

УДК 355.3:621.32

О.Д. Флоров, О.М. Доска

Харківський університет Повітряних Сил ім. І. Кожедуба, Харків

## РОЗРАХУНОК СКЛАДУ РЕМОНТНОГО КОМПЛЕКТУ ЗІП БОЙОВИХ ЗАСОБІВ ЗРК

В статті розглянуто особливості забезпечення відновлення пошкоджених бойових засобів ЗРК запасними частинами ремонтного комплексу ЗІП. Сформульовано задачу розрахунку складу ремонтного комплексу ЗІП бойового засобу ЗРК та запропоновано методику її вирішення.

**Ключові слова:** ремонтний комплект ЗІП, бойовий засіб ЗРК, рівні ієрархії запасних частин.

### Вступ

**Постановка проблеми.** Забезпечення зразків зенітного ракетного озброєння запасними частинами є складним і суперечливими завданням, покладеним на систему МТхЗ військ. З одного боку, недостатній рівень запасних частин, або неправильне їх розміщення ведуть до збільшення часу перебування бойових засобів ЗРК в несправному та неготовому до застосування за призначенням стані. З іншого боку, надмірна кількість запасних частин вимагає значних витрат на їх зберігання. Все це вказує на важливість розрахунку складу ремонтних комплектів ЗІП бойових засобів ЗРК, особливо у воєнний час [1].

**Аналіз літератури.** Аналіз наукових праць [1 – 6] показав, що розрахунок складу комплектів ЗІП зазвичай здійснюється в два етапи. Спочатку визначається номенклатура ЗІП, а потім – кількісний склад. Номенклатура (перелік) запасних частин визначається методом інженерного аналізу. У разі, коли основні властивості складових частин виробу очевидні, метод інженерного аналізу дозволяє без громіздких розрахунків прийняти рішення про включення тих чи інших запасних частин в номенклатуру ЗІП [4].

Після вибору номенклатури запасних частин приступають до визначення потрібного їх кількості. При цьому оптимізація проводиться за умови виконання вимог до мінімуму затрат при заданому рівні показників достатності, або ж максимальних показниках достатності ЗІП при заданих затратах на нього [3].

В якості методів розрахунку комплектів ЗІП найбільш розповсюджені здобули [4]:

1. Метод розрахунку комплектів ЗІП без врахування затрат.
2. Метод приблизного розрахунку комплектів ЗІП.
3. Послідовний алгоритм оптимізації ЗІП, базується на методі найшвидшого покоординатного спуску.

Наведені в [1 – 6] методики та методи дозволяють вирішувати задачу розрахунку складу ЗІП, але для мирного часу, коли на перший план виходить питання забезпечення показників надійності функціонування апаратури. При цьому основними причина-

ми які приводять до зниження надійності функціонування зразків озброєння є: дія зовнішнього середовища (температура, атмосферний тиск, відносна вологість, контактна корозія, біологічне середовище та інші); дія обслуговуючого персоналу [1].

Інша справа з забезпеченням ремонтну бойових засобів ЗРК в воєнний час. Особливістю такого забезпечення є створення спеціальних ремонтних комплектів ЗІП. На відміну від експлуатаційних комплектів ЗІП призначених для мирного часу, ремонтні комплекти на воєнний час повинні забезпечувати проведення відновлення пошкоджень викликаних дією засобів протидії противника. При цьому, перш за все приділяється увага факторам, що спричиняють виникнення бойових пошкоджень. Зокрема характеру дії боєприпасів на апаратуру.

Іншою, не менш важливою обставиною при формуванні ремонтних комплектів ЗІП на воєнний час, є врахування вимог до строків проведення відновлювального ремонту.

Так в [7] зазначено, що для успішного виконання бойових задач необхідно, щоб кожний пошкоджений бойовий засіб ЗРК був відновлений до початку наступного нальоту (удару). Відповідно, час проведення ремонту повинен бути менший або рівний значенню інтервалу часу, на протязі якого нальоту не буде.

Зазначена обставина вносить корективи в методи, а значить і в засоби виконання ремонту пошкодженого озброєння. При проведенні відновлення бойових засобів ЗРК значного використання здобув агрегатний метод ремонту, разом з тим, не виключається проведення детального ремонту, особливо при пошкодженнях слабкого ступеню. Тому до складу ремонтних комплектів ЗІП бойових засобів ЗРК повинні входити запасні частини різного рівня ієрархії (деталі, чарунки, блоки, пристрої).

Існуючі методики розрахунку складу ЗІП розроблялися для кожного рівня ієрархії складових частин бойового засобу ЗРК окремо та не дозволяють достовірно визначити склад ремонтного комплексу ЗІП.

Ще однією особливістю, яка потребує врахування при розрахунках складу ремонтних комплек-

тів ЗІП є те, що в сучасних умовах ведення бойових дій відновлення працездатності пошкодженого озброєння може проводитися в неповному обсязі.

Відмова від відновлення окремих складових частин в силу їх незначного впливу на показники ефективності виконання поставлених завдань бойовим засобом ЗРК, дозволяє досягти економії, трудовитрат та запасних частин, як наслідок, зменшення часу відновлення. Не врахування наведених вище особливостей при розрахунку складу ремонтного комплексу ЗІП бойового засобу ЗРК на практиці приводить до надлишкового накопичення одних елементів і дефіцит інших.

Таким чином, існує необхідність розробки методики розрахунку ремонтного комплексу ЗІП, для забезпечення відновлення працездатності бойових засобів ЗРК, з урахуванням приведених особливостей.

**Мета статті:** розробка методики розрахунку складу ремонтного комплексу ЗІП бойових засобів ЗРК.

### Основна частина

Аналіз системи відновлення пошкодженого зенітного ракетного озброєння [8] показав, що ефективність функціонування кожного його з рівнів можна оцінити середнім часом ремонту одиниці озброєння, яка отримала бойові пошкодження певного ступеню.

В загальному випадку значення середнього часу виконання відновлюваного ремонту  $\bar{T}_{вр}$  визначається, як сума середнього активного часу ремонту  $\bar{T}_в$ , середнього адміністративного часу ремонту  $\bar{T}_{ад}$  та середнього часу постачання  $\bar{T}_п$ .

$$\bar{T}_{вр} = \bar{T}_в + \bar{T}_{ад} + \bar{T}_п. \quad (1)$$

На практиці замість поняття середнього часу активного ремонту часто використовують поняття середнього часу відновлення [6]. Середній час відновлення є показником ремонтпридатності бойового засобу ЗРК [5]. Оскільки ремонтпридатність характеризує ступінь пристосованості бойового засобу ЗРК до виявлення і усунення несправностей, тобто є індивідуальною характеристикою системи, не залежною від якості планування і МТЗ ремонту, при розрахунках середнього часу відновлення бойового засобу ЗРК враховується лише активний час ремонту [2]. А тому в подальшому під середнім часом активного ремонту будемо розуміти середній час відновлення бойового засобу ЗРК.

Якщо відмова будь-якого елемента апаратури приводить до відмови бойового засобу ЗРК, то середній час відновлення бойового засобу ЗРК розраховується з співвідношення

$$\bar{T}_в = \sum_{j=1}^m q_j t_j, \quad (2)$$

де  $t_j$  – середній час відновлення бойового засобу ЗРК при відмові елемента  $j$ -ої групи;  $q_j$  – умовна ймовірність відмови апаратури бойового засобу ЗРК при

відмові елемента  $j$ ;  $m$  – число груп однотипних елементів в складі апаратури.

Іншою складовою виразу (1.1) є середній час простою апаратури бойового засобу ЗРК з причини відсутності в ЗІП необхідних запасних частин (час постачання)  $\bar{T}_п$ .

Величина  $\bar{T}_п$  може бути прийнята за критерій достатності ЗІП [6] та визначена з урахуванням (1.1), (1.2) за допомогою формули

$$\bar{T}_{вр} = \bar{T}_в + \bar{T}_{ад} + \bar{T}_п = \bar{T}_в'' + \bar{T}_п = \sum_{j=1}^m t_{вj}'' q_j + \sum_{j=1}^m t_{пj} q_j,$$

де  $\bar{T}_в''$  – середній час відновлення апаратури бойового засобу ЗРК при необмеженому комплекті ЗІП;

$t_{вj}''$  – середній час відновлення  $j$ -го елемента апаратури бойового засобу ЗРК при необмеженому комплекті ЗІП;  $t_{пj}$  – середній час вимушеного простою апаратури бойового засобу ЗРК при відсутності  $j$ -го елемента в комплекті ЗІП.

Ймовірність того, що за час  $\bar{T}_{рв}$  нальоту не буде при показниковому законі розподілу інтервалів часу між нальотами визначається за допомогою формули [7]:

$$P(T_{рв}) = 1 - P(t_n \leq \bar{T}_н) = 1 - (1 - \exp(-\frac{t_n}{\bar{T}_н})), \quad (3)$$

де  $P(t_n \leq \bar{T}_н)$  – ймовірність того, що за час  $t_n \leq \bar{T}_н$  почнеться наступний нальот;  $\bar{T}_н$  – середнє значення інтервалу часу між окремими нальотами в ударі (між ударами в повітряній операції).

При законі рівномірної щільності ймовірності розподілу інтервалу часу між нальотами  $P(T_{рв})$  визначається формулою:

$$P(T_{рв}) = 1 - P(t_n \leq \bar{T}_н) = 1 - (\frac{t - a}{b - a}), \quad b \geq t \geq a, \quad (4)$$

де  $a$  – мінімально можливий інтервал часу між окремими нальотами в ударі;  $b$  – максимально можливий інтервал часу між окремими нальотами в ударі. Тоді, для випадку (1.3) маємо

$$\bar{T}_{рв} = -\bar{T}_н \ln[1 - P(t_n \leq \bar{T}_н)],$$

або враховуючи (1.4) маємо

$$\bar{T}_{рв} = (b - a)P(t_n \leq \bar{T}_н) + a.$$

Таким чином, знаючи величину  $\bar{T}_н$ , можна визначити середній час, на протязі якого в бойових умовах можливе виконання ремонтних робіт –  $\bar{T}_{рв}$ .

При цьому процес відновлення апаратури за своїм характером є масовим процесом, і для його математичного опису використовується методи теорії масового обслуговування [7]. Для стаціонарного режиму роботи системи відновлювального ремонту, як системи масового обслуговування, при пуасонівському потоці заявок на ремонт інтенсивність від-

новлення  $\mu$  приймається величиною постійною. Інтенсивність ремонтів повинна бути такою, щоб ремонтні органи забезпечували відновлення бойових засобів ЗРК за час  $\bar{T}_{рв}$  [7]. Враховуючи прийняті умови ймовірність виконання ремонту за час  $t_p \leq \bar{T}_{рв}$  визначається за формулою

$$P(t_p \leq \bar{T}_{рв}) = 1 - \exp(-\mu t_p) = 1 - \exp(-t_p / T_{вр}),$$

де  $\bar{T}_{вр}$  – середній час виконання відновлювального ремонту.

Якщо припустити, що  $t_p = \bar{T}_{рв}$ , то граничне допустиме значення середнього часу виконання відновлювального ремонту визначається з умови

$$\bar{T}_{вр}^{гр} = \frac{t_p}{\ln[1 - P(t_p \leq \bar{T}_{рв})]}. \quad (5)$$

Порівнявши значення отримане за формулою (1.5) та  $\bar{T}_{вр}$  фактичне, яке реально забезпечує існуюча система відновлення, можливо визначити, чи зможуть існуючі ремонтні органи відновлювати пошкоджене ОВТ до початку наступного нальоту. Якщо  $\bar{T}_{вр} \leq \bar{T}_{вр}^{гр}$ , то можливості ремонтних органів достатні, якщо  $\bar{T}_{вр} > \bar{T}_{вр}^{гр}$  то необхідно підсилити ремонтні органи, підвищити їх виробничі можливості.

Залежність  $\bar{T}_{вр}$  пошкодженого бойового засобу ЗРК в  $k$ -му ступені, від складу ремонтного комплексу визначається за формулою

$$\bar{T}_{врk} = \frac{\sum_{j=1}^m t_{kj} x_{kj}}{\sum_{j=1}^m x_{kj}},$$

де  $x_{kj}$  – кількість елементів  $j$ -го типу, що забезпечують відновлення пошкодженого в  $k$ -му ступені бойового засобу ЗРК;  $t_{kj}$  – час відновлення пошкодженого в  $k$ -му ступені бойового засобу ЗРК з використанням запасного елемента  $j$ -го типу.

Задавши значення гранично допустимого часу відновлювального ремонту апаратури пошкодженого бойового засобу ЗРК в  $k$ -му ступені при відомій ефективності функціонування військового ремонтного органу, може бути знайдена потрібна кількість елементів  $j$ -го типу, що входять в ремонтний комплект ЗІП встановленого виду.

Вартість такого комплексу визначається вартістю його складових елементів [4].

Так, наприклад, для відновлення пошкодженого бойового засобу ЗРК у військах використовуються комплектуючі елементи різного рівня ієрархії (деталі, блоки, пристрої і т.д.). В залежності від рівня укрупнення типових елементів заміни змінюється і вартість ремонтного комплексу. Більш дешевими є комплекти, що складаються з радіоелементів, при цьому збільшується кількість ремонтних операцій, що приводить до зростання активного часу відновлення. При використанні в якості елементів заміни

пристроїв, складових частин бойового засобу ЗРК, вартість ремонтного комплексу ЗІП зростає при цьому відбувається зниження часу відновлення.

Таким чином, необхідно знайти такий склад  $X = \{x_{kj}\}$  ремонтного комплексу ЗІП встановленого виду, при якому сумарна його вартість буде мінімальною

$$C_{\Sigma k} = \min \sum_{j=1}^m c_{kj} x_{kj}.$$

В якості обмежень, які визначають область допустимих рішень задачі, що розглядається, використовуються умови виконання вимог до часу проведення відновлювального ремонту бойовому засобу ЗРК, пошкодженого в визначеному ступені

$$\bar{T}_{врk} \leq \bar{T}_{врk}^{гр}, \text{ або } \bar{T}_{п} \leq \bar{T}_{врk}^{гр} - \bar{T}_{в}''$$

і умови задоволення потреби відновлення працездатності бойового засобу ЗРК в запасних частинах.

$$\sum_{j=1}^m x_{kj} \geq \sum_{j=1}^m N_{kj};$$

де  $N_{kj}$  – кількість складових елементів бойового засобу ЗРК пошкодженого в  $k$ -му ступені, які підлягають включенню в склад ремонтного комплексу.

Значення  $N_{kj}$  визначається за даними про ймовірність пошкодження комплектуючих елементів бойового засобу ЗРК та обраного варіанту структури відновленого бойового засобу ЗРК.

Для отримання ймовірності пошкодження апаратури і обладнання бойового засобу ЗРК використовується метод математичною моделювання процесу нанесення бойових пошкоджень, що полягає в моделюванні обстрілу позиції сукупним боекомплексом авіаційних боеприпасів, які знаходяться на борту ЗПН (задіяний в авіаційному ударі) і визначенні кількості вражаючих елементів озброєння, що влучили в апаратуру зразка зенітного ракетного озброєння.

Порядок визначення ймовірнісних характеристик пошкоджених комплектуючих елементів бойового засобу ЗРК представлена в [1].

В залежності від обраної структури, бойовий засіб ЗРК може функціонувати в тих чи інших режимах та виконувати різні завдання. Для кожного бойовий засіб ЗРК існує припустимий склад при якому він ще здатний виконувати поставленні на нього завдання з необхідною ефективністю. Визначення такої структури бойового засобу ЗРК дозволяє встановити склад елементів, які підлягають заміні (включенню до ремонтного комплексу ЗІП).

Для цього було створено математичну модель що описує склад бойового засобу ЗРК наступним чином [9].

$$PIS = \{A, F(a_j), F(A), [A \times F(a_j)], [A \times F(A)], [A \times A(F)]\},$$

де  $A$  – множина, яка описує аналізований зразок;  $F(a_j)$  – множина персональних функцій складових

елементів  $a_j$ ;  $F(A)$  – множина персональних функцій, які належать аналізованому бойовому засобу ЗРК;  $[A \times F(a_j)]$  – матриця, яка описує персональні функції  $F(a_j)$  усіх складових елементів  $a_j \in A$ ;  $[A \times F(A)]$  – матриця, яка описує унітарні функції і однойменні з ними персональні кольори, множини  $A$ ;  $[A \times A(F)]$  – матриця, яка описує вплив елементів  $A$  на об'єднання всіх унітарних кольорів та їх тіл  $A(F)$ .

Наступним кроком є визначення структури бойового засобу ЗРК за заданими функціями. Для цього:

– здійснюється вибір задач, які повинен виконувати відновлений бойовий засіб ЗРК;

– встановлюється взаємозв'язок обраних задач з функціями зразка озброєння та функціями його складових елементів;

– за заданими функціями визначаються варіанти структури бойового засобу ЗРК;

Для кожного варіанту структури бойового засобу ЗРК оцінюється значення показника ефективності та вибираються допустимі варіанти структури зразків зенітного ракетного озброєння, які дозволяють виконувати поставлені завдання з ефективністю не гіршою за припустиму.

Кожен допустимий варіант структури бойового засобу ЗРК включає в себе складові елементи, враховуючи ймовірності поразки яких, можливо визначити склад елементів бойового засобу ЗРК, які необхідно замінити на запасні з складу ЗІП.

Наступним кроком методики є розрахунок часу проведення відновлювального ремонту для кожного з пошкодженого складового елемента бойового засобу ЗРК та перевірка умови виконання вимоги

$$\bar{T}_{\text{врк}} \leq \bar{T}_{\text{врк}}^{\text{гр}} \quad (6)$$

Якщо умова не виконується з причини значного часу відновлення пошкодженого складового елемента бойового засобу ЗРК то проводимо заміну елементами вищого рівня ієрархії та перевіряємо умову ще раз (6).

Перебравши всі допустимі варіанти структури бойового засобу ЗРК отримуємо множину варіантів ЗІП які задовольняють вимоги щодо термінів відновлення. Оцінюємо вартість кожного варіанту ЗІП та вибираємо той варіант вартість якого є мінімальна.

Таким чином, задачу розрахунку складу ремонтного комплексу ЗІП бойового засобу ЗРК можна вважати вирішеною.

## Висновок

Таким чином, розроблена методика розрахунку складу ремонтного комплексу ЗІП бойових засобів ЗРК, яка на відміну від існуючих враховує обмеження на час проведення відновлювального ремонту та ефективності відновлених бойових засобів ЗРК.

Практичне значення отриманих результатів полягає у формуванні складу ремонтних комплектів ЗІП, призначених для відновлення працездатності бойового засобу ЗРК у воєнний час.

## Список літератури

1. Ковтуненко А.П. Основы теории восстановления эксплуатационных свойств технических систем / А.П. Ковтуненко, М.А. Шишанов, В.В. Зубарев. – К.: НАУ, 2007. – 294 с.
2. Ковтуненко А.П. Восстановление эксплуатационных свойств радиоэлектронных систем / А.П. Ковтуненко, В.Н. Козлов, Ю.М. Россинский. – М.: МО, 1980. – 257 с.
3. Запасные части, инструменты и принадлежности. Основные положения: ГОСТ В 15.705-86. – [чинний від 1986-12-29.] – М.: Изд-во стандартов. – 1986. – 21 с.
4. Головин И.Н. Расчет и оптимизация комплектов запасных элементов радиоэлектронных систем / И.Н. Головин, Б.В. Чуваргин, А.Э. Шура-Бура. – М.: Радио и связь, 1984. – 176 с.
5. Надежность технических систем. Справочник. / Под ред. И.А. Ушакова. – М.: Радио и связь, 1985. – 602 с.
6. Основы эксплуатации радиоэлектронной аппаратуры / [А.К. Быкадоров, Л.И. Кульбак, В.Ю. Лавриненко и др.]; под ред. В.Ю. Лавриненко – М.: Высш. шк., 1978. – 320 с.
7. Восстановление военной и боевой техники ЗРВ ПВО страны. / под общ. ред. Гребенников Н.Д. – Минск: МВИЗРУ ПВО, 1972. – 240 с.
8. Флоров О.Д. Удосконалення системи відновлення пошкоджень за допомогою інформаційних технологій / Флоров О.Д., Доска О.М., Галушко Ю.І. // Система обробки інформації ХУПС. – Х.: ХУПС, 2011. – Вип. 2(92). – С 173–179.
9. Доска О.М. Структурно-функціональне описання ЗРК з використанням математичного апарату поліхроматичних множин / О.М. Доска, А.Б. Скорик // Системи озброєння і військова техніка. – Х.: ХУПС, 2011. – Вип. 2(26). – С. 117–112.

Надійшла до редколегії 30.01.2013

**Рецензент:** д-р техн. наук проф. Г.В. Єрмаков, Академія внутрішніх військ МВС України, Харків.

## РАСЧЕТ СОСТАВА РЕМОНТНОГО КОМПЛЕКТА ЗИП БОЕВОГО СРЕДСТВА ЗРК

А.Д. Флоров, А.М. Доска

*В статье рассмотрены особенности обеспечения возобновления поврежденных боевых средств ЗРК запасными частями ремонтного комплекта ЗИП. Сформулирована задача расчета состава ремонтного комплекта ЗИП боевого средства ЗРК и предложена методика ее решения.*

**Ключевые слова:** ремонтный комплект ЗИП, боевое средство ЗРК, уровни иерархии запасных частей.

## CALCULATION OF REPAIR COMPLETE SET OF ZIP COMPOSITION OF ZRK BATTLE MEAN

A.D. Florov, A.M. Doska

*In the article the features of providing of proceeding in the damaged battle facilities of ZRK are considered by awaiting-parts of repair complete set of ZIP. The task of calculation of composition of repair complete set of ZIP of battle mean of ZRK is formulated and the method of its decision is offered.*

**Keywords:** repair complete set of ZIP, battle mean of ZRK, levels of hierarchy of awaiting-parts.