

Владислав Володимирович Кобзев (канд. техн. наук, с.н.с., начальник науково-дослідного відділу)¹

Павло Вікторович Опенько (канд. техн. наук, старший науковий співробітник науково-дослідної лабораторії)²

Павло Анатолійович Дранник (канд. військ. наук, с.н.с., доцент кафедри)²

Юрій Максимович Косков (старший науковий співробітник науково-дослідної лабораторії)²

¹Харківський університет Повітряних Сил імені Івана Кожедуба, Харків, Україна

²Національний університет оборони України імені Івана Черняхівського, Київ, Україна

ПЛАНУВАННЯ КОМПЛЕКСНИХ ВИБІРКОВИХ ВИПРОБУВАНЬ ВИРОБІВ ОДНОРАЗОВОГО ЗАСТОСУВАННЯ НА НАДІЙНІСТЬ З УРАХУВАННЯМ АПРІОРНОЇ ІНФОРМАЦІЇ

Визначені завдання планування структурно-ієрархічного вибіркового контролю надійності виробів одноразового застосування. Запропоновано підхід до урахування результатів експлуатації однотипних виробів, їх складових частин та елементів, а також результатів автономних випробувань елементів при плануванні комплексних вибіркового випробувань виробів одноразового застосування на надійність. Розроблена математична модель комплексних вибіркового випробувань на надійність виробів одноразового застосування. Дана математична модель базується на використанні байєсівського підходу до урахування апріорної інформації про величину показників надійності для різних варіантів структурної побудови виробів. Результати проведених розрахунків свідчать про можливість зменшення об'ємів випробувань, що обумовлює доцільність використання розроблених пропозицій при визначенні параметрів планів вибіркового випробувань виробів одноразового застосування. Викладений підхід рекомендовано до використання при плануванні контрольних випробувань на надійність однотипних об'єктів великої вартості.

Ключові слова: вибірккові випробування на надійність, ризик споживача, показник надійності.

Вступ

Постановка проблеми. Забезпечення прийнятної достовірності рішень про безвідмовність партій високонадійних виробів потребує значних об'ємів випробувань на надійність вибірок з партій виробів. До того ж випробування виробів одноразового застосування за своїм характером є руйнівними, оскільки пов'язані з безповоротними втратами цих виробів, що суттєво збільшує вартість випробувань. Для зменшення вартості випробувань необхідно зменшувати об'єми випробувань. Це можна здійснити за рахунок урахування результатів експлуатації виробів, їх складових або аналогів, а також результатів автономних випробувань (перевірок) складових частин виробів. При цьому автономні випробування складових частин виробів одноразового застосування можуть бути і неруйнівними, наприклад радіоелектронної апаратури, гідравлічних або пневматичних систем, тощо.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. У науково-технічній літературі [1-7] велика увага приділяється вирішенню задачі планування статистичного контролю надійності, коли виріб в цілому або складові частини, які входять до його складу, представляються як окремі неподільні елементи, що не мають внутрішньої структури, при цьому зв'язки між ними не враховуються. Проте у ряді робіт, наприклад в [7] розглянуто завдання планування статистичного контролю надійності, коли виріб – це складна ієрархічна технічна система, яка складається з підсистем і елементів, що відповідають різним структурно-ієрархічним рівням, та зв'язками між ними. Процес контролю надійності такої складної

технічної системи може бути організований таким чином, що спочатку контролюються “більш дрібні” вироби (деталі і комплектуючі елементи), які об'єднані в більші (складальні одиниці, вузли, блоки і т. д.), тобто кожна стадія контролю надійності системи відповідає певному рівню структури і ієрархії. Оскільки виріб (система) має певну структуру побудови з підсистем і елементів, то плани контролю партій цих виробів (систем), їх підсистем і елементів мають бути пов'язані між собою.

Мета статті – розробка пропозицій щодо побудови математичної моделі комплексних вибіркового випробувань з урахуванням апріорної інформації про величини показників надійності виробів та їх елементів, накопиченої за даними попередньої експлуатації, та результатів автономних випробувань елементів.

Виклад основного матеріалу дослідження

Кожен виріб (система) одноразового застосування може бути представлений у вигляді сукупності кінцевої кількості незалежних сполучених підсистем. Кожна підсистема може бути представлена як елемент партії певного об'єму. Від партій підсистем можуть бути проконтрольовані вибірки.

З партій виробів (систем) також необхідно проконтролювати деяку вибірку. Оскільки виріб (система) має певну структуру побудови з підсистем і контроль цих підсистем передують контролю виробів (систем), вочевидь, що результати контролю підсистем нестимуть не лише інформацію про їх надійність, але і якусь долю інформації про надійність виробу (системи) в цілому. І цю інформацію необхідно враховувати при плануванні контролю партій виробів (систем).

Оскільки взаємозв'язок параметрів статистичних планів здійснюється через відому структуру побудови виробу (системи) з підсистем і елементів і їх експлуатація йде безперервно, на кожному рівні вже є деяка накопичена попередня інформація про їх надійність.

Звідси виникає перший етап рішення задачі планування структурно-ієрархічного вибіркового контролю – завдання побудови системи взаємозв'язаних статистичних планів контролю елементів, підсистем і виробів (систем) в цілому. А оскільки контроль нижчих структурно-ієрархічних рівнів передує контролю вищих, то статистичну інформацію, яка буде отримана при контролі нижчих рівнів, слід враховувати при плануванні контролю вищих рівнів. Це обумовлює виникнення другого етапу рішення задачі планування.

Іншими словами, завдання планування структурно-ієрархічного вибіркового контролю може бути розділене на дві підзадачі:

1. Планування випробувань, коли контроль партій елементів і підсистем ще не проводиться, результати контролю невідомі і тому при плануванні не враховуються, а враховується лише накопичена попередня інформація про надійність на рівні виробів (систем), їх підсистем і елементів.

2. Планування випробувань, коли при плануванні контролю партій виробів (систем) разом з накопиченою попередньою інформацією враховуються і результати контролю елементів і підсистем.

Ці підзадачі є взаємопов'язаними, оскільки результати дослідження першої є основою для вирішення другої.

Розгляду першої підзадачі була присвячена робота [8].

Розглянемо детальніше вирішення другої підзадачі. Процес вибіркового контролю надійності виробів як складних технічних систем йде від нижчого структурно-ієрархічного рівня до вищого. Тому до моменту контролю партії виробів (систем) завжди буде в наявності деяка статистична інформація про їх надійність у вигляді результатів контролю вибірок їх підсистем.

Оскільки виріб (система) має певну структуру побудови з підсистем і контроль цих підсистем передує контролю виробів (систем), результати контролю партій підсистем нестимуть не лише інформацію про їх надійність, але і якусь долю інформації про надійність виробу (системи) в цілому. Аналітично цю інформацію при плануванні контролю партії виробів (систем) можна врахувати на рівні ризику споживача, що відноситься до випробувань партії виробів (систем). Тобто, величина ризику споживача, який відноситься до контролю партії виробів (систем), буде функцією ризиків споживача, підсистем, що відносяться до попередніх контролів партій цих підсистем. Це означає, що ймовірність прийняти партію виробів (систем) є не лише функцією об'єму вибірки з цієї партії, рівня надійності виробів (систем) і заданих вимог. Вона є також функцією відповідної ймовірності прийняти партії

підсистем і функцією структури побудови виробу (системи) з підсистем.

У свою чергу, ймовірність прийняти партії підсистем залежать від об'ємів контролю їх партій, досягнутих рівнів надійності підсистем і заданих вимог.

Вищевикладене відноситься до виробів, які розглядаються як складна технічна система і можуть мати довільну структурну побудову з підсистем і елементів.

Нижче розглянемо функціональний зв'язок між ймовірностями того, що партія виробів (систем) і партії підсистем відповідають вимогам до надійності, для різних структур побудови.

Якщо виріб (система) має послідовну структуру, тобто складається з незалежних послідовно сполучених підсистем, то відмова виробу (системи) спостерігатиметься тоді, коли відмовить хоч би одна підсистема. Тоді ймовірність того, що така партія виробів (систем) відповідає вимогам до надійності

$$P_{\text{посл}} = \prod_{i=1}^n P_i, \quad (1)$$

де n – кількість послідовно сполучених підсистем, P_i – ймовірність того, що i -та підсистема відповідає вимогам до надійності.

Якщо виріб (система) складається з незалежних резервованих елементів, то відмова виробу (системи) спостерігатиметься лише тоді, коли відмовлять всі елементи. Тоді ймовірність того, що така партія виробів (систем) відповідає вимогам до надійності

$$P_{\text{пар}} = 1 - \prod_{i=1}^m (1 - P_i), \quad (2)$$

де m – кількість паралельно сполучених підсистем.

Якщо виріб (система) має змішану структуру, то кожна з сукупностей паралельно сполучених елементів (підсистем) може бути представлена еквівалентним з точки зору надійності елементом, який послідовно сполучений з аналогічними еквівалентними елементами і елементами (підсистемами), які спочатку входили в структуру виробу (підсистеми) як послідовно сполучені. Тоді ймовірність того, що така партія виробів (систем) відповідає вимогам до надійності

$$P_{\text{зміш}} = \prod_{k=1}^K \left(1 - \prod_{j=1}^{m_k} (1 - P_{kj}) \right) \prod_{i=1}^n P_i, \quad (3)$$

де K – кількість груп паралельно сполучених підсистем,

m_k – кількість паралельно сполучених підсистем у k -ій групі,

n – кількість послідовно сполучених підсистем,

P_{kj} – ймовірність того, що j -та підсистема у k -ій групі паралельно сполучених підсистем відповідає вимогам до надійності,

P_i – ймовірність того, що i -та послідовно сполучена підсистема відповідає вимогам до надійності.

Вищевикладене є основою для планування структурно-ієрархічного контролю, коли при плануванні вибіркового контролю партії виробів (систем) разом з накопиченою попередньою інформацією про надійність на кожному рівні враховуються і результати контролю підсистем і елементів.

Рішення цієї задачі пов'язане з визначенням величин ризиків споживача, яке дозволяє враховувати результати контролю нижчих структурно-ієрархічних рівнів при визначенні параметрів статистичних планів контролю вищих структурно-ієрархічних рівнів.

Для ймовірності помилки II роду справедливі наступні міркування. За своїм визначенням ця ймовірність є добутком ймовірностей двох подій:

партія виробів не відповідає вимогам до надійності;

за результатами випробувань партія, яка не відповідає вимогам до надійності, визнана такою, що відповідає вимогам до надійності.

Оскільки партії підсистем перед плануванням комплексних випробувань виробів (систем) вже прийняті за результатами автономних випробувань, то другий множник дорівнює одиниці. У такому випадку

$$\beta_i = 1 - P_i, \text{ або } P_i = 1 - \beta_i, \quad (4)$$

де β_i – величина ризику споживача, отримана за результатами автономних випробувань i -ої підсистеми;

P_i – ймовірність того, що i -та підсистема відповідає вимогам до надійності.

З урахуванням (1)-(4) співвідношення для обчислення помилки II роду (ризик споживача $\beta_{\text{ком}}$), яка буде отримана за результатами автономних випробувань підсистем і виробу (системи) в цілому, матимуть вигляд:

для виробу (системи) з послідовною структурою

$$\beta_{\text{ком}} = [1 - P_{\text{посл}}] \beta_{\text{сист}} = \left[1 - \prod_{i=1}^n (1 - \beta_i) \right] \beta_{\text{сист}}, \quad (5)$$

де $\beta_{\text{сист}}$ – величина ризику споживача, що буде отримана за результатами випробувань виробу (системи);

для виробу (системи) з паралельною структурою

$$\beta_{\text{ком}} = [1 - P_{\text{пар}}] \beta_{\text{сист}} = \left[\prod_{i=1}^n \beta_i \right] \beta_{\text{сист}}; \quad (6)$$

для виробу (системи) зі змішаною структурою

$$\beta_{\text{ком}} = [1 - P_{\text{зміш}}] \beta_{\text{сист}} = \left[1 - \prod_{k=1}^K \left(1 - \prod_{j=1}^{m_k} \beta_{kj} \right) \prod_{i=1}^n (1 - \beta_i) \right] \beta_{\text{сист}}. \quad (7)$$

Вочевидь, що вирази в квадратних дужках менше одиниці, тому проведення попереднього вибіркового контролю надійності елементів (підсистем) зменшує величину апостеріорного ризику споживача $\beta_{\text{ком}}$. Це дозволить пом'якшити вимоги до величини ризику споживача $\beta_{\text{сист}}$ при вибіркових випробуваннях виробу (системи) в цілому. Таким чином, проведення попереднього контролю партій підсистем дозволяє зменшити об'єм контролю (об'єм вибірки) виробів (систем).

Для прикладу проведений розрахунок об'ємів випробувань для наступних вихідних даних. Виріб одноразового застосування складається з 3 елементів. Структурна схема надійності цього виробу є послідовною. Об'єм партії виробів (елементів) $N=100$, допустимий рівень дефектності виробу $D=10$, задана величина ризику споживача за результатами комплексних випробувань $\beta_{\text{ком}}=0,2$. Допустимий рівень дефектності елементів $D_1=5$, $D_2=3$, $D_3=3$. Випробування елементів були безвідмовними.

Результати розрахунків наведені в таблиці 1. Отримані співвідношення є математичною моделлю комплексних вибіркового випробувань виробів одноразового застосування, яка узагальнює відомі модель випробувань при контролі надійності партій технічних об'єктів і, у частковому випадку, зводиться до неї.

Таблиця 1

Необхідний об'єм випробувань виробу для прийняття рішення про відповідність партії вимогам до надійності

Нижня межа одnobічного інтервалу апіорного розподілу показника надійності елементів	Об'єм попередньо проведених автономних випробувань елементів	Нижня межа одnobічного інтервалу апіорного розподілу показника надійності виробу			
		0	0,5	0,8	0,85
0	0	15	15	11	6
	10	14	14	11	6
	20	13	13	9	6
	30	11	11	7	6
	40	7	7	7	6
0,5	0	14	14	11	6
	10	14	14	11	6
	20	13	13	9	6
	30	11	11	7	6
	40	11	11	7	6

0,8	0	14	14	10	6
	10	14	14	10	6
	20	13	13	9	6
	30	11	11	7	6
	40	11	11	7	6
0,9	0	12	12	7	6
	10	12	12	7	6
	20	11	11	7	6
	30	7	7	7	6
	40	7	7	7	6

Висновки й перспективи подальших досліджень

На відміну від відомої моделі випробувань без урахування апріорної інформації про результати експлуатації виробів та результати автономних випробувань елементів виробів, розроблена математична модель описує процес комплексних вибіркового випробувань з урахуванням апріорної інформації про величини показників надійності виробів та їх елементів, накопиченої за даними попередньої експлуатації, та результатів автономних випробувань елементів.

Викладений методичний підхід є адаптивним до накопиченої попередньої інформації про надійність виробів і їх структурно-ієрархічних рівнів та до результатів автономного контролю

підсистем і елементів, які входять до складу виробів.

Проведений порівняльний аналіз обчислених за допомогою розроблених математичних моделей об'ємів випробувань з тими, що відповідають відомим методам, який підтверджує зменшення цих об'ємів. Величина цього зменшення тим суттєвіша, чим більш точною і достовірною є апріорна інформація про величину контрольованого показника надійності та більшим є об'єми попередньо проведених автономних випробувань.

Запропонований підхід може бути використаний при плануванні контрольних випробувань на надійність однотипних об'єктів великої вартості, наприклад зенітних керованих ракет.

Література

1. **Вентцель Е. С.** Теория вероятностей. / Вентцель Е. С. – М. : Высшая школа, 2001. – 575 с.
2. **Гречин А. Л.** Выборочное обследование качества продукции машиностроения и радиоэлектроники. / А. Л. Гречин, В.С. Зайчик – Минск : Наука и техника, 1986. – 240 с.
3. **Барлоу Р.** Статистическая теория надежности и испытания на безотказность. / Р. Барлоу, Ф. Прошан – М. : Наука, 1984. – 328 с.
4. **Северцев Н. А.** Надежность сложных систем в эксплуатации и обработке. / Северцев Н. А. – М. : Высшая школа, 1989. – 432 с.
5. **ДСТУ 2864-94.** Надійність техніки. Експериментальне оцінювання та контроль надійності. Основні положення. – К. : Держстандарт України, 1995. – 30 с.
6. **Надежность и эффективность в технике:** Справочник. В 10 т. / [Ред. совет: В.С. Авдеевский (пред.) и др.] – М. : Машиностроение, 1989. – Т.6: Экспериментальная отработка и испытания. – 376 с.
7. **Волков Л. И.** Статистический контроль иерархических систем. / Л. И. Волков, В. Б. Рудаков – М. : СИП РИА, 2002. – 360 с.
8. **Кобзев В. В.** Урахування апріорної інформації при визначенні об'ємів контрольних випробувань на надійність вибірки виробів одноразового застосування. / В. В. Кобзев // Сучасні інформаційні технології у сфері безпеки та оборони. – 2012. – вип. № 3(15), – С. 23–26.

ПЛАНИРОВАНИЕ КОМПЛЕКСНЫХ ВЫБОРОЧНЫХ ИСПЫТАНИЙ ИЗДЕЛИЙ ОДНОКРАТНОГО ПРИМЕНЕНИЯ НА НАДЕЖНОСТЬ С УЧЕТОМ АПРИОРНОЙ ИНФОРМАЦИИ

Владислав Владимирович Кобзев (канд. техн. наук, с.н.с., начальник научно-исследовательского отдела)¹
Павел Викторович Опенько (канд. техн. наук, старший научный сотрудник научно-исследовательской лаборатории)²
Павел Анатольевич Дранник (канд. воен. наук, с.н.с., доцент кафедры)²
Юрий Максимович Косков (старший научный сотрудник научно-исследовательской лаборатории)²

¹*Харьковский университет Воздушных Сил имени Ивана Кожедуба, Харьков, Украина*
²*Национальный университет обороны Украины имени Ивана Черняховского, Киев, Украина*

Определены задачи планирования структурно-иерархического выборочного контроля надежности изделий одноразового применения. Предложен подход к учету результатов эксплуатации однотипных изделий, их составных частей и элементов, а также результатов автономных испытаний элементов при планировании комплексных выборочных испытаний изделий одноразового применения на надежность. Разработана математическая модель комплексных выборочных испытаний на надежность изделий одноразового применения. Данная математическая модель базируется на использовании байесовского подхода к учету априорной информации о величине показателей

надежности для разных вариантов структурного построения изделий. Результаты проведенных расчетов свидетельствуют о возможности уменьшения объемов испытаний, что обуславливает целесообразность использования разработанных предложений при определении параметров планов выборочных испытаний изделий одноразового применения. Изложенный подход рекомендован к использованию при планировании контрольных испытаний на надежность однотипных объектов большой стоимости.

Ключевые слова: выборочные испытания на надежность, риск потребителя, показатель надежности.

PLANNING COMPLEX RELIABILITY SAMPLE TESTS OF DISPOSABLE WARES TAKING INTO ACCOUNT PRIORI INFORMATION

Vladyslav V. Kobziev (Candidate of Technical Sciences, Senior Research Fellow, Chief of a Research Section)¹

Pavlo V. Openko (Candidate of Technical Sciences, Senior Research Fellow of a Research Laboratory)²

Pavlo A. Drannyk (Candidate of Military Sciences, Senior Research Fellow, Associate Professor of a Department)²

Yurii M. Koskov (Senior Research Fellow of a Research Laboratory)²

¹*Kharkiv University of Air Force named after Ivan Kozhedub, Kharkiv, Ukraine*

²*National Defence University of Ukraine named after Ivan Cherniakhovsky, Kyiv, Ukraine*

The planning tasks of structural and hierarchical sample reliability tests of disposable using ware are defined. The approach to consideration of the same type ware and their components operation results and the elements tests results while planning complex sample reliability tests of disposable using ware is given. The mathematical model of complex sample reliability tests of disposable using ware is developed. The mathematical model allows to define the test plan parameters and is based on Bayes approach application to priori information consideration about reliability indexes for different of ware structure. The calculations results indicate the possibility of sample size decrease, and so, the developed proposition use is advisable. The given approach is recommended for use while planning reliability tests of the same type ware with high value.

Keywords: reliability sample tests, risk of a consumer, a reliability index.

References

1. **Wentzel, E.S.** (2001), Probability theory. [Teorija veroyatnostej], Vysshaya shkola, Moscow, 575 p.
2. **Greczyn A.L., Zajchik V.S.** (1986), Sample survey of quality of engineering products and electronics. [Vyborochnoe obsledovanie kachestva produkcii mashinostroeniya i radioelektroniki], Nauka i tehnika, Minsk, 240 p.
3. **Barlow, R., Proschan, F.** (1984), Statistical theory of reliability and test reliability. [Statisticheskaya teorija nadezhnosti i ispytaniya na bezotkaznost'], Nauka, Moscow, 328 p.
4. **Severtsev, N.A.** (1989), Reliability of complex systems in operation and testing. [Nadezhnost' slozhnykh sistem v jekspluatatsii i otrabotke.], Vysshaya shkola, Moscow, 432 p.
5. **GOST 2864-94.**, (1995), Reliability engineering. Experimental evaluation and control reliability. Guideline. [DSTU 2864-94. Nadiinist tekhniky. Eksperimentalne otsiniuvannya ta kontrol nadiinosti. Osnovni polozhennia], Derzhstandart Ukrain, Kyiv, 30 p.
6. **Reliability and efficiency in engineering** : Handbook. In 10 t., (1989), / [Ed. Hint: V.S. Avduevskii (last), etc.], [Nadezhnost' i jeffektivnost' v tekhnike: Spravochnik. V 10 t. T.6: Jeksperimental'naja otrabotka i ispytaniya], Tom 6 Eksperimental'naya otrabotka i ispytaniya, Mashinostroenie, Moscow, 376 p.
7. **Volkov, L.I., Rudakov V.B.** (2002), Statistical control of hierarchical systems. [Statisticheskij kontrol' ierarhicheskikh sistem], SIP RIA, Moscow, 360 p.
8. **Kobzev, V.** (2012), Prior information accounting to determine the inspections number of reliability tests disposable products sample. [Urakhuvannya apriornoj informatsii pry vyznachenni ob'iemiv kontrolnykh vyprobuvan na nadiinist vybirky vyrobiv odnorazovoho zastosuvannya], Suchasni informatsiini tekhnologii u sferi bezpeky ta oborony, Kyiv, No. 3 (15), pp. 23–26.

V.V. Kobziev: vladiskob@mail.ru **P.V. Openko:** pavel.openko@mail.ru **P.A. Drannyk:** pavchyc@rambler.ru

Y.M. Koskov: koskov@i.ua

Отримано: 27.06.2014 p.