

УДК 355.424.3

М.В. Кас'яненко<sup>1</sup>, В.П. Ясинецький<sup>1</sup>, В.О. Лебедєв<sup>2</sup>, В.М. Субота<sup>2</sup><sup>1</sup> Національний університет оборони України імені Івана Черняхівського, Київ<sup>2</sup> Харківський університет Повітряних Сил імені Івана Кожедуба, Харків

## МЕТОДИКА ВИЗНАЧЕННЯ ОПТИМАЛЬНОГО ОБСЯГУ ПІДГОТОВКИ ЗАСОБІВ РТЗ ДО ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ ПОЛЬОТІВ В ЗАЛЕЖНОСТІ ВІД НАЯВНОГО ЧАСУ

З метою забезпечення необхідного рівня безпеки польотів в авіації Повітряних Сил Збройних Сил України та організації роботи із запобігання авіаційних подій в структурних підрозділах запропоновано методику визначення раціонального обсягу підготовки засобів радіотехнічного забезпечення до забезпечення польотів в залежності від наявного часу.

**Ключові слова:** радіотехнічне забезпечення, технічна підготовка, методика визначення.

### Вступ

**Постановка проблеми.** З метою попередження несправностей і відмов радіотехнічних засобів (РТЗ) в процесі безпосереднього застосування для забезпечення польотів авіації проводиться їх попередня та передпольотна підготовка. Ця підготовка включає перевірку технічного стану засобів РТЗ і усунення виявлених несправностей, шляхом заміни окремих блоків, регулювання, підстроювання, калібрування тощо. Оцінювання ефективності проведеної підготовки засобів РТЗ до забезпечення польотів у визначеному обсязі можна здійснити за імовірністю того, що засоби РТЗ до моменту застосування будуть повністю справними і працюватимуть безвідмовно протягом заданого часу –  $P_{\text{над}}$ .

При збільшенні обсягу підготовки, що можливо лише за умови збільшення часу на її проведення, імовірність  $P_{\text{над}}$  збільшується. Але, якщо час на підготовку обмежений, то імовірність  $P_{\text{над}}$  знижується, тобто засоби РТЗ можуть опинитися невідготовленими до забезпечення польотів, що в свою чергу рівнозначно зриву виконання авіацією бойового завдання. Тому планування і проведення підготовки засобів РТЗ польотів до забезпечення польотів, в будь-яких умовах, повинно забезпечувати підвищення її ефективності. Вочевидь є те, що існуючий зв'язок між обсягом підготовки, який планується і величиною виграшу від нього в ефективності застосування обладнання дозволяє поставити задачу знаходження раціонального обсягу підготовки в залежності від наявного часу.

**Аналіз останніх досліджень та публікацій.** Аналіз наукових джерел показав, що питанню знаходження раціонального обсягу підготовки засобів РТЗ до забезпечення польотів в залежності від наявного часу суттєвої уваги не приділялося. Перш за все це пов'язано із тим, що підготовка радіотехнічних засобів до забезпечення польотів проводиться завчасно [1]. Але аналіз подій, які відбувалися в Криму та на

Сході України показав, що може скластися така обстановка коли завчасне проведення підготовки засобів РТЗ до забезпечення польотів неможливо.

**Формулювання мети статті.** У даній статті авторами пропонується методика визначення раціонального обсягу підготовки засобів РТЗ до забезпечення польотів в залежності від наявного часу.

### Викладення основного матеріалу

С допустимим наближенням можна отримати прості аналітичні вирази для вирішення задачі визначення раціонального обсягу підготовки засобів РТЗ до забезпечення польотів в залежності від наявного часу, якщо використати показник ефективності підготовки засобів РТЗ польотів.

За показник ефективності підготовки засобів РТЗ природно прийняти виграш у прирості величини ефективності засобів РТЗ за рахунок проведення підготовки –  $\eta$ .

Показник ефективності підготовки засобів РТЗ може бути визначений як співвідношення ефективності радіотехнічних засобів, на яких виконувалася підготовка  $W$ , до ефективності тих же засобів при умові, що підготовка на них не проводилася  $W'$ :

$$\eta = W/W'. \quad (1)$$

Кількісно ефективність засобів РТЗ польотів можна оцінити імовірністю виконання ними завдань на потрібному рівні за певний час[2]:

$$W = P_{\text{тп}}(\mu, T)P_{\text{над}}W_0, \quad (2)$$

де  $P_{\text{тп}}(\mu, T) = f(\mu, T)$  – імовірність виконання підготовки засобів РТЗ польотів з інтенсивністю  $\mu$  за час не більше заданого  $T$ ;  $P_{\text{над}}$  – імовірність справного стану засобів РТЗ польотів до початку їх застосування і безвідмовної їх роботи протягом часу виконання завдання;  $W_0$  – імовірність виконання засобами РТЗ польотів завдань на необхідному рівні за певний час при умові, що засоби РТЗ польотів працювали безвідмовно і не потребують підготовки.

У виразі (2) добуток  $P_{\text{тп}}(T)P_{\text{над}}$  враховує вплив на ефективність засобів РТЗ польотів всього комплексу факторів, які пов'язані із технічною експлуатацією і надійністю засобів. Використовуючи вираз (1) і виразивши  $P_{\text{над}}$  добутком імовірності справного стану засобів РТЗ польотів до початку їх застосування ( $P_{\text{над}0}$ ) та імовірності безвідмовної роботи засобів РТЗ польотів протягом часу виконання завдання  $P_{\text{над}}(t_{\text{вз}})$  з виразу (2) отримаємо

$$\eta = P_{\text{тп}}(T) \frac{P_{\text{над}0} P_{\text{над}}(t_{\text{вз}})}{P'_{\text{над}0} P'_{\text{над}}(t_{\text{вз}})}. \quad (3)$$

Штрих при символах в знаменнику виразу (3) позначає ту обставину, що підготовка на відповідних засобах РТЗ польотів, перед їх застосуванням, не проводилася, тобто для таких засобів  $P_{\text{тп}}(T) \equiv 1$ .

Безпосередньо з виразу (1) слідує, що проведення підготовки на засобах РТЗ польотів, при заданому часі на її проведення, буде виправданим тільки при виконанні умови  $\eta > 1$ .

Це значить, що при розгляді питання про доцільність проведення підготовки засобів РТЗ виконання умови  $P_{\text{над}0} > P'_{\text{над}0}$  ще не достатньо для обґрунтованого прийняття рішення.

Для оцінювання ефективності підготовки засобів РТЗ у заданому обсязі необхідно знайти її аналітичну залежність від параметрів технічного обслуговування і надійності засобів. Для цього розглянемо задачу в такій постановці.

Радіотехнічний засіб складається із  $n$  окремих приладів (блоків, елементів), які, в смислі впливу відмови окремого приладу на загальну надійність засобу, з'єднані послідовно.

Тривалість виконання операції по технічному обслуговуванню є випадковою величиною. Під операцією будемо розуміти контроль технічного стану окремого елемента (блока, приладу) і усунення знайдених несправностей і дефектів.

Час, який можна використати на підготовку з метою забезпечення максимальної надійності радіотехнічного засобу, обмежений, а його величина відома ( $T$ ). Будемо вважати, що наступні статистичні показники технічного обслуговування і надійності кожного із  $n$  окремих елементів відомі:  $P'_i$  – імовірність справного стану  $i$ -го елемента до початку підготовки (на практиці величину  $P'_i$  нескладно отримати як відношення числа однотипних приладів (блоків, елементів), що опинились в результаті перевірок справними, до загального числа перевірених аналогічних приладів протягом деякого періоду експлуатації);  $m_{\tau_i}$  – математичне сподівання тривалості технічного обслуговування  $i$ -го елемента ( $\tau_i$ );  $\sigma_{\tau_i}^2$  – дисперсія тривалості  $i$ -ої операції.

Два останніх параметри також неважко знайти статистичним шляхом по даним хронометражу технічного обслуговування.

Потрібно знайти, які з операцій слід планувати і виконувати з тим, щоб ефективність підготовки виявилась найбільшою. Іншими словами, потрібно знайти оптимальний обсяг підготовки для наявного часу на її проведення.

Вочевидь, що чим більше операцій буде виконано (чим більше окремих приладів буде піддано перевірці з усуненням можливих несправностей), тим вищою буде імовірність справного стану радіотехнічного засобу після завершення підготовки.

Але збільшення числа операцій, які плануються до виконання, знижує імовірність їх завершення протягом часу наявного на підготовку. При цьому небайдуже, які саме операції будуть виконуватись, оскільки у загальному випадку величини  $P'_{\text{над}0i}$ ,  $T_{\tau_i}$ ,  $\sigma_{\tau_i}$  можуть мати самі різні співвідношення.

Зрозумілим є те, що число можливих варіантів підготовки при  $n$  можливих операціях буде дорівнювати сумі числа поєднань із  $n$  по 1, по 2, по 3 і т.д., аж до  $n$ . Накладемо деякі обмеження.

1. Складний радіотехнічний засіб може бути допущений до застосування тільки після завершення підготовки у заданому (запланованому) обсязі.

2. Глибина і достовірність контролю для кожного із окремих приладів такі, що після завершення  $i$ -ої операції справність відповідного приладу ( $i$ -го елемента) становиться достовірною подією, тобто  $P_{\text{над}0i}$  дорівнює одиниці.

Позначимо імовірність завершення підготовки на  $k$  елементарних пристроях радіотехнічного засобу (імовірність послідовного виконання  $k$  операцій) протягом часу  $T$  через  $P_{\text{тп}}(T, k)$ . Тоді для радіотехнічного засобу із  $n$  елементів ефективність його підготовки із  $k$  операцій, враховуючи (5), буде мати вигляд:

$$\eta(T, k) = P_{\text{тп}}(T, k) \cdot \prod_{i=1}^k P_{\text{над}0i} \cdot \prod_{i=k+1}^n P'_{\text{над}0i} / \prod_{i=1}^n P_{\text{над}0i}$$

Враховуючи те, що  $P_{\text{над}0i} = 1$  (2-ге обмеження), отримаємо:

$$\eta(T, k) = P_{\text{тп}}(T, k) / \prod_{i=1}^k P'_{\text{над}0i}. \quad (4)$$

Якщо відомий закон розподілу тривалості підготовки із  $k$  послідовно виконаних операцій, то можна розрахувати і побудувати залежність  $\eta(T, k)$  від  $T$  при різних значеннях  $k$  для конкретного радіотехнічного засобу. Наявність таких кривих залежності  $\eta(T, k)$  від  $T$  забезпечить можливість вибору оптимального часу на підготовку. В роботі (2) показано, що розподіл тривалості підготовки при послідовно-

му обслуговуванні достатньо добре апроксимується зсунутим експоненційним законом. Технічну готовність по відомим параметрам  $m_\tau$  і  $\sigma_\tau$  тривалості операції можна виразити формулою:

$$P_{\pi}(T, k) = p(\tau_{(k)} < T) = \begin{cases} 1 - e^{-\mu(k)[T - \tau_{0(k)}]} & \text{якщо } T > \tau_{0(k)}, \\ 0 & \text{якщо } T \leq \tau_{0(k)}, \end{cases} \quad (5)$$

де  $\mu(k)$  – інтенсивність підготовки, яка чисельно дорівнює  $1/\sigma_{\tau(k)}$ ;  $\tau_{0(k)}$  – величина, яка характеризує мінімально необхідний час на підготовку і чисельно дорівнює  $m_{\tau(k)} - \sigma_{\tau(k)}$ .

Для  $k$  операцій, які виконуються послідовно, величини  $m_{\tau(k)}$  та  $\sigma_{\tau(k)}$  розраховуються як

$$m_{\tau(k)} = \sum_{i=1}^k m_{\tau_i}; \quad \sigma_{\tau(k)} = \sqrt{\sum_{i=1}^k \sigma_{\tau_i}^2}, \quad (6)$$

а величини  $\mu(k)$  і  $\tau_{0(k)}$  – відповідно як

$$\mu(k) = 1/\sigma_{\tau(k)}, \quad \tau_{0(k)} = m_{\tau(k)} - \sigma_{\tau(k)}. \quad (7)$$

Таким чином, формули (4 – 7) дозволяють визначити і побудувати криві залежностей  $\eta(T, k)$  для різних поєднань елементарних операцій, тобто для різного обсягу підготовки, а отже, і обрати оптимальний варіант підготовки для різного наявного часу.

В якості пояснювального прикладу розглянемо наступну задачу.

Комплекс радіотехнічних засобів забезпечення польотів складається із радіозв'язного, радіонавігаційного і радіосвітлотехнічного обладнання.

Успішне забезпечення польотів можливе тільки при справності всіх трьох видів обладнання. Час, відведений на підготовку до забезпечення польотів, обмежено, його може не вистачити для перевірки всіх радіотехнічних засобів (під перевіркою мається на увазі визначення та усунення несправностей). Необхідно визначити мінімальний обсяг підготовки, без виконання якої засоби не можуть бути допущені до забезпечення польотів. Вочевидь необхідно зупинитися на одному із таких несумісних варіантів:

1. А – перевірка тільки радіозв'язкових засобів.
2. В – перевірка тільки радіонавігаційних засобів.
3. С – перевірка тільки радіосвітлотехнічних засобів.
4. АВ – послідовне виконання операцій А і В (або В і А).
5. АС – послідовне виконання операцій А і С (або С і А).
6. ВС – послідовне виконання операцій В і С (або С і В).
7. АВС – перевірка всіх радіотехнічних засобів.

Виконання підготовки по кожному із варіантів призводить до різного підвищення імовірності справного стану засобів РТЗ польотів, оскільки

$$P'_{\text{над}0A} \neq P'_{\text{над}0B}; \quad P'_{\text{над}0A} \neq P'_{\text{над}0C};$$

$$P'_{\text{над}0B} \neq P'_{\text{над}0C}.$$

При цьому  $m_{\tau_A} \neq \tau_{\tau_B}$ ,  $\sigma_{\tau_A} \neq \sigma_{\tau_B}$ ,  $\tau_{\tau_A} \neq \tau_{\tau_C}$ ,  $\sigma_{\tau_A} \neq \sigma_{\tau_C}$ ,  $\tau_{\tau_B} \neq \tau_{\tau_C}$ ,  $\sigma_{\tau_B} \neq \sigma_{\tau_C}$ .

Таким чином, імовірність завершення підготовки за відведений час для кожного варіанту різна. В процесі експлуатації не важко статистичним шляхом знайти числові значення всіх перерахованих параметрів. Їх завжди можна підрахувати по хронометражу витрати часу на підготовку і результатам великого числа перевірок.

Глибина підготовки засобів РТЗ польотів до забезпечення польотів буде достатня тільки тоді, коли після її завершення на і-му виді засобів РТЗ можна з високою достовірністю вважати їх працездатними, тобто  $P_{\text{над}0i} = 1$ .

При цій умові загальна надійність усіх засобів РТЗ польотів після закінчення підготовки, наприклад, по варіанту А, буде визначатися добутком  $P'_{\text{над}0B} \times P_{\text{над}0C}$ , по варіанту АВ – величиною  $P_{\text{над}0C}$ , а по варіанту АВС буде дорівнювати одиниці.

В загальному вигляді криві залежностей  $\eta(T)$  для ( $k$ ) варіантів підготовки можуть мати вигляд, показаний на рис. 1. Аналіз кривих  $\eta(T, k)$ , приведених на рис. 1 дозволяє визначити раціональний обсяг підготовки засобів РТЗ в залежності від наявного часу.

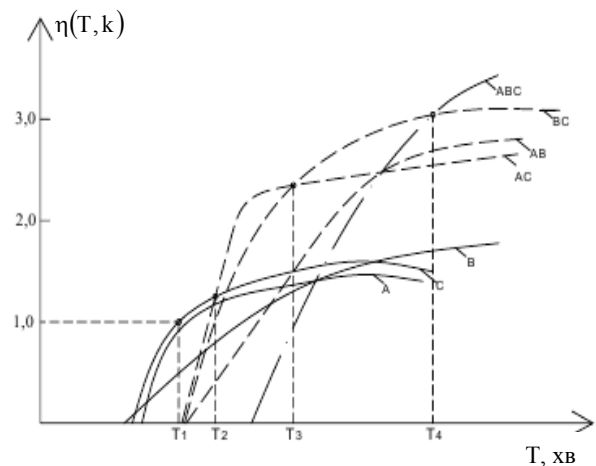


Рис. 1. Криві залежності ефективності  $k$ -го варіанту підготовки радіотехнічного засобу від наявного часу

Якщо час, відведений на підготовку засобів РТЗ польотів, позначити через  $T_{\pi}$ , то при  $T_{\pi} < T_1$  вочевидь, планувати і проводити їх підготовку не доцільно.

При  $T_1 < T_{\pi} \leq T_2$  слід планувати виконання підготовки засобів РТЗ польотів за варіантом С.

При  $T_2 < T_n \leq T_3$  найбільшу ефективність підготовки засобів РТЗ польотів забезпечує варіант АС; при  $T_3 < T_n \leq T_4$  слідє обирати варіант ВС.

При  $T_n > T_4$  необхідно планувати проведення підготовки засобів РТЗ польотів на всіх трьох видах засобів.

Цим не вичерпуються можливості використання побудованих кривих  $\eta(T, k)$ .

Якщо обраний по опису методики обсяг підготовки (апріорний оптимальний обсяг) виявиться виконаним, до закінчення визначеного терміну, то по величині часу, що залишився, використовуючи ті ж самі криві, можна визначити доцільність проведення і найвигідніший обсяг додаткової підготовки на радіотехнічних засобах, що не обслуговувалися.

## Висновки

Таким чином, обраний показник кількісної оцінки підготовки засобів РТЗ польотів дозволяє оптимізувати планування підготовки засобів по максимуму її ефективності. При цьому зумовлені статистичним шляхом параметри підготовки і надійності враховують досягнутий рівень автоматизації контролю, кваліфікації обслуговуючого складу і надійність апаратури в конкретних умовах експлуатації радіотехнічних засобів.

В той же час, слідє відмітити, що запропонований метод вибору оптимального обсягу підготовки засобів РТЗ польотів по наявному часі може бути використаний лише тоді, коли кількість можливих варіантів відносно невелике.

Запропонована методика застосовується і в ряді випадків, коли відсутня пряма експлуатаційна статистика для визначення таких параметрів, як  $P'_{\text{над}0i}$ ,  $T_{\tau_i}$ ,  $\sigma_{\tau_i}$ .

Визначити значення вказаних параметрів можна п'ятим шляхом:

1. За  $\lambda$ -характеристиками окремих елементів кожного  $i$ -го засобу визначається  $P'_{\text{над}0i}$ .

При цьому період часу для визначення такого показника або призначається, або обирається з тактичних або інших міркувань.

2. За статистичними даними експлуатації обладнання яке є аналогічним тому, що розробляється (хоча б по складності), оцінюється час, необхідний для виконання контролю стану  $i$ -того елементарного пристрою. При цьому це повинен бути час "чистого контролю" тобто витрати часу на підготовку справного елементарного приладу. Така величина приписується параметру  $\tau_{0i}$ .

Таким чином оцінюється час виконання  $i$ -тої операції при умові, що будуть додаткові витрати на усунення несправностей  $\tau_{\text{від}i}$ .

За отриманими значеннями  $P'_{\text{над}0i}$ ,  $\tau_{0i}$  і  $\tau_{\text{від}i}$  на основі теореми про математичне сподівання визначається  $T_{\tau_i}$ :

$$T_{\tau_i} = P'_{\text{над}0i} \tau_{0i} + (1 - P'_{\text{над}0i}) \tau_{\text{від}i}$$

Знаючи  $\tau_{0i}$  і  $T_{\tau_i}$ , можна знайти параметри  $\mu_i$  і  $\sigma_{\tau_i}$ :

$$\sigma_{\tau_i} = T_{\tau_i} - \tau_{0i}, \quad \mu_i = \frac{1}{\sigma_{\tau_i}}$$

Далі можна проводити повний аналіз за допомогою описаної вище методики.

## Список літератури

1. Наказ Міністерства оборони України від 21.11.2012 № 770 "Про затвердження правил організації зв'язку та радіотехнічного забезпечення польотів державної авіації України".
2. Васильев Б.В. Надежность и эффективность радиоэлектронных устройств / Б.В. Васильев, Б.А. Козлов, Л.Г. Ткаченко. – М.: Сов.радио, 1964. – 368 с.

Надійшла до редколегії 2.04.2015

**Рецензент:** д-р техн. наук, доц. М.А. Павленко, Харківський університет Повітряних Сил ім. І. Кожедуба, Харків.

## МЕТОДИКА ОПРЕДЕЛЕНИЯ ОПТИМАЛЬНОГО ОБЪЕМА ПОДГОТОВКИ СРЕДСТВ РАДИОТЕХНИЧЕСКОГО ОБЕСПЕЧЕНИЯ К ОБЕСПЕЧЕНИЮ ПОЛЁТОВ В ЗАВИСИМОСТИ ОТ ИМЕЮЩЕГОСЯ ВРЕМЕНИ

М.В. Касьяненко, В.П. Ясинецкий, В.А. Лебедев, В.Н. Субота

С целью обеспечения необходимого уровня безопасности полетов в авиации Воздушных Сил Вооруженных Сил Украины та организации работы по предотвращению авиационных происшествий в структурных подразделениях предложено методику определения рационального объема подготовки средств радиотехнического обеспечения в зависимости от имеющегося времени для обеспечения полетов.

**Ключевые слова:** радиотехническое обеспечение, техническая подготовка, методика определения.

## METHODOLOGY OF DETERMINATION OF OPTIMAL VOLUME OF PREPARATION OF THE RADIOTECHNICAL SUPPORT MEANS TO FLIGHT SUPPORT IN DEPENDENCE OF AVAILABLE TIME

M.V. Kasyanenko, V.P. Yasinetsky, V.A. Lebedev, V.N. Subota

In order to ensure the adopted level of safety in the Air Force Armed Forces of Ukraine and the organization of the prevention of air accidents in subdivisions proposed method for determining the amount of sustainable training facilities to ensure Radio Engineering of flight, depending on the time available.

**Keywords:** radio engineering support, technical training, methodology definition.