

УДК 623.4.017

DOI: [https://doi.org/1034169/2414-0651.2022.4\(36\).98-105](https://doi.org/1034169/2414-0651.2022.4(36).98-105)

Б. М. ЛАНЕЦЬКИЙ, доктор технічних наук,
професор
<https://orcid.org/0000-0001-5889-0307>

І. В. КОВАЛЬ, кандидат технічних наук,
<https://orcid.org/0000-0002-4837-7435>

В. В. ЛУК'ЯНЧУК, доктор технічних наук,
старший науковий співробітник,
<https://orcid.org/0000-0001-5695-7723>

С. В. СЕЛЕЗНЬОВ, кандидат технічних наук
<https://orcid.org/0000-0003-1910-3555>

В. П. ПОПОВ
<https://orcid.org/0000-0002-4352-7158>
(Харківський національний університет Повітря-
них Сил імені Івана Кожедуба, м. Харків)

МОДЕЛЬ ФОРМУВАННЯ ДАНИХ БАГАТОКРАТНО ЦЕНЗУРОВАНИХ ВИБІРОК ЗА РЕЗУЛЬТАТАМИ ЕКСПЛУАТАЦІЙНИХ ВИПРОБУВАНЬ БЕЗПЕРЕВІРОЧНИХ ЗЕНІТНИХ КЕРОВАНИХ РАКЕТ НА ЗБЕРЕЖУВАНІСТЬ

У статті показано важливість і актуальність проблеми формування даних для оцінювання безвідмовності та збережуваності зенітних керованих ракет при експлуатаційних випробуваннях. Розглянута модель процесу формування даних багатократно цензурованих вибірок при регулярно виконуваних вибіркових періодичних контролях технічного стану в процесі проведення робіт з продовження призначених показників зенітних керованих ракет. Ця модель дозволяє формувати вихідні дані за результатами експлуатаційних випробувань (спостережень) безперевірочних зенітних керованих ракет у вигляді багатократно цензурованих вибірок з метою коректного застосування методів статистичної обробки для подальшого оцінювання показників надійності зенітних керованих ракет.

Ключові слова: експлуатаційні випробування, багатократно цензуровані вибірки, залишкова збережуваність, процес формування даних, вироби різних вікових груп.

ВСТУП

На озброєнні Повітряних Сил Збройних Сил України є зенітні керовані ракети (ЗКР) різних типів, які тривалий час знаходяться у режимі зберігання. Більша частина цих зенітних керованих ракет є безперевірочними, тобто для них не передбачений суцільний контроль технічного стану, технічне обслуговування та ремонт в процесі експлуатації. Відповідно до типової моделі експлуатації вони можуть знаходитися в режимах зберігання, очікування до використання та використання за призначенням. Тому, з точки зору надійності такі ЗКР характеризуються безвідмовністю та збережуваністю [1]. Для управління їх експлуатацією передбачені вибіркові періодичні контролю працездатного стану бортового обладнання та інших складових частин і роботи з продовження їх призначених показників (ПП). При цьому роботи з продовження повинні бути завершені до закінчення призначеного терміну служби ЗКР з встановленням нових значень ПП. Для встановлення нових значень ПП ЗКР в цілому та їхніх складових частин необхідно оцінювати і прогнозувати їх показники залишкової збережуваності на період, що продовжується. Оцінювання цих показників надійності можливо за результатами випробувань на збережуваність за типовими планами випробувань, для яких відпрацьовані статистичні моделі [2]. Найбільш відпрацьованими є моделі для оцінювання за планами випробувань [NUN] для повних вибірок та за планами [NUT], [NUT], {NUT} для однократно цензурованих вибірок. Для отримання вихідних даних щодо оцінювання показників залишкової збережуваності ЗКР за відповідними планами необхідно організовувати експлуатаційні випробування (ЕВ). Спеціально організовані ЕВ ЗКР є досить витратними, тому їх кількість при організації робіт з продовження ПП доцільно скорочувати. В експлуатації, як правило, знаходяться ЗКР різних партій, які серійно виготовлені у різні роки за однією відпрацьованою технологією. Роботи з продовження ПП організовуються на лідерних ЗКР різних партій, для яких з встановленою періодичністю проводиться вибірковий контроль технічного стану ЗКР в цілому та їхніх складових частин. В результаті такого контролю формуються реалізації тривалостей зберігання виробів різних партій до відмов або до цензурування. Отримані результати таких ЕВ не відповідають реалізаціям за планами випробувань, які наведені вище. Оцінювання показників збережуваності ЗКР за цими планами призводить до помилок в оцінюванні їх показників, що в свою чергу, може привести до неправильних рішень в управлінні експлуатацією. Тому актуальним є розробка спеціальних моделей та методів обробки такої інформації по вибірках лідерних ЗКР різних партій.

АНАЛІЗ ОСТАННІХ ДОСЛІДЖЕНЬ І ПУБЛІКАЦІЙ

До дослідників, які займаються експлуатаційною надійністю ЗКР, інформація, як правило, поступає у вигляді цензурованих вибірок. Тому в сучасній науковій літературі існує багато публікацій щодо досліджень, які пов'язані з поданням експериментальних даних у вигляді цензурованих вибірок. Так в [3] розглядаються критерії

розподілу багаторазових прискорених випробувань на довговічність для розробки узагальненої параметричної моделі при даних цензурованої вибірки типу I, наводяться моделі оцінки параметрів методом максимальної правдоподібності. В [4] розглядається оцінювання параметрів функції надійності методом максимальної правдоподібності при спостереженнях, які представляють собою вибірки цензуровані праворуч. Метод, який пропонується, покращує оцінки параметрів розподілу Вейбула. Робота [5] присвячена аналізу надійності систем, які ремонтуються, в умовах наявності інформації про відмови у вигляді цензурованих вибірок типу I і II. В статті розробляється методика і моделі довговічності для систем, що ремонтуються, за вихідними даними при багатократно цензурованих вибірках. Співвідношення для оцінок отримуються методом максимальної правдоподібності. Ці моделі пропонується застосовувати при оцінці показників довговічності виробів, в тому числі, залишкового терміну служби систем. В [6] розглядається проблема оцінювання показників довговічності виробів, за даними цензурованих вибірок типу I і II. Розробляється модель оцінки надійності з урахуванням невизначеності, яка обумовлена цензуруванням. Запропонований метод дозволяє отримати більш точні оцінки середньої тривалості зберігання до відмови при цензурованих даних у порівнянні з відомими методами. В [7–11] для оцінювання показників збережуваності використовують плани випробувань $[NUT]$, $[NUR]$ для однократно цензурованих вибірок, при цьому тривалості зберігання виробів до відмови передбачаються відомими. В [12] досліджується модель гібридної цензури типу I з вибірками для конкретної системи з послідовною структурою надійності, в [13] розробляються процедури перевірки гіпотез про відповідність якості продукції потрібному рівню для прогресивної цензурованої вибірки типу I. Ці моделі [12, 13] можливо застосовувати тільки для однократно цензурованих вибірок виробів з безперервним контролем технічного стану.

В розглянутих роботах [3–13] моделі формування даних багатократно цензурованих вибірок (БЦВ) не розглядаються, проте припускається, що цензуровані вибірки є сформованими. Розробка моделей і методів оцінювання показників надійності здійснюється, як правило, для однократно цензурованих вибірок, в припущенні наявності інформації щодо тривалості наробітку до відмови кожного виробу, а також в припущенні того, що працездатні вироби не знімаються з випробувань.

Метою статті є розробка моделі формування даних багатократно цензурованих вибірок за результатами експлуатаційних випробувань безперевірочних ЗКР на збережуваність для подальшого оцінювання їх показників збережуваності.

РЕЗУЛЬТАТИ ДОСЛІДЖЕНЬ

В процесі проведення робіт з продовження ПП ЗКР періодично проводиться контроль технічного стану (КТС) на вибірках виробів різних партій. При цьому інформація про їх технічний стан отримується у вигляді інтервалів спостережень. Високий рівень збережуваності ЗКР не дозволяє за певний період їх експлуатації довести всі ЗКР

до відмови. Тому оцінювання показників збережуваності ЗКР до настання відмов усіх випробовуваних виробів – типова ситуація при керуванні їх надійністю та (або) експлуатацією.

Експлуатаційні випробування ЗКР при зберіганні можливо представити планом випробувань $[[NU(T_1, n_1), (T_2, n_2), \dots, (T_{j-1}, n_{j-1}), T_j]]$, відповідно до якого одночасно випробовують N ЗКР. При цьому ЗКР, які відмовили під час випробувань, не відновлюють і не замінюють. Випробування припиняють по досягненні часу T_j . При досягненні тривалості зберігання T_j з випробувань знімають n_j ЗКР, що не відмовили, якщо кількість працездатних виробів в кінці j -го інтервалу більше n_j . В протилежному випадку випробування припиняють. При проведенні ЕВ (спостережень) на надійність відповідно до цього плану за результатами періодичного контролю технічного стану (КТС) відомо, що до певного моменту тривалості зберігання T_j частина виробів перебуває в працездатному стані, а інша частина – у непрацездатному стані. При цьому реалізації тривалостей зберігання ЗКР є цензурованими вибірками. У загальному випадку вибірковий періодичний КТС для частини ЗКР може бути не руйнуючим, а для іншої частини – руйнуючим, що обумовлене їх пусками (контрольно-льотними випробуваннями, вогневыми стендовими випробуваннями тощо). За цими та іншими причинами для j -го періоду КТС $[T_{j-1}, T_j]$ виділяють ЗКР, що відмовили (у кількості r_j) та зняті з випробувань у працездатному стані у кількості n_j в кінці j -го інтервалу. Дані таких вибірок характеризуються більшим ступенем невизначеності інформації, ніж при повній вибірці, або при цензурованих вибірках при планах випробувань $[NUT]$, $[NUR]$, $\{NUT\}$, $[NU(T_1, n_1), (T_2, n_2), \dots, (T_{j-1}, n_{j-1}), T_j]$.

Нижче розглянуто процес формування даних БЦВ за результатами ЕВ ЗКР на збережуваність і їх структуру (рис. 1). У якості механізму генерації тривалостей зберігання виробів до відмови розглядається класичний для завдань прикладної статистики механізм, що припускає наявність вектора N випадкових величин $X_1, X_2, \dots, X_N$ (досліджуваних змінних) з функцією розподілу $F(x)$ (блок 2). Дані, що генеруються, є незалежними реалізаціями $x_1, x_2, \dots, x_n$. Іншою складовою моделі формування даних цензурованих вибірок є модель генерації цензур (T_j, n_j) (блок 1) та модель взаємодії цензур $(T_j, n_j$ і даних $x_1, x_2, \dots, x_n$ (блок 3).

Сукупність цих трьох складових визначає специфіку процесу формування даних ЕВ ЗКР за планом $[[NU(T_j, n_j), T_j]]$ (рис. 1). Модель формування цензур (блок 1) детермінована і містить сплановані відповідно до періоду T_k моменти проведення КТС T_j , а також зняті з ЕВ у кількості n_j працездатні ЗКР. У результаті впливу цензур (T_j, n_j) на дані x_i відповідно до моделі взаємодії (блок 3) формується результуючий процес у вигляді даних БЦВ (блок 4, рис. 1). Дані БЦВ є умовними і неповними реалізаціями. Для наочності на рис. 2 наведені схема ЕВ вибірки ЗКР (рис. 2,а), діаграма реалізацій (рис. 2,б) та ранжирувана діаграма реалізацій (рис. 2,в) при плані випробувань $[[13U(T, 1), j = 1, \bar{J}, T_5]]$.

Значення умовних реалізацій ($\rightarrow$) (рис. 2,б) визначаються тривалостями безвідмовного зберігання ЗКР до

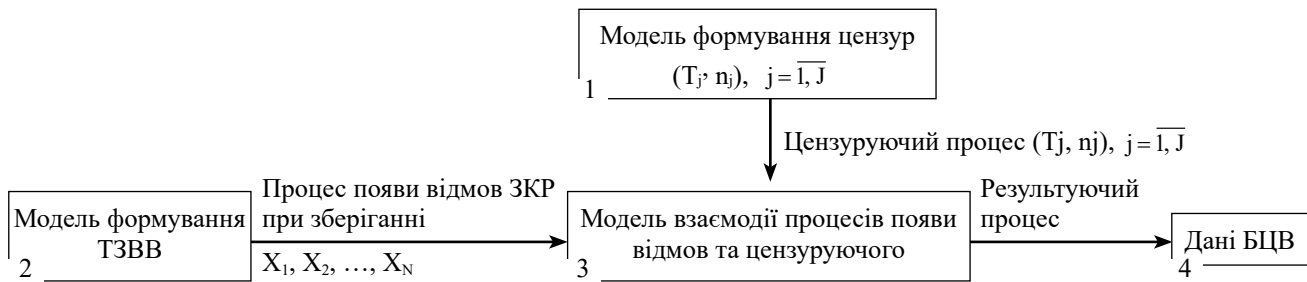


Рис. 1. Модель формування даних багатократно цензурованих вибірок ЗКР при плані експлуатаційних випробувань $[[NU(T_j, n_j), T_j]]$

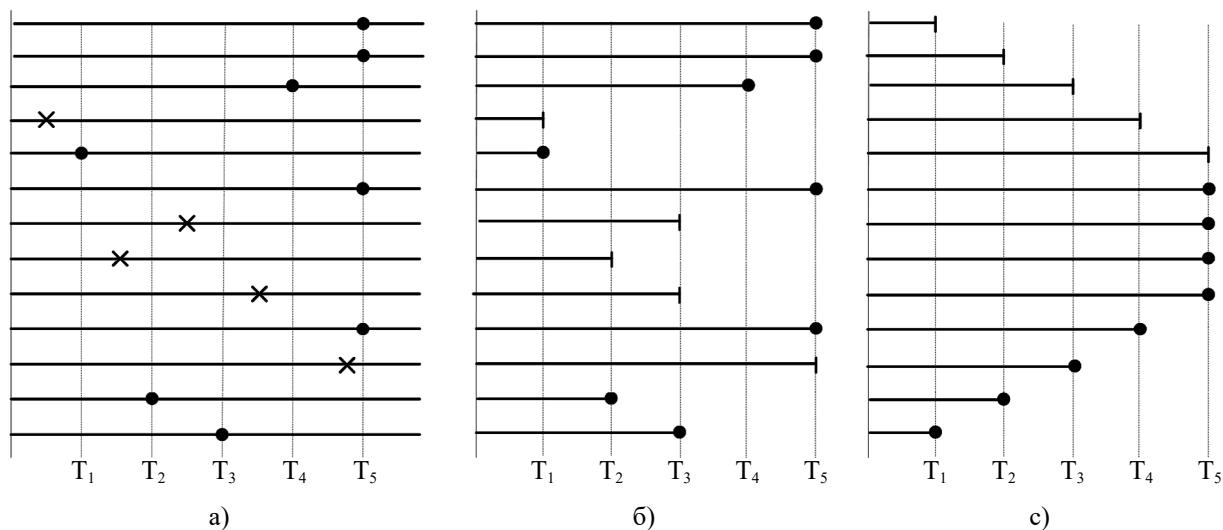


Рис. 2. Графічне подання даних БЦВ вибірки з 13 ЗКР при плані випробувань $[[13U(T_j, 1), j = \overline{1, J}, T_5]]$: а) схема процесу випробувань, б) діаграма реалізацій, в) ранжирувана діаграма реалізацій

моменту КТС, при якому виявлені їхні відмови. Значення неповних реалізацій (—●) визначаються тривалостями безвідмовного зберігання кожної з випробовуваних ЗКР до моменту завершення останнього КТС. При цьому дані БЦВ виходять згрупованими по інтервалах КТС $[T_{j-1}, T_j]$, $j = 1, 2, \dots, 5$.

Ранжирувана діаграма реалізацій (рис. 2, в) є результатом процесом моделі формування даних БЦВ ЗКР при плані випробувань $[[13U(T_j, 1), j = \overline{1, J}, T_5]]$. Діаграма реалізацій та ранжирувана діаграма, як графічний аналог варіаційного ряду, є найпростішими формами подання експериментальних даних. У класифікації [9, 10, 14] ці дані відносяться до прогресивної цензурованої вибірки типу I.

Для оцінювання показників збережуваності ЗКР згідно програми робіт з продовження ПП, формуються вибірки ЗКР з різних партій (далі – ЗКР різних вікових груп), упорядковані за календарною тривалістю зберігання при експлуатації, починаючи з моменту введення в експлуатацію (рис. 3, а).

На рис. 3 введені наступні позначення:

- $T_{0\ell}$ – момент введення в експлуатацію ЗКР ℓ -ї вікової групи;
- $T_{\ell j}$ – момент j -го КТС ЗКР ℓ -ї вікової групи, $j = \overline{1, J}$;
- $[T_{j-1}, T_j]$ – j -й часовий інтервал спостереження (зберігання) вибірки виробів ℓ -ї вікової групи, $j = \overline{1, J}$;

– J – кількість вікових груп ЗКР;

– $T_{\ell j} - T_{\ell j-1} = T_k$ – період КТС виробів вибірки;

– $N_{\ell j}$ – число працездатних ЗКР ℓ -ї вікової групи на момент початку j -го часового інтервалу або число ЗКР ℓ -ї вікової групи, спостережуваних (випробовуваних) в j -му часовому інтервалі.

Приведені до єдиного моменту початку зберігання T_0 вибірки ЗКР різних вікових груп (рис. 3, б) утворюють J часових інтервалів спостережень $[T_{j-1}, T_j]$ з кількістю N_j ЗКР в j -му інтервалі.

Результати ЕВ вибірок ЗКР L вікових груп протягом J часових інтервалів при $J > L$ (рис. 3, б) можна представити двома прямокутними матрицями $||r_{\ell j}||$ і $||n_{\ell j}||$ розмірності $L \times J$ (рис. 4).

Елемент $r_{\ell j}$ матриці $||r_{\ell j}||$ характеризує число виробів ℓ -ї вікової групи, що відмовили в j -му часовому інтервалі $[T_{j-1}, T_j]$. Елемент $n_{\ell j}$ матриці $||n_{\ell j}||$ характеризує число цензурованих праворуч ЗКР ℓ -ї вікової групи на момент j -го КТС T_j .

Елементи ℓ -го рядка $r_{\ell j}$, матриці $||r_{\ell j}||$ є часовим рядом числа ЗКР, що відмовили, ℓ -ї вікової групи за $J - L + \ell$ періодів КТС. Елементи j -го стовпця $r_{\ell j}$, $\ell = \overline{1, L}$ цієї матриці характеризують розподіл числа ЗКР, що відмовили, по L віковим групах в j -му часовому інтервалі.

Елементи $r_{1L}, r_{2L+1}, \dots, r_{LL}$ матриці $||r_{\ell j}||$ характеризують число виробів, що відмовили, по кожній віковій

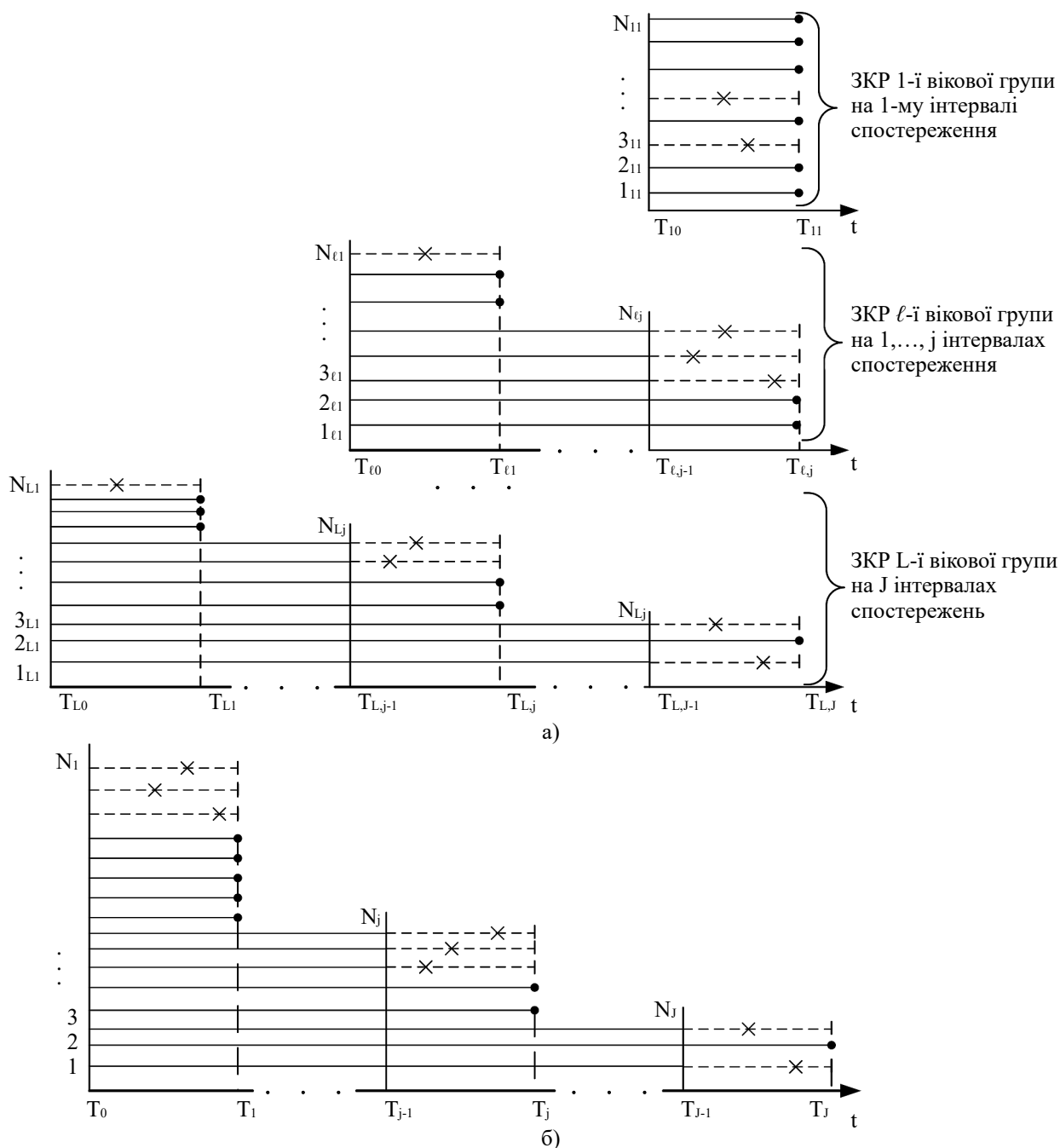


Рис. 3. Схема процесу експлуатаційних випробувань (спостережень) вибірок ЗКР L вікових груп, при стратегії випробувань $[[NU(T_j, n_j), T_j]]$: а) вихідна схема ЕВ вибірок ЗКР L вікових груп на j -х інтервалах спостережень, $j = \overline{1, J}$; б) приведена до єдиного моменту T_0 початку спостережень схема ЕВ вибірок ЗКР L вікових груп, згрупованих по J інтервалах спостережень

групі як результати поточного (останнього) КТС виробів L вікових груп. Відповідні елементи, розміщені ліворуч вище зазначених, характеризують число виробів, що відмовили за кожний період КТС, що передуює поточному, а незаповнені елементи, розміщені праворуч, – відповідні результати контролю ЗКР за наступні періоди.

Елементи ℓ -го рядка $n_{\ell j}$, $j = \overline{1, L + \ell}$ матриці $\|n_{\ell j}\|$ є часовим рядом числа цензурованих праворуч ЗКР ℓ -ї вікової групи за $J - L + \ell$ періодів КТС. Елементи j -го стовпця $n_{\ell j}$, $\ell = \overline{1, L}$ цієї матриці характеризують розподіл числа цензурованих праворуч виробів за L віковими групами на момент j -го КТС.

Елементи $n_{1,L}$, $n_{2,L+1}$, ..., $n_{L,J}$ матриці $\|n_{\ell j}\|$ характеризують число ЗКР, що не відмовили, яке встановлене за результатами поточного (останнього) КТС виробів L вікових груп. Відповідні елементи, розміщені ліворуч вищезазначених, характеризують число ЗКР, що не відмовили, за кожен період КТС, який передуює поточному, а незаповнені елементи, які розміщені праворуч, – відповідні результати КТС ЗКР за наступні періоди.

При $J = L$ (число інтервалів групування дорівнює числу вікових груп) ці матриці перетворюються до нижніх трикутних, а елементи їх головних діагоналей ($r_{\ell j}$ і $n_{\ell j}$ при $\ell = j$) характеризують результати поточного КТС (останнього дослідження) виробів L вікових груп.

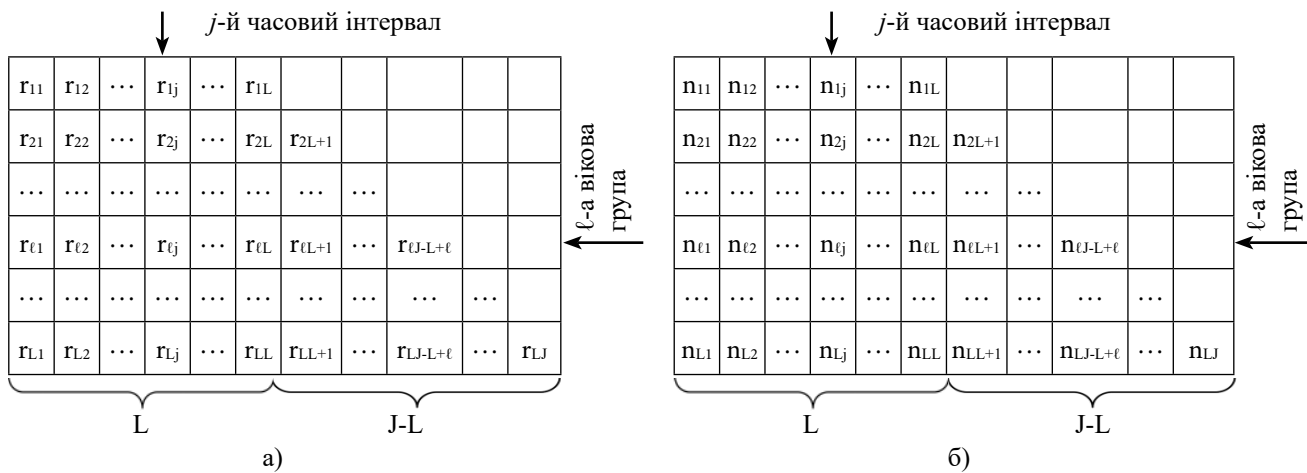


Рис. 4. Матриці результатів ЕВ вибірок ЗКР L вікових груп протягом J часових інтервалів при стратегії випробувань $[[NU(T_j, n_j), T_j]]$: а) матриця $\|r_{\ell j}\|$, що характеризує кількість ЗКР, які відмовили; б) матриця $\|n_{\ell j}\|$, яка характеризує кількість цензурованих праворуч ЗКР

Таке подання результатів ЕВ (спостережень) (рис. 3, 4) дозволяє записати наступні співвідношення між визначеними вище величинами. Так, число виробів $N_{\ell j}$ ℓ -ї вікової групи, які спостерігаються в j -му часовому інтервалі, знаходимо за відомими елементами $\|r_{\ell j}\|$ та $\|n_{\ell j}\|$ вихідних матриць (рис.4):

$$N_{\ell j} = r_{\ell j} + n_{\ell j}. \quad (1)$$

Тоді число виробів N_j , які спостерігаються в j -му часовому інтервалі, визначимо за відомими $N_{\ell j}$

$$N_j = \sum_{\ell=1}^L N_{\ell j}, \quad j = \overline{1, J}. \quad (2)$$

Кількість виробів L вікових груп, що відмовили, в j -му часовому інтервалі (або число умовних реалізацій за j -й часовий інтервал) визначимо за відомими елементами $r_{\ell j}$

$$r_j = \sum_{\ell=1}^L r_{\ell j}. \quad (3)$$

Кількість цензурованих праворуч ЗКР L вікових груп на момент T_j завершення j -го КТС (або число неповних реалізацій за j -й часовий інтервал) визначимо за відомими елементами $n_{\ell j}$

$$n_j = \sum_{\ell=1}^L n_{\ell j}. \quad (4)$$

По відомих величинах r_{j-1} і n_{j-1} можна визначити кількість виробів, спостережуваних в j -му часовому інтервалі

$$N_j = N_{j-1} - (r_{j-1} + n_{j-1}) \quad (5)$$

або

$$N_j = N - \sum_{i=0}^{j-1} (r_i + n_i). \quad (6)$$

Розглянуті вище схеми (рис. 3, 4) і співвідношення (1)–(6) представляють собою модель процесу формування БЦВ при регулярно виконуваних періодичних КТС ЗКР і можуть використовуватися далі при розробці моделей оцінювання показників збережуваності ЗКР.

При цьому дослідник за первинною інформацією щодо надійності по кожній ЗКР, які подані у картках «універсальних носіїв статистичної інформації» у відповідності з розробленою моделлю формує матрицю результатів ЕВ (спостережень) за вибірками ЗКР спостережуваних партій. Далі ці дані з використанням співвідношень (1)–(6) використовуються у відповідних моделях оцінювання показників збережуваності.

Міра адекватності розробленої моделі та діюча система збирання вихідної інформації про надійність безперевірочних ЗКР є значимим фактором, що визначає ефективність та достовірність використовуваних потім методів статистичної обробки.

ВИСНОВКИ

Дослідникам, які займаються аналізом експлуатаційної надійності ЗКР, інформація, як правило, поступає у вигляді БЦВ. Це приводить до необхідності використання спеціальних методів її обробки. В роботі розглянутий один з аспектів проблеми оцінювання показників збережуваності ЗКР – дослідження моделей формування даних БЦВ за результатами експлуатаційних випробувань вибірок безперевірочних ЗКР лідерних партій на збережуваність.

Модель формування даних БЦВ представляє собою схему процесу ЕВ (спостережень) вибірок ЗКР різних вікових груп, результати ЕВ цих вибірок, які представлені у матричному вигляді, а також співвідношення (1)–(6), що отримані у відповідності до розроблених схем.

Розроблена модель дозволяє обробляти вихідні дані за результатами ЕВ (спостережень) безперевірочних ЗКР у вигляді багаторазово цензурованих вибірок з метою коректного застосування методів статистичної обробки та подальшого оцінювання показників надійності ЗКР.

СПИСОК ПОСИЛАНЬ

1. Ланецький Б.М., Коваль І.В., Попов В.П. Метод оцінювання показників збережуваності бортового обладнання зенітних керованих ракет для вирішення завдань продовження їх призначених показників. Наука і техніка Повітряних Сил Збройних Сил України. Харків: ХУПС імені Івана Кожедуба. 2019. № 2(35). С. 119–125. <https://doi.org/10.30748/nitps.2019.35.15>.
2. Ланецький Б.М., Коваль І.В., Попов В.П., Гриневич В.І. Метод оцінювання показників збережуваності бортового обладнання зенітних керованих ракет при періодичному контролі їх працездатності. Озброєння та військова техніка. Київ: ЦНДІ ОБТ ЗСУ. 2020. № 2(26). С. 59–64. [https://doi.org/1034169/2414-0651.2020.2\(26\).59-64](https://doi.org/1034169/2414-0651.2020.2(26).59-64)
3. A.M. Abd El-Raheem (2021). Optimal design of multiple constant-stress accelerated life testing for the extension of the exponential distribution under type-II censoring. J. of Computational and Applied Mathematics. Vol. 382. 113094. <https://doi.org/10.1016/j.cam.2020.113094>.
4. James, K. Starling, Christina Mastrangelo & Youngjun Choe (2021). Improving Weibull distribution estimation for generalized Type I censored data using modified SMOTE. Reliability Engineering & System Safety. Vol. 211. 107505. <https://doi.org/10.1016/j.res.2021.107505>.
5. Garima Sharma & Rajiv Nandan Rai (2021). Failure modes based censored data analysis for repairable systems and its industrial perspective. Computers & Industrial Engineering. Vol. 158. 107439. <https://doi.org/10.1016/j.cie.2021>.
6. Xiao-YangLi, Wen-Bin Chen, Fang-Rong Li & Rui Kanga (2021). Reliability evaluation with limited and censored time-to-failure data based on uncertainty distributions. Applied Mathematical Modelling. Vol. 94. <https://doi.org/10.1016/j.apm.2021.01.029>.
7. Захаров О.Г. Оценка показателей сохраняемости цифровых устройств релейной защиты. СТА. № 2. 2013. С. 22. [Электронный ресурс] – Режим доступа: <http://www.energoboard.ru/articles/2343-otsenka-pokazateley-sohranyaemosti-tsifrovih-ustroystv-releynoy-zashchiti.html>.
8. Mikhailov, V.S. (2019). Estimation of the gamma-percentile life for the binomial test plan. Dependability. Vol. 19. No 2. P. 18. <https://doi.org/10.21683/1729-2646-2019-19-2-18-21>.
9. Судаков Р.С. Тескин О.І. Надежность и эффективность в технике. Справочник в десяти томах. Т. 6: Экспериментальная отработка и испытания. М.: Машиностроение. 1989. 376 с.
10. Скрипник В.М., Назин А.Е., Приходько Ю.Г., Благовещенский Ю.Н. Анализ надежности технических систем по цензурированным выборкам. М.: Радио и связь. 1988. 184 с.
11. Аронов И.З., Бурдасов Е.И. Оценка надежности по результатам сокращенных испытаний. М.: Изд-во стандартов. 1987. 184 с.
12. Gorny, J. & Cramer, E. (2020). Tyre-I hybrid censoring of multiple samples. J. of Computational and Applied Mathematics. Vol. 366. Pp.87–98.
13. Shu-Fei Wu & Ya-Ting Hsieh. (2019). The assessment of the lifetime performance index of products with Gompertz distribution based on the progressive type I interval censored sample. J. of Computational and Applied Mathematics. Vol. 351. Pp. 66–76.
14. Беляев Ю.К. Надежность технических систем: Справочник. Под ред. Ушакова И.А. М.: Радио и связь. 1985. 608 с.

REFERENCES

1. Lanetskyi, B.M., Koval, I.V. & Popov, V.P. (2019), "Metod otsiniuvannia pokaznykiv zberezhuvanosti bortovoho obladnannia zenitnykh kerovanykh raket dlia vyrishennia zavdan prodovzhennia yikh pryznachenykh pokaznykiv" [Method for estimating the storage measures of the airborne equipment of the surface-to-air guided missiles for solving the problems of extending their assigned measures], Science and technology of the Air Forces of Ukraine. No. 2 (35). Pp. 119–125. <https://doi.org/10.30748/nitps.2019.35.15>.
2. Lanetskyi, B.M., Koval, I.V., Popov, V.P. & Grinevich, V.I. (2020), "Metod otsiniuvannia pokaznykiv zberezhuvanosti bortovoho obladnannia zenitnykh kerovanykh raket pry periodychnomu kontroli yikh pratsездatnosti" [Method for estimating the storage measures of the airborne equipment of the surface-to-air guided missiles at periodic control of their working capacity], Weapons and military equipment. No 2(26). Pp. 59–64. [https://doi.org/1034169/2414-0651.2020.2\(26\).59-64](https://doi.org/1034169/2414-0651.2020.2(26).59-64).
3. A.M. Abd El-Raheem (2021). Optimal design of multiple constant-stress accelerated life testing for the extension of the exponential distribution under type-II censoring. J. of Computational and Applied Mathematics. Vol. 382. 113094. <https://doi.org/10.1016/j.cam.2020.113094>.
4. James, K. Starling, Christina Mastrangelo & Youngjun Choe (2021). Improving Weibull distribution estimation for generalized Type I censored data using modified SMOTE. Reliability Engineering & System Safety. Vol. 211. 107505. <https://doi.org/10.1016/j.res.2021.107505>.
5. Garima Sharma & Rajiv Nandan Rai (2021). Failure modes based censored data analysis for repairable systems and its industrial perspective. Computers & Industrial Engineering. Vol. 158. 107439. <https://doi.org/10.1016/j.cie.2021>.
6. Xiao-YangLi, Wen-Bin Chen, Fang-Rong Li & Rui Kanga (2021). Reliability evaluation with limited and censored time-to-failure data based on uncertainty distributions. Applied Mathematical Modelling. Vol. 94. <https://doi.org/10.1016/j.apm.2021.01.029>.
7. Zakharov, O.H. (2013), "Otsenka pokazateley sokhraniyaemosti tsyfrovikh ustroystv releynoi zashchity" [Evaluation of indicators of persistence of digital relay protection devices], STA. No 2. P. 22. Available at: <http://www.energoboard.ru/articles/2343-otsenka-pokazateley-sohranyaemosti-tsifrovih-ustroystv-releynoy-zashchiti.html>.
8. Mikhailov, V.S. (2019). Estimation of the gamma-percentile life for the binomial test plan. Dependability. Vol. 19. No 2. P. 18. <https://doi.org/10.21683/1729-2646-2019-19-2-18-21>.
9. Sudakov, R.S. & Teskin, O.I. (1989), "Nadezhnost i effektivnost v tehnikе. Spravochnik v desiati tomah" T. 6: Eksperimentalnaia otrabotka i ispytaniia [Reliability and efficiency in engineering. A guide in ten volumes. Vol. 6:

- Experimental testing and testing], Mechanical engineering. M. 376 p.
10. Skrypnyk, V.M., Nazyn, A.E., Prykhodko, Yu.H. & Blahoveshchenskyi, Yu.N. (1988), "Analiz nadezhnosti tekhnicheskikh sistem po tsenzurovannym vyborkam" [Analysis of the reliability of technical systems using censored samples], *Radyo y svyaz*, M. 1988. 184 p.
 11. Aronov, I.Z. & Burdasov, Ye.I. (1987), "Otsenka nadezhnosti po rezul'tatam sokrashchennykh ispytaniy" [Evaluation of reliability based on the results of abbreviated tests], *Izd-vo standartov*. M. 1987. 184 p.
 12. Gorny, J. & Cramer, E. (2020). Tyre-I hybrid censoring of multiple samples. *J. of Computational and Applied Mathematics*. Vol. 366. Pp.87–98.
 13. Shu-Fei Wu & Ya-Ting Hsieh. (2019). The assessment of the lifetime performance index of products with Gompertz distribution based on the progressive type I interval censored sample. *J. of Computational and Applied Mathematics*. Vol. 351. Pp. 66–76.
 14. Belyayev, Yu.K. (1985), "Nadezhnost' tekhnicheskikh sistem: Spravochnik" [Reliability of technical systems: Handbook], *Radio i svyaz*. M. 608 p.

**Lanetskii B., Koval I., Lukianchuk V.,
Seleznov S., Popov V.**

**A MODEL FOR GENERATING
MULTI-CENSORED SAMPLES BY THE RESULTS
OF SERVICE TESTS
OF SURFACE-TO-AIR MISSILES TO BE
STORED WITHOUT RUNNING TESTS AIMED
AT FINDING THEIR REMAINING
SHELF LIFE**

Most of the anti-aircraft guided missiles in service with the Air Forces of the Armed Forces of Ukraine are non-tested, i.e. they are not subject to continuous technical condition monitoring, maintenance and repair during operation. These anti-aircraft guided missiles can be in the modes of storage, waiting for use and use as intended. From the point of view of reliability, such anti-aircraft guided missiles are characterized by faultlessness and preservation. Evaluation of the reliability indicators of anti-aircraft guided missiles is possible based on the results of survivability tests according to standard test plans for which statistical models have been developed. To obtain initial data for assessing the residual survivability of anti-aircraft guided missiles according to the relevant plans, it is necessary to organize operational tests. The obtained results of such operational tests do not correspond to the implementation of typical test plans, and the assessment of the survivability of anti-aircraft guided missiles according to these plans leads to errors in the assessment of their indicators.

The article considers the model of the process of data formation of multiple censored samples with regular sample periodic inspections of the technical condition of the anti-aircraft guided missiles. This model includes a diagram of the process of operability tests of samples of anti-aircraft guided missiles of different age groups,

results of operability tests on these samples presented in matrix form, as well as the ratios obtained in accordance with the developed schemes. The developed model allows to process the initial data on the results of operability tests of anti-aircraft guided missiles designed to be stored without the necessity of tests in the form of repeatedly censored samples in order to correctly apply the methods of statistical processing and further assess the anti-aircraft guided missiles reliability.

Keywords: operational tests, multiple censored samples, residual faultlessness, data formation process, products of different age groups.

Відомості про авторів:

Ланецький Борис Миколайович

доктор технічних наук, професор
провідний науковий співробітник науково-дослідного відділу наукового центру Повітряних Сил Харківського національного університету Повітряних Сил імені Івана Кожедуба
м. Харків, Україна
<https://orcid.org/0000-0001-5889-0307>

Коваль Ігор Вікторович

кандидат технічних наук
старший науковий співробітник
старший науковий співробітник Харківського науково-дослідного відділу наукового центру Повітряних Сил Харківського національного університету Повітряних Сил імені Івана Кожедуба
м. Харків, Україна
<https://orcid.org/0000-0002-4837-7435>

Лук'янчук Вадим Володимирович

доктор технічних наук
старший науковий співробітник
начальник науково-дослідного відділу наукового центру Повітряних Сил Харківського національного університету Повітряних Сил імені Івана Кожедуба
м. Харків, Україна
<https://orcid.org/0000-0001-5695-7723>

Селезньов Сергій Володимирович

кандидат технічних наук
начальник науково-дослідної лабораторії
науково-дослідного відділу наукового центру Повітряних Сил Харківського національного університету Повітряних Сил імені Івана Кожедуба
м. Харків, Україна
<https://orcid.org/0000-0003-1910-3555>

Попов Валерій Петрович

науковий співробітник
науково-дослідного відділу наукового центру Повітряних Сил Харківського національного університету Повітряних Сил імені Івана Кожедуба
м. Харків, Україна
<https://orcid.org/0000-0002-4352-7158>

Information about the authors:**Boris Lanetskii**

Doctor of technical sciences, Professor
Lead Researcher of scientific research department of scientific center of Air Force of Ivan Kozhedub Kharkiv National Air Force University
Kharkiv, Ukraine
<https://orcid.org/0000-0001-5889-0307>

Igor Koval

Candidate of Technical Sciences, Senior Research
Senior Research Associate of scientific research department of scientific center of Air Force of Ivan Kozhedub Kharkiv National Air Force University
Kharkiv, Ukraine
<https://orcid.org/0000-0002-4837-7435>

Vadim Lukianchuk

Doctor of Technical Sciences, Senior Research
Chief of scientific research department of scientific center of Air Force of Ivan Kozhedub Kharkiv National Air Force University
Kharkiv, Ukraine
<https://orcid.org/0000-0001-5695-7723>

Serhii Seleznev

Candidate of Technical Sciences
Chief of scientific research laboratory of scientific research department of scientific center of Air Force of Ivan Kozhedub Kharkiv National Air Force University
Kharkiv, Ukraine
<https://orcid.org/0000-0003-1910-3555>

Valeriy Popov

Research Associate of scientific research department of scientific center of Air Force of Ivan Kozhedub Kharkiv National Air Force University
Kharkiv, Ukraine
<https://orcid.org/0000-0002-4352-7158>