УДК 621.37/39

Петров А. О., канд. техн. наук. (Тел.: +380 (99) 065 12 08. E-mail: antonpv@mail.ru
(Національний авіаційний університет, м. Київ)

Пунченко Н. О., канд. техн. наук. (Тел.: +380 (50) 316 71 14. E-mail: greyw@ukr.net
(Одеська державна академія технічного регулювання та якості)

Білик Н.М., канд. техн. наук. (Тел.: +380 (51) 234 21 60. E-mail: binatty@rambler.ru
(Навчальний центр Миколаївського комплексу НУ «Одеська юридична академія»)

УПРАВЛІННЯ ОПТИМАЛЬНИМ РЕЗЕРВУВАННЯМ В ТЕЛЕКОМУНІКАЦІЯХ

Petrov A. O., Punchenko N. O., Bilyk N. M. Optimum communication redundancy management. In the article is examined the part of problem of determination the reliability of telecommunication reserves systems. The got results of researches allow to estimate the risk of customer in the telecommunication or informative system. Results allow to foresee the necessary amount of stand-by equipment. They allow to develop the structure of organization the systems and technical and productions parameters. It is noted that the problem of optimal reservation systems of telecommunications is based on a probabilistic basis. It is shown that the statistical formulation of the problem allows you to find the dependence of the number of backup objects that are tested, the volume of planned tests. This applies to both the preliminary configuration stages and during operation. The result of the research is that the optimum number of reserve channels and amount of planned dependable exams associated dependence. This dependence is shown in the article. It was noted that in some cases, testing of telecommunications systems with equivalent connection objects are not feasible. It explained the difficulties to identify failures. It is shown that a promising issue for further investigation are testing systems with series connection of functional objects.
Keyword: telecommunications, informative system, reserve equipment

Петров А. О., Пунченко Н. О., Білик Н. М. Управління оптимальним резервуванням в телекомунікаціях. В статті акцентується увага на раніше невирішеній частині загальної проблеми визначення надійності резервних систем телекомунікацій, яка полягає в тому, що отримані результати досліджень дозволяють оцінити ризик замовника телекомунікаційної або інформаційної системи та передбачити необхідну кількість резервного обладнання, структуру організації системи та інші технічні та виробничі параметри.
Ключові слова: телекоммуникації, інформаційна система, резервування обладнання

Петров А. А., Пунченко Н. О., Билык Н. М. Управление оптимальным резервированием в телекоммуникациях. В статье акцентируется внимание на ранее нерешенной части общей проблемы определения надежности резервных систем телекоммуникаций, которая заключается в том, что полученные результаты исследований позволяют оценить риск заказчика телекоммуникационной или информационной системы и предусмотреть необходимое количество резервного оборудования, структуру организации системы и другие технические и производственные параметры.
Ключевые слова: телекоммуникации, информационная система, резервирование оборудования

Постановка задачі. Задача оптимального резервування систем телекомунікацій, як правило, базується на імовірнісній основі. Як показано у [1, 2], статистична постановка дозволяє знайти залежність числа резервних об'єктів, що підлягають іспитам, від обсягу запланованих іспитів як на етапі попереднього настроювання, так і в процесі експлуатації.

Як показує ***аналіз останніх досліджень і публікацій***, задача оптимального вибору кількості резервних об'єктів завжди була предметом наукових та практичних дискусій [1-7]. Серед достатньої кількості публікацій по вказаній тематиці, основними роботами є праці Р. Барлоу, Ф. Прошана та І. Герцбаха, які висвітлюють багато аспектів вказаної проблеми стосовно складних систем. У роботах О. І. Ракова, О. Н. Большева, Є. Ю. Барзиловича, В. А. Каштанова, Н. А. Северцева, Р. С. Судакова, Н. Ф. Казаковой, О. О. Скопи та інших вчених. В них розглядаються питання як прогнозування технічного стану та надійності

складних систем в залежності від їх конструктивних параметрів та умов експлуатації, так і питання їх оптимальної структури з точки зору підвищення надійності, живучості та інших параметрів про що мова йде у [3-6].

Втім, більшість робіт, що стосуються теорії надійності складних систем, дають аналіз та вирішення таких питань як підвищення їх живучості, роботи до першого відмовлення, стійкості до зовнішніх впливів і т.д. В той же час досить рідко зустрічаються роботи, що дають оцінку ризику замовника який приймає до експлуатації даний об'єкт [7].

В зв'язку з зазначеним недостатньо ***вирішеною*** є задача, яка дозволяє оцінити ризик замовника [8, 9] та передбачити необхідну кількість резервного обладнання, структуру організації системи та інші технічні та виробничі параметри [8-11].

Постановкою завдання для послідуючого вирішення є задача знаходження залежності числа резервних об'єктів, що підлягають іспитам, від обсягу планованих іспитів, як на етапі попереднього настроювання, так і в процесі експлуатації.

Аналіз кількісних характеристик резервних систем телекомунікацій. Розглянемо систему, яка складається з незалежних резервних каналів [12], кожен з яких випробується за біноміальним планом [13, 14] з зупинкою в ситуації, коли умова приймання такого каналу до експлуатації при випробуваннях n' зразків системи ($n' \le n_0$, n_0 – фіксований мінімально необхідний обсяг іспитів до виникнення першого відмовлення) виникає з однаковою, але невідомою імовірністю R для кожного випробування [15, 16]. При цьому величини n'_i незалежні для $i = \overline{1, \nu}$. Нехай об'єкти в системі з'єднані паралельно, $P = R_1 \cdot R_2 \cdot ... \cdot R_\nu$ – невідома імовірність безвідмовної роботи, P_T – необхідне значення для P. Нехай контроль за виконанням вимог до P здійснюється відповідно до C_0-процедури шляхом перевірки виконання умови:

$$\underline{P}_\gamma \ge P_T,\ \gamma = 1 - \beta_q,$$

де β_q – припустимий ризик замовника; P_γ – статистика, що є γ-нижньою границею для P.

Визначення 1. Нехай P^L – імовірність безвідмовної роботи каналу зв'язку, P^{L_H} – необхідне значення P^L. Процедура, в якій рівень P^L вважається достатнім, якщо $\underline{\gamma}$-нижня границя $P^{\underline{L}}$ [1, 2] для P^L задовольняє умові $P^{\underline{L}} \ge P^{L_H}$, а рішення про вилучення каналу зв'язку з експлуатації на основі статистичних даних не приймається, назвемо C_0-процедурою.

Визначення 2. Ризиком замовника β будемо називати імовірність ухвалення позитивного рішення про доцільність використання того або іншого об'єкта в той час, як установлені вимоги до нього не виконуються.

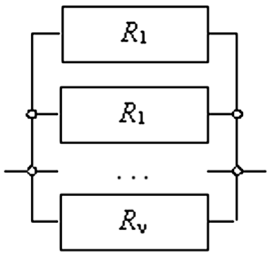

Рис.1

Сумарні витрати C_Σ на безвідмовні іспити і наступну експлуатацію систем зі структурою, представленої на Рис.1, при однаковій вартості резервних каналів можна представити у вигляді:

$$C_\Sigma = C_1 n_0 + C_2 N\nu,$$

або

$$C'_\Sigma = \frac{\ln(1-\gamma)}{\nu \ln\left(1-(1-P_T)^{\frac{1}{\nu}}\right)} + kN\nu,\ C'_\Sigma = \frac{C_\Sigma}{C_0}, \qquad (1)$$

де $k = \dfrac{C_2}{C_1}$;

C_1 і C_2 – фіксовані невипадкові витрати на організацію одного резервного каналу на етапі його попередніх іспитів і, відповідно, на етапі експлуатації;

N – обсяг замовлення;

ν – кількість резервних каналів, що підлягають іспитам;

C_0 – результати, отримані відповідно до C_0-процедури.

Перший доданок у (1) убуває по ν, у той час як другий – зростає по ν. Отже, існує оптимальне значення ν^*, що мінімізує витрати. Йому відповідає оптимальний обсяг безвідмовних іспитів, що може бути визначений за формулою:

$$n_{0\nu}^* = \frac{1}{\nu^*} \cdot \frac{\ln(1-\gamma)}{\ln\left[1-(1-P_T)^{\frac{1}{\nu^*}}\right]}. \qquad (2)$$

Таким чином, виявляється, що оптимальне число резервних каналів і обсяг планованих безвідмовних іспитів зв'язані залежністю (2).

Відзначимо, що в деяких випадках іспити системи телекомунікацій з рівнобіжним з'єднанням об'єктів (каналів) недоцільні в зв'язку з труднощами виявлення відмовлень. У цьому відношенні іспити системи з послідовним з'єднанням об'єктів більш інформативні.
Якщо по технічних умовах замість системи рис.1, можливі іспити системи з послідовним з'єднанням тих же об'єктів, то отримані результати можуть бути перераховані з метою отримання $P^{\underline{L}}$ по формулі:

$$P^{\underline{L}} = 1-\left(1-(1-\gamma)^{\frac{1}{n_{\min}\nu}}\right)^{\nu},$$

де $n_{\min}$ – менша з величин n_i', $i=\overline{1,\nu}$.

Якщо всі об'єкти системи (Рис.1) однакові, то тоді γ-нижня границя для імовірності P визначається виразом:

$$P^{\underline{L}} = 1-\left(1-\underline{R}\right)^{\nu}, \qquad (3)$$

де $\underline{R} = (1-\gamma)^{\frac{1}{n_\Sigma'}}$;

$n_\Sigma' = n_1 + n_2 + \ldots + n_l + n_{l+1}'$ – сумарний наробіток на відмовлення, якщо іспити об'єктів системи проводяться за біноміальною схемою з зупинкою послідовно один за одним (при числі об'єктів l, що пройшли безвідмовні іспити) у ситуаціях:

– іспитам піддаються n' каналів ($n' \le n_0$) з однаковою, але невідомою імовірністю R безвідмовної роботи для кожного з них;

– іспитам піддається один канал багаторазового використання, при цьому передбачається, що невідома імовірність безвідмовної роботи в одному циклі на інтервалі $[0, t_0]$ змінюється від циклу до циклу в зв'язку з впливом процесів нагромадження пошкоджень і процесів відновлення в силу чого система є *старіючою*.

Відзначимо: якщо випробується заздалегідь фіксоване число об'єктів l_0 з ансамблю ν і всі іспити безвідмовні, то

$$n_\Sigma' = n_\Sigma - n_1 + n_2 + \ldots + n_{l_0},\ 1 \le l_0 \le \nu. \qquad (4)$$

Встановимо значення P^{L_H} таке, при якому, у випадку $P^L \ge P^{L_H}$, система вважається досить надійною, а ризик замовника β визначимо як імовірність ухвалення позитивного рішення в той час, як вимоги не виконуються:

$$\beta = P\left(P^{\underline{L}} \geq P^{L_H} \middle| P^L < P^{L_H}\right).$$

Тоді, по властивості γ-нижньої границі, з врахуванням нерівності $P\left(P^{\underline{L}} \geq P^{L_H} \middle| P^L > P^{L_H}\right) \leq$ $\leq P\left(P^{\underline{L}} \geq P^L\right)$ [7], отримаємо: $\beta \leq P\left(P^{\underline{L}} > P^L\right) \leq 1-\gamma$.

Тепер, з огляду на (3), знаходимо умову, що накладається на сумарний наробіток у циклах:

$$n'_{\Sigma} \geq \tilde{n}_{0\nu} = \frac{\ln \beta_d}{\ln\left(1-\left(1-P_T\right)^{\frac{1}{\nu}}\right)}, \tag{5}$$

де β_q – рівень припустимого ризику; P_T – необхідна імовірність безвідмовної роботи системи телекомунікацій у цілому.

Приклад 1. Нехай $P_T = 0{,}999$ і $\beta_q = 0{,}1$, а елементи системи (рис.1) незалежні та однакові при $\nu = 2$. Припустимо, що іспитам піддається один зразок багаторазового використання $(l_0 = 1)$. Тоді з (5) випливає, що сумарне число n' циклів до першого відмовлення або сумарне число безвідмовних циклів повинне задовольняти умові $n' \geq 74$. Якщо випробуються обидва елементи один за одним, то сумарний наробіток у циклах повинен задовольнити тій же умові – $n' \geq 74$.

Розглянемо тепер систему, складену з m блоків виду (Рис.1), з'єднаних послідовно. Будемо вважати, що в кожнім з них є по ν_i різних елементів, з'єднаних паралельно. Встановимо, що всі елементи незалежні, а до імовірності

$$P_0^L = \prod_{i=1}^{m}\left(1-\prod_{j=1}^{\nu_i}\left(1-R_{ij}\right)\right)$$

безвідмовної роботи системи задане її необхідне значення $\widehat{P}_{0T}$.

Вважаємо, що заданий також ризик β_d постачальника в C_0-процедурі контролю за виконанням вимоги $P_0^L \geq P_{0T}^L$. Ця вимога вважається виконаною, якщо

$$P_{0\gamma}^{\underline{L}} \geq P_{0T}^L, \ \gamma = 1-\beta_d, \tag{6}$$

де $\underline{\widehat{P}}_{0\gamma}$ – статистика, що є γ-нижньою границею для імовірності $\widehat{P}_0$.

Припустимо, що j-й елемент із i-го блоку випробується автономно за біноміальним планом з зупинкою. У результаті отримуємо значення числа n_{ij} іспитів до виникнення першого відмовлення зазначеного елемента. Якщо величини n_{ij} незалежні при $i = \overline{1,m}$, $j = \overline{1,\nu_j}$, то умова (6) рівносильна виконанню $N_0\nu_1 + \nu_{2T} + ... + \nu_m$ умов вигляду

$$n'_{ij} \geq n_{0ij} = \frac{\ln \beta_d}{\nu_i \ln\left(1-\left(1-P_{0T}^L\right)^{\frac{1}{\nu_i}}\right)}, \ i = \overline{1,\ m}, \ j = \overline{1,\ \nu_i}, \tag{7}$$

де числа P_{0T}^L і β_d беруться зі співвідношення (6) приймання системи в цілому;

ν_i – число елементів у i-м блоці.

Умова (7) узагальнює співвідношення (5). Цікаво, що за рахунок непокращання відносно n'_{ij} γ-нижньої границі $P_0^{\underline{L}}$ для P^L, "дроблення" заданих для системи в цілому значень P_{0T}^L і β_d при переході до її елементів не відбувається.

Приклад 2. Розглянемо систему, складену з $m = 1200$ блоків виду Рис. 1. Всі елементи незалежні і різні. Необхідне значення імовірності P_0^L системи задано рівним $\widehat{P}_{0T} = 0,999$, а припустимий ризик замовника в умові (6) – $\beta_d = 0,1$. Необхідно знайти умови до числа іспитів кожного з $\nu_1 + \nu_2 + ... + \nu_{1200}$ елементів, проведених безвідмовно або до виникнення першого відмовлення.

З (7) знаходимо шукані умови:

$$n'_{ij} \geq \frac{\ln 0,1}{\nu_i \ln\left(1 - 0,001^{\frac{1}{\nu_i}}\right)}, \; i = \overline{1,m}, \; j = \overline{1,\nu_i}.$$

Зокрема, при $\nu_1 = 2$ і $\nu_2 = 3$ отримуємо умови приймання: $n'_{1j} \geq 37$ – для першого блоку, $j = 1,2$; $n'_{2j} \geq 7$ – для другого блоку, $j = 1,2,3$.

У випадку, коли елементи в i-му блоці однакові, для нього отримуємо умову приймання

$$n'_{\Sigma i} \geq \frac{\ln \beta_d}{\ln\left(1 - \left(1 - P_{0T}^L\right)^{\frac{1}{\nu_i}}\right)} = n_{0i},$$

що узагальнює співвідношення (5), де $n'_{\Sigma i}$ – сумарний наробіток у циклах для i-го блоку, що визначається з виразу (4), який записується для i-го блоку.

Висновок

В результаті проведених досліджень, можемо зробити висновок, що оптимальне число резервних каналів і обсяг планованих безвідмовних іспитів зв'язані залежністю (2). Відзначимо, що в деяких випадках іспити системи телекомунікацій з рівнозначним з'єднанням об'єктів недоцільні в зв'язку з труднощами виявлення відмовлень [15-17]. У цьому відношенні ***перспективною проблемою для подальшого дослідження*** є іспити систем з послідовним з'єднанням об'єктів [18-20], як більш інформативні.

Література

1. Петров А. О. Удосконалення процедури випробувань живучості систем критичного застосування за схемою Бернуллі / А. О. Петров // Технологічний аудит та резерви виробництва. – 2012. – № 6/3 (8). – С. 35-36.

2. Білик Н. М. Скорочення обсягу профілактичних вимірювань в інформаційних мережах за рахунок їх структурної надмірності / Н. М. Білик // Восточно-Европейский журнал передовых технологий. – 2010. – № 5/2 (47). – С. 4-6.

3. Skopa O. Task of redundancy optimization // Proceedings of the VIIth International Conference CADSM'2003 «The Experience of Designing and Application of CAD Systems of Microelectronics»: February 18-23, 2003. – Lviv-Slavske, Ukraine: Lviv Polytechnic National University – IEEE Networking the World. – 2002. – C. 330.

4. Скопа О. О. Задача оптимального резервування / О. О. Скопа // Вісник Національного університету «Львівська політехніка». – 2003. – № 470. – С. 117-121.

5. Захарченко М. В. Мережі та системи телекомунікацій: Т.1 : Інформаційні мережі. Стандарти та рекомендації. ЄНМЗУ. Аналогові та комп'ютерні мережі / М. В. Захарченко, Г. С. Гайворонська, О. О. Скопа [та ін.] ; за ред. М. В. Захарченка. – Київ : Техніка, 2000. – 304 с.

6. Мазурков М. И. Современные системы телекоммуникаций : учебное пособие / М. И. Мазурков, П. Е. Баранов, И. Н. Еримичой, А. А. Скопа [и др.] ; под ред. М. И. Мазуркова. – Одесса : ОдГПУ, 2001. – 280 с.

7. Казакова Н. Ф. Методи оцінки надійності систем телекомунікацій з резервом / Н. Ф. Казакова // Праці УНДІРТ. – 2003. – № 2(34). – С. 109-112.

8. Мухін О. М. Планування обсягу випробувань в мережах телекомунікацій / О. М. Мухін, Н. Ф. Казакова, О. О. Скопа // Вісник Українського будинку економічних і науково-технічних знань. – 2002. – № 2. – С. 104-109.

9. Скопа О. О. Плани проведення випробувань надійності систем телекомунікацій з накопиченням пошкоджень / О. О. Скопа // Праці УНДІРТ. – 2003. – № 3(35). – С. 104-106.

10. Скопа О. О. Проектний аналіз оцінювання ступеня ризику при скороченні обсягу профілактичних вимірювань об'єктів інфомереж / О. О. Скопа, Н. Ф. Казакова // Вісник Львівського національного аграрного університету. – 2008. – № 12. – Т. 1. – С. 66-71.

11. Скопа А. А. Применение теории псевдополуобратных матриц к решению задач по оценке надежности систем телекоммуникаций. Часть 1. Общие положения / А. А. Скопа, Н. Ф. Казакова // Праці УНДІРТ. – 2002. – № 4(32). – С. 88-91.

12. Панфилов И. П. Надежность работы линии связи, состоящей из основного и резервного каналов / И. П. Панфилов, А. А. Скопа // Радиотехника. – 2002. – № 128. – С. 91-96.

13. Скопа О. О. Біноміальна схема контрольних випробувань резервних систем зв'язку / О. О. Скопа // Збірник наукових праць УДМТУ. – 2002. – № 7(385). – С. 116-124.

14. Скопа О. О. Концепція контрольних випробувань резервних систем на основі біноміальної схеми / О. О. Скопа, С. Л. Волков, А. В. Мінін // Інформаційна безпека. – 2011. – № 2(6). – С. 69-76.

15. Скопа О. О. Обслуговування резервних систем зв'язку / О. О. Скопа // Наукові праці ДонДТУ. – 2002. – № 38. – С. 89-91.

16. Скопа О. О. Однобічна процедура контролю надійності резервних каналів зв'язку / О. О. Скопа // Наукові праці ДонДТУ. – 2002. – № 47. – С. 168-175.

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

18. Скопа О. О. Знаходження γ-нижньої границі показника надійності системи з m послідовно з'єднаних об'єктів за результатами їх автономних біноміальних випробувань / О. О. Скопа, Г. А. Гундерич // Наукові записки Українського науково-дослідного інституту зв'язку. – 2008. – № 5(7). – С. 73-77.

19. Скопа, О. О. Вплив функціональної надмірності резервованих систем телекомунікацій на скорочення обсягів їх випробувань на надійність [Текст] / О. О. Скопа, Н. Ф. Казакова, О. С. Мурін // Наукові праці ДонДТУ. – 2003. – № 58. – С. 115-121.

20. Скопа О. О. Оцінка надійності систем телекомунікацій з послідовним з'єднанням об'єктів за результатами їх біноміальних іспитів з зупинкою / О. О. Скопа, В. Г. Головань // Наукові записки Українського науково-дослідного інституту зв'язку. – 2008. – № 4(6). – С. 75-79.

Дата надходження в редакцію: 24.07.2015 р. Рецензент: д.т.н., проф. А. І. Семенко