

Казакова Н.Ф., к.т.н., доцент кафедри Інформаційної безпеки  
Міжнародний гуманітарний університет, м. Одеса

## СКОРОЧЕННЯ ОБСЯГІВ КОНТРОЛЬНИХ ВИПРОБУВАНЬ В ІНФОРМАЦІЙНИХ СИСТЕМАХ ЗА РАХУНОК ЇХ ФУНКЦІОНАЛЬНОЇ НАДМІРНОСТІ

**Анотація.** Пропонується процедура скорочення випробувань незалежних об'єктів в інформаційних системах за рахунок їх функціональної надмірності. Показується, що така процедура дозволяє визначити допустимий ризик експлуатації окремо взятого об'єкта в складі системи.

**Annotation.** Procedure of reduction the tests of independent objects is offered in the informative systems due to their functional surplus. It is shown, that such procedure allows to define the possible risk of exploitation the separately taken object in composition of the system.

**Постановка проблеми в загальному вигляді.** До необхідності скорочення обсягів контрольних випробувань в інформаційних системах приводять випадки суцього практичного характеру. Зрозуміло, що проведення планових перевірок апаратури повинне забирати мінімальний час. Його скорочення можливе, наприклад, за рахунок прискореного проведення випробувань в перевантаженому режимі, за рахунок структурної надмірності або за рахунок запасу по ресурсу. Методики проведення таких випробувань, технічні та математичні проблеми обробки результатів досить докладно розглянуті в [1]. Методики мають на увазі, що виграш досягається лише за рахунок властивостей основного об'єкта досліджень (тобто об'єкт не має резерву). Таким чином вважається, що для проведення випробувань об'єкт припиняє своє функціонування в складі технічної системи і повертається в неї після їх закінчення.

Скорочення часу випробувань функціонуючих інформаційних систем важливо також з економічної точки зору [2]. Тут економія коштів і ресурсів очевидна і не має потреби в їх обґрунтуванні.

**Метою статті** є визначення процедури скорочення обсягів контрольних випробувань в інформаційних системах за рахунок їх функціональної надмірності, яке обумовлене наявністю резервних об'єктів, цілком ідентичних основним. Таким чином, **невирішеною проблемою** є процедура, що дозволяє провести випробування з використанням резервних об'єктів з можливістю поширення отриманих результатів на всю систему в цілому, включаючи питання проектування нових систем.

**Аналіз останніх досліджень і публікацій, в яких започатковано розв'язання даної проблеми, виділення невирішених раніше загальної проблеми.** Методики проведення вище зазначених випробувань, технічні і математичні проблеми обробки результатів досить докладно розглянуті в технічній літературі. Ці методики, як зазначено вище, передбачають припинення функціонування об'єкта в складі технічної системи при проведенні випробувань і повернення в неї після їх закінчення. Така процедура випробувань повністю

відповідає проблемі, що винесена в заголовок статті. Цією проблемою займається достатньо широке коло вчених – Мирний Р.А., Павлов І.В., Большев Л.Н. та інші. Окремі результати щодо оцінки надійності систем телекомунікацій з опубліковані автором в співавторстві в [3, 4]. Однак, у публікаціях, які доступні для широкого кола науковців, процедури скорочення обсягів контрольних випробувань в інформаційних системах за рахунок їх функціональної надмірності розглядалася недостатньо.

В зв'язку з зазначеним **раніше не вирішеною частиною загальної проблеми** є задача отримання процедури, що дозволяє провести випробування з використанням резервних об'єктів, передбачити імовірний ризик замовника стосовно працездатності обладнання, передбачити необхідну кількість резерву, структуру організації системи та інші технічні та виробничі параметри.

**Постановкою завдання** для послідуячого вирішення є логічні викладки та на основі них – математичне обґрунтування вище зазначеної процедури.

Перейдемо до викладу **основного матеріалу**. В подальшому під поняттям «інформаційна система» будемо розуміти окремих об'єкт, який виконує функції, обумовлені його технічною документацією. Будемо вважати, що об'єкт не може функціонувати самостійно та незалежно від інших аналогічних об'єктів.

Позначимо подію, яка полягає у виникненні відмовлення окремого об'єкта, як  $\bar{B}$ . Тоді  $B$  – подія, яка складається в тому, що об'єкт виконує покладені на нього функції. Припустимо, що з метою реалізації події  $B$  в технічній документації передбачено  $N$  деяких умов  $A_i$ . Зокрема, подія  $A_i$  може складатися в умові допускового типу, наприклад,  $A_i = \{a_i \leq \xi_i \leq b_i\}$ , тобто подія  $A_i$  полягає в тому, що деяка випадкова величина  $\xi_i$  може знаходитися у фіксованому інтервалі  $[a_i, b_i]$ , де  $a_i$  і  $b_i$  – границі допуску. Якщо  $\xi_i$  виходить за границі допуску ( $\xi_i \notin [a_i, b_i]$ ), то ця подія може супроводжуватися виходом об'єкта з ладу. Однак може бути і так, що при  $\xi_i \notin [a_i, b_i]$  відмовлення об'єкта (з імовірністю, що дорівнює 1) не відбувається. Назвемо число  $P(A_i) = R_i$  імовірністю виконання  $i$ -ї умови, яка обумовлена в технічній документації. Будемо вважати, що документація складена досить повно і в ній передбачається, що при виході об'єкта з ладу відбувається хоча б одна з подій  $\bar{A}_i - \bar{B} \subset \bigcup_{i=1}^N \bar{A}_i$ .

Тоді  $\bar{B} = \bar{B} \cap \left( \bigcup_{i=1}^N \bar{A}_i \right) = \bigcup_{i=1}^N (\bar{B} \cap \bar{A}_i)$ , де  $B = \bigcap_{i=1}^N \overline{\bar{A}_i \cap \bar{B}} = \bigcap_{i=1}^N (A_i \cup B) = \bigcap_{i=1}^N \bar{A}_i$ ,  $\bar{A}_i \square A_i \cup B$ ,

а це значить, що  $P(B) = (1 - P(\bar{A}_1))(1 - P(\bar{A}_2 | \bar{A}_1)) \dots \left( 1 - P\left(\bar{A}_N \mid \bigcap_{k=1}^{N-1} \bar{A}_k\right) \right)$ .

Врахуємо, що  $P(\bar{A}_1) = P(\bar{A}_1 \cap \bar{B}) \square q_1(1 - k_1)$ ;  $q_1 = P(\bar{A}_1)$  – імовірність невиконання першої умови документації (наприклад,  $q_1$  – імовірність виходу

$\xi_i$  за допуск  $[a_i, b_i]$ );  $P(\bar{B} | \bar{A}_i)$  – імовірність відмовлення об'єкта при невиконанні зазначеної умови;  $k_i = 1 - P(\bar{B} | \bar{A}_i)$ .

Розглянемо випадок, коли імовірність безвідмовної роботи об'єкта

$$L = P(B) = P\left(\bigcap_{i=1}^N \bar{A}_i\right), \bar{A}_i = A_i \cup B \quad (1)$$

задовольняє співвідношенню

$$L = P(B) \geq \prod_{i=1}^N P(\bar{A}_i) \square \bar{I} = \prod_{i=1}^N R'_i, R'_i = P(\bar{A}_i). \quad (2)$$

Відмітимо, що (1) виконується для незалежних, а також для позитивно зв'язаних подій  $\bar{A}_i, i = \overline{1, N}$  [1]. У розглянутому випадку  $\bar{I}$  є оцінкою знизу для показника надійності  $L = P(B)$  об'єкта:

$$\bar{I} = \prod_{i=1}^N P(\bar{A}_i) = \prod_{i=1}^N R'_i; R'_i = 1 - q_i(1 - k_i) = P(\bar{A}_i), \quad (3)$$

де  $q_i = P(\bar{A}_i)$  – імовірність невиконання  $i$ -ї умови документації (наприклад  $q_i$  – імовірність виходу  $\xi_i$  за допуск  $[a_i, b_i]$ ), а число

$$k_i = 1 - P(\bar{B} | \bar{A}_i) = P(B | \bar{A}_i) \quad (4)$$

назвемо *коефіцієнтом функціональної надмірності об'єкта по  $i$ -й умові документації*. При всіх  $k_i = 0$  з (3) випливає, що  $\bar{I} = \prod_{i=1}^N R_i, k_i = 0, i = \overline{1, N}, R_i = 1 - q_i$ .

Рівність  $k_i = 0$  відповідає випадкові, коли при невиконанні  $i$ -ї умови об'єктне виконує покладені на нього функції і тоді  $P(\bar{B} | \bar{A}_i) = 1$ . Якщо  $i$ -та умова документації грає настільки несуттєву роль в цілому, що факт виникнення події  $\bar{A}_i$  не впливає на  $\bar{B}$ , то  $P(B | \bar{A}_i) = P(B)$  і, таким чином,  $0 \leq k_i \leq P(B) = L$ .

Коефіцієнти  $k_i$  надмірності об'єкта по кожній з  $N$  умов, обумовлених у технічній документації, можуть бути знайдені шляхом статистичного моделювання процесу функціонування об'єкта, описуваного, наприклад, сукупністю диференціальних рівнянь руху [1].

Зі співвідношень (1) – (4) приходимо до наступних висновків.

1. На етапі проектування, для кожної з  $N$  умов  $A_i$ , що обмовляються в технічній документації і мають, наприклад, вигляд:  $a_i \leq \xi_i \leq b_i, i = \overline{1, N}$ , в результаті статистичного моделювання процесу виконання задачі об'єктом в цілому по формулі (4) можуть бути розраховані коефіцієнти  $k_i$  функціональної надмірності. Надалі будемо вважати, що коефіцієнти  $k_i$  відомі і фіксовані.

2. Кількісною мірою виконання  $i$ -ї умови служить імовірність  $R_i = P(A_i)$  її виконання, причому  $R_i$  – невідома і підлягає оцінюванню за результатами випробувань. У силу співвідношень (2) і (3) за критерій виконання  $i$ -ї умови з позиції системного розгляду приймається імовірність  $R'_i = 1 - q_i h_i$ ,  $q_i = 1 - R_i$ ,  $h_i = 1 - k_i$ .

3. Виходячи з необхідного значення  $L_T$  для імовірності  $L = P(B)$  виконання задачі об'єктом в цілому і заданого для нього припустимого ризику замовника  $\beta_q$ , визначаються вимоги  $R'_{Ti}$  до кожної з імовірностей  $R'_i = P(\check{A}_i)$  і припустимий ризик замовника  $\beta_{qi}$ .

4. Вимога по надійності до реалізації  $i$ -ї умови вважається виконаною, якщо  $\gamma$ -нижня границя [3]  $\underline{R}'_i = \underline{R}_{i\gamma}$  при  $\gamma = i - \beta_{qi}$  задовольняє співвідношенню

$$\underline{R}'_{i\gamma} \geq R'_{Ti}, \quad \gamma = 1 - \beta_{qi}. \quad (5)$$

Так як коефіцієнт  $k_i$  надмірності об'єкта по  $i$ -й умові технічної документації в нашому випадку вважається фіксованим числом з інтервалу  $[0, 1]$ , то  $\underline{R}_{i\gamma} = 1 - (1 - k_i)(1 - \underline{R}_{i\gamma})$ , де  $\underline{R}_{i\gamma}$  – статистика, що є  $\gamma$ -нижньою границею для імовірності  $R_i = 1 - q_i$ .

Визначення 1. Будь-яку невідому константу, що підлягає оцінюванню по результатах  $\omega \in \Omega$  випробувань, де  $\Omega$  – сукупність всіх результатів  $\omega$ , назовемо *параметром*.

Визначення 2. Всяку функцію  $g(\omega)$  від результатів  $\omega \in \Omega$  випробувань назовемо *статистикою*.

З огляду на викладене, співвідношення (5) перепишемо у вигляді:

$$R'_{Ti} = R^*_{Ti} = \frac{R'_{Ti} - k_i}{1 - k_i}, \quad \gamma = 1 - \beta_{qi} \quad (6)$$

Якщо встановити, що  $\gamma$ -нижня границя  $\underline{R}_{i\gamma}$  для імовірності  $R_i$  є ідеальною,  $L_T$  – необхідне значення імовірності  $L = P(B)$  безвідмовної роботи об'єкта в цілому, а  $\beta_q$  – припустимий ризик замовника в  $C_0$ -процедурі [4] перевірки виконання вимоги  $L \geq L_T$  для об'єкта в цілому, то при незалежності статистик  $\underline{R}_{i\gamma}$ ,  $i = \overline{1, N}$  у (5) і (6) можна покласти

$$R'_{Ti} = L_T, \quad \beta_{qi} = \beta_q, \quad i = \overline{1, N} \quad (7)$$

при будь-якому кінцевому  $N$ . Легко перевірити, що якщо  $\underline{R}_{i\gamma}$  – ідеальна  $\gamma$ -нижня границя для  $R_i$ , то при фіксованому  $k_i$  статистика  $\underline{R}'_{i\gamma} = 1 - (1 - k_i)(1 - \underline{R}_{i\gamma})$  є ідеальною  $\gamma$ -нижньою границею для  $R'_i = 1 - (1 - k_i)(1 - R_i)$ . Тому в розглянутому випадку статистика

$$\bar{I}_{\gamma} = \min_{1 \leq i \leq N} R'_{i\gamma} = \min_{1 \leq i \leq N} (1 - (1 - k_i)(1 - \underline{R}_{i\gamma})) \quad (8)$$

є  $\gamma$ -нижньою границею для імовірності  $\bar{I}$  з (2). З запропонованої нерівності  $\bar{I} \leq L = P(B)$  і співвідношення  $\gamma \leq P(\bar{I} \leq \bar{I}) \leq P(\bar{I} \leq L)$  випливає, що вираз (8) одночасно забезпечує можливість знаходження  $\gamma$ -нижньої границі для  $L = P(B)$ . Так як відповідно до  $C_0$ -процедури, умовою приймання об'єкта в цілому є виконання нерівності

$$\bar{I}_{\gamma} \geq L_T, \quad \gamma = 1 - \beta_q, \quad (9)$$

то в силу еквівалентності  $\bar{I}'_{\gamma} = \min_{1 \leq i \leq m} R'_{i\gamma} \geq L_T \Leftrightarrow \bigwedge_{i=1}^m (R'_{i\gamma} \geq L_T)$ ,  $\gamma = 1 - \beta_q$ , ця нерівність рівносильна виконанню  $N$  нерівностей

$$\underline{R}'_{i\gamma} \geq L_T, \quad \gamma = 1 - \beta_q, \quad i = \overline{1, N}. \quad (10)$$

Отже, приймання об'єкта в цілому відповідно до (9) здійснюється тоді і тільки тоді, коли здійснюється приймання відповідно до (10) по кожній з  $N$  умов, обумовлених в технічній документації. Звідси та з (5) випливає (7).

Отримані результати представимо у вигляді наслідку:

**Наслідок.** Нехай задовольняються всі приведені допущення. Тоді вимоги по надійності до реалізації  $i$ -ї умови, обумовленої в технічній документації, можуть вважатися виконаними, якщо статистика  $\underline{R}_{i\gamma}$  задовольняє нерівності:

$$\underline{R}_{i,1-\beta_q} \geq R_{Ti}^* = \frac{L_T - k_i}{1 - k_i}, \quad i = \overline{1, N}. \quad (11)$$

У (11) при  $k_i = L_T$  вважаємо, що  $R_{Ti}^* = 0$  і, у цьому випадку, проведення випробувань для перевірки виконання вимог по надійності реалізації  $i$ -ї умови не потрібно. З ростом коефіцієнта надмірності  $k_i$  по  $i$ -й умові необхідне значення  $R_{Ti}^*$  для  $R_i$  (враховуючи  $k_i$ ) знижується. Це рівносильно зниженню обсягу випробувань і, природно, скороченню часу їхнього проведення. Якщо (11) не виконується, то постачальникові пропонується зробити відповідні доробки [5]. Виконання всіх  $N$  нерівностей (11) рівносильне виконанню одного співвідношення (9).

Підкреслимо, що в (11) параметри  $L_T$  і  $\beta_q$  відносяться до об'єкта в цілому, і їх «роздроблення» не потрібно. Зрозуміло, ситуація може змінитися, якщо  $\gamma$ -нижні границі  $\underline{R}_{i\gamma}$  не є ідеальними для  $\underline{R}_i$  [6].

**Висновки.** Отримане співвідношення (11) можна використовувати щонайменше в наступних випадках:

а) Кожна зі статистик  $\underline{R}_{i\gamma}$  знаходиться за результатами біноміальних випробувань із зупинкою [3], у яких беруть участь кілька об'єктів;

б) Кожна зі статистик  $\underline{R}_{i\gamma}$  знаходиться за результатами біноміальних випробувань із зупинкою, у яких бере участь один об'єкт;

в) Кожна зі статистик  $R_{i\gamma}$  знаходиться за біноміальною схемою Бернуллі при допустимому числі відмовлень  $r_{iq} = 0$ .

Як відзначено вище, проведені дослідження мали на увазі, що  $\gamma$ -нижні границі  $R_{i\gamma}$  є ідеальними для  $R_i$ . Випадок для неідеальних границь не розглядався. Крім того, у (11) варто розглянути параметри  $L_T$  і  $\beta_q$  щодо окремих складових об'єкта. Відзначені проблеми *підлягають подальшим дослідженням*.

### Список літератури

1. Судаков Р.С. Избыточность и объем испытаний технических систем и их элементов. – М.: Знание, 1980.

2. Скопа О.О. Інтервальне оцінювання надійності Т-систем з паралельним з'єднанням елементів за результатами їх біноміальних іспитів // Наукові праці ОНАЗ: Період. наук. збір. з радіотехніки і телекомунікацій, електроніки та економіки в галузі зв'язку. – Одеса, 2002. – №1. – С.65–71.

3. Казакова Н.Ф., Мухін О.М., Скопа О.О. Скорочення обсягу випробувань систем телекомунікацій на надійність за рахунок їх структурної надмірності // 1-й Міжнарод. радіоелектрон. форум «Прикладная радиоэлектроника. Состояние и перспективы развития»: 8–10 октября 2002 г.: Сб. научн. трудов. – Харьков: ХНУРЕ. – 2002. – С.358–360.

4. Скопа О.О., Казакова Н.Ф., Мурін О.С. Вплив функціональної надмірності резервованих систем телекомунікацій на скорочення обсягів їх випробувань на надійність // Наук. праці ДонНТУ. Серія: Обчислювальна техніка та автоматизація. Випуск 58. – Донецьк: РВА ДонНТУ, 2003. – С.115-121.

5. Скопа О.О. Обслуговування резервних систем зв'язку // Наук. праці ДонДТУ. Серія: Обчислювальна техніка та автоматизація. Випуск 38. – Донецьк: РВА ДонДТУ, 2002. – С.89-91.

6. Скопа О.О. Оптимізація експлуатації резервних систем телекомунікацій // Праці УНДІРТ. – Одеса, 2002. – №1(29). – С.91–93.