
УДК 351.814+355.02

Д.А. Дончак¹, Г.Г. Камалтинов², В.О. Тютюнник²

¹Командування Повітряних Сил Збройних Сил України, Вінниця

²Харківський університет Повітряних Сил імені Івана Кожедуба, Харків

МЕТОДИ ОЦІНЮВАННЯ ДОСТОВІРНОСТІ КОНТРОЛЮ ТЕХНІЧНОГО СТАНУ РАДІОЛОКАЦІЙНИХ ЗАСОБІВ СИСТЕМИ РАДІОЛОКАЦІЙНОЇ РОЗВІДКИ

Обговорюються умови та методи контролю справності радіолокаційних засобів системи радіолокаційної розвідки. Розглядаються можливі методи оцінювання достовірності контролю як одиничних засобів так і сукупності РЛС системи у цілому. Обґрунтовуються можливі шляхи підвищення достовірності контролю технічного стану РЛС. Пропонується методи підвищення достовірності контролю технічного стану радіолокаційних засобів системи радіолокаційної розвідки Збройних Сил України з використанням автоматизованої системи контролю, елементи якої розгортаються у радіотехнічних військах Повітряних Сил.

Ключові слова: *контроль технічного стану, достовірність контролю, радіолокаційні засоби, система радіолокаційної розвідки.*

Вступ

Постановка проблеми та аналіз публікацій. Ефективність та надійність системи радіолокаційної розвідки (СРЛР) Повітряних Сил у значній мірі залежить від технічного стану її радіолокаційних засобів. Об'єктивне оцінювання технічного стану, його прогнозування є важливою задачею технічного забезпечення. Контролю технічного стану зразків озброєння присвячена велика кількість робіт. У роботах [1 – 3] запропонований методичний підхід

до оцінювання технічного стану РЛС у цілому, розроблені система показників та методи їх розрахунку, які достатньо повно описують стан, властивості та технічні характеристики РЛС. В [2] запропоновані напрями побудови автоматизованої системи контролю та прогнозування технічного стану засобів радіолокації радіотехнічних військ. Розроблені також пропозиції щодо побудови пристроїв оцінювання справності та якості функціонування засобів радіолокації [2, 3]. Деякі питання підвищення ефективності контролю технічного стану окремих зразків ра-

діоелектронної техніки (РЕТ) порушені в [4, 5]. В [6] розглянути методичні аспекти оцінювання ефективності контролю як процесу, там же обґрунтовані загальні вимоги до показників оцінювання якості.

У роботах [7, 8] обговорюються загальні підходи до оцінки достовірності під час допускного контролю якості. В [9] запропонований теоретичний підхід до розрахунку достовірності зразків за показником якості зразка, в [10] описується експериментальний метод оцінки достовірності контролю виробів.

Однак у відомих роботах не визначені методи оцінювання достовірності результатів поточного контролю справності засобів озброєння та військової техніки, зокрема – радіолокаційних засобів.

Ефективність та достовірність контролю суттєво впливає на рівень витрат на підтримку РЛС у необхідній боєздатності, планування та прогнозування ресурсу її технічних засобів. Тому розробка шляхів підвищення достовірності контролю технічного стану РЛС та показників її оцінки є актуальною науково-технічною задачею.

Метою статті є розробка методів оцінювання достовірності контролю технічного стану технічних засобів системи радіолокаційної розвідки та шляхів її підвищення.

Виклад основного матеріалу

З точці зору загальних наукових підходів завдання контролю технічного стану РЛС можна віднести до задачі оцінювання якості продукції, процесів. При цьому широко використовуються методи статистичного контролю якості, яким присвячено значна велика кількість публікацій, стандартів, рекомендацій. Найбільш повно завдання статистичного контролю якості в цілому узагальнені в [11]. Але складність оцінювання ефективності контролю технічного стану РЛС в цілому обумовлена особливістю функціонування РЛС у системі радіолокаційної розвідки.

На цей час стан технічних засобів системи радіолокаційної розвідки Повітряних Сил Збройних Сил України на певний час прийнято оцінювати коефіцієнтом справності радіоелектронної техніки (РЕТ) радіотехнічних військ, тобто відношенням боєздатних засобів РЕТ к загальної їх чисельності. Тому кількість боєздатних РЕТ є оперативної характеристикою поточного технічного стану системи.

Ключовим моментом для виявлення небоєздатних зразків є організація контролю поточного технічного стану РЕТ. Технічний контроль пов'язаний з необхідністю оцінки стану засобів радіолокації і урахування впливу його на ефективність системи радіолокаційної розвідки.

Оцінку показника поточного технічного стану можна отримати двома шляхами:

– на основі інформації про контрольовані параметри, що отримується в процесі контролю;

– на основі оцінки показника якості, що отримується в процесі контролю.

У повсякденній діяльності інженерно-технічним складом радіотехнічних військ Повітряних Сил Збройних Сил України на всіх рівнях моніторинг (контроль) технічного стану радіоелектронної техніки, її експлуатації та ремонту здійснюється наступним чином [2]:

– під час щоденного технічного обслуговування (ЩТО) – щоденно, один раз на добу, у визначений час бойовими обслугами здійснюється контроль готовності до бойового застосування зразків радіоелектронної техніки з подальшим записом його результатів у журналі бойової роботи підрозділу;

– під час контрольного огляду (КО) здійснюється перевірка справності зразків радіоелектронної техніки безпосередньо перед їх бойовим застосуванням та в процесі бойового застосування (небоєздатна радіоелектронна техніка до бойового застосування не залучається).

Контролю технічного стану підлягають усі розгорнуті засоби для прийняття рішення про їх бойове застосування. Технічний стан зразків радіоелектронної техніки оцінюється шляхом контролю значень основних та допоміжних технічних параметрів зразка РЕТ, тобто методами багатопараметричного допускного контролю.

$$x_{ні} \leq x_i, \quad \text{або} \quad x_i \leq x_{ві},$$

де x_i – вимірне значення i -го параметру;

$x_{ні}$, $x_{ві}$ – нижня і верхня границі норми.

За результатами контролю працездатності РЛС діляться на придатні та непридатні до використання та розраховується кількість боєздатних РЕТ. Працездатність РЛС зазвичай характеризується кількома основними та допоміжними технічними параметрами, які можуть бути пов'язаними один з одним, так і статистично незалежними. Згідно з документами, що регламентують вимоги до технічного стану РЛС, кожен із параметрів має встановлені межі поля допуску. Система РЛС, яка перевіряється, вважається непрацездатною, або відхилення основного параметра від норми, зазначеною у формулярі, більше ніж на 15%, відхилення чутливості приймальної системи більш, ніж 4%. При виході за ці межі будь-якого з основних параметрів РЛС визнається непридатною до використання та знімається з бойової готовності до усунення недоліків.

Інформація про несправності та відмови, виявлені під час проведення ЩТО та КО, пошкодження та аварії радіоелектронної техніки збирається ієрархічно по двом напрямкам:

– негайно по лінії оперативних чергових від командного пункту радіотехнічного підрозділу до розвідувально-інформаційного центру Командного центру Командування Повітряних Сил Збройних Сил України (з подальшою доповіддю начальнику

радіотехнічних військ через відділ експлуатації озброєння та техніки радіотехнічних військ Командування Повітряних Сил Збройних Сил України);

– у робочому порядку за напрямком: технічна частина підрозділу, служба озброєння військової частини, відділ експлуатації озброєння та техніки радіотехнічних військ Командування Повітряних Сил Збройних Сил України телефонними каналами зв'язку.

Достовірність результатів контролю параметрів (контролю технічного стану) - це міра об'єктивного відповідності контрольованого параметра (результату контролю) дійсному значенню (дійсному технічному стану).

Методи оцінювання достовірності розрізняються у залежності від видів контролю:

– повного контролю, коли контролю підлягають 100 % зразків;

– статистичного або вибіркового контролю, коли під контроль підпадає частка зразків із сукупності, яка перевіряється.

Методи оцінювання якості контролю одиничних зразків та сукупності (партії) зразків також відрізняються.

Розглянемо можливі методи оцінювання достовірності допускного контролю одиничних зразків.

У процесі визначення технічного стану РЛС при допускному контролі можливі наступні події: справна РЛС оцінюється як справна A_{11} ; справна РЛС оцінюється під час контролю як несправна A_{10} ; несправна РЛС оцінюється як несправна A_{00} та несправна РЛС оцінюється як справна A_{01} .

Достовірність контролю залежить від ймовірності помилкової відмови $P(A_{10})$ (помилка першого роду) і ймовірності невиявленої відмови $P(A_{01})$ (помилка другого роду). Ймовірності помилок першого і другого роду – ймовірність прийняття рішення про непрацездатність об'єкта контролю, коли він знаходиться в працездатному стані, і навпаки, прийняття рішення про працездатність об'єкта контролю, коли об'єкт непрацездатний.

В якості показників достовірності контролю у [7] запропоновано використовувати ймовірності помилок контролю першого і другого роду, або ризик замовника (споживача) і ризик виробника. Стосовно РЛС ризик замовника – це умовна ймовірність того, що РЛС виявиться фактично непридатною до використання за умови, що воно визнана придатною. Ризик виробника – це ймовірність того, що фактично придатна РЛС при контролі помилково забракована. Тому достовірність контролю можна визначити як:

$$D = P(A_{11}) + P(A_{00}) = 1 - [P(A_{10}) + P(A_{01})]. \quad (1)$$

Для розрахунку достовірності контролю одиничного зразка необхідно знати сумарну похибку вимірювань засобів вимірювальної техніки, який

використовується для контролю, допустиме відхилення вимірюваного параметра, закон розподілу щільності ймовірності помилок вимірювання і щільність ймовірності контрольованого параметра.

На значення похибок першого та другого роду впливає також суб'єктивна складова – людина-оператор.

Якщо вважати значення показника, якій контролюється, рівно ймовірними, ймовірність хибного визначення придатного об'єкту контролю непридатним (параметри котрого знаходяться у межах $x_{ni} \leq x_i \leq x_{bi}$) із щільністю розподілу похибки вимірювань $f_n(x)$ визначається як [11]

$$P_{10}(x) = \int_{x_{ni}}^{x_{bi}} (x_i - x) f_n(x) dx, \quad (2)$$

та, відповідно, непридатного придатним:

$$P_{01}(x) = 1 - \int_{x_{ni}}^{x_{bi}} (x_i - x) f_n(x) dx. \quad (3)$$

У випадку, коли контролюється не один, а декілька (наприклад, k) параметрів результуюча ймовірність контролю має вигляд

$$P(x_k) = \prod_{l=1}^k P(x_l). \quad (4)$$

Реально значення показника, якій контролюється, не є рівно ймовірними, а мають деякий закон розподілу щільності ймовірності, при цьому вирази (2), (3) суттєво ускладнюються. У загальному вигляді вони наведені у [7].

Закон розподілу щільності ймовірності помилок вимірювання і щільності ймовірності контрольованих технічних параметрів для радіолокаційних засобів невідомі, тому розрахувати достовірність контролю одиничних РЛС достатньо складно.

Можливий шлях вирішення цієї проблеми – перехід к контролю за оцінкою показника якості, що отримується в процесі контролю. При фіксованих умовах і режимах роботи показник якості залежить від параметрів об'єкту. Здійснюючи вимірювання параметрів в процесі контролю, можна з відомої функціональної залежності обчислити показник якості. Контроль за показником якості дозволяє отримати об'єктивну оцінку працездатності об'єкта, вирішити задачу прогнозування, а також кількісно оцінювати важливі властивості об'єкта контролю, його ефективність, точність, надійність [8, 9].

Для контролю з оцінкою показника якості відносна достовірність контролю може бути розрахована наступним чином [8]:

$$D = 1 - \frac{\sigma_x^*}{\sigma_{x_i}} \quad (5)$$

де σ_x – апріорне значення середньоквадратичного

відхилення показника якості; σ_x^* – апостеріорне значення середньоквадратичного відхилення показника якості.

Таким чином зниження апостеріорного значення середньоквадратичного відхилення показника якості дозволить підвищити достовірність контролю одиничного зразка.

Прийняття рішення про визначення поточного технічного стану РЛС повинно проводитися по сукупності значень контрольованих технічних параметрів та на їх основі – по значенню узагальненого показника технічного стану як функціонала від значень контрольованих параметрів РЛС. Основне призначення РЛС – реалізувати максимальну дальність виявлення цілей.

Тому показники технічного стану СРЛР доцільно пов'язати з параметрами радіолокаційного поля, а для окремого зразка радіолокаційної розвідки – з параметрами зони виявлення як тактичного показника призначення РЛС.

Розміри зони виявлення є функція основних технічних параметрів РЛС, які можуть змінюватися у залежності від технічного стану апаратури – потужності зондуючого сигналу, чутливості приймальної системи (коефіцієнту шуму), рівню втрат сигналу у приймально-передавальному тракті

Показником якості доцільно обрати коефіцієнт реалізації в РЛС дальності виявлення цілей на заданій висоті

$$K_D(H) = \frac{D(H)_{\text{поточна}}}{D(H)_0}, \quad (6)$$

де $D(H)_0$ – паспортна дальність виявлення РЛС на заданій висоті (за формуляром);

$D(H)_{\text{поточна}}$ – дальність виявлення РЛС на заданій висоті за результатами контролю параметрів РЛС.

Оцінка достовірності контролю за результатами вибіркового контролю. Вибірковий контроль технічного стану РЛС здійснюється, коли неможливо одночасно контролювати усі технічні засоби РЛС одночасно. Частина зразків РЕТ може бути вимкнута, на інших можуть проводитися регламентні або відновлювані роботи. Тому необхідно застосовувати за обмежений період часу вибіркового контролю, та за його допомогою оцінювати стан РЛС у цілому. При цьому вибірка повинна бути репрезентативною. Для відбору одиниць до вибірки застосовують різні методи [11], однак для виключення систематичних похибок, пов'язаних з вибірковою контролем, головна умова методу, якій обирається, – забезпечення випадковості відбору.

Достовірність вибіркового контролю у [6] запропоновано оцінювати так звану оперативною характеристикою контролю, яка показує, з якою можна очікувати в системі з N зразків РЕТ N_n несправних зразків (при суцільному контролі всіх зра-

зків) за умови, що у вибірці $p < N$ зразків виявилися несправними $p_n < N_n$ зразків.

Сукупність оперативних характеристик контролю, отриманих для різних значень кількості РЛС у системі, дозволяє за заданим рівнем несправності q (відносним рівнем кількості несправних зразків) отримати значення достовірності оцінювання технічного стану за даними отриманої вибірки p .

Методи підвищення достовірності контролю.

Для визначення достовірності повного контролю сукупності РЛС за оцінками помилок першого і другого роду необхідно знати число пропущених непридатних РЛС і число помилково забракованих придатних до застосування РЛС.

Таки оцінки можуть бути отримані експериментально шляхом введення двоступеневого контролю з використанням на другій ступені контролю більш точних засобів вимірювання технічних параметрів РЛС.

При цьому на першому ступені N РЛС контролюються робочими засобами вимірювальної техніки – засобами вимірювальної техніки, зазначеним у технічній документації на РЛС. При цьому залишаються невідомими число помилкових рішень. За результатами контролю РЛС діляться на справні і несправні (рис. 1). При цьому залишаються невідомими число помилкових рішень. На другому ступені для оцінки числа помилкових рішень необхідно перевірити справні і несправні РЛС засобами вимірювальної техніки, похибка якого значно менше похибки засобу вимірювальної техніки, зазначеного в технічній документації.

Оцінки показників достовірності контролю можуть бути обчислені за формулами:

$$P(A_{10}) = N_{\text{нпн}} / N; \quad (7)$$

$$P(A_{01}) = N_{\text{нпн}} / N; \quad (8)$$

$$D = 1 - (P(A_{10}) + P(A_{01})), \quad (9)$$

де $N_{\text{нпн}}$ – кількість РЛС визначених на другому етапі придатними з числа визначених на першому етапі непридатними; $N_{\text{нпн}}$ – кількість РЛС визначених на другому етапі непридатними з числа визначених на першому етапі придатними; N – загальна кількість РЛС, яка контролюється.

Таким чином можуть бути отримані експериментальні показники достовірності контролю [10] у системі з використанням штатних засобів РЛС. Вони можуть бути використані у якості орієнтовних.

В [7] показано, що ефект підвищення достовірності контролю може бути отриманий також за багатоступеневою процедурою, з уточненням результатів на кожному етапі. Стосовно системи радіолокаційної розвідки організація багатоступневих процедур контролю практично неможлива.

Шляхом вирішення постійного та багатоступеневого контролю поточного технічного стану РЕТ є створення системи автоматизованого контролю збору та обробки інформації [2].

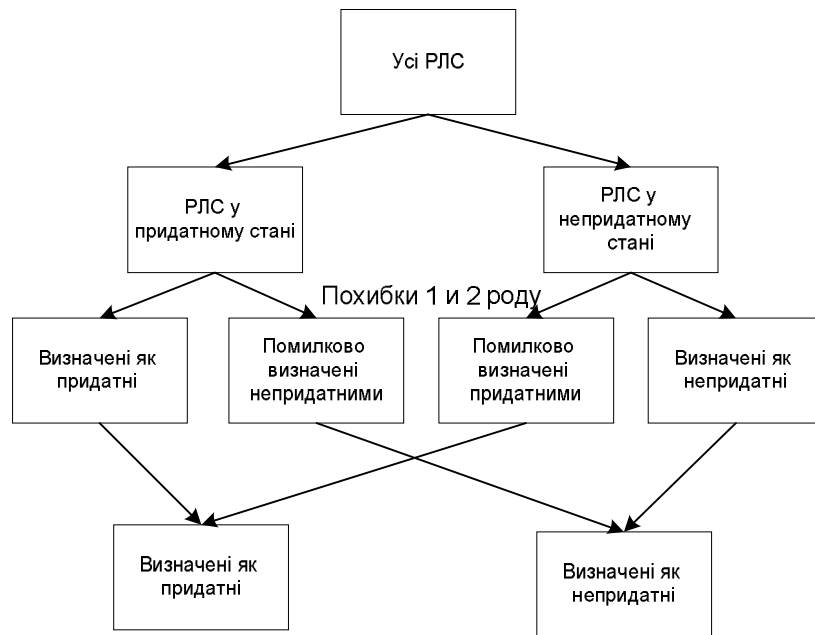


Рис. 1. Процес прийняття рішення в одноступеневому контролі

Система включає автоматизовану ланку збору оперативної інформації про поточний технічний стан та автоматизовану ланку збору періодичної (неоперативної) інформації про технічний стан РЕТ. Умова забезпечення високої готовності РЛС до виконання завдань, вимагає певної оперативності на проведення оцінки технічного стану РЛС. Така система повинна здійснювати оперативний періодичний моніторинг технічного стану зразків РЕТ. Інформаційне забезпечення контролю та прогнозування технічного стану РЕТ РТВ запропоноване розвивати на основі існуючої підсистеми збору, обробки та передачі інформації про технічний стан РЕТ в межах існуючої системи інженерно-радіоелектронного забезпечення з розгортанням автоматизованих робочих місць (АРМ) керівного інженерного складу РТВ [3]. АРМ створюються на базі локальної мережі

ПЕОМ із спеціалізованим програмним забезпеченням. На кожній з радіолокаційних станцій старого парку передбачається встановлення пристрою автоматичного безперервного контролю технічного стану РЛС, якій контролює технічні параметри та виробляє коди поточного технічного стану. В запропонованому пристрої реалізована можливість не тільки комплексного контролю технічного стану РЛС по кінцевому продукту, тобто вихідній інформації, але й роздільного контролю параметрів систем РЛС.

Радіолокаційні станції нового парку спроможні здійснювати контроль технічного стану самостійно апаратно-програмними засобами та автоматичну передачу даних технічної діагностики каналами зв'язку.

Спрощена схема контролю технічного стану РЛС у такої автоматизованої системи наведена на рис. 2.

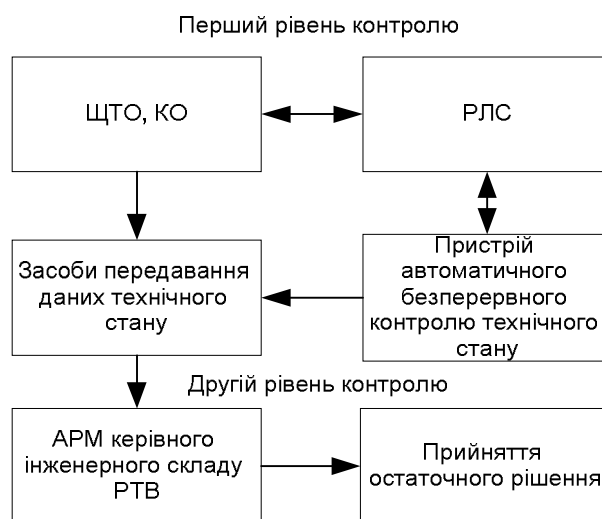


Рис. 2. Організація контролю технічного стану у перспективній системі збору, передавання та обробки інформації

Така система забезпечить не тільки безперервність контролю, дозволить знизити помилки оцінювання за рахунок об'єктивної складової, але і підвистити достовірність контролю за рахунок організації двох етапних процедур прийняття остаточного рішення.

Висновки

1. Розглянути методи оцінювання достовірності контролю технічного стану РЛС у системі радіолокаційної розвідки.

2. Шляхами підвищення достовірності контролю технічного стану засобів радіолокаційної розвідки є: створення системи автоматизованого контролю параметрів РЛС, збору та обробки інформації, яка дозволяє виключити суб'єктивні помилки, оперативно здійснювати уточнення результатів контролю та отримувати реальні бойові можливості РЛС по веденню радіолокаційної розвідки; втілення двохступеневої системи контролю на основі реалізації його автоматизованих процедур в запропонованій системі збору та обробки інформації; перехід до визначення придатності РЛС до бойового застосування за інтегральним показником якості та відмова від бінарного показника «придатна»/«непридатна».

3. Використання в якості інтегрального показника придатності РЛС до бойового застосування коефіцієнта реалізації дальності виявлення дозволить мати оперативну та об'єктивну оцінку параметри радіолокаційного поля системи радіолокаційної розвідки.

Список літератури

1. Камалтинов Г.Г. Методичний підхід до оцінки технічного стану радіолокаційної системи Збройних Сил України / Г.Г. Камалтинов, О.М. Колесник, Д.А. Дончак // Системи управління, навігації та зв'язку. – Х.: XV ПС, 2011. – № 3(19). – С. 27-41.
2. Гриб Д.А. Перспективи інформаційного забезпечення роботи органів управління радіотехнічних військ з

питань експлуатації радіоелектронної техніки / Д.А. Гриб, О.М. Колесник, Д.А. Дончак // Системи озброєння і військова техніка. – 2012. – Вип. 3(31). – С. 14-18.

3. Дончак Д.А. Методи та пристрої автоматизованого контролю технічного стану радіолокаційних станцій радіотехнічних військ / Д.А. Дончак, М.Р. Арасланов // Збірник наукових праць. – Вип. 1(48). – К.: ЦНДІ ОВТ, 2012. – С. 71-80.

4. Олейников Л.Ф. Эксплуатация и ремонт вооружения и военной техники радиотехнических войск ПВО на этапе перевооружения / Л.Ф. Олейников. – М.: Военное издательство. – 1991. – 170 с.

5. Олейников Л.Ф. Основные вопросы инженерно-технического обеспечения радиолокационных систем Войск ПВО страны / Л.Ф. Олейников. – М.: Военное издательство. – 1976. – 250 с.

6. Дончак Д.А. Ефективність оцінювання технічного стану радіолокаційної системи Збройних Сил України / Д.А. Дончак, Г.Г. Камалтинов, І.Г. Кірілов // Системи озброєння і військова техніка. – Х.: Харківський університет Повітряних Сил імені Івана Кожедуба. – 2013. – Вип. 3(35). – С. 13-16.

7. Рубичев Н.А. Достоверность допускового контроля качества / Н.А. Рубичев, В.Д. Фрумкин – М.: Изд-во стандартов, 1990. – 172 с.

8. Евланов Л.Г. Контроль динамических систем / Л.Г. Евланов. – М.: Наука, 1979. – 431 с.

9. Шепелев Ю.И. Определение показателя достоверности при контроле артиллерийского управляемого снаряда по показателю качества / Ю.И. Шепелев // Озброєння та військова техніка. – К.: ЦНДІ ОВТ, 2014. – № 1. – С. 46-51.

10. Фролов В.Я. Экспериментальное определение оценки достоверности контроля изделий / В.Я. Фролов, В.В. Стадник // Вестник ХНАДУ: сб. научн. тр. – Х.: ХНАДУ, 2011. – Вып. 53. – С. 119-122.

11. Орлов А.И. Эконометрика / А.И. Орлов. – М.: Экзамен, 2002. – 356 с.

Надійшла до редакції 1.12.2015

Рецензент: д-р техн. наук, проф. В.В. Літвінов, Харківський університет Повітряних Сил ім. І. Кожедуба, Харків.

МЕТОДЫ ОЦЕНКИ ДОСТОВЕРНОСТИ КОНТРОЛЯ ТЕХНИЧЕСКОГО СОСТОЯНИЯ РАДИОЛОКАЦИОННЫХ СРЕДСТВ СИСТЕМЫ РАДИОЛОКАЦИОННОЙ РАЗВЕДКИ

Д.А. Дончак, Г.Г. Камалтинов, В.А. Тютюнник

Обсуждаются условия и методы контроля исправности радиолокационных средств системы радиолокационной разведки. Рассматриваются возможные методы оценки достоверности контроля как единичных средств так и совокупности РЛС системы в целом. Обосновываются возможные пути повышения достоверности контроля техническое состояние РЛС. Предлагаются методы повышения достоверности контроля технического состояния радиолокационных средств системы радиолокационной разведки Вооруженных Сил Украины с использованием автоматизированной системы контроля, элементы которой разворачиваются в радиотехнических войсках Воздушных Сил.

Ключевые слова: контроль технического состояния, достоверность контроля, радиолокационные средства, система радиолокационной разведки.

METHODS FOR ASSESSING THE RELIABILITY OF CONTROL OF TECHNICAL CONDITION OF RADAR SYSTEMS RADAR RECONNAISSANCE

D.A. Donchak, G.G. Kamaltunov, V. A. Tyutyunnik

Discusses the conditions and methods of testing radar systems of radar surveillance. Discusses possible methods for evaluating the validity of the control units as-is to link funds and the aggregate of the radar system as a whole. Substantiates the possible ways of increasing the reliability of control of technical condition of the radar. Methods for increasing the reliability of control of technical condition of radar systems radar reconnaissance of the Armed Forces of Ukraine using automated system of control elements which is set in the Radiotechnical troops of the Air Force.

Keywords: condition monitoring, reliability monitoring, radar equipment, radar reconnaissance system.