

УДК 623

Б.М. Ланецький, О.М. Доска

*Харківський університет Повітряних Сил імені Івана Кожедуба, Харків*

## ОБҐРУНТУВАННЯ ТРИВАЛОСТЕЙ ДОВОДОЧНИХ РОБІТ ТА ВИПРОБУВАНЬ ЗРАЗКІВ ЗЕНІТНОГО РАКЕТНОГО ОЗБРОЄННЯ ПРИ ВІДНОВЛЮВАЛЬНИХ СЕРЕДНІХ І КАПІТАЛЬНИХ РЕМОНТАХ

*Розглядається зміна безвідмовності в процесі доводочних робіт і випробувань зразка зенітного ракетного озброєння після усунення бойових пошкоджень при відновлювальному середньому ремонті. В якості моделі зміни безвідмовності в процесі доводочних робіт і випробувань прийнята трьохпараметрична залежність параметра потоку відмов від напрацювання. Розглядаються питання оцінювання параметрів цієї моделі за експериментальними даними і обґрунтування тривалості доводочних робіт і випробувань.*

**Ключові слова:** відновлювальний ремонт, зразок зенітного ракетного озброєння, доводочні роботи та випробування, модель зміни безвідмовності.

### Вступ

**Постановка проблеми.** При відновлювальному середньому чи капітальному ремонті зразка зенітного ракетного озброєння (ЗРО), проводиться його дефектація, усунення бойових пошкоджень, відновлення працездатності, доводочні роботи і випробування. Доводочні роботи виконуються на кінцевому етапі відновлювального середнього чи капітального ремонту і представляють собою функціонування об'єкта ремонту протягом встановленого напрацювання в умовах і режимах близьких до експлуатаційних, з метою виявлення і усунення прихованих дефектів.

Протягом періоду проведення доводочних робіт проводиться приробіток складових частин зразка ЗРО, виявлення і поступове усунення прихованих дефектів, при цьому підвищується безвідмовність наземних бойових засобів і інших відновлюваних складових частин зенітного ракетного комплексу (ЗРК). Період приробітку бойового засобу ЗРК можна вважати закінченим, коли величина параметра потоку відмов досягне потрібного для експлуатації бойового засобу ЗРК у військовий час рівня.

Один з ефективних способів виявлення прихованих дефектів – проведення на ремонтних підприємствах технологічного прогону бойових засобів ЗРК з усуненими бойовими пошкодженнями і відновленою працездатністю, в умовах близьких до реальної експлуатації чи більш тяжких. Після завершення приробітку повинна бути забезпечена експлуатація зразка ЗРО протягом встановленого терміну, який значно менший доремонтного, міжремонтного чи після ремонтного терміну служби.

На проведення доводочних робіт, випробувань і наступні поточні ремонти при експлуатації необхідні фінансові затрати. При цьому, з зменшенням тривалості доводочних робіт і випробувань, затрати на проведення поточних ремонтів зразків ЗРО збільшуються. З іншого боку збільшення тривалості доводочних робіт і випробувань, збільшує затрати на їх про-

ведення. Тобто, існує раціональна тривалість проведення доводочних робіт і випробувань, при якому сумарні затрати на їх проведення і на наступні поточні ремонти при експлуатації мінімальні, і виконуються вимоги до величини параметру потоку відмов.

Для визначення раціонального терміну проведення доводочних робіт і випробувань зразка ЗРО повинна бути побудована модель залежності параметра потоку відмов від напрацювання та модель зміни сумарних економічних затрат на проведення доводочних робіт і випробувань та на наступні поточні ремонти при експлуатації відновлених зразків ЗРО.

Тому вирішення задач побудови моделі зміни безвідмовності в процесі доводочних робіт і випробувань та обґрунтування раціональної тривалості доводочних робіт при відновлювальних середньому чи капітальному ремонтах зразків ЗРО є актуальним.

**Аналіз літератури.** В відомих роботах [1, 2] присвячених відновлювальному ремонту зразків ЗРО, доводочні роботи і випробування, як етап відновлювальних середнього чи капітального ремонтів, не розглядалися. Тому питання пов'язане з обґрунтуванням раціональної тривалості проведення доводочних робіт і випробувань в [1, 2] та інших роботах відсутнє.

В науково-технічній літературі, присвяченій вирішенню задач близьких до тих, які розглядаються в даній статті, є роботи [3 – 7]. В них розглянуті питання обґрунтування тривалості технологічного прогону дослідних технічних виробів і виробів, які серійно виготовляються, або доводочних випробуваннях дослідних зразків ЗРО при їх відпрацюванні на надійність [8].

Так, в [5] розглянута модель зміни ймовірності безвідмовної роботи від часу і на основі неї пропонується визначити раціональну тривалість технологічного прогону. При цьому задача зводиться до знаходження такої тривалості технологічного прогону виробу, при якій ймовірності його безвідмовної роботи після закінчення приробітку, повинна бути рівною не менше заданої величини.

В [6] проводилась оцінка відновлювальних технологічних систем з послідовно та паралельно з'єднаними елементами. При цьому розрахунок тривалості періоду приробітку цих систем проводився виходячи з заданого коефіцієнта готовності, а затрати на проведення прогону та поточних ремонтів при подальшій експлуатації виробів в [5, 6] не враховувалися.

В [4] зазначено, що при технологічному прогоні мають місце відмови, викликані прихованими дефектами та зносом складових частин. При цьому пропонується модель зміни безвідмовності, яка ґрунтується на суперпозиції експоненціального закону розподілу дефектних складових частин та гама-розподілу інших складових частин, причиною відмови яких є старіння та знос. Характер залежності інтенсивності відмов від часу, представленої в [4], не відповідає фактичній зміні безвідмовності при доводочних роботах і випробуваннях. Крім того, в якості критерію розрахунків тривалості технологічного прогону використовується мінімізація сумарних затрат на технологічний прогін і гарантійну експлуатацію. Тому використовувати модель [4] для обґрунтування раціональної тривалості доводочних робіт і випробувань недоцільно.

В [3], крім наведених вище недоліків, задача обґрунтування раціональної тривалості технологічного прогону вирішується для не відновлювальних систем. Зразки ЗРО відносяться до відновлювальних виробів, тому запропонована в [3, 8] модель не може бути поширена на зразки ЗРО.

В [7] представлена модель зміни безвідмовності та наведений порядок визначення оптимальної тривалості технологічного прогону виробів, які надходять в експлуатацію після їх дослідного чи серійного виробництва. Оптимальна тривалість технологічного прогону встановлюється виходячи з мінімальних сумарних затрат на проведення технологічного прогону та наступні поточні ремонти протягом терміну гарантійної експлуатації. При відновлювальних середньому чи капітальному ремонтах зразків ЗРО, повинна забезпечуватися їх експлуатація протягом встановленого терміну, необхідного для виконання основних задач у військовий час. Крім того, для експлуатації зразків ЗРО у військовий час повинно бути забезпечено підтримання рівня безвідмовності не нижче гранично допустимого. Тому для вирішення задачі обґрунтування тривалості доводочних робіт та випробувань зразків ЗРО при відновлювальних середніх і капітальних ремонтах, представлена в [7] модель та методика потребує доопрацювання.

Таким чином, відомі моделі та методики [3 – 7] не враховують особливості проведення доводочних робіт і випробувань зразків ЗРО при відновлювальних ремонтах, що не дозволяє використовувати їх, в повній мірі для вирішення задачі обґрунтування тривалості періоду приробітку та випробувань при відновлювальних середньому чи капітальному ремонтах.

**Мета статті.** Розробка моделі зміни безвідмовності зразків ЗРО в процесі доводочних робіт і ви-

пробувань при відновлювальних середньому і капітальному ремонтах та обґрунтування їх раціональної тривалості.

## Основна частина

При дослідних ремонтах ЗРК та їх ремонтах за технічним станом в обсязі середнього чи капітального ремонтів, має місце підвищене значення параметра потоку відмов після виконання обов'язкових заміни і усунення виявлених дефектів. Це пов'язано з тим, що в початковий момент часу, після виконання переліку обов'язкових заміни і усунення явних дефектів на етапі налагодження і технологічного прогону, виявляються приховані дефекти радіоелектронних засобів ЗРК, а також їх інших складових частин на рівні функціональної системи, блоку, вузла, конструктивних елементів.

Для виявлення прихованих дефектів виробів і причин їх виникнення, підприємства організовують проведення технологічного прогону, який представляє собою спеціальні випробування. Технологічний прогін, як правило, є складовою частиною технологічного процесу ремонту за технічним станом і охоплює всі відновлювальні вироби.

При відновлювальних середньому чи капітальному ремонтах зразків ЗРО виявляються приховані дефекти, які були не виявлені при усуненні бойових пошкоджень, чи дефекти, внесені при виконанні ремонтних операцій в зразках ЗРО. У зв'язку з цим, після усунення бойових пошкоджень проводяться доводочні роботи при яких ці дефекти виявляють і усувають, в результаті чого рівень безвідмовності зразків ЗРО зростає.

В якості моделі зміни безвідмовності в процесі доводочних робіт і випробувань приймемо трьох параметричну залежність параметра потоку відмов від напрацювання  $\omega(t)$  (рис. 1). Залежність  $\omega(t)$  має дві характерні ділянки, які показані на рис. 1.

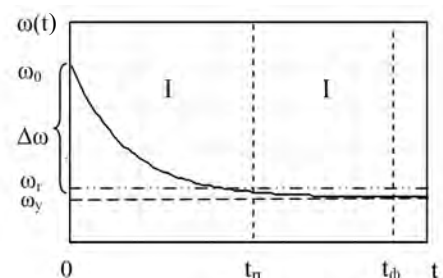


Рис. 1. Графічне представлення моделі зміни безвідмовності в процесі доводочних робіт і випробувань зразка ЗРО і його складових частин

Перша ділянка відповідає етапу приробітку зразка ЗРО і його складових частин. Інтервал часу протягом якого проводиться ці роботи позначено  $t_n$ . Характерною особливістю етапу приробітку зразка ЗРО є те, що в початковий момент часу, який відповідає моменту закінчення усунення бойових пошкоджень та про-

ведення налагоджувальних робіт, існують скриті дефекти та несправності, внесені при проведенні ремонту. При цьому параметр потоку відмов радіоелектронних засобів відповідає значенню  $\omega_0$ . В подальшому, при технологічному прогоні, скриті дефекти поступово виявляються та усуваються, що приводить до зменшення значення параметра потоку відмов.

Друга ділянка відповідає етапу функціонування зразка ЗРО на інтервалі тривалістю  $[t_p, t_\phi]$ , де  $t_\phi$  – значення потрібної величини часу функціонування відновленого зразка ЗРО. При цьому випадкові коливання параметру потоку відмов порівняно не значні і приблизно рівномірні відносно середнього постійного рівня, який в свою чергу наближається до сталого значення величини параметру потоку відмов  $\omega_y$ . На цьому інтервалі характеристика параметра потоку відмов не повинна перевищувати гранично допустимого значення

$$\omega(t) \leq \omega_{гд}, \quad (1)$$

де  $\omega_{гд}$  – гранично допустиме значення параметра потоку відмов зразка ЗРО.

Залежність  $\omega(t)$ , може бути встановлено за статистичними даними про інтервали часу напрацювання виробів на відмови. Для кожного інтервалу часу проводиться оцінка параметра потоку відмов та будується ступінчата не зростаюча функції  $\hat{\omega}(t)$  (рис. 2).

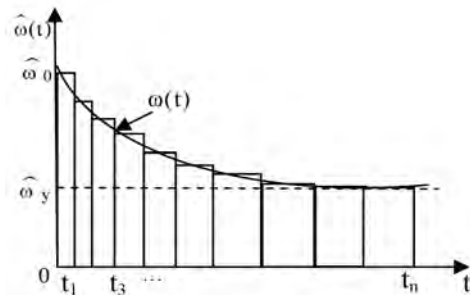


Рис. 2. Експериментальна ступінчата функція зміни безвідмовності від напрацювання

Результати проведення технологічного прогону при дослідних середніх ремонтах за технічним станом і оцінювання параметру потоку відмов показує, що функція  $\hat{\omega}(t)$  може бути апроксимована як (рис. 2)

$$\omega(t) = \omega_y + \Delta\omega \exp(-a_\omega t); \quad \Delta\omega = \omega_0 - \omega_y, \quad (2)$$

де  $a_\omega$  – коефіцієнт, який характеризує швидкість зменшення параметра потоку відмов,  $\text{год}^{-1}$ ;  $\omega_y$  – стає значення величини параметру потоку відмов, характерне для періоду експлуатації зразка ЗРО,  $\text{год}^{-1}$ ;  $\omega_0$  – значення величини параметру потоку відмов в початковий момент часу після усунення бойових пошкоджень, обумовлене прихованими дефектами,  $\text{год}^{-1}$ .

При цьому  $\omega(t=0) = \omega_0$ ,  $\omega(t) \xrightarrow{t \rightarrow \infty} \omega_y$ . Значення  $\omega_y$ ,  $\omega_0$  та  $a_\omega$ , оцінюються за емпіричними даними, отриманими при проведенні доводочних робіт і випробувань. Якщо необхідні дані для встановлення параметрів функції (1) відсутні, то можливо використовувати статистичні дані, отримані при проведенні

дослідних ремонтів зразка ЗРО чи ремонтів за технічним станом в обсязі середнього чи капітального.

В подальшому при проведенні відновлювальних ремонтів зразків ЗРО необхідно уточнення значень параметрів залежності  $\omega(t)$ . Уточнення проводиться на перших зразках ЗРО, які відновлюються після бойових пошкоджень.

Вимоги до величини  $\omega_{гд}$  параметра потоку відмов на інтервалі  $[t_p, t_\phi]$  визначається, виходячи з вимог до величини коефіцієнта оперативної готовності чи коефіцієнта збереження ефективності зразків ЗРО після відновлювального середнього чи капітального ремонту. З (1), (2) можна визначити гранично допустиму тривалість доводочних робіт і випробувань за формулою

$$t_{гд} \geq -\frac{1}{a_\omega} \cdot \ln \left( \frac{\omega_{гд} - \omega_y}{\Delta\omega} \right). \quad (3)$$

Рациональну тривалість проведення доводочних робіт і випробувань зразків ЗРО можливо визначити за умови того, що сумарні затрати на проведення доводочних робіт і випробувань та на наступні поточні ремонти при експлуатації протягом встановленої тривалості мінімальні, а параметр потоку відмов відновленого зразка ЗРО не перевищить допустиме значення. Середні сумарні затрати на проведення доводочних робіт і випробувань та на наступні поточні ремонти при експлуатації можуть розраховуватися за формулою

$$C_\Sigma(t_p, t_{тре}) = C_{ди}(t_p) + C_{тре}(t_\phi), \quad (4)$$

де  $C_{ди}(t_p)$  – затрати на проведення доводочних робіт та випробувань;  $C_{тре}(t_\phi)$  – сумарні затрати на проведення поточних ремонтів при експлуатації тривалістю  $t_\phi$ . Затрати на проведення доводочних робіт і випробувань можуть бути розраховано як

$$C_{ди}(t_p) = C_{пди} t_p + C_b m_b(t_p); \quad (5)$$

$$m_b(t_p) = \int_0^{t_p} \omega(t) dt, \quad (6)$$

де  $C_{пди}$  – середні питомі затрати на проведення доводочних робіт та випробувань за одиницю часу, грн/час;  $C_b$  – середні затрати на проведення одного відновлення працездатності виробу в процесі доводочних робіт та випробувань, грн;  $m_b(t_p)$  – математичне сподівання числа відмов працездатності виробу протягом періоду проведення доводочних робіт та випробувань.

Сумарні затрати на проведення поточних ремонтів при експлуатації тривалістю  $t_\phi$  можуть бути розраховані за формулою

$$C_{тре}(t_\phi) = C_{тре} m_{тре}(t_\phi); \quad (7)$$

$$m_{тре}(t_\phi) = \int_{t_p}^{t_p+t_\phi} \omega(t) dt, \quad (8)$$

де  $C_{тре}$  – середні затрати на проведення одного поточного ремонту виробу при експлуатації, грн;  $m_{тре}(t_\phi)$  – математичне сподівання числа відмов виробу за напрацювання, яке відповідає тривалості  $t_\phi$ . Зробимо підстановку (1) в (4) та (6) і отримуємо

$$m_B(t_n) = \omega_y t_n + \Delta\omega (1 - e^{-a\omega t_n})/a;$$

$$m_{\text{трє}}(t_\phi) = \omega_y t_\phi + \Delta\omega e^{-a\omega t_n} (1 - e^{-a\omega t_\phi})/a_\omega.$$

Тоді у відповідності до (4), (5), (7) сумарні затрати можна представити у вигляді

$$C_\Sigma(t_n, t_{\text{трє}}) = C_B \left[ \omega_y t_n + \Delta\omega (1 - e^{-a\omega t_n})/a \right] + C_{\text{пди}} t_n + C_{\text{трє}} \left[ \omega_y t_\phi + \Delta\omega e^{-a\omega t_n} (1 - e^{-a\omega t_\phi})/a_\omega \right]. \quad (9)$$

Знайдемо тривалість  $t_n^*$ , при якій забезпечується мінімальні сумарні затрати на його прогін і поточні ремонти при експлуатації з рівняння

$$\frac{d}{dt_n} C_\Sigma(t_n, t_{\text{трє}}) = 0.$$

В результаті отримаємо наступне співвідношення для розрахунку  $t_n^*$  тривалості проведення доводочних робіт і випробувань зразків ЗРО при відновлювальних середньому чи капітальному ремонтах

$$t_n^* = -\frac{1}{a_\omega} \ln \left[ \frac{C_{\text{пди}} + C_B \omega_y}{\Delta\omega (C_{\text{трє}} (1 - e^{-a\omega t_\phi}) - C_B)} \right], \quad (10)$$

розрахунки за формулою (10) проводяться за умови

$$C_{\text{пди}} + C_B \omega_y < \Delta\omega (C_{\text{трє}} (1 - e^{-a\omega t_\phi}) - C_B).$$

Рішення про раціональну тривалість доводочних робіт і випробувань приймається таким чином. Якщо  $t_n^* \geq t_{\text{гд}}$ , то за раціональну тривалість приймається  $t_n^*$ . В іншому випадку раціональна тривалість доводочних робіт і випробувань приймається рівною  $t_{\text{гд}}$ .

## Висновки

Обґрунтована залежності параметра потоку відмов від напрацювання в процесі доводочних робіт і випробувань зразків ЗРО при відновлювальних середньому чи капітальному ремонтах та запропонований порядок визначення параметрів цієї залежності по експериментальними даними. Запропоновано визначати раціональну тривалість періоду проведення доводочних робіт і випробувань при відновлювальних

середньому чи капітальному ремонті зразків ЗРО, виходячи з мінімальних сумарних затрат на проведення доводочних робіт і випробувань та на наступні поточні ремонти при експлуатації, за умови виконання обмежень на величину параметра потоку відмов.

Отримані результати пропонується використовувати при обґрунтуванні параметрів відновлювального середнього чи капітального ремонту та при розрахунках складу запасних частин відновлювальних комплектів ЗПІ для забезпечення проведення доводочних робіт та випробувань.

## Список літератури

1. Ковтуненко А.П. Основы теории восстановления эксплуатационных свойств технических систем / А.П. Ковтуненко, М.А. Шишанов, В.В. Зубарев. – К.: НАУ, 2007. – 294 с.
2. Ковтуненко А.П. Восстановление эксплуатационных свойств радиоэлектронных систем / А.П. Ковтуненко, В.Н. Козлов, Ю.М. Россинский. – М.: МО, 1980. – 257 с.
3. Куликов В.А. Обеспечения надежности сложной радиолокационной аппаратуры при мелкосерийном производстве / В.А. Куликов – М.: Сов. радио, 1966. – 136 с.
4. Герцбах И.Б. Модели отказов / Герцбах И.Б., Кордонский Х.Б. – М.: Сов. радио., 1966. – 174 с.
5. Прогнозирования надежности и длительности приработки технологического оборудования по функции параметра потока отказов [Электронный ресурс] / И.И. Артемов, А.С. Симонов, Н.Е. Денисова // Труды Межд. симпозиума «Надежность и качество». – 2010. – №2 – Режим доступу: <http://cyberleninka.ru/article>.
6. Марцулевич Н.А. Расчет продолжительности периода приработки химического оборудования [Электронный ресурс] / Н.А. Марцулевич // Процессы и аппарат. – 2012. – Режим доступу: <http://science.spb.ru/files/IzvetiyaTI/2012/13/Articles/16/files/assets/downloads/publication.pdf>.
7. Обеспечения надежности на этапе производства. Технологический прогон изделия бытового назначения. ГОСТ 23502-79. – М.: Изд-во стандартов, 1983. – 19 с.
8. Испытания и контроль качества продукции. Основные термины и определения. ГОСТ 16504-81. – [Чинний від 1982-01-01]. – М.: Изд-во стандартов, 1982. – 24 с.

Надійшла до редколегії 8.10.2014

**Рецензент:** д-р техн. наук, проф. Б.О. Демідов, Харківський університет Повітряних Сил ім. І. Кожедуба, Харків.

## ОБОСНОВАНИЕ ПРОДОЛЖИТЕЛЬНОСТИ ДОВОДОЧНЫХ РАБОТ И ИСПЫТАНИЙ ОБРАЗЦОВ ЗЕНИТНОГО РАКЕТНОГО ВООРУЖЕНИЯ ПРИ ВОССТАНОВИТЕЛЬНЫХ СРЕДНИХ И КАПИТАЛЬНЫХ РЕМОНТАХ

Б.Н. Ланецкий, А.М. Доска

Рассмотрено изменение безотказности в процессе доводочных работ и испытаний образца зенитного ракетного оружия после устранения боевых повреждений при восстановительном среднем ремонте. В качестве модели изменения безотказности в процессе доводочных работ и испытаний принята трехпараметрическая зависимость параметра потока отказов от наработки. Рассмотрены вопросы оценки параметров этой модели по экспериментальным данным и обоснование продолжительности доводочных работ и испытаний.

**Ключевые слова:** восстановительный ремонт, образец зенитного ракетного вооружения, доводочные работы и испытания, модель изменения безотказности.

## GROUNDING THE TERMS OF REFINEMENTS JOBS AND TESTS FOR SAM TROOPS ARMAMENTS DURING MIDTERM REPAIRS AND OVER HAUTS

B.N. Lanetskiy, A.M. Docka

Considered the change of reliability in the process of finishing work and testing sample anti-aircraft missile weapons after resolving combat damage during the restoration the average repair. As the model changes in the reliability in the process of finishing work and testing adopted three-parameter dependence of the failure rate from experience. We consider estimation of the parameters of this model from experimental data and rationale duration of finishing work and testing.

**Keywords:** repair, sample anti-aircraft missile, development work and testing, the model changes infallibility.