відомих моделей.

Запропонована модель надійності ПЗ відрізняється від відомих [2, 6-12] використанням нових аналітичних виразів (див. табл. 1) кількісної оцінки значень показників надійності, що уточнюють функціональні залежності їх зміни з часом, доступністю вихідних даних, реальними припущеннями і обмеженнями на використання, повною автоматизацією операцій за новим алгоритмом реалізації (див. рис. 1), позитивним ефектом від використання, що полягає в підвищенні точності оцінки і прогнозування значень показників надійності ПЗ.

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 χ^2 Пірсона.

Висновки. Запропоновані статична та динамічна моделі надійності програмних засобів, використання яких визначається порядком фіксації відмов, доведено їх адекватність і показані переваги перед вже відомими.

Запропонований алгоритмічний спосіб уточнення коефіцієнтів моделей методом мінімізації середньоквадратичного відхилення розрахункових і експериментальних даних.

У результаті узагальнення отриманих результатів розроблена аналітична модель надійності програмних засобів комп'ютерних систем і програмно-керованих засобів зв'язку, що відрізняється від відомих підвищенням точності оцінки і прогнозування значень показників надійності.

Використання розробленої моделі надійності програмних засобів доцільно в методиці кількісної оцінки і прогнозування значень показників надійності комп'ютерних систем і програмно-керованих засобів зв'язку, що враховує вплив якості програмних засобів на надійність системи в цілому [13].

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

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. Кирьянчиков В. А. Качество и надежность программного обеспечения : конспект лекций / В. А. Кирьянчиков, Э. А. Опалева. – СПб. : Санкт-Петербургский государственный электро-технический университет «ЛЭТИ», 2002. – 93 с.
3. Качество программных средств. Термины и определения : ГОСТ 28806-90. – [Действует с 1992-01-01]. – М. : Государственный комитет СССР по управлению качеством продукции и стандартам, 1990. – 8 с.
4. Оценка качества программных средств. Общие положения : ГОСТ 28195-89 – [Действует с 1990-07-01]. – М. : Госстандарт, 1989. – 32 с.
5. Надійність техніки. Методи оцінки показників надійності за експериментальними даними ДСТУ 3004-95 – [Чинний від 1996-01-01]. – К. : Держспоживстандарт України, 1995. – 123 с.
6. Дідковська М. В. Аналіз моделей оцінювання надійності програмного забезпечення / М. В. Дідковська // Вісник НТУУ «КПІ». Інформатика, управління та обчислювальна техніка. – 2004. – № 41. – С. 103-120.
7. Сакович Л. Н. Подходы к оценке надежности программно управляемых средств связи / Л. Н. Сакович // Зв'язок. – 2010. – № 4 – С. 36-39.
8. Маевский Д. А. Анализ моделей надежности программного обеспечения гарантоспособных информационных систем / Д. А. Маевский, С. А. Яремчук // Електромашинобудування та електрообладнання. – 2010. – № 76. – С. 68-79.
9. 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.
10. Полонников Р. И. Методы оценки показателей надежности программного обеспечения / Р. И. Полонников, А. В. Никандров. – СПб. : Политехника, 1992. – 78 с.
11. Локазюк В. М. Надійність, контроль, діагностика і модернізація ПК / В. М. Локазюк, Ю. Г. Савченко – К. : Академія, 2004. – 376 с.
12. Половко А. М. Основы теории надежности / А. М. Половко, С. В. Гуров. – СПб. : БХВ-Петербург, 2006. – 704 с.
13. Сакович Л. М. Оцінювання надійності програмно-керованих засобів зв'язку / Л. М. Сакович, С. Є. Гнатюк // Зв'язок. – 2013. – № 2. – С. 25-29.
14. Бобало Ю. Я. Математичні моделі та методи аналізу надійності радіоелектронних, електро-технічних та програмних систем / Ю. Я. Бобало, Б. Ю. Волочий, О. Ю. Лозинський, Б. А. Мандзій, Л. Д. Озірковський, Д. В. Федасюк, В. С. Яковина, С. В. Щербаковських. – Л. : Видавництво Львівської політехніки, 2013. – 300 с.
15. Вентцель Е. С. Теория вероятностей / Е. С. Вентцель – М. : Высш. шк., 2002. – 575 с.

Стаття надійшла до редакції 02.10.2015.

REFERENCE

1. Hnatiuk, S. Ye., Liventsev, S. P., Pavlov, V. P., Sakovych, L. M. (2013), *Pryntsypy pobudovy ta perspektyvy rozvytku prohramno-kerovanykh radiostantsii* [Principles of creating and perspectives of software-controlled radios development], *Zviatok*, No. 1, pp. 11-15.
2. Kirianchikov, V. A., Opaleva, E. A. (2002), *Kachestvo i nadezhnost programmnoho obespecheniia* [The quality and reliability of software], LETI Publ., Sankt-Peterburg, 93 p.
3. State Committee for Standardization (1992), GOST 28806-90. *Kachestvo programmnykh sredstv. Terminy i opredeleniia* [Software quality. Terms and definition], Moscow, 8 p.

4. State Committee for Standardization (1990), GOST 28195-89. *Otsenka kachestva programmnykh sredstv. Obshchie polozhennia* [Assessment of the quality of software. General provisions], Moskow, 32 p.
5. State Committee for Standardization (1996), DSTU 3004-95. *Nadiinist tekhniky. Metody otsinky pokaznykiv nadiinosti za eksperymentalnyy danymy* [Reliability engineering. Methods for assessing the reliability indicators from experimental data], Kyiv, 123 p.
6. Didkovska, M.V. (2004), *Analiz modelei otsiniuvannia nadiinosti prohramnoho zabezpechennia* [The analysis of models evaluation software reliability], Visnyk NTUU «KPI». Informatyka, upravlinnia ta obchysliuvalna tekhnika, No. 41, pp. 103-120.
7. Sakovych, L. N. (2010), *Podkhody k otsenke nadezhnosti programmno upravliaemykh sredstv sviati* [Approaches to assessing the reliability of software-controlled communications], Zviazok, No. 4, pp. 36-39.
8. Maevskii, D. A., Iaremchuk, S.A. (2010), *Analiz modelei nadezhnosti programmnoho obespecheniia garantosposobnykh informacionnykh sistem* [Analysis of models of software reliability of dependable information systems], Elektromashynobuduvannia ta elektroobladnannia, No. 76, pp. 68-79.
9. Sakovych, L. M., Nebesna, Ya. E., Hnatiuk, S. Ye. (2013), *Modeliuvannia nadiinosti prohramnykh zasobiv tekhniky zviazku* [Software reliability simulation of communications technology], Zviazok, No. 1, pp. 15-19.
10. Polonnikov, R. I., Nikandrov, A. V. (1992), *Metody otsenki pokazatelei nadezhnosti programmnoho obespecheniia* [Methods for estimating software reliability], Politekhnik, Publ., Sankt-Peterburg, 78 p.
11. Lokaziuk, V. M., Savchenko, Yu. H. (2004), *Nadiinist, kontrol, diahnozyka i modernizatsiia PK* [Reliability, control, diagnosis and upgrading PC], Akademiia Publ., Kyiv, 376 p.
12. Polovko, A. M., Gurov, S. V. (2006), *Osnovy teorii nadezhnosti* [Theory of reliability basics], BKHV-Peterburg Publ., Sankt-Peterburg, 704 p.
13. Sakovych, L. M., Hnatiuk, S. Ye. (2013), *Otsiniuvannia nadiinosti prohrammno-kerovanykh zasobiv zviazku* [Evaluation of reliability of program-controlled means of communication], Zviazok, No. 2, pp. 25-29.
14. Bobalo, Yu. Ya., Volochii, B. Yu., Lozynskyyi, O. Yu., Mandzii, B. A., Ozirkovskyyi, L. D., Fedasiuk, D. V., Yakovyna, V. S., Shcherbakovskyykh, S. V. (2013), *Matematychni modeli ta metody analizu nadiinosti radioelektronnykh, elektro-tekhnichnykh ta prohramnykh system* [Mathematical models and methods of reliability analysis of electronic, electro-technical and software systems], Lvivska politekhnik Publ., Lviv, 300 p.
15. Venttsel, E. S. (2002), *Teoriia veroiatnostei* [Probability theory], Vysshaia shkola Publ., Moskow, 575 p.

СЕРГЕЙ ГНАТЮК,
АЛЕКСАНДР КОРНЕЙКО

МОДЕЛИРОВАНИЕ ЭКСПЛУАТАЦИОННОЙ НАДЕЖНОСТИ ПРОГРАММНОГО ОБЕСПЕЧЕНИЯ СРЕДСТВ СПЕЦИАЛЬНОЙ СВЯЗИ

Предложенная математическая модель надежности программных средств, которая позволяет количественно оценить и прогнозировать значения показателей надежности, отличается от известных повышением точности результатов. Сущность модели заключается в получении количественной оценки показателей надежности компьютерных систем при заданных ограничениях и предположениях на базе использования новых функциональных зависимостей, отражающих изменение значений показателей от времени.

Ключевые слова: компьютерная система, программные средства, модель надежности, наработка на отказ.

SERHII HNATIUK,
OLEKSANDR KORNEIKO

SIMULATION SOFTWARE PERFORMANCE RELIABILITY SPECIAL PROVISION OF COMMUNICATION

A mathematical model of reliability of software that allows you to quantify and predict the values of reliability, which differs from the known increase in the accuracy of the results. The essence of the model is to obtain a quantitative assessment of the reliability of computer systems under given constraints and assumptions on the basis of new functional relationships that reflect the change of values the indicators from time.

Keywords: computer system, software, a model of reliability, recovery time.

Сергій Євгенович Гнатюк, аспірант, Державний заклад «Інститут спеціального зв'язку та захисту інформації Національного технічного університету України «Київський політехнічний інститут», Київ, Україна.

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

Олександр Васильович Корнейко, кандидат технічних наук, професор, професор кафедри кібербезпеки та застосування автоматизованих інформаційних систем і технологій, Державний заклад «Інститут спеціального зв'язку та захисту інформації Національного технічного університету України «Київський політехнічний інститут», Київ, Україна.

E-mail: alex.korneiko@meta.ua.

Сергей Евгеньевич Гнатюк, аспирант, Государственное учреждение «Институт специальной связи и защиты информации Национального технического университета Украины «Киевский политехнический институт», Киев, Украина.

Александр Васильевич Корнейко, кандидат технических наук, профессор, профессор кафедры кибербезопасности и применения автоматизированных информационных систем и технологий, Государственное учреждение «Институт специальной связи и защиты информации Национального технического университета Украины «Киевский политехнический институт», Киев, Украина.

Serhii Hnatiuk, postgraduate student, State institution «Institute of special communication and information security of National technical university of Ukraine «Kyiv polytechnic institute», Kyiv, Ukraine.

Oleksandr Korneiko, candidate of technical sciences, professor, professor of cybersecurity and application of information systems and technologies academic department, State institution «Institute of special communication and information security of National technical university of Ukraine «Kyiv polytechnic institute», Kyiv, Ukraine.