

УДК 681.1

С.Є. Гнатюк

*Інститут спеціального зв'язку та захисту інформації НТУ України «КПІ», Київ*

## АНАЛІТИЧНА МОДЕЛЬ НАДІЙНОСТІ ПРОГРАМНИХ ЗАСОБІВ КОМП'ЮТЕРНИХ СИСТЕМ І ПРОГРАМНО-КЕРОВАНИХ ЗАСОБІВ 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.

### Вступ

**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., Вишневецький 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. Локачук В.М., Маєвський Д.А., Майєрс Г., Озірков-

ський 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.

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

### Основна частина

#### Створення моделі надійності програмного забезпечення

Програмний засіб – об'єкт, який складається із програм, процедур, правил, а також, якщо передбачено, додаткової документації і даних, які відно-

сяться 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 кон-

трольної експлуатації ПЗ;  $K_m$  – 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:  $K_{cm}$  – сумарне число зафіксованих відмов ПЗ до моменту часу  $m$ ;  $T$  – 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 ( $1 \leq i \leq j \leq n$ ).

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; ввід вихідних даних по результатам підконтрольної експлуатації ПЗ за  $n$  місяців; апроксимація статистичних даних про відмови ПЗ із використанням методу найменших квадратів одним із способів, що розглянуті в [15];

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

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

вивід 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  $\chi^2$  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 по табличним значенням [15] визначається імовірність того, що величина розподілена по закону  $\chi^2$  перевершить це значення.

При використанні статичної моделі по вхідним даним прикладу [8, 13] отримуємо  $\chi^2 = 5,57$  і з імо-

вірністю, рівною 0,78 гіпотезу про відповідність моделі досліджуваному процесу зміни числа відмов ПЗ за місяць експлуатації КС можна вважати правдоподібною.

При використанні динамічної моделі по вхідним даним того ж прикладу при перерахунку числа відмов ПЗ з початку експлуатації КС отримуємо  $\chi^2 = 3,25$  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%;

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

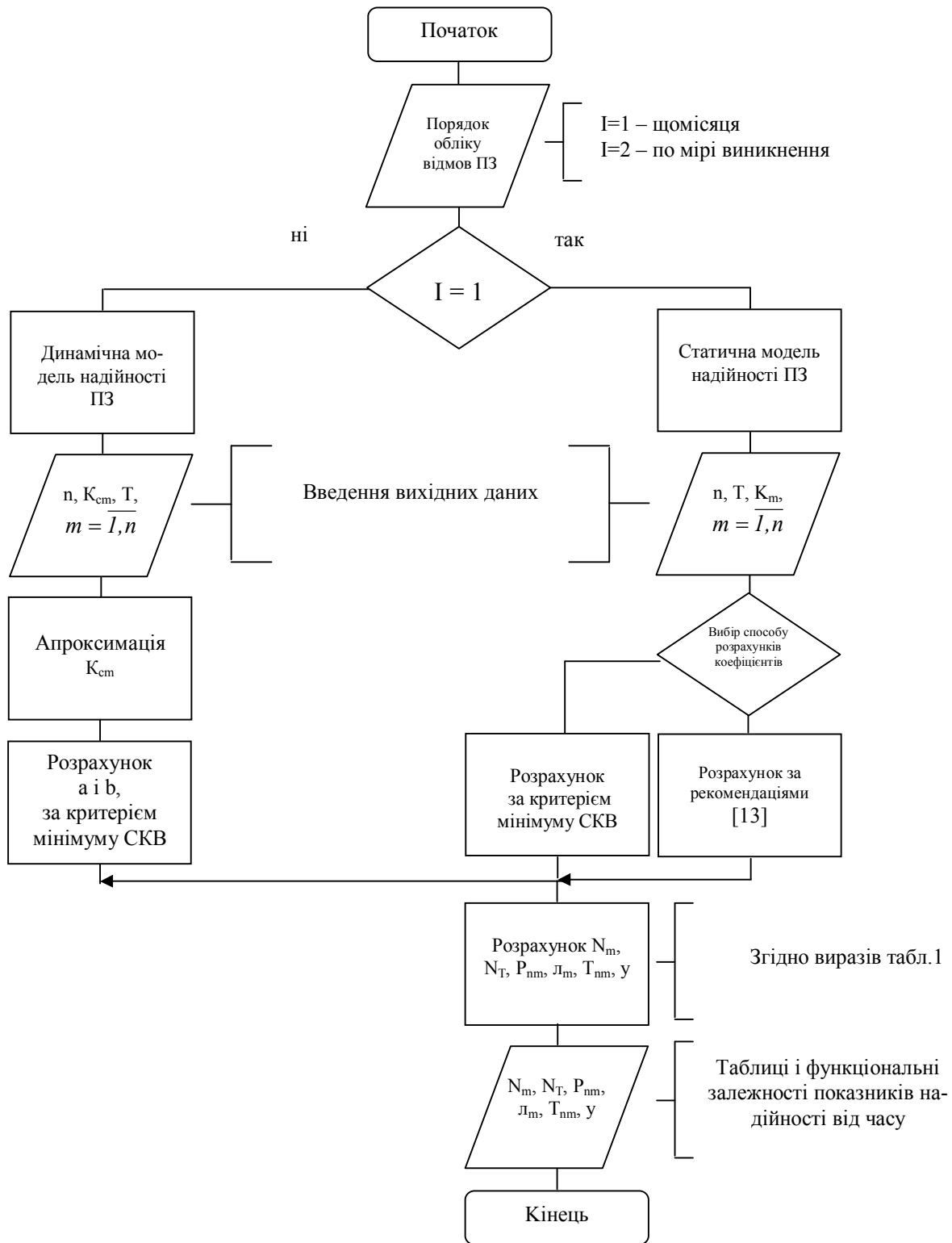


Рис. 1 . Блок-схема укрупненого алгоритму розрахунку показників надійності програмних засобів по аналітичній моделі

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 програмного забезпечення відрізняється від відомих [2, 6-12] використанням нових аналітичних виразів (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 по новому алгоритму реалізації (рис. 1), позитивним ефектом від використання, що полягає в підвищенні точності оцінки і прогнозування значень показників надійності програмного забезпечення.

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  $\chi^2$  Пірсона.

## Висновки

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

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

В 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 літератури

1. Гнатюк С.С. Принципи побудови та перспективи розвитку програмно-керованих радіостанцій / С.С. 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.: СПбГЭТУ «ЛЭТИ», 2002. – 93 с.
3. ГОСТ 28806 – 90. Качество программных средств. Термины и определения.

4. ГОСТ 28195 – 89. Оценка качества программных средств. Общие положения.
5. ДСТУ 3004 – 95. Надійність техніки. Методи оцінки показників надійності за експериментальними даними.
6. Дідковська М.В. Аналіз моделей оцінювання надійності програмного забезпечення / М.В. Дідковська // Вісник НТУУ «КПІ». Інформатика, управління та обчислювальна техніка. – К., 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 [Электронный ресурс] / Д.А. Маевский, С.А. Яремчук. – Режим доступа: [http://www.nbuv.gov.ua/portal/natural/emeo/2010\\_76/068-079.pdf](http://www.nbuv.gov.ua/portal/natural/emeo/2010_76/068-079.pdf).
9. Сакович Л.М. Моделирование надійності програмних засобів техніки зв'язку / Л.М. Сакович, Я.Е. Небесна, С.С. 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. – 78с.
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. 2-е изд. – СПб.: БХВ – Петербург, 2006. – 704 с.
13. Сакович Л.М. Оцінювання надійності програмно-керованих засобів зв'язку / Л.М. Сакович, С.С. Гнатюк // Зв'язок. – 2013. – № 2. – С. 25-29.
14. Математичні моделі та методи аналізу надійності радіоелектронних, електротехнічних 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. Цербаковських. – Л.: Вид-во Львівської політехніки, 2013. – 300 с. – аналог.
15. Венцель Е.С. Теория вероятностей / Е.С. Венцель. – М.: Высш. шк., 2002. – 575 с.

Надійшла до редколегії 29.08.2014

**Рецензент:** д-р техн. наук проф. В.В. Козловський, Інститут спеціального зв'язку та захисту інформації НТУ України «КПІ», Київ.

## АНАЛИТИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ НАДЕЖНОСТИ ПРОГРАММНЫХ СРЕДСТВ КОМПЬЮТЕРНЫХ СИСТЕМ И ПРОГРАММНО-УПРАВЛЯЕМЫХ СРЕДСТВ СВЯЗИ

С.Е. Гнатюк

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.

## ANALYTICAL SOFTWARE RELIABILITY MODEL OF COMPUTER SYSTEMS AND SOFTWARE-CONTROLLED MEANS OF COMMUNICATION

S.E. Gnatiuk

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.