УДК 681.3.06

С.Є. ГНАТЮК, інж. (Адм. держ. служби спец. зв'язку та захисту інформації України, м. Київ),
Л.М. САКОВИЧ, канд. техн. наук (Ін-т спец. зв'язку та захисту інформації Нац. техніч. ун-ту України «Київський політехнічний інститут»)

МЕТОДИКА ОЦІНКИ ПОКАЗНИКІВ НАДІЙНОСТІ СИСТЕМ СПЕЦІАЛЬНОГО ЗВ'ЯЗКУ

Пропонується методика оцінки значень показників надійності систем спеціального зв'язку з врахуванням безвідмовності програмного забезпечення їхніх засобів та використання ймовірності зв'язності абонентів.

Предлагается методика оценки значений показателей надежности систем специальной связи с учетом безотказности программного обеспечения их средств и использования вероятности связности абонентов.

Система спеціального зв'язку (ССЗ) – сукупність взаємопов'язаних й узгоджених за завданнями, місцем і часом дій вузлів та ліній зв'язку різного призначення, що розгортаються та використовуються з метою розв'язання завдань обміну інформацією між абонентами. Структура ССЗ є багаторівневою (ієрархічною) за наявності на кожному рівні однорідних і неоднорідних елементів. Вимоги до ССЗ формуються, виходячи з показників: бойова готовність, мобільність, стійкість, пропускна спроможність, безвідмовність. У свою чергу, стійкість ССЗ визначається живучістю, надійністю, завадостійкістю згідно роботи [1]. Так як надійність – один із головних факторів, які впливають на якість управління, то цікавість до завдання її забезпечення в ССЗ пояснюється такими причинами, як зазначено в роботі [2]: підвищенням вимог до надійності зв'язку з боку користувачів, розвитком й впровадженням нових технологій та послуг, поступовим переходом до цифрових засобів зв'язку й обробки інформації, збільшенням можливих економічних втрат від перерв зв'язку.

Сучасні ССЗ відрізняються наявністю програмно-керованих засобів зв'язку (ПКЗЗ) й комп'ютерного обладнання аналогово-цифрових ССЗ серверів, кінцевих засобів та ін., тобто відносяться до комп'ютерних систем (КС), до складу яких входять апаратні засоби (АЗ) з програмним забезпеченням (ПЗ), яке викладено в роботі [3], тому за оцінку й прогнозування їхньої надійності необхідно комплексно враховувати вплив усіх складових на значення показників надійності.

Мета статті – розробка методики кількісної оцінки й прогнозування за результатами даних підконтрольної експлуатації напрацювання на відмову, ймовірності безвідмовної роботи ПЗ, АЗ і ССЗ в цілому за заданий період часу. Сутність методики полягає в отриманні кількісної оцінки показників надійності спеціальних КС і ССЗ у разі заданих обмежень і припущень на базі використання експоненціальної моделі надійності ПЗ із марковським процесом виявлення помилок і нових функціональних залежностей показників, які досліджувано за часом. Задача вирішується поетапно: першочергово на основі статистичних даних про відмови ПЗ моделюється їхня надійність, а далі з врахуванням відмов АЗ оцінюється надійність системи в цілому.

Математичний апарат моделі базується на використанні методів теорії надійності, які викладено в роботах [4, 5] та теорії імовірностей згідно роботи [6]. Основні аналітичні вирази й функціональні залежності зведені в таблицю, де додатково позначено: A_1, A_n – апроксимація даних про відмови ПЗ за перший та останній місяці підконтрольної експлуатації; N_{ci}, N_{cj} – сумарна кількість відмов ПЗ до часу i та j з початку експлуатації ($1 < i < j < n$). У результаті аналізу даних підконтрольної експлуатації ПКЗЗ за n місяців і припущення про експоненціальний закон зміни числа відмов ПЗ від часу з використанням методу найменших квадратів, як зазначено в роботі [6], виконується апроксимація залежності експериментальних даних від часу, після чого обчислюється значення коефіцієнтів аналітичної моделі надійності ПЗ. Ефект від використання запропонованої моделі полягає в підвищенні точності кількісної оцінки й прогнозуванні значень показників надійності ПЗ: розрахункове значення числа відмов ПЗ за Т 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

© С.Є. ГНАТЮК, Л.М. САКОВИЧ, 2015

середньоквадратичного відхилення (СКВ) результатів обчислень від експериментальних даних за Т місяців експлуатації КС до 10,35 % порівняно з кращими з відомих моделей, які викладено в роботах [7, 8].

Традиційно як основний показник надійності ССЗ використовується коефіцієнт готовності (A_c), що являє собою ймовірність технічної справності всіх елементів системи й готовності всіх напрямів зв'язку до функціонування в повному обсязі. Однак для ССЗ більш об'єктивною характеристикою є ймовірність технічної готовності системи до передачі інформації між абонентами (вузлами зв'язку) хоча б за одним напрямком зв'язку (P_c), що в літературі з теорії надійності, який викладено в роботах [2, 5], позначається як імовірність зв'язності чи ймовірність справного стану хоча б одного, з можливих, напрямків зв'язку.

Алгоритм розрахунку, який засновано на математичному апараті теорії надійності складних технічних систем із резервуванням, де ССЗ представлено у вигляді графічної моделі з надійності, елементами якої є засоби або вузли зв'язку, а зв'язки між ними вважаються абсолютно надійними (в іншому випадку вони перетворяться в самостійні елементи).

В загальному випадку для будь-якої структури ССЗ значення P_c обчислюється в наступному порядку: перетворення схем ССЗ у модель із надійності; визначення числа можливих напрямів зв'язку S ; обчислення коефіцієнту готовності всіх напрямів зв'язку A_j ; обчислення значення P_c вирахуванням з одиниці результату перемножування значень коефіцієнтів неготовності всіх можливих напрямів зв'язку для S паралельних:

$$A_c \le P_c = 1 - \prod_{j=1}^{S} \left(1 - A_j\right) \cdot$$

У разі визначення значення S доцільно використовувати математичний апарат теорії графів згідно робіт [2, 9] із метою побудови дерева шляхів за мережею. Це досить складана задача, яку виконують за окремим алгоритмом.

Приклади розрахунку показників надійності фрагментів ССЗ надано в роботі [2]. Вимоги до значення ймовірності зв'язності напрямків зв'язку визначено в роботах [10, 11]. Вимоги до значень T, $T_в$ засобів зв'язку задані в керівному технічному матеріалі з надійності та ремонтопридатності. В цьому разі в зв'язку з впровадженням до складу ССЗ ПКЗЗ згідно роботи [3] необхідно враховувати надійність їхнього ПЗ, що викладено в роботі [12].

Таблиця. Розрахунок кількісних оцінок значень показників надійності програмного забезпечення

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

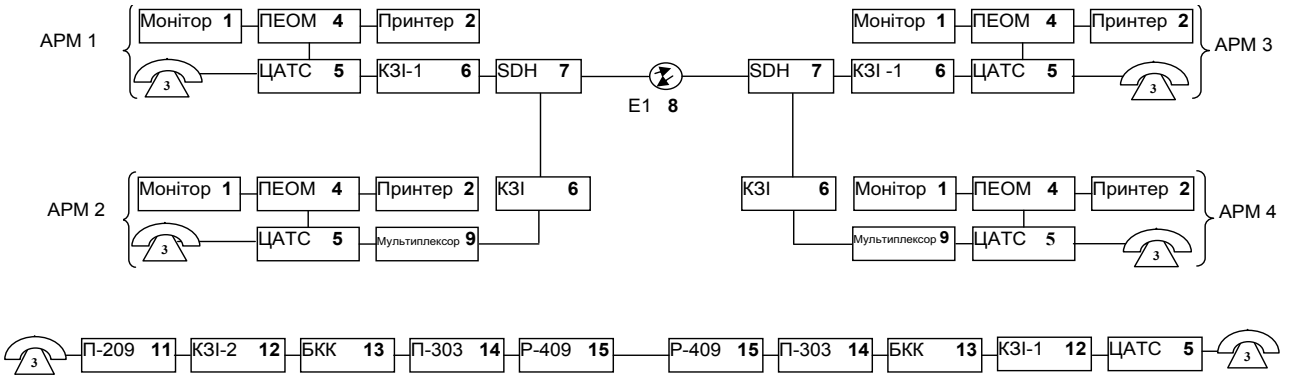

Схема організації спеціального зв'язку (фрагмент)

Розглянемо порядок застосування методики на конкретному прикладі. Фрагмент схеми організації спеціального зв'язку, який приведено на рисунку, з показниками надійності її елементів за результатами обробки статистичних даних у разі відмови за 2011 – 2014 рр.: A_1= 0,958; A_2 = 0,991; A_3 = 0,998; A_4 = 0,999; A_5 = 0,998; A_6 = 0,996; A_7 = 0,998; A_8 = 0,997; A_9 = 0,998; A_{10} = 0,998; A_{11} = 0,996; A_{12} = 0,998; A_{13} = 0,998; A_{14} = 0,997; A_{15} = 0,994.

Можливі варіанти обміну інформацією між абонентами автоматизованих робочих місць дають значення S = 13. Тоді коефіцієнт готовності ССЗ дорівнює A_c = *0,964*, а ймовірність зв'язності абонентів ССЗ P_c = *0,999999* що на 3,6% більше ймовірності того, що всі елементи системи будуть справні.

Висновки

Залежно від порядку фіксації відмов запропоновано й використано статичну та динамічну моделі надійності програмних засобів. Доведено адекватність моделей, які запропоновано, й показано їхні переваги перед уже відомими.

Методика відрізняється достатньою для практики точністю результатів, автоматизацією процесу прогнозування й оцінки показників якості комп'ютерних систем і програмно-керованих засобів зв'язку.

Використання результатів, які отримано, дозволяє повністю автоматизувати за допомогою ЕОМ процес кількісної оцінки значень показників надійності сучасних систем спеціального зв'язку великої розмірності, на що слід направити подальше дослідження. Ефект від використання методики полягає в підвищенні точності прогнозу показників надійності системи за мірою накопичення статистичних даних. Методика може застосовуватися в разі дослідження, оцінки та прогнозування надійності спеціальних комп'ютерних систем і перспективних програмно-керованих засобів зв'язку.

Список літератури

1. *Зв'язок військовий.* Терміни та визначення: ДСТУ В 3265–95. – К.: Держстандарт України, 1996. – 40 с.
2. *Рижаков В.А.* Кількісне оцінювання структурної надійності систем зв'язку / В.А. Рижаков, Л.М. Сакович // Зв'язок. – 2004. – № 4. – С. 53-57.
3. *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.
4. *Половко А.М.* Основы теории надежности / А.М. Половко, С.В. Гуров – 2- е изд. – 2006. – СПб.: БХВ – Петербург, 2006. – 704 с.
5. *Харыбин А.В.* О подходе к решению задачи выбора методологии оценки структурной надежности и живучести информационных систем критического применения / Радіоелектронні і комп'ютерні системи / А.В. Харыбин, О.Н. Одарущенко – 2006. – Х.: НАУ «ХАІ».– № 6918. – С. 61-71.
6. *Вентцель Е.С.* Теория вероятностей. – 2002. – М.: Высшая школа. – 575 с.
7. *Дідковська М.В.* Аналіз моделей оцінювання надійності програмного забезпечення // Вісник НТУУ «КПІ», Київ. – Інформатика, управління та обчислювальна техніка. – № 41. – С. 103-120.
8. *Маевский Д.А.* Анализ моделей надежности программного обеспечения гарантоспособных информационных систем / Д.А. Маевский, С.А. Яремчук. http: // www.nbuv.gov.ua / portal / natural / emeo / 2010 76 / 068 – 079. pdf.
9. *Миночкин А.И.* Управление топологией мобильной радиосети / А.И. Миночкин, В.А. Романюк // Зв'язок. – 2003. – № 2. – С. 28-33.
10. *Система* общих технологических требований к видам вооружения и военной техники. ОТТ 2.1.200 – 82. – М.: Воениздат, 1984. – 160 с.
11. *Терентьев В.М.* Основы теории управляемых телекоммуникационных сетей / В.М. Терентьев, В.М. Щекотихин. – Орел: Академия ФАПСИ, 2001. – 117 с.
12. *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.