

УДК 351.814+355.02

Д.А. Дончак<sup>1</sup>, Г.Г. Камалтинов<sup>2</sup>, І.Г. Кіріллов<sup>2</sup><sup>1</sup>Командування Повітряних Сил Збройних Сил України, Вінниця<sup>2</sup>Харківський університет Повітряних Сил ім. І. Кожедуба, Харків

## ЕФЕКТИВНІСТЬ ОЦІНЮВАННЯ ТЕХНІЧНОГО СТАНУ РАДІОЛОКАЦІЙНОЇ СИСТЕМИ ЗБРОЙНИХ СИЛ УКРАЇНИ

Пропонується методика визначення ефективності оцінювання технічного стану радіолокаційної системи Збройних Сил України з використанням автоматизованої системи контролю, елементи якої розгортаються у радіотехнічних військах Повітряних Сил. Обговорюються умови та методи контролю справності та технічних характеристик радіолокаційних засобів як нового, так і старого парку. Обираються та описуються показники для визначення ефективності оцінювання технічного стану радіолокаційної системи: достовірність оцінювання, своєчасність заходів контролю, повнота охоплення контролем радіоелектронної техніки за допустимий на його проведення час. Визначаються математичний апарат на основі методів статистичного контролю якості і теорії надійності та порядок розрахунку запропонованих показників.

**Ключові слова:** оцінювання технічного стану, радіолокаційна система, показники оцінювання.

### Вступ

**Постановка проблеми.** Основний компонент системи спостереження повітряного простору і ведення радіолокаційної розвідки України – радіолокаційна система (РЛС) Повітряних Сил у складі радіотехнічних військ. Ефективність та надійність системи у значній мірі залежить від її технічного стану. Об'єктивне оцінювання технічного стану, його прогнозування є важливою задачею технічного забезпечення. Оцінюванню технічного стану зразків озброєння присвячена велика кількість робіт, але оцінюванню стану системи у цілому присвячені лише окремі публікації.

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 залежності від умов експлуатації, місця та ролі її складових частин у рішенні своїх і загальних завдань. Запропоновані напрями побудови автоматизованої системи контролю та прогнозування технічного стану засобів радіолокації радіотехнічних військ [4]. Розроблені також пропозиції щодо побудови пристроїв оцінювання справності та якості функціонування засобів радіолокації [4, 5].

Ефективність системи контролю суттєво впливає на рівень витрат на підтримку РЛС у необхідній бездатності, планування та прогнозування ресурсу її технічних засобів.

Однак методика оцінювання якості контролю технічного стану, відповідні показники та критерії ефективності оцінки не розроблені.

Тому розробка методів оцінювання ефективності контролю технічного стану РЛС та показників її оцінки є актуальною науково-технічною задачею.

**Метою статті** є розробка показників, критерію та методики визначення ефективності оцінювання технічного стану радіолокаційної системи.

**Аналіз публікацій.** З точки зору загальних наукових підходів завдання оцінювання ефективності 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 [6]. В [7] розглянути методичні аспекти оцінювання ефективності контролю як процесу, там же обґрунтовані загальні вимоги до показників оцінювання якості. Деякі питання підвищення ефективності контролю технічного стану окремих зразків радіоелектронної техніки (РЕТ) порушені в [8 – 9]. В [9] також показано якісний вплив наявності контролю на коефіцієнт технічної готовності зразка РЕТ. Але складність оцінювання ефективності контролю технічного стану РЛС в цілому обумовлена особливістю РЛС як складної системи, кожний зразок РЕТ якої функціонує окремо один від одного. Тому ефективність оцінювання технічного стану системи не може бути отримана як згортка ефективності оцінювання технічного стану окремих зразків. Необхідно розробка показників, які були б притаманні усій системі.

### Виклад основного матеріалу

В [2], виходячи з того, що система РЛС є просторово розподіленою, запропоновано розглядати показник її технічного стану у вигляді просторово-розподіленої функції реалізації просторових показників бойових можливостей в залежності від поточного технічного стану угруповання (системи) в цілому або окремих її підрозділів. При цьому її зна-

чення і вигляд буде визначатися кількістю справних РЕТ, спроможних виконувати бойові завдання. Тому кількість боездатних РЕТ є оперативної характеристикою поточного технічного стану системи.

Ключовим моментом для виявлення несправних зразків є організація контролю поточного технічного стану РЕТ. Технічний контроль в системі спостереження повітряного простору пов'язаний з необхідністю оцінки стану засобів радіолокації і урахування впливу їх стану на ефективність системи. Слід зазначити, що ці питання до теперішнього часу не були вирішені, а основні кількісні критерії оцінки визначалися емпіричним шляхом, без відповідного обґрунтування. Все це знижувало якість контролю і, особливо, якість оцінки стану окремих зразків РЕТ і системи радіолокації в цілому, породжувало суб'єктивний підхід до перевірки і оцінки та в результаті приводило до неправильного уявлення про стан системи.

Шлях вирішення контролю поточного технічного стану РЕТ – створення системи автоматизованого збору інформації [5].

Система включає автоматизовану ланку збору оперативної інформації про поточний технічний стан та автоматизовану ланку збору періодичної (неоперативної) інформації про технічний стан РЕТ.

На кожній з радіолокаційних станцій старого парку передбачається встановлення формувача ознаки технічного стану, якій виробляє коди показника поточного технічного стану та режиму експлуатації. Радіолокаційні станції нового парку спроможні здійснювати контроль технічного стану самостійно апаратно-програмними засобами та автоматичну передачу даних технічної діагностики каналами зв'язку.

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-радіо-електронного забезпечення з розгортанням автоматизованих робочих місць (АРМ) керівного інженерного складу РТВ [4]. АРМ створюються на базі локальної мережі ПЕОМ із спеціалізованим програмним забезпеченням, що дозволить, використовуючи технології роботи з розподіленими базами даних, вносити інформацію про зразки РЕТ: поточний стан, режим експлуатації, запаси ресурсу, витрати ресурсу, проведені ремонти, напрацювання та технічне обслуговування. Оперативна обробка формалізованих даних про поточний технічний стан РЕТ дозволить отримувати прогнозовані оцінки експлуатаційних показників РЕТ, витрат ресурсу та параметрів радіолокаційного поля у залежності від технічного стану окремих зразків РЕТ [4].

Під час розробки підходу до визначення ефективності оцінювання технічного стану РЛС будьмо полягати, що:

в неавтоматизованій системі взагалі оцінити ефективність контролю технічного стану практично

неможливо, тому якісні і кількісні показники, які отримуємо, можуть бути застосовані лише для автоматизованої системи збору і аналізу інформації про технічний стан РЛС;

зразки РЕТ обладнані пристроями контролю технічного стану та передавання даних в єдину систему збору інформації;

система здійснює періодичний моніторинг технічного стану зразків РЕТ.

Для визначення ефективності оцінювання технічного стану необхідно запропонувати:

показники якості оцінювання технічного стану;

математичний апарат та порядок отримання кількісних показників якості оцінювання.

Визначимо характеристики якості оцінювання технічного стану у вигляді часткових показників.

Оцінювання технічного стану є ймовірнісним процесом. Тому результат оцінювання технічного стану необхідно характеризувати відповідним ймовірнісним показником.

Умова забезпечення високої готовності РЛС до виконання завдань, вимагає певної оперативності на проведення оцінки технічного стану РЛС. Виходячи з цього для оцінки якості оцінювання технічного стану повинен бути використований обов'язково частковий показник, який враховує своєчасність оцінювання технічного стану.

Ступень довіри до результатів оцінювання цілком залежить також від повноти охоплення контролем усіх зразків РЕТ, тому доцільно мати кількісний показник повноти оцінювання.

Таким чином, пропонується використовувати такі наступні часткові показники якості результату оцінювання технічного стану РЛС:

достовірність оцінювання технічного стану РЛС –  $P_0$ ;

мінімальний припустимий час між операціями контролю –  $T_k$ ;

повноту оцінювання технічного стану РЛС за допустимий на її проведення час –  $H_0$ .

Для визначення достовірності контролю технічного стану будьмо використовувати методи статистичного контролю якості – зокрема контролю за якісною (альтернативною) ознакою. Згідно з цих методів о якості продукції робляться висновки за результатами контролю деякої частини – вибірки. Дійсно, неможливо одночасно контролювати усі технічні засоби РЛС одночасно. Частина зразків РЕТ може бути вимкненою, на інших можуть проводитися регламентні або відновлювані роботи. Тому ми маємо 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 [10], однак для виключення систематичних похибок, пов'язаних з вибірковою контролем, головна умова методу, якій обирається – забезпечення випадковості

відбору. Якість контролю у дійсних стандартах та рекомендаціях прийнято оцінювати так званою оперативною характеристикою контролю.

Стосовно завдання контролю технічного стану РЛС оперативною характеристикою контролю буде функція, що показує, з якою вірогідністю можна застати в системі з  $N_0$  зразків РЕТ  $N_n$  несправних зразків (при суцільному контролі всіх зразків) за умови, що у вибірці  $p < N$  зразків виявилися несправними  $p_n < N_n$  зразків.

Хай для перевірки узята вибірка з  $n$  зразків РЕТ. Ймовірність того, що число визнаних несправними при перевірці станцій у вибірці буде менше або рівно 1, за умови, що частка визнаних несправними при перевірці зразків в системі рівна

$$q = N_n / N_0,$$

де  $N_n$  – число РЛС, стан яких визнаний незадовільним;  $N_0$  – загальне число РЛС в системі.

Число комбінацій, сприятливих умові  $n_n = t$ , рівне  $C_{N_i}^m C_{N_0 - N_i}^{n-m}$  із загального числа комбінацій, рівного  $C_{N_0}^n$ . По цьому ймовірність того, що  $n_n = t$  буде визначатися відомим з теорії статистичних методів контролю якості гіпергеометричним розподілом, якій визначається випадковістю відбору зразків:

$$P_i(n_i = m/q) = \frac{C_{N_i}^m C_{N_0 - N_i}^{n-m}}{C_{N_0}^n}. \quad (1)$$

При малих значеннях  $p/N_0$  гіпергеометричний розподіл можна замінити на біноміальний [6], тобто

$$P_i(n_i = m/q) \approx C_n^m q^m (1-q)^{n-m}.$$

$$\text{Враховуючі, що } P_i(n_i \leq 1/q) = \sum_{m=0}^1 P(n_i = m/q),$$

$$\text{та } C_n^m = \frac{n!}{m!(n-m)!},$$

отримаємо вираз для визначення  $P(q)$  :

$$P_i(q) = \sum_{m=0}^1 \frac{n!}{m!(n-m)!} q^m (1-q)^{n-m}. \quad (2)$$

Графік функції  $P(q)$  для відповідних значень  $n$  та  $l$  представлений на рис. 1.

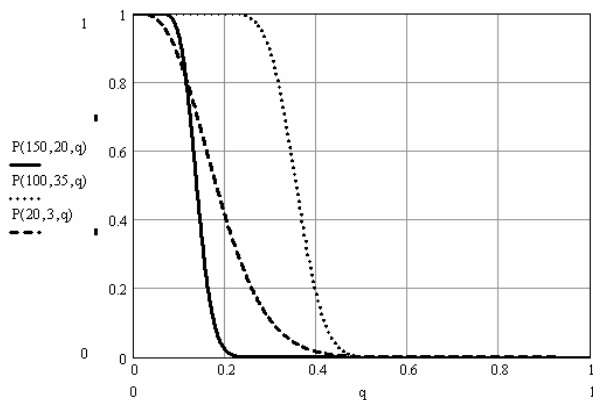


Рис. 1. Графік функції  $P(q)$

Ця функція може бути отримана як по таблицям статистичних розподілів, так і за допомогою прикладних розрахункових програм при значеннях  $p/N_0 < 0,1$  за виразом (2), при інших значеннях – за виразом (1).

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

Своєчасність (оперативність) контролю  $T_k$  будьмо характеризувати мінімальним припустимим часом між операціями контролю, які дозволяють виявити несправність зразка. Його пропонується розрахувати наступним чином.

Хай  $P_6$  – ймовірність безвідмовної роботи РЛС, яка є такою, що відновлюється із відомим середнім часом відновлення  $T_v$  та часом безвідмовної роботи  $T_0$ .

Значення  $T_v$  та  $T_0$  розраховуються шляхом проведення інженерного аналізу усіх зразків РЕТ для РЛС.

Припустимо, що час наробітку між відмовами та час відновлення визначається експоненційним законом розподілу. Тоді з урахуванням часу відновлення  $P_6$  знайдемо, як [11]:

$$P(a) = 1 - \frac{\lambda}{\lambda + \mu} [1 - e^{-(\lambda + \mu)t}], \quad (3)$$

де  $\lambda = 1/T_0$  – інтенсивність відмов;

$\mu = 1/T_v$  – інтенсивність відновлення;

$T_0$  – середній час безвідмовної роботи РЛС;

$T_v$  – середній час відновлення.

Величини  $\lambda$  та  $\mu$  є заданими, тоді за умови задання (фіксації) рівня необхідної ймовірності безвідмовної роботи  $P_6$  знайдемо для  $T_k < t$  за умови  $1 - P_6 < a$  як:

$$T_k = - \frac{\ln\left(\frac{P_6 - 1}{a} + 1\right)}{\lambda + \mu}, \quad (4)$$

$$\text{де } a = \frac{\lambda}{\lambda + \mu}.$$

При цьому полягаємо, що безвідмовною роботою для системи є справність усіх її елементів.

Наприклад, коли  $\lambda = 0,05$  (що відповідає виходу з ладу приблизно одного засобу за добу,  $\mu = 1$  (час відновлення одна година) та для збереження  $P_6$  на рівне не менш 0,96, час, необхідний для контролю усієї РЛС, повинен бути менш 4,5 год.

Повноту оцінювання технічного стану  $N_0$  РЛС пропонується оцінювати наступним чином:

$$H_0 = N_k / N_0, \quad (5)$$

де  $N_0$  – загальна кількість об'єктів оцінювання – зразків РЕТ;

$N_k$  – кількість зразків РЕТ, які охоплені технічним контролем.

Таким чином запропоновані як показники оцінювання якості контролю технічного стану РЛС, так і методи їх розрахунку.

## Висновки

1. Запропонований підхід дозволяє оцінити ефективність контролю технічного стану в автоматизованій системі інженерно-радіоелектронного забезпечення на основі фізично зрозумілих показників.

2. Кількісні значення показників оцінювання якості контролю технічного стану, які можуть бути розраховані, дозволяють аналізувати ефективність автоматизованій системі інженерно-радіоелектронного забезпечення та здійснювати її удосконалення.

## Список літератури

1. Камалтинов Г.Г. Концептуальний підхід до оцінки технічного стану системи спостереження повітряного простору Збройних Сил України / Г.Г. Камалтинов, О.М. Колесник, Ю.П. Кудрявцев // Збірник наукових праць ОНДІ. – Х.: ОНДІ ЗС. – 2006. – Вип. 1(3). – С. 31-40.

2. 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.: ХУПС, 2011 – № 3(19). – С. 27-41.

3. Арасланов М.Р. Оцінка та прогнозування стану засобів радіолокації автоматизованій системі спостереження повітряного простору ЗС України / М.Р. Арасланов, О.М. Колесник // Системи озброєння та військова техніка. – Х.: ХУПС. – 2009. – № 3(19). – С. 2-6.

4. 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 та військова техніка. – Х.: ХУПС. – 2013. – № 2(32). – С. 31-40.

5. Арасланов М.Р. Напряма побудова автоматизованій системі контролю та прогнозування технічного стану засобів радіолокації радіотехнічних військ / М.Р. Арасланов, О.М. Колесник, В.Д. Батиєв // Системи озброєння та військова техніка. – Х.: ХУПС. – 2010. – № 2(22). – С. 35-39.

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

7. Артеменко А.М. Оцінка якості класифікації повітряних об'єктів під час контролю повітряного простору / А.М. Артеменко, Г.Г. Камалтинов // Системи управління, навігації та зв'язку – К.: ДП ЦНДІ НУ. – 2011. – № 2(18). – С. 33-37.

8. 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.

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

10. Федоров В. Контроль и испытания в проектировании и производстве радиоэлектронных средств / В. Федоров, Н. Сергеев, А. Кондрашин. – М.: Техносфера, 2005. – 504 с.

11. Азарскова В.Н. Надежность систем управления и автоматики / В.Н. Азарскова, В.П. Стрельникова. – К.: НАУ, 2004. – 164 с.

Надійшла до редколегії 2.08.2013

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

## ЭФФЕКТИВНОСТЬ ОЦЕНИВАНИЯ ТЕХНИЧЕСКОГО СОСТОЯНИЯ РАДИОЛОКАЦИОННОЙ СИСТЕМЫ ВООРУЖЕННЫХ СИЛ УКРАИНЫ

Д.А. Дончак, Г.Г. Камалтинов, И.Т. Кириллов

Предлагается методика определения эффективности оценивания технического состояния радиолокационной системы Вооруженных Сил Украины с использованием автоматизированной системы контроля, элементы которой разворачиваются в радиотехнических войсках Воздушных Сил. Обсуждаются условия и методы контроля исправности и технических характеристик радиолокационных средств как нового, так и старого парка. Выбираются и описываются показатели для определения эффективности оценивания технического состояния радиолокационной системы: достоверность оценивания, своевременность мероприятий контроля, полнота охвата контролем радиоэлектронной техники за допустимое на его проведение время. Определяется математический аппарат на основе методов статистического контроля качества и теории надежности и порядок расчета предложенных показателей.

**Ключевые слова:** оценивание технического состояния, радиолокационная система, показатели оценивания.

## EFFICIENCY OF EVALUATION OF THE TECHNICAL STATE OF THE RADIO-LOCATION SYSTEM OF MILITARY POWERS OF UKRAINE

D.A. Donchak, G.G. Kamaltunov, I.G. Kirillov

The method of definition of efficiency of evaluation of the technical state of the radio-location system of Military Powers of Ukraine is offered with the use of the automated checking system the elements of which are opened out in the radio engineerings troops of Aircrafts. Terms and methods of control of good condition and technical descriptions of radio-location facilities of both new and old park come into a question. Get out and described indexes for definition of efficiency of evaluation of the technical state of radio-location systems: evaluations, timeliness of control measures, plenitude of scope control of radio electronic technique for possible on its leadthrough time. A mathematical vehicle on the basis of methods of statistical control of quality and theory of reliability and order of calculation of the offered indexes is determined.

**Keywords:** evaluation of the technical state, radio-location system, evaluation indexes.