

УДК 681.518.54.4

С.Е. Попов

Національний університет оборони України, Київ

ВИБІР І ОБГРУНТУВАННЯ ВИМОГ ДО ПОКАЗНИКІВ ТА КРИТЕРІЮ ЕФЕКТИВНОСТІ ФУНКЦІОНУВАННЯ СИСТЕМИ ІНЖЕНЕРНО-РАДІОЕЛЕКТРОННОГО ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ ВІЙСЬКОВИХ ЧАСТИН РАДІОТЕХНІЧНИХ ВІЙСЬК

Досліджується актуальна задача оцінки ефективності функціонування системи інженерно-радіоелектронного забезпечення військових частин радіотехнічних військ в ході ведення операцій (бойових дій). Запропоновано алгоритм вибору і обґрунтування вимог до показників та критерію ефективності функціонування системи інженерно-радіоелектронного забезпечення військових частин радіотехнічних військ в умовах ведення бойових дій.

Ключові слова: інженерно-радіоелектронне забезпечення, ефективність функціонування, показник ефективності, критерій ефективності, радіоелектронна техніка, підсистема відновлення

Вступ

Постановка проблеми. На сьогоднішній день радіотехнічні війська (РТВ) залишаються основним джерелом інформації про повітряну обстановку в Збройних Силах (ЗС) України і складають основу системи розвідки та попередження про повітряного противника, як складової загальної системи проти-повітряної оборони держави. Тому актуальним залишається питання щодо реалізації принципів бойового застосування РТВ, одними з основних яких є: всебічне та повне забезпечення бойового застосування; підтримання та своєчасне відновлення бойової готовності військ в ході підготовки та ведення операцій (бойових дій). Реалізувати зазначені принципи можливо лише за умов надійного функціонування усіх підсистем технічного забезпечення (ТхЗ) бойового застосування РТВ, як складової системи матеріально-технічного забезпечення (МТЗ) військ.

Питання якості укомплектування, підтримання в готовності до бойового застосування озброєння та військової техніки (ОВТ) РТВ, забезпечення її безві-

дмовної експлуатації, ремонту та відновлення набувають особливого значення в ході підготовки військ (сил) до ведення операцій (бойових дій) і безумовно впливають на стан бойової готовності, якість виконання бойових завдань військовими частинами (підрозділами) РТВ в ході їх бойового застосування.

Одним з можливих шляхів щодо підвищення рівня бойової готовності та реалізації принципів бойового застосування РТВ в ході підготовки та ведення операцій (бойових дій) є підвищення ефективності функціонування системи інженерно-радіоелектронного забезпечення (ІРЕЗ), як основного виду ТхЗ бойового застосування РТВ.

Слід зазначити, що процес ІРЕЗ військових частин РТВ реалізується в рамках організаційної структури системи ТхЗ бойового застосування РТВ, декомпозуємої за рівнями ієрархії її побудови і за видами заходів, які забезпечуються.

Аналіз останніх досліджень і публікацій стосовно ефективності функціонування різноманітних моделей ТхЗ родів військ ЗС України дає можливість зробити висновок, що всі вони були розробле-

ні для вирішення часткових завдань ТхЗ родів військ і не дають можливості обґрунтувати вимоги до їх складових елементів – відповідних видів забезпечення (зокрема ІРЕЗ, як основного виду ТхЗ бойового застосування РТВ) та комплексно оцінити ефективність їх функціонування в умовах ведення бойових дій.

Досвід аналізу і оптимізації складних систем [1, 2] показав доцільність і перспективність їх дослідження шляхом розробки моделей системи (структурної, функціональної, математичної) з обґрунтуванням вимог до відповідних показників та критеріїв ефективності її функціонування в будь-яких умовах обстановки.

Метою даної статті є розгляд алгоритму вибору і обґрунтування вимог до показників та критерію ефективності функціонування системи ІРЕЗ військових частин РТВ в умовах ведення бойових дій.

Алгоритм оцінки ефективності функціонування системи ІРЕЗ військових частин РТВ наведений на рис. 1.

Основна частина

Оцінка ефективності функціонування будь-якої системи здійснюється за відповідними показниками та критеріями.

Показник – це кількісна або якісна величина основних властивостей системи, яка характеризує її дійсний стан в конкретних умовах обстановки. Показник має найменування та відповідні значення (стандартні оцінки). За визначеними показниками здійснюється оцінка ефективності функціонування структурних елементів системи.

Критерій – це умови, на підставі яких проводиться оцінка ефективності функціонування системи за значенням одного або декількох показників.

Узагальненою властивістю будь-якої складної системи є її ефективність, під якою мається на увазі узагальнена властивість системи, яка характеризує ступінь її пристосованості до виконання поставлених перед нею завдань у заданих умовах функціонування системи.

Головною і визначальною умовою функціонування системи ІРЕЗ в умовах ведення бойових дій є постійна підтримка справності радіоелектронної техніки (РЕТ) на рівні, що забезпечує готовність військових частин РТВ до бойового застосування.

Основними критеріями функціонування системи ІРЕЗ військових частин РТВ в будь-яких умовах обстановки є її ефективність і економічність.

Завдання відповідності системи ІРЕЗ бойовим можливостям військових частин РТВ може бути вирішено тільки за умови достатності сил і засобів ТхЗ угруповання РТВ, які застосовуються за єдиним замислом і планом. При цьому, під достатністю надалі варто розуміти ту мінімальну межу, при якій

досягається виконання поставлених завдань і цілей тільки в умовах максимального використання своїх можливостей у конкретній обстановці. По фізичній суті достатність являє собою відношення наявних можливостей системи до потрібних.

Найбільш вагомим критерієм оцінки функціонування системи ІРЕЗ слід вважати ефективність, за умови, що інші критерії позитивно впливають на її функціонування.

Вибір показника і критерію для оцінки ефективності функціонування системи ІРЕЗ проводиться відповідно до встановлених вимог, які повинні: відображати цільове призначення системи ІРЕЗ та основні її властивості; мати визначене трактування у встановлених оперативно-тактичних і технічних термінах; забезпечувати урахування істотних зовнішніх і внутрішніх параметрів і бути чутливими до їх зміни; мати можливу простоту в математичному змісті і давати більш точну оцінку результатів функціонування.

Під ефективністю функціонування системи ІРЕЗ слід розуміти її здатність своєчасно та у будь-яких умовах обстановки задовольняти потреби військових частин, підрозділів РТВ у справній РЕТ та ВТМ, ремонтно-відновлювальних органів – у запасних частинах, інструментах і матеріалах.

Узагальненим показником ефективності функціонування системи ІРЕЗ є ймовірність (події А) того, що будь-яке завдання щодо відновлення пошкодженої РЕТ буде виконане у встановлений час.

Аналіз проведеного моделювання процесу функціонування системи ІРЕЗ угруповання РТВ в умовах ведення бойових дій свідчить про те, що основними видами відновлення пошкодженої РЕТ є відновлення поточним ремонтом (ПР) і середнім ремонтом (СР), а для поповнення безповоротних втрат використовується наявний резерв (Р).

Якщо за цикл функціонування системи прийнята одна доба, то можна вважати що система ІРЕЗ буде працювати ефективно, якщо термін відновлення пошкодженої РЕТ буде не більше нормативного (виконується відповідна подія А):

$$A = T_{\text{рем}} + T_{\text{цу}} = T_{\text{в}} \leq T_{\text{в}}^{\text{нор}}, \quad (1)$$

де $T_{\text{в}}$ - тривалість відновлення пошкодженої РЕТ;

$T_{\text{рем}}$ - витрати часу на проведення ремонту пошкодженої техніки;

$T_{\text{цу}}$ - додаткові витрати часу на здійснення функцій управління;

$T_{\text{в}}^{\text{нор}}$ - нормативна тривалість відновлення пошкодженої РЕТ, доба.

Так як $T_{\text{в}}$ є випадковою величиною, то можна прийняти, що при надходженні на вхід підсистеми відновлення заявок на виконання поточного, середнього ремонту або відновлення резервом реалізується стандартна схема двох несумісних подій.

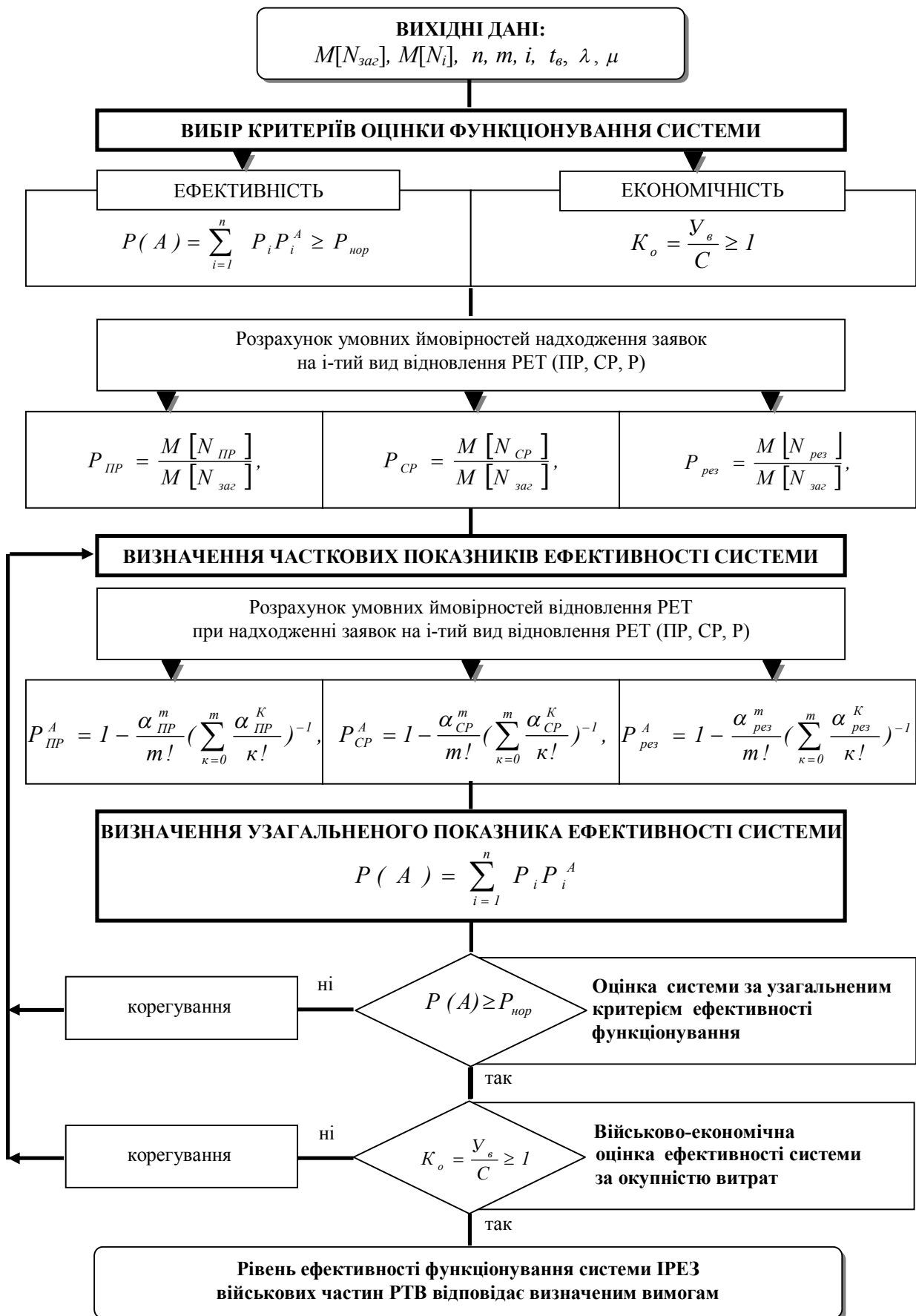


Рис. 1. Алгоритм оцінки ефективності функціонування системи ІРЕЗ військових частин РТВ

Перше – подія А виконується, то відповідно, система ІРЕЗ вирішила поставлене перед нею завдання у встановлений час. Друге – подія А не виконана. Слід зауважити, що для всієї кількості завдань щодо відновлення пошкодженої РЕТ ймовірнісна схема, яка виникає, зводиться до формули повної ймовірності. Тобто узагальненим показником ефективності функціонування системи є ймовірність (події А) того, що будь-яке завдання щодо відновлення пошкодженої РЕТ буде виконане у встановлений час і визначається за формулою:

$$P(A) = \sum_{i=1}^n P_i P_i^A, \quad (2)$$

де P_i - ймовірність надходження на вхід підсистеми відновлення заявки і-го виду; P_i^A - умовна ймовірність виконання події А, якщо надійшла заявка і-го виду; і - вид заявки (ПР, СР, Р). Аналіз результатів експертної оцінки показника ефективності функціонування системи показує, що для якісного виконання покладених на систему ІРЕЗ завдань чисельне значення узагальненого показника ефективності функціонування системи $P_{\text{нор}}$ повинно бути не менше 0,87. Тоді критерієм ефективності функціонування системи ІРЕЗ є вимога того, що ймовірність виконання системою завдань (події А) повинна бути не меншою від нормативної:

$$P(A) \geq P_{\text{нор}}. \quad (3)$$

Визначено, що ймовірності P_i у формулі (2) можуть мати значення не тільки як апіорні ймовірності надходження заявок на відповідний вид відновлення РЕТ, а також і значення коефіцієнтів важливості відповідного виду відновлення. Тоді ймовірність надходження на вхід підсистеми відновлення заявки на ПР, СР чи відновлення Р розраховується як

$$P_i = \frac{M[N_i]}{M[N_{\text{заг}}]}, \quad \sum_{i=1}^n P_i = 1, \quad (4)$$

де $M[N_i]$ – математичне сподівання кількості пошкодженої РЕТ за і-м видом заявки; $M[N_{\text{заг}}]$ - математичне сподівання загальної кількості пошкодженої РЕТ.

На ймовірності P_i впливають зовнішні оперативно-тактичні фактори, тобто вплив на них із середини системи не можливий, тому при проведенні розрахунків ці ймовірності залишаються незмінними. Якщо розглядати можливі шляхи задоволення вимоги (3), то зрозуміло, що будь-які зміни $P(A)$ можливі тільки за рахунок умовних ймовірностей P_i^A , які розраховуються за формулою:

$$P_i^A = 1 - \frac{\alpha_i^T}{T!} \left(\sum_{k=0}^T \frac{\alpha_i^k}{k!} \right)^{-1}, \quad \beta_i = \frac{L_i}{M_i}, \quad (5)$$

де $i = 1 \dots 9$ - стан РЕТ; $L_i = 1/t_{\text{надх}}$ - інтенсивність надходження на вхід підсистеми відновлення

заявки і-го виду; $m_i = 1/t_{\text{в}}$ - інтенсивність задоволення підсистемою відновлення заявки і-го виду; t - кількість каналів по ПР, СР, Р. Тоді умовні ймовірності P_i^A є частковими показниками ефективності функціонування системи щодо відновлення РЕТ поточним, середнім ремонтом або резервом.

Процедура прийняття рішення щодо ефективності функціонування системи ІРЕЗ, враховуючи вимогу (3), поділяється на два етапи. Перший етап – визначаються умовні ймовірності P_i^A за формулою (5). Другий етап – розраховується значення узагальненого показника ефективності $P(A)$, яке порівнюється з нормативним $P_{\text{нор}}$. Якщо вимога (3) виконується, то приймається рішення, що система ІРЕЗ ефективна.

Оперативність управління процесом ІРЕЗ характеризується здатністю системи управління відповідно до поставленої мети і завдань своєчасно приймати і доводити до підпорядкованих військ відповідні рішення та у реальному масштабі часу здійснювати керівництво процесом ІРЕЗ в залежності від умов обстановки. Оперативність управління системою може бути виражена математичним сподіванням тривалості циклу управління $M[T_{\text{ц}}]$, рівним відрізка часу між двома черговими моментами прийняття управлінських рішень:

$$T_{\text{ц}} = T_{\text{наяв}} \cdot [-\ln(1 - P_r)]^{-1}, \quad (6)$$

де $T_{\text{наяв}}$ – наявний час тривалості циклу управління; P_r – гарантована ймовірність тривалості циклу управління ($P_r = 0.9 \dots 0.95$).

Наступним показником оцінки ефективності системи є ймовірність того, що тривалість циклу управління не буде перевищувати наявного часу:

$$P_{\text{оу}} = P(T_{\text{ц}} \leq T_{\text{наяв}}) = \Phi^* \left(\frac{T_{\text{наяв}} - \overline{T_{\text{ц}}}}{\sigma_{\text{ц}}}, \right), \quad (7)$$

де $T_{\text{ц}}$ - тривалість циклу управління; $\sigma_{\text{ц}}$ - середньоквадратичне відхилення часу циклу управління.

Застосування РЕТ РТВ у сучасних умовах вимагає також і економічної оцінки заходів, що проводяться. Економічність дозволяє оцінити функціонування системи ІРЕЗ з точки зору відносних величин витрат часу, сил і засобів системи ІРЕЗ на досягнення поставленої мети, тобто якою ціною, з економічної точки зору, може бути досягнуто виконання заданого критерію ефективності функціонування системи ІРЕЗ $P(A) \geq 0,87$.

Адитивний характер ймовірнісного показника ефективності функціонування системи ІРЕЗ дозволяє провести економічну оцінку функціонування системи у вигляді:

$$C_{\text{заг}} = \sum_{i=1}^n C_i, \quad (8)$$

де C_i - вартість відновлення пошкодженої РЕТ і-м видом (ПР, СР, Р), грн.

Застосувавши методу оцінки техніко-економічної ефективності щодо відновлення сучасних технічних систем можна визначити середні витрати на відновлення одного зразка РЕТ і-м видом відновлення (ПР, СР, Р):

$$C_i = \frac{\eta_i C_n}{T_i T_B P_i}, \quad (9)$$

де C_n - вартість нового зразка РЕТ, грн; η_i - норма відрахувань на і-й вид відновлення виражена у долях вартості зразка ($\eta_{\text{ПР}} = 0,1$; $\eta_{\text{СР}} = 0,25 \dots 0,3$; $\eta_{\text{рез.КР}} = 0,65$; $\eta_{\text{рез.н}} = 1$); T_B - середній час відновлення зразка РЕТ, год.

Очевидно, що основні витрати (часові, фінансові, людські) будуть здійснюватися при проведенні різних заходів, які спрямовані на підвищення кількості відновлюваної РЕТ. Тому військово-економічну оцінку доцільно проводити на підставі аналізу проведених заходів.

Наявність даних про ймовірне збільшення кількості відновлюваної РЕТ, дає можливість здійснити прогнозування економічної ефективності проведених заходів, розрахувавши коефіцієнт окупаємості витрат [4]:

$$K_0 = \frac{\Delta Y_B}{C}, \quad (10)$$

де ΔY_B - вартість збільшення кількості відновленої РЕТ; C - здійснені витрати.

Побудувавши графіки залежності K_0 від C , одержимо наочну картину окупаємості витрат на відновлення РЕТ (рис. 2).

Побудувавши для кожного заходу зазначений вище графік, вибираються оптимальні (стосується обсягу робіт і витрат) обсяги робіт "у середині" кожного заходу, що дозволяє найбільш ефективно розподілити сили і засоби при проведенні заходів на підвищення ефективності відновлення.

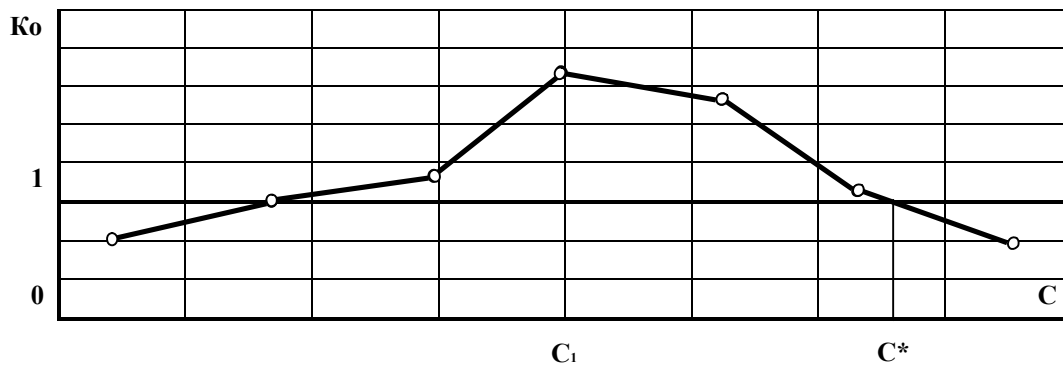


Рис. 2. Графік залежності обсягу відновлювальних робіт від фінансових витрат на їх проведення (де C_1 - точка на графіку, у якій показник відновлення починає рости повільніше, ніж витрати; C^* - точка на графіку, у якій витрати варто припинити у зв'язку з невиконанням умови $K_0 > 1$, що необхідно для проведення заходів)

Висновки

Використання запропонованих показників та критерію ефективності дозволить: кількісно та якісно оцінити стан і готовність системи до виконання поставлених завдань; оперативно проводити корекцію планів і прийнятих рішень у будь-яких умовах обстановки та якісно здійснювати заходи всебічного забезпечення військ в умовах ведення бойових дій.

У подальшому, на підставі визначених показників та критерію ефективності та з метою підтримання в готовності до бойового застосування РЕТ РТВ, забезпечення її безвідмовної експлуатації, ремонту та відновлення, доцільно провести дослідження щодо удосконалення методики оцінки ефективності функціонування системи ІРЕЗ військових частин радіотехнічних військ в умовах ведення бойових дій.

Список літератури

1. Бусленко Н. П. *Моделирование сложных систем* / Н. П. Бусленко. - М.: Наука, 1978. - 400 с.

2. Вентцель Е. С. *Исследование операций* / Е. С. Вентцель. - М.: Сов. Радио, 1972. - 552 с.

3. Мальц Э. А. *Статистическое моделирование систем массового обслуживания* / Э. А. Мальц. - М.: Сов. радио, 1988. - 247 с.

4. Жуков В. И. *Военно-экономический анализ и исследование операций* / В. И. Жуков, О. Н. Викулов. - М.: Воениздат, 1987. - 440 с.

5. Калинин Ю. С. *Случайный поиск методом статистического градиента для функций с дискретно-изменяющимися аргументами* / Ю. С. Калинин. - Рига: Знание, 1985. - 267 с.

6. *Нормативы времени на текущий и средний ремонт, разборку машин, капитальный ремонт агрегатов в подвижных ремонтных частях и подразделениях и методы их расчета.* - М.: ГлавТУ МО СССР, 1983. - 18 с.

7. Петухов Г. Б. *Основы теории массового обслуживания* / Г. Б. Петухов. - Л.: ВИКА имени Можайского, 1974. - 247 с.

Надійшла до редколегії 18.10.2013

Рецензент: д-р техн. наук, проф. В. І. Мірненко, Національний університет оборони України ім. Івана Черняховського, Київ.

**ВЫБОР И ОБОСНОВАНИЕ ТРЕБОВАНИЙ К ПОКАЗАТЕЛЯМ И КРИТЕРИЮ ЭФФЕКТИВНОСТИ
ФУНКЦИОНИРОВАНИЯ СИСТЕМЫ ИНЖЕНЕРНО-РАДИОЭЛЕКТРОННОГО ОБЕСПЕЧЕНИЯ
ВОИНСКИХ ЧАСТЕЙ РАДИОТЕХНИЧЕСКИХ ВОЙСК**

С.Э. Попов

Исследуется актуальная задача оценки эффективности функционирования системы инженерно-радиоэлектронного обеспечения воинских частей радиотехнических войск в ходе ведения операций (боевых действий). Предложен алгоритм выбора и обоснования требований к показателям и критерию эффективности функционирования системы инженерно-радиоэлектронного обеспечения воинских частей радиотехнических войск в условиях ведения боевых действий.

Ключевые слова: инженерно-радиоэлектронное обеспечение, эффективность функционирования, показатель эффективности, критерий эффективности, радиоэлектронная техника, подсистема восстановления.

**SELECTION AND JUSTIFICATION OF PERFORMANCE REQUIREMENTS AND PERFORMANCE CRITERIA
OF THE SYSTEM ENGINEERING AND RADIO-ELECTRONIC PROVIDE OF MILITARY UNITS
INTO RADAR TROOPS**

S.E. Popov

The most actual problem for estimation of efficiency system performance engineering and radio electronic support of military units into radar troops in the course operations (combat actions). Proposed an algorithm of selection and justification of performance requirements on the efficiency of the system engineering and radio-electronic provide of military units into radar troops under conditions for combat operations.

Keywords: engineering and radio-electronic providing, efficiency of functioning, the performance indicator of the efficiency criterion, radio-electronic techniques, a subsystem of restoration.