

УДК 623.611

Ю.Б. Прібілев¹, С.С. Войтенко², Л.М. Сакович³¹ Національний університет оборони України імені Івана Черняхівського, Київ² Харківський національний університет Повітряних Сил імені Івана Кожедуба, Харків³ Інститут спеціального зв'язку та захисту інформації Національного технічного університету України "Київський політехнічний інститут" імені Ігоря Сікорського, Київ

СПОСІБ ВИЗНАЧЕННЯ ПАРАМЕТРІВ СИСТЕМИ ТЕХНІЧНОГО ОБСЛУГОВУВАННЯ КОМПЛЕКСІВ ЗЕНІТНОГО РАКЕТНОГО ОЗБРОЄННЯ

У статті розглянуто спосіб визначення параметрів системи технічного обслуговування комплексів зенітного ракетного озброєння. Наведено аналітичні вирази для кількісної оцінки максимально допустимої тривалості і мінімально допустимої періодичності проведення технічного обслуговування комплексів зенітного ракетного озброєння.

Ключові слова: комплекс зенітного ракетного озброєння, система технічного обслуговування, інтервал експлуатації.

Вступ

Постановка проблеми. Підтримка озброєння та військової техніки (ОВТ) на заданому рівні бойової готовності при скороченні економічних витрат на експлуатацію є найважливішим завданням в сучасних умовах ведення проти України гібридної війни. Вирішення завдань протиповітряної оборони (ППО) щодо прикриття військ та об'єктів від ударів повітряного противника забезпечується комплексами зенітного ракетного озброєння (КЗРО), що становлять основну вогневу силу зенітних ракетних військ (ЗРВ).

Підтримання боєздатного стану КЗРО здійснюється в регламентованій системі технічної експлуатації і ремонту (ТЕ і Р), яка характеризується значними витратами на забезпечення та відновлення працездатності та технічного ресурсу. Вирішити завдання скорочення витрат на роботу системи ТЕ і Р КЗРО можливо тільки побудувавши раціональну систему технічного обслуговування (СТО), найбільшою мірою пристосовану до конструктивних особливостей апаратури та умовам експлуатації КЗРО. Актуальною є проблема розробки адекватної математичної моделі СТО КЗРО, що дозволить обґрунтувати вимоги та побудувати раціональну СТО КЗРО.

Ефективність вирішення завдання підтримки КЗРО в постійній готовності до бойового застосування значною мірою залежить від характеру та умов їх бойового застосування і, в першу чергу, від таких характеристик бойової обстановки, як тривалість та інтенсивність ударів засобів повітряного нападу (ЗПН) противника. При веденні бойових дій

процес експлуатації КЗРО складається, в основному, з двох етапів експлуатації – підтримання КЗРО у готовності до використання за призначенням та безпосередньо використання за призначенням. Етап підтримки у готовності до використання за призначенням складається з декількох різних за тривалістю видів технічного обслуговування (ТО).

Тривалість даного етапу за розглянутий інтервал експлуатації визначається тривалістю етапу використання КЗРО за призначенням. Тому доцільно обґрунтувати такі параметри СТО, як тривалість ТО і періодичність проходження ТО, виходячи з особливостей умов експлуатації КЗРО і очікуваної максимальної напруженості ведення бойових дій.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. СТО КЗРО складається з великої кількості різноманітних елементів, які взаємодіють між собою та є складною системою, яка характеризується різноманітними показниками [1].

Різні автори займалися питаннями прогнозування довговічності КЗРО, удосконаленням методів їх технічної експлуатації і ремонту, як основного способу підтримання боєготового стану КЗРО в сучасних умовах [2 – 4].

Питання оптимізації структури та процесу функціонування СТО КЗРО за допомогою математичного моделювання досліджені у [5; 6]. Але ці математичні моделі не дозволяють обґрунтувати вимоги до максимально допустимої тривалості і мінімально допустимої періодичності ТО КЗРО.

Метою статті є розробка математичної моделі СТО КЗРО для обґрунтування вимог до максимально допустимої тривалості і мінімально допустимої періодичності проведення ТО КЗРО.

Основна частина

Розглянемо задачу розробки математичної моделі КЗРО для обґрунтування вимог до максимально можливої тривалості і мінімально допустимої періодичності проведення ТО КЗРО, для відомих очікуваних умов ведення бойових дій зенітним ракетним дивізіоном (ЗРДН).

Для вирішення сформульованої вище задачі прийняті наступні допущення, які не суперечать практиці.

1. Вхідний потік заявок на бойове застосування КЗРО – найпростіший.

2. Випадковий час між відмовами апаратури і обладнання КЗРО розподілено по експоненціальному закону.

Проаналізуємо особливості ведення бойових дій з'єднанням ППО на прикладі операції "Буря в пустелі", яка проведена групою країн на чолі з США. Досвід бойових дій підтверджує, що більшість військових конфліктів останнього часу характеризувалось широким застосуванням авіації. Головні свої завдання авіація виконує шляхом нанесення авіаційних ударів. В ході повітряної наступальної операції пропонується нанести не менше двох масованих ударів в перший день операції та один-два масованих (зосереджених) ударів в наступні дні [7].

У проміжках між нанесенням масованих і зосереджених авіаційних ударів планується нанесення групових і одиночних ударів. Перший масований удар є найбільш потужним. У ньому передбачається використовувати до 70% боеготових літаків-носіїв тактичної і морської авіації. Тривалість масованого удару визначається кількістю наявних ЗПН противника і оперативною побудовою удару, який, як правило, включає ешелон прориву (придушення) системи ППО (15–20% сил в ударі), ударний ешелон (70–60% сил в ударі), дорозвідки цілей (до 15% сил). Середня тривалість масованого авіаційного удару складає 150–210 хвилин [7]. З огляду на тактику бойового застосування ЗРВ, цей час може бути прийнято в якості середнього часу бойової роботи кожного КЗРО окремо.

Аналіз особливостей ведення бойових дій частиною ЗРВ дозволяє виділити етапи бойового застосування КЗРО, які включають наступні підетапи: приведення в готовність до ведення бойової роботи; очікування надходження цілевказівки; відбиття удару ЗПН противника; технологічного обслуговування, маневру на запасну позицію. Враховуючи це, тривалість циклу експлуатації визначається за співвідношенням:

$$t_{\text{Ц}} = t_{\text{ПР}} + t_{\text{Оч}} + t_{\text{ВУ}} + t_{\text{ТО}} + t_{\text{М}} + t_{\text{Р}}, \quad (1)$$

де $t_{\text{ПР}}$ – тривалість приведення КЗРО в бойову готовність;

$t_{\text{Оч}}$ – тривалість очікування цілевказівки;

$t_{\text{ВУ}}$ – тривалість відбиття удару ЗПН противника;

$t_{\text{ТО}}$ – тривалість операцій технологічного обслуговування;

$t_{\text{М}}$ – тривалість маневру на запасну позицію;

$t_{\text{Р}}$ – час, який є на проведення заходів на підтримку КЗРО у готовності до використання за призначенням.

Час приведення в бойову готовність для ЗРДН, на озброєнні яких перебувають різні КЗРО, встановлюється нормативами з бойової підготовки. Час очікування надходження цілевказівки визначається, головним чином, підлітним часом ЗПН противника і для різних театрів військових дій (ТВД) може бути розрахований за відомим співвідношенням [3]:

$$t_{\text{Оч}} = \frac{D_{\text{В}} \pm \Delta - D_{\text{Д}}}{V_{\text{Ц}}}, \quad (2)$$

де $D_{\text{В}}$ – дальність виявлення ЗПН передовими радіотехнічними підрозділами;

Δ – відстань передового радіотехнічного підрозділу від позиції КЗРО;

$D_{\text{Д}}$ – дальність до дальньої межі зони ураження;

$V_{\text{Ц}}$ – швидкість цілі.

Під тривалістю удару ЗПН противника розуміється час від моменту перетину кордонів зони відкриття вогню частиною ЗРВ першим літаком противника до моменту виходу останнього літака, який бере участь в ударі, із зони вогню частини ЗРВ. Тривалість удару залежить від кількості ЗПН противника на ТВД і оперативної побудови удару.

Під технологічним обслуговуванням розуміється комплекс операцій з підготовки виробу до використання за призначенням, зберігання, транспортування та приведення його у вихідний стан після цих процесів, не пов'язаних з підтриманням надійності виробу [9]. Для КЗРО при веденні бойових дій технологічне обслуговування полягає в заправці паливом автономних джерел електроживлення, засобів переміщення комплексів озброєння, в проведенні операцій з переведення ЗРДН з бойового положення в похідне і, навпаки, в заряджанні пускових установок зенітними керованими ракетами [3]. Отже, тривалість $t_{\text{ТО}}$ визначається сумарною тривалістю перерахованих операцій.

Тривалість маневру на запасну позицію визначається тривалістю операцій формування похідної колони і руху на запасну позицію. Швидкість пересування КЗРО нормована керівними документами і залежно від часу доби, характеру місцевості, дорожнього покриття складає від 10 до 30 км/год [8].

Зробимо допущення, що кількість масованих і зосереджених ударів ЗПН противника за розглянутий інтервал ведення бойових дій з'єднанням ППО відома. За допомогою виразу (1) розрахуємо середній час, що є у наявності, за заданий інтервал експлуатації на підтримку КЗРО у готовності до використання за призначенням:

$$\bar{t}_p = \max \left\{ \frac{t_3 - n_{уд}(t_3)t_{пн}}{n_{уд}(t_3)}, 0 \right\}, \quad (3)$$

де $t_{пн} = t_{пр} + t_{оч} + t_{ву} + t_{то} + t_{м}$ – заданий інтервал експлуатації;

$n_{уд}(t_3)$ – очікувана кількість масованих і зосереджених ударів ЗПН противника за розглянутий інтервал експлуатації.

Призначене ТО КЗРО має бути проведено за наявний час в повному обсязі, у зв'язку з тим, що КЗРО, на яких ТО не було проведено у встановлені терміни, або було проведено не в повному обсязі, мають більш низьку ефективність функціонування в порівнянні з КЗРО, що пройшли ТО повністю. Будь-яке переривання процесу ТО веде до збільшення його тривалості. Переривання в процесі проведення ТО можливе або при надходженні заявки на бойове застосування, або у разі виникнення відмови КЗРО.

Переривання процесу ТО на бойове застосування веде до збільшення тривалості ТО, яке визначається тривалістю повторного проведення підготовчо-заклучних операцій ТО і j -ї операції ТО, при виконанні якої відбувалося переривання. Переривання на поточний ремонт веде до збільшення тривалості ТО на тривалість відновлення працездатності КЗРО і час повторного проведення j -ї операції. Інтенсивність надходження заявок на поточний ремонт в процесі ТО визначається безвідмовністю апаратури і обладнання КЗРО.

Для оцінки інтенсивності надходження заявок на бойове застосування при проведенні ТО проаналізуємо умови бойового застосування ЗПН противника, а також особливості організації зенітної ракетної оборони об'єктів угрупованням ЗРВ і експлуатації КЗРО угруповання. Однією з основних особливостей функціонування КЗРО в процесі експлуатації є те, що при створенні зенітної ракетної оборони військ і об'єктів забезпечується необхідна кратність перекриття зон ураження, яка визначається бойовим складом і бойовим порядком угруповання ЗРВ, що виконує бойове завдання щодо недопущення ударів ЗПН противника по об'єкту (району) [7]. Таким чином, при відбитті одиночних ударів ЗПН противника все КЗРО зі складу угруповання ЗРВ для ведення стрільби можуть не залучатися, тобто, ТО в угрупованні ЗРВ може бути орга-

нізовано таким чином, що нанесення противником одиночних ударів не перериває процесу ТО конкретного КЗРО зі складу угруповання ЗРВ. Тому в подальшому будемо вважати, що переривання ТО на бойове застосування обумовлені груповими ударами ЗПН.

Можлива інтенсивність нанесення групових ударів противником на ТВД за розглянутий інтервал визначається кількістю ЗПН, що залучаються для нанесення групових ударів, можливостями ТВД з бойового напруження різних ЗПН, кількістю літаків в групах і може бути оцінена за співвідношенням:

$$\mu_3 = \frac{(M_{ТВД} - M_{МС})}{N_{ГР}} \mu_H, \quad (4)$$

де $M_{ТВД}$ – математичне очікування кількості ЗПН противника на даному ТВД;

$M_{МС}$ – математичне очікування кількості ЗПН противника, що залучаються для нанесення масованих і зосереджених авіаційних ударів;

μ_H – можливе бойове напруження ЗПН противника (кількість літако-вильотів в одиницю часу);

$N_{ГР}$ – середня кількість літаків противника в групі при нанесенні удару.

Вважаючи відомими інтенсивності виникнення заявок на бойове застосування та поточний ремонт КЗРО, визначимо залежність тривалості ТО з перериваннями ($\tilde{t}_{ТО}$) від тривалості проведення ТО без переривань ($t_{ТО}$):

$$\begin{aligned} \tilde{t}_{ТО}(t_{ТО}) &= \sum_{m=0}^{\infty} \sum_{n=0}^{\infty} P_m(t_{ТО}) P_n(t_{ТО}) (t_{ТО} + nt_0 + mt_1) = \\ &= t_{ТО} \sum_{m=0}^{\infty} \sum_{n=0}^{\infty} P_m(t_{ТО}) P_n(t_{ТО}) + \\ &+ \sum_{m=0}^{\infty} \sum_{n=0}^{\infty} P_m(t_{ТО}) P_n(t_{ТО}) (nt_{ТО} + mt_1) = \\ &= t_{ТО} + \gamma_{ТО} \lambda_B t_{ТО} t_0 + \mu_3 t_{ТО} t_1 = \\ &= t_{ТО} (1 + \gamma_{ТО} \lambda_B t_0 + \mu_3 t_1), \end{aligned} \quad (5)$$

де $P_m(t_{ТО})$ – ймовірність надходження заявок на бойове застосування в процесі проведення ТО;

$P_n(t_{ТО})$ – ймовірність надходження заявок на поточний ремонт в процесі проведення ТО;

λ_B – інтенсивність виникнення відмов КЗРО;

$\gamma_{ТО}$ – частка часу перебування КЗРО у увімкненому стані в процесі ведення ТО;

$t_0 = t_B + t_k$ – середній час збільшення тривалості ТО через його переривання у зв'язку з втраченою

працездатності в процесі ТО;

t_k – середній час проведення найбільш трудомісткої операції ТО;

$t_1 = t_{ПЗ} + t_k$ – середній час збільшення тривалості ТО через його переривання для використання за призначенням;

$t_{ПЗ}$ – середній час проведення підготовчо-заклучних операцій ТО.

Наявність залежностей (3), (5) дозволяє обґрунтувати вимоги до максимально допустимої тривалості ТО КЗРО і мінімально допустимої періодичності їх ТО. При обґрунтуванні вимог до цих параметрів будемо виходити з умов часового балансу, тобто сумарна тривалість використання КЗРО за призначенням $t_{ИΣ}(t_3)$ і сумарна тривалість виконання заходів з підтримки його працездатного стану (що складається, в свою чергу, з сумарної тривалості поточних ремонтів і ТО), не повинна перевищувати тривалості даного інтервалу експлуатації:

$$t_3 \geq t_{ИΣ}(t_3) + t_{ТОΣ}(t_3) + t_{ТРΣ}(t_3). \quad (6)$$

Середня тривалість проведення ТО i -ї періодичності і сумарна тривалість поточних ремонтів, що обумовлена відмовами на розглянутому інтервалі експлуатації θ_i , не повинні перевищувати середній час, на проведення цих заходів $\bar{t}_p(\theta_i)$, тобто:

$$\bar{t}_p(\theta_i) \geq \tilde{t}_{ТО_i}(\theta_i) + t_{ТРΣ}(\theta_i). \quad (7)$$

Співвідношення (6), (7) запишемо в зручній для проведення розрахунків формі:

$$\sum_{i=1}^{L(t_3)} \left[\frac{t_3}{\theta_i} \right] \tilde{t}_{ТО_i} \leq t_3 - (1 + \lambda_0 \gamma_{И} t_B) t_{ИΣ}(t_3), \quad (8)$$

$$\tilde{t}_{ТО_i}(\theta_i) \leq \bar{t}_p(\theta_i) - \lambda_0 \gamma_{И} t_{ИΣ}(\theta_i) t_B, \quad (9)$$

де $\gamma_{И}$ – частка часу знаходження КЗРО у увімкненому стані за інтервал використання за призначенням.

Максимально можливі тривалості ТО i -го виду і відповідні їм мінімально допустимі періодичності θ_i можна обґрунтувати наступним чином. За співвідношеннями (3) і (9) для заданого інтервалу експлуатації знаходимо максимально можливу тривалість $\tilde{t}_{ТО_i}(\theta_i)$. Потім визначаємо кількість відпові-

дних видів ТО за t_3 , тобто $\left[\frac{t_3}{\theta_i} \right]$, і перевіряємо умову часового балансу (8).

Якщо нерівність (8) справедлива, то максимально можливі тривалості ТО $\tilde{t}_{ТО_i}$ і відповідні їм періодичності є допустимими. В іншому випадку

встановленим максимально можливим тривалостям ТО $\tilde{t}_{ТО_i}$ відповідають великі мінімально допустимі періодичності θ_i , які можна визначити з співвідношення (9) ітераційним методом.

Очевидно, що різним умовам експлуатації КЗРО відповідає різна інтенсивність заявок на використання за призначенням. Для умов мирного часу дана характеристика складається з детермінованої складової проведення тренувань бойових розрахунків і випадкової складової, що відповідає частоті приведення КЗРО в бойову готовність з метою припинення польотів літаків-порушників кордону. Середня інтенсивність виникнення заявок на використання за призначенням для тренувань бойових розрахунків по відбиттю ударів ЗПН, проведення операцій технологічного обслуговування, переміщення КЗРО на запасну позицію в мирний час визначається керівними документами по організації бойової підготовки частини ППО.

Середня інтенсивність знаходження заявок на використання для припинення польотів літаків-порушників для різних районів території країни – різна і може бути оцінена з досвіду експлуатації КЗРО у військах. При відомих значеннях тактико-технічних характеристик КЗРО і умовах його експлуатації наведена методика дозволяє оцінити максимально допустиму тривалість і мінімально допустиму періодичність ТО КЗРО. При цьому, очевидно, що СТО, яка ефективно функціонує у найбільш жорстких умовах бойової обстановки, у змозі забезпечити необхідний рівень надійності КЗРО і у більш сприятливих умовах експлуатації мирного часу.

Висновки

В статті запропонований спосіб, що дозволяє обґрунтувати вимоги до максимально допустимої тривалості і мінімально допустимої періодичності ТО КЗРО.

Список літератури

1. Барзилович Е.Ю. Модели технического обслуживания сложных систем / Е.Ю.Барзилович. – М.: Высш. шк., 1982. – 230 с.
2. Гриб Д.А. Удосконалення методів технічної експлуатації і ремонту як основа підтримання боєготового стану зенітного ракетного озброєння в сучасних умовах / Д.А. Гриб, Б.М. Ланецький, В.В. Лук'янчук // Наука і оборона. – 2012. – №3. – С. 55-63.
3. Крижний А.В. Прогнозування довговічності парку зенітних ракетних комплексів (систем) під час експлуатації за технічним станом [Текст] / А.В. Крижний, П.В. Опенько // Наука і оборона. – 2012. – № 1. – С. 50-55.
4. Опенько П.В. Методика прогнозування залишкового терміну служби (ресурсу) засобів комплексів зенітного ракетного озброєння при експлуатації за технічним станом [Текст] / П.В. Опенько, В.В. Кобзев // Збірник

наукових праць "Труди університету". – К.: Національний університет оборони України ім. І. Черняхівського 2013. – Вип. №1(115). – С. 113-127.

5. Пермяков О.Ю. Моделирование системы диагностирования та ремонту зенітних ракетних комплексів за допомогою замкнутої системи масового обслуговування [Текст] / О.Ю. Пермяков, Ю.Б. Прибілев, П.В. Опенько, І.В. Новікова // Сучасні інформаційні технології у сфері безпеки та оборони: науково-практичний журнал. – К.: Національний університет оборони України ім. І. Черняхівського, 2015. – Вип. №3(24). – С. 88-93.

6. Пермяков О.Ю. Модель системи діагностування, технічного обслуговування та ремонту складних технічних систем військового призначення / О.Ю. Пермяков, Ю.Б. Прибілев, О.О. Дюбанов // Наука і оборона. – 2016. – № 2. – С. 48-52.

7. Смирнов О.О. Анализ боевого применения авиации

в локальных конфликтах второй половины XX – начала XXI столетий [Текст] / О.О. Смирнов, О.В. Блинов // Наука і техніка Повітряних Сил Збройних Сил України. – 2010. – № 1(3).

8. Неупокоев Ф.К. Стрельба зенитными ракетами / Ф.К. Неупокоев. – М.: Воениздат, 1989. – 344 с.

9. ГОСТ 25866–83. Эксплуатация техники, термины и определения. – М.: Изд. стандартов, 1983 г.

Надійшла до редколегії 18.10.2016

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

СПОСОБ ОПРЕДЕЛЕНИЯ ПАРАМЕТРОВ СИСТЕМЫ ТЕХНИЧЕСКОГО ОБСЛУЖИВАНИЯ КОМПЛЕКСОВ ЗЕНИТНОГО РАКЕТНОГО ВООРУЖЕНИЯ

Ю.Б. Прибылев, С.С. Войтенко, Л.Н. Сакович

В статье рассмотрен способ определения параметров системы технического обслуживания комплексов зенитного ракетного вооружения. Представлены аналитические выражения для количественной оценки максимально допустимой длительности и минимально допустимой периодичности проведения технического обслуживания комплексов зенитного ракетного вооружения.

Ключевые слова: комплекс зенитного ракетного вооружения, система технического обслуживания, интервал эксплуатации.

METHOD OF DETERMINATION OF PARAMETERS OF THE SERVICE SYSTEM OF ANTI-AIRCRAFT MISSILE COMPLEX

Y.B. Pribyliev, S.S. Voitenko, L.M. Sakovich

The article describes the method of parameters of the service system of anti-aircraft missile complex. We gave the analytical expressions for the quantitative assessment of the maximum allowable length and the minimum permissible frequency of the service of anti-aircraft missile complexes.

Keywords: anti-aircraft missile complex, technical service, interval of use.