

*Олександр Михайлович Доска* (кандидат технічних наук)<sup>1</sup>

*Павло Вікторович Опенько* (кандидат технічних наук)<sup>2</sup>

*Анатолій Сергійович Дудуш* (кандидат технічних наук)<sup>1</sup>

*Максим Володимирович Сургай*<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Харківський національний університет Повітряних Сил імені Івана Кожедуба, Харків, Україна

<sup>2</sup>Національний університет оборони України імені Івана Черняхівського, Київ, Україна

## ВИЗНАЧЕННЯ ПОКАЗНИКА ЕФЕКТИВНОСТІ ВІДНОВЛЕННЯ ЗЕНІТНОГО РАКЕТНОГО ОЗБРОЄННЯ З УРАХУВАННЯМ РЕСУРСНИХ ОБМЕЖЕНЬ

Обґрунтовується підхід щодо визначення ймовірності своєчасного проведення відновлювального ремонту з урахуванням обмежених запасів запасних частин, матеріалів, інструментів і приладдя (ЗІП). Знайдено аналітичне співвідношення для розрахунку ймовірності своєчасного проведення відновлювального ремонту зразків зенітного ракетного озброєння (ЗРО). Запропоноване співвідношення дозволяє врахувати дані про номенклатуру та кількість складових частин, що визначають працездатність зразка озброєння, кількість запасних частин у відновлювальних та експлуатаційних комплектах ЗІП, номенклатуру та кількість працездатних складових частин у зразках озброєння, які підлягають списанню і розукомплектуванню, ймовірності бойових пошкоджень складових частин та час виконання відновлювального ремонту.

**Ключові слова:** зенітне ракетне озброєння, відновлювальний ремонт, ресурсні обмеження, показник ефективності.

### Вступ

**Постановка проблеми.** Існуючі методи [1-4] визначення показників ефективності відновлення ЗРО, яке отримало бойові пошкодження, ґрунтуються на припущенні того, що ремонтний орган забезпечений достатньою кількістю комплектів ЗІП, а процес відновлення зразка ЗРО носить масовий характер та характеризується потоком відмов та потоком відновлень.

Разом з тим, проведений аналіз свідчить, що на сьогоднішній час існує дефіцит запасів запасних частин за окремою номенклатурою [5]. Підприємства оборонно-промислового комплексу спроможні частково задовольнити потреби Збройних Сил України в елементній компонентній базі зразків ЗРО. Питання імпортозаміщення гостродефіцитних складових частин вирішено не в повній мірі.

Крім того, виникнення потреби проведення відновлювального ремонту є випадковою подією, яка визначається ймовірністю бойового пошкодження складових частин зразка ЗРО [6, 7]. Відновлення зразка ЗРО проводиться агрегатним методом, шляхом заміни пошкоджених складових частин на працездатні зі складу комплектів ЗІП. При цьому кількість відновлювальних ремонтів складової частини обмежена. Тому припущення про багаторазове відновлення працездатності складової частини, або багаторазове проведення відновлювального ремонту, не відповідає реальному процесу відновлювального ремонту зразка ЗРО.

Таким чином, оцінювання показників ефективності відновлення ЗРО з урахування

обмежених запасів ЗІП є актуальною задачею.

**Аналіз останніх досліджень і публікацій.** В [1] у якості основного показника, який характеризує ефективність проведення ремонту, обрано середній час відновлення апаратури, який в свою чергу поділено на три складові: час активного ремонту, адміністративний час та час забезпечення ремонту. Зазначено, що закон розподілу активного часу ремонту в основному визначається методом відшукування несправностей та конструктивними особливостями апаратури. У якості закону розподілу часу активного ремонту запропоновано використовувати експоненціальний закон.

У [2] розглянутий підхід до моделювання системи відновлення озброєння та військової техніки (ОВТ) на основі моделей масового обслуговування, що дозволяє оцінити можливості сил та засобів військового та заводського ремонтів ОВТ. При визначенні цих можливостей використовуються методи, що враховують лише експлуатаційні відмови. Механізми виникнення бойових пошкоджень відрізняються від механізмів виникнення експлуатаційних відмов. Тому підходи до визначення показників ефективності відновлення зразків ЗРО повинні враховувати особливості процесів отримання і результати бойових пошкоджень.

У [3] розглянуто загальний підхід до створення математичної моделі процесу відновлення ОВТ, яка базується на математичній моделі технічного забезпечення, побудованій з використанням математичного методу “динаміки середніх”.

Особливістю запропонованої моделі є те, що в умовах бойових дій потік пошкоджень зразків ОВТ не є стаціонарним, а його функція інтенсивності представляє собою імпульсну функцію.

У [4] зазначено, що в якості показників, які характеризують можливості відновлення ЗРО, пошкодженого під час ведення бойових дій, використовуються кількісні показники – середній час відновлення зразка ЗРО та ймовірність відновлення зразка ЗРО за заданий час. Процес відновлення зразків ЗРО в [4] розглядається як масовий процес, тому для його описання використовують математичний апарат теорії систем масового обслуговування. Обслуговуючою системою є система ремонту, яка здійснює ремонт пошкоджених складових частин зразка ЗРО шляхом їх заміни на справні зі складу комплекту ЗІП. При цьому обслуговується потік заявок, який полягає в багаторазовому використанні запасних частин зі складу комплектів ЗІП для відновлення працездатності зразків озброєння, що не в достатній мірі відповідає реальним умовам відновлювального ремонту зразків ЗРО.

У [8,9] обґрунтовано необхідність забезпечення ремонту бойових засобів зенітного ракетного комплексу відновлювальними комплектами ЗІП (ЗІП-В). При цьому, на відміну від експлуатаційних комплектів ЗІП, ЗІП-В повинні забезпечувати усунення бойових пошкоджень, викликаних дією засобів протидії противника, з відновленням працездатності та ресурсу в обсязі, який забезпечує експлуатацію зразка ЗРО протягом встановленого терміну, або до чергового бойового пошкодження.

У [9] запропоновано метод розрахунку показника достатності комплекту ЗІП-В, який на відміну від відомих, ґрунтується на разових заявках на запасну частину та разовому їх відновленні, що дозволяє позбутися припущень про надходження інтенсивності потоку заявок на запасні частини та інтенсивності відновлення.

Питання визначення показників ефективності відновлення ЗРО у [8, 9] не розглядалося.

У [6,7] приведені співвідношення для визначення витрат часу на поточний ремонт радіоелектронних систем для експоненціального розподілу випадкової величини часу проведення ремонтних робіт. При цьому питання обмеженості запасів ЗІП в [6, 7] не розглядалося.

Таким чином, існуючі підходи [1-9] мають значні методичні погрішності, обумовлені невідповідністю математичних моделей процесу відновлення зразків ЗРО, не враховують ресурсні обмеження та не можуть в повній мірі використовуватися для визначення показників ефективності відновлення ЗРО.

**Метою статті** є розробка методу розрахунку показника ефективності відновлення ЗРО з урахуванням ресурсних обмежень.

### Виклад основного матеріалу дослідження

Відновлення працездатності пошкодженого зразка ЗРО потребує певного часу, значення якого може перевищувати наявний термін. Разом з тим, в

умовах бойових дій, існує необхідність виконання поставлених бойових завдань підрозділами та частинами зенітних ракетних військ, що в свою чергу потребує працездатного озброєння.

Можливим шляхом забезпечення проведення відновлення зразка ЗРО у встановлені терміни є проведення відповідного відновлювального ремонту в обсязі, який забезпечує функціонування зразка ЗРО з мінімально необхідною для виконання бойових завдань структурою.

Розглянемо зразок ЗРО, структура якого відома та може бути представлена вектором

$$A = \{a_\ell\}, \quad \ell = \overline{1, L},$$

де:  $a_\ell$  – кількість складових частин  $\ell$ -го типу;

$L$  – кількість типів складових частин зразка ЗРО.

Рівень розукрупнення зразка ЗРО встановлюється з розрахунку на агрегатний метод ремонту із врахуванням стійкості апаратури зразка до вогневого впливу повітряного противника і може включати функціональні вузли, блоки, шафи, контейнери і т.п.

Припустимо, що складові частини зразка ЗРО отримують бойові пошкодження незалежно одна від одної. Кожна  $j$ -та складова частина  $\ell$ -го типу, що входить до складу зразка ЗРО, може бути пошкоджена з імовірністю  $P_j^\ell$ , або не пошкоджена з імовірністю  $q_j^\ell = 1 - P_j^\ell$ ,  $j = \overline{1, a_\ell}$ .

З метою усунення бойових пошкоджень і відновлення працездатності зразка ЗРО проводиться його відновлювальний ремонт, який полягає в усуненні бойових пошкоджень та відновленні працездатності зразка шляхом заміни пошкоджених складових частин на працездатні зі складу експлуатаційних та відновлювальних комплектів ЗІП. У випадку відсутності необхідних складових частини в комплектах ЗІП, у якості запасних частин можуть використовуватися працездатні складові частини списаних зразків озброєння, які підлягають розукрупненню.

Крім того, при відновлювальному ремонті поновлюється цілісність обшивки кабін, каркасів стійок, шаф та блоків, усуваються обриви в кабельній мережі, тощо. Після ремонту проводиться налаштування і регулювання апаратури зразка ЗРО.

Можливості відновлення зразка ЗРО для конкретного ремонтного органу (підрозділу) визначаються його здатністю до відновлення бойових пошкоджень заданого типу за напрямками відновлення.

Напрямки відновлення в ремонтному органі (підрозділі) пов'язані з конструктивно-технологічними особливостями зразка ЗРО, які обумовлюють необхідність застосування відповідного обладнання та устаткування для усунення бойових пошкоджень.

До таких напрямків відновлення зразка ЗРО можна віднести:

- відновлення антенно-фідерних пристроїв;
- відновлення високочастотної апаратури;
- відновлення низькочастотної апаратури;
- відновлення засобів рухомості і т.п.

Для кожного напрямку відновлення в ремонтному органі (підрозділі) організується ремонтна ділянка  $\zeta$ , яка в свою чергу складається з  $\eta$  робочих місць. На кожному робочому місці може проводитися  $\xi$  ремонтних операцій.

Середній час виконання  $\xi$ -ї ремонтної операції  $\bar{t}_{p\xi}$  може бути визначено за статистичними даними. Якщо за статистичними даними можливо визначити тільки мінімальний  $\bar{t}_{p\xi \min}$  та максимальний  $\bar{t}_{p\xi \max}$  час виконання  $\xi$ -ї ремонтної операції, то  $\bar{t}_{p\xi}$  може визначатися за співвідношенням

$$\bar{t}_{p\xi} = \frac{3t_{p\xi \min} + 2t_{p\xi \max}}{5}; \quad (1)$$

$$\sigma(\bar{t}_{p\xi}) = \sqrt{\frac{t_{p\xi \max} - t_{p\xi \min}}{5}}, \quad (2)$$

де:  $\sigma(\bar{t}_{p\xi})$  – середньоквадратична помилка у визначенні часу  $\bar{t}_{p\xi}$ .

З метою скорочення термінів проведення відновлювального ремонту, в ремонтному органі (підрозділі) ремонтні операції намагаються виконувати на паралельних ділянках та робочих місцях. Для цього складається схема (модель) технологічного процесу відновлювального ремонту та визначається найкоротший шлях виконання робіт. Проведення відновлення за найкоротшим шляхом схеми технологічного процесу дозволяє забезпечити не тільки мінімальні витрати часу, а й залучити до проведення ремонту мінімальну кількість спеціалістів [1].

Тоді задача розрахунку показника ефективності відновлення ЗРО полягає у визначенні ймовірності відновлення зразка ЗРО за заданий час  $t_{вр}$  за умови наявності даних про:

кількість та номенклатуру складових частин зразка ЗРО різного рівня розукрупнення  $a_\ell, L$ ;

ймовірності бойових пошкоджень складових частин зразка ЗРО  $P_{\ell,j}$ ;

ймовірності бойових пошкоджень запасних частин у комплектах ЗІП  $P_{\ell,j}^{зип}, P_{\ell,j}^{зип-в}, P_{\ell,j}^p$ ;

кількість ремонтних ділянок в найкоротшому шляху схеми технологічного процесу відновлювального ремонту  $\Theta$ ;

кількість робочих місць на кожній ділянці в найкоротшому шляху схеми технологічного процесу відновлювального ремонту  $\Psi$ ;

кількість ремонтних операцій на кожному робочому місці ремонтної ділянки найкоротшого шляху схеми технологічного процесу відновлювального ремонту  $\Omega$ ;

середні значення часу виконання  $\xi$ -ї ремонтної операції на  $\eta$ -му робочому місці  $\zeta$ -ї ремонтної ділянки  $\bar{t}_{p\eta\xi}, \zeta \in \Theta, \eta \in \Psi, \xi \in \Omega$ .

Проведення відновлювального ремонту за заданий час не є гарантованим. Ймовірність такої події може бути знайдена як ймовірність складної

події

$$P(X, t_{вр}) = P_{зип}(X)P(t_{вр}/X), \quad (3)$$

де:  $P_{зип}(X)$  – ймовірність того, що запасних частин в комплектах ЗІП буде достатньо для проведення відновлювального ремонту;

$P(t_{вр}/X)$  – умовна ймовірність проведення відновлювального ремонту за час, який не перевищує задане значення  $t_{вр}$  за умови, що запасних частин в комплектах ЗІП буде достатньо.

Умовна ймовірність  $P(t_{вр}/X)$  залежить від часу  $t_{вр}$ , необхідного для проведення відновлювального ремонту, і може бути оцінена відомим співвідношенням [4]

$$P(t_{вр}/X) = \Phi\left[\frac{t_{вр} - t_{вроч}}{\sigma(t_{вроч})}\right], \quad (4)$$

де:  $\Phi[\ ]$  – таблиця функція нормального розподілу випадкової величини;

$t_{вроч}$  – очікуваний час виконання відновлювального ремонту

$$t_{вроч} = \sum_{\zeta=1}^{\Theta} \sum_{\eta=1}^{\Psi} \sum_{\xi=1}^{\Omega} \bar{t}_{p\zeta\eta\xi}; \quad (5)$$

$\sigma(t_{вроч})$  – середньоквадратична помилка у визначенні часу виконання відновлювального ремонту

$$\sigma(t_{вроч}) = \sqrt{\sum_{\zeta=1}^{\Theta} \sum_{\eta=1}^{\Psi} \sum_{\xi=1}^{\Omega} \sigma(\bar{t}_{p\zeta\eta\xi})^2}. \quad (6)$$

Для визначення  $P_{зип}(X)$  розглянемо випадок, коли до складу зразка ЗРО та комплектів ЗІП входять складові та запасні частини однієї номенклатури ( $\ell$ -го типу), а вже потім отримаємо розрахункове співвідношення з урахуванням того, що зразки ЗРО та комплекти ЗІП складаються зі складових та запасних частин різної номенклатури  $\ell = \overline{1, L}$ .

У відповідності до прийнятих припущень, представимо структуру складових частин  $\ell$ -го типу зразків ЗРО та відповідних запасних частин до них у вигляді структурної схеми надійності системи з ковзним резервуванням (рис. 1).

Розглянемо подію  $V_\ell$  яка полягає в тому, що система рис. 1 втратила свою працездатність з причин бойових пошкоджень складових та запасних частин  $\ell$ -го типу.

Згідно схеми рис. 1 подія  $V_\ell$  наступить тоді, коли резервні елементи не в змозі забезпечити потребу в заміні основних складових частин  $\ell$ -го типу, тобто – коли запасів запасних частин недостатньо.

При нанесенні повітряного удару противником по позиціям угруповання військ можуть бути пошкоджені як бойові, так і технічні засоби (в тому числі і машини ЗІП), тому виникнення події  $V_\ell$  пов'язано з виникненням різних комбінацій бойових пошкоджень як складових, так і запасних частин засобів ЗРО.

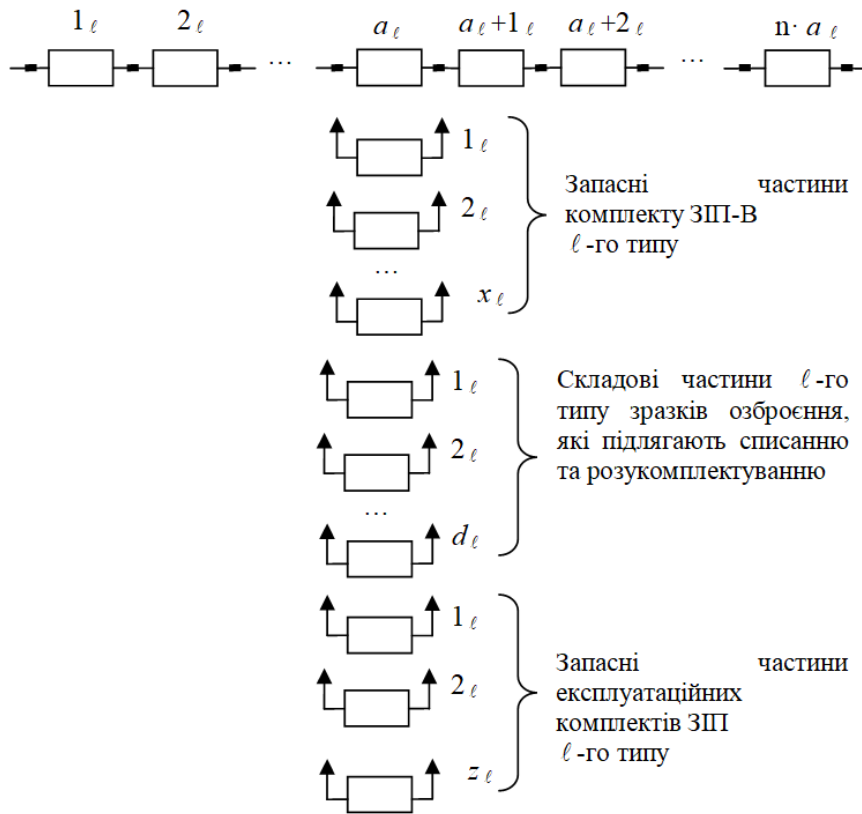


Рис. 1. Структура складових та запасних частин  $\ell$ -го типу  $n$  засобів ЗРО:

$a_\ell$  – кількість складових частин  $\ell$ -го типу в засобі ЗРО;  $x_\ell$  – кількість складових частин  $\ell$ -го типу в комплекті ЗП-В;  $z_{f,\ell}$  – кількість складових частин  $\ell$ -го типу в експлуатаційних комплектах ЗП;  $d_\ell$  – кількість складових частин  $\ell$ -го типу в зразках озброєння, які підлягають списанню та розукомплектуванню

У загальному випадку, коли ймовірності бойових пошкоджень складових та запасних частин  $\ell$ -го типу різні, доцільно для синтезу розрахункового співвідношення використовувати метод твірної функції [10].

Тоді технічний стан пари “виріб-ЗП” (рис. 1) може бути описаний наступним чином

$$\varphi_\ell(z) = \left[ \prod_{j=1}^{na_\ell} (q_{\ell,j} + P_{\ell,j}z) \right] \cdot \left[ \prod_{j=na_{f\ell}}^{na_\ell+x_\ell} (q_{f,\ell,j}^{зп-в} + P_{f,\ell,j}^{зп-в}z) \right] \times \left[ \prod_{j=na_{\ell+x_\ell}}^{na_{\ell+x_\ell}+z_\ell} (q_{\ell,j}^{зп} + P_{\ell,j}^{зп}z) \right] \cdot \left[ \prod_{j=na_{\ell+x_\ell}+z_\ell}^{na_{\ell+x_\ell}+z_\ell+d_\ell} (q_{\ell,j}^p + P_{\ell,j}^pz) \right],$$

де:  $\varphi_\ell(z)$  – твірна функція, що характеризує технічний стан складових та запасних частин  $\ell$ -го типу пари “виріб-ЗП” (рис. 1);

$z$  – довільний параметр;

$q_{\ell,j}$  – ймовірність непошкодження  $j$ -ї складової частини  $\ell$ -го типу в зразку ЗРО;

$P_{\ell,j}$  – ймовірність бойового пошкодження  $j$ -ї складової частини  $\ell$ -го типу в зразку ЗРО;

$q_{\ell,j}^{зп-в}$  – ймовірність непошкодження  $j$ -ї запасної частини  $\ell$ -го типу в комплекті ЗП-В;

$P_{\ell,j}^{зп-в}$  – ймовірність бойового пошкодження  $j$ -ї запасної частини  $\ell$ -го типу в комплекті ЗП-В;

$q_{\ell,j}^{зп}$  – ймовірність непошкодження  $j$ -ї

складової частини  $\ell$ -го типу в експлуатаційних комплектах ЗП;

$P_{\ell,j}^{зп}$  – ймовірність бойового пошкодження  $j$ -ї складової частини  $\ell$ -го типу в експлуатаційних комплектах ЗП;

$q_{\ell,j}^p$  – ймовірність непошкодження  $j$ -ї складової частини  $\ell$ -го типу в зразках озброєння, які підлягають списанню та розукомплектуванню;

$P_{\ell,j}^p$  – ймовірність бойового пошкодження  $j$ -ї складової частини  $\ell$ -го типу в зразках озброєння, які підлягають списанню та розукомплектуванню.

Згідно теореми про повторення дослідів [10], ймовірність того, що пара “виріб-ЗП” (рис. 1), до складу якої входить  $N_\ell$  складових та запасних частин  $\ell$ -го типу втратить свою працездатність з причини бойового пошкодження рівно  $k$  складових частин, дорівнює коефіцієнту при  $z^k$  у виразі твірної функції. Тоді

$$\left[ \prod_{j=1}^{na_\ell} (q_{\ell,j} + P_{\ell,j}z) \right] \cdot \left[ \prod_{j=na_{f\ell}}^{na_{\ell+x_\ell}} (q_{\ell,j}^{зп-в} + P_{\ell,j}^{зп-в}z) \right] \times \left[ \prod_{j=na_{\ell+x_\ell}}^{na_{\ell+x_\ell}+z_\ell} (q_{\ell,j}^{зп} + P_{\ell,j}^{зп}z) \right] \cdot \left[ \prod_{j=na_{\ell+x_\ell}+z_\ell}^{na_{\ell+x_\ell}+z_\ell+d_\ell} (q_{\ell,j}^p + P_{\ell,j}^pz) \right] = \sum_{k=0}^{N_\ell} P_{\ell,k} z^k,$$

де:  $P_{\ell,k}$  – ймовірність втрати працездатності пари “виріб-ЗІП” з причини бойового пошкодження рівно  $k$  складових частин  $\ell$ -го типу.

У цьому випадку ймовірність виникнення події  $B_{\ell}$  може бути розрахована за співвідношенням

$$P(B_{\ell}) = \sum_{k=Z_{\ell}+1}^{N_{\ell}} P_{\ell,k}, \quad (7)$$

де:  $Z_{\ell}$  – загальна кількість запасних частин  $\ell$ -го типу в системі “виріб-ЗІП”.

Враховуючи (7) ймовірність того, що запасних частин  $\ell$ -го типу буде достатньо для проведення відновлювального ремонту  $P_{\text{зип}}(x_{\ell})$  для випадку різних ймовірностей бойових пошкоджень складових частин однієї номенклатури може розраховуватися за співвідношенням

$$P_{\text{зип}}(x_{\ell}) = 1 - \sum_{k=Z_{\ell}+1}^{N_{\ell}} P_{\ell,k}. \quad (8)$$

Враховуючи те, що до складу системи “виріб-ЗІП” входять складові та запасні частини різної номенклатури співвідношення для розрахунку

$P_{\text{зип}}(X)$  набуває такого вигляду

$$P_{\text{зип}}(X) = \prod_{\ell=1}^L P_{\text{зип}}(x_{\ell}). \quad (9)$$

Зробивши підстановку (9), (4) в (3), отримаємо:

$$P(X, t_{\text{вр}}) = \prod_{\ell=1}^L \left( 1 - \sum_{k=Z_{\ell}+1}^{N_{\ell}} P_{\ell,k} \right) \cdot \Phi \left[ \frac{t_{\text{вр}} - t_{\text{вроч}}}{\sigma(t_{\text{вроч}})} \right]. \quad (10)$$

Таким чином, знайдено аналітичне співвідношення для розрахунку ймовірності своєчасного проведення відновлювального ремонту зразків ЗРО.

На відміну від відомих [1-4], співвідношення (10) на основі даних про номенклатуру та кількість складових частин, що визначають працездатність зразка озброєння, кількість запасних частин у відновлювальних та експлуатаційних комплектах

### Література

**1. Буравлев А. И.** Марковская модель восстановления вооружения и военной техники в новой системе технического обслуживания и ремонта / А.И. Буравлев // Вооружения и экономика. – 2014. – №1(26). – С. 39-52.  
**2. Пьянков А.А.** Математическая модель процесса восстановления вооружения и военной техники в ходе боевых действий тактического воинского формирования / А.А. Пьянков // Вооружения и экономика. – 2014. – №2(27). – С. 53-64.  
**3. Быкадор А.К.** Основы эксплуатации радиоэлектронной аппаратуры / А.К. Быкадор, Л.И. Кульбак, В.Ю. Лавриненко и др.: Под ред. В.Ю. Лавриненко. – Высш. школа, 1978. – 320 с.  
**4. Боярников В. Б.** Восстановление военной и боевой техники ЗРВ ПВО страны / В. Б. Боярников ; под ред. Н. Д. Гребенникова. – Минск : МВИЗРУ ПВО, 1972. – 240 с.  
**5.** Методика визначення та корегування складу запасів запасних частин комплектів ЗІП наземних бойових засобів зенітних ракетних комплексів / Б.М. Ланецький, В.В. Лук'яничук, О.М. Доска, В.В. Лісовенко // Проблеми координації воєнно-технічної та оборонно-промислової політики в Україні. Перспективи розвитку озброєння та військової техніки: матеріали V Міжнародної науково-

ЗІП, номенклатуру та кількість працездатних складових частин в зразках озброєння, які підлягають списанню і розукомплектуванню, ймовірності їх бойових пошкоджень та оцінок математичного сподівання і дисперсії часу виконання відновлювального ремонту дозволяє провести розрахунки показника ефективності відновлювального ремонту.

Достовірність розрахунку показника ефективності визначається достовірністю визначення вихідних даних.

Достовірність існуючих підходів [1-4] визначається достовірністю визначення інтенсивності потоку відмов та інтенсивності відновлення, їх апроксимаціями і припущеннями, які вносяться при розрахунках, наприклад, про пуассонівський потік заявок.

Виходячи з цього, запропонований підхід характеризується більш високою достовірністю розрахунку.

### Висновки й перспективи подальших досліджень

Розроблено метод розрахунку показника ефективності відновлювального ремонту – ймовірності проведення відновлювального ремонту за час, який не перевищує задане значення.

На відміну від відомих, запропонований метод враховує: обмеженість запасів експлуатаційних та відновлювальних комплектів ЗІП; можливість бойових пошкоджень як складових, так і запасних частин засобів ЗРО; можливості використання в якості запасних частин при проведенні відновлювальних ремонтів складових частин зразків ЗРО, які підлягають списанню і розукомплектуванню; обмежень щодо часу проведення відновлювального ремонту, що дозволяє позбутися припущень про надходження інтенсивності потоку заявок та інтенсивності відновлення, тим самим підвищити достовірність отриманих результатів.

практичної конференції, 11–12 жовтня 2017 року.: тези доповіді. – К., 2017. – 272-273.  
**6. Ковтуненко А.П.** Основы теории восстановления эксплуатационных свойств технических систем / Ковтуненко А.П., Шишанов М.А., Зубарев В.В. – К.: НАУ, 2007. – 294 с.  
**7. Ковтуненко А. П.** Восстановление эксплуатационных свойств радиоэлектронных систем / А. П. Ковтуненко, В. Н. Козлов, Ю. М. Россинский. – М.: МО, 1980. – 257 с.  
**8. Флоров О.Д.** Розрахунок складу ремонтного комплекту ЗІП бойових засобів ЗРК / О.Д. Флоров, О.М. Доска // Наука і техніка Повітряних Сил ЗС України. Х.: ХУПС.– 2013. – Вип. 1(10) – С. 61-64.  
**9.** Метод розрахунку показника достатності відновлювального комплекту ЗІП зразків зенітного ракетного озброєння, які отримують бойові пошкодження / Б.М. Ланецький, О.М. Доска, // Новітні технології для захисту повітряного простору: матеріали десятої наукової конференції Харківського університету Повітряних Сил ім. І. Кожедуба, 9-10 квіт. 2014 р.: Тези доповіді. – Х., 2014. – С. 111.  
**10. Ландо С.И.** Лекции о производящей функции / Ландо С.И. – М. МЦНМО, 2007. – 144 с.

## ОПРЕДЕЛЕНИЕ ПОКАЗАТЕЛЯ ЭФФЕКТИВНОСТИ ВОССТАНОВЛЕНИЯ ЗЕНИТНОГО РАКЕТНОГО ВООРУЖЕНИЯ С УЧЕТОМ РЕСУРСНЫХ ОГРАНИЧЕНИЙ

*Александр Михайлович Доска (кандидат технических наук)<sup>1</sup>  
Павел Викторович Опенько (кандидат технических наук)<sup>2</sup>  
Анатолий Сергеевич Дудуш (кандидат технических наук)<sup>1</sup>  
Максим Владимирович Сургай<sup>1</sup>*

<sup>1</sup>*Харьковский национальный университет Воздушных Сил имени Ивана Кожедуба, г. Харьков*

<sup>2</sup>*Национальный университет обороны Украины имени Ивана Черняховского, Киев*

*Обосновывается подход к определению вероятности своевременного проведения восстановительного ремонта с учетом ограниченных запасов запасных частей, материалов, инструментов и принадлежностей (ЗИП). Найдено аналитическое соотношение для расчета вероятности своевременного проведения восстановительного ремонта образцов зенитного ракетного вооружения (ЗРО). Предложенное соотношение позволяет учесть данные о номенклатуре и количестве составных частей, определяющих работоспособность образца вооружения, количество запасных частей в восстановительных и эксплуатационных комплектах ЗИП, номенклатуру и количество работоспособных составных частей в образцах вооружения, которые подлежат списанию и разуконплектованию, вероятности боевых повреждений составных частей и время выполнения восстановительного ремонта.*

**Ключевые слова:** *восстановительный ремонт; зенитное ракетное вооружение; ресурсные ограничения; показатели эффективности.*

## DETERMINING THE RECOVERY EFFICIENCY INDEX OF ANTI-AIRCRAFT MISSILE ARMAMENT, TAKING INTO ACCOUNT RESOURCE CONSTRAINTS

*Alexander Doska (Candidate of Technical Sciences)<sup>1</sup>  
Pavlo Open'ko (Candidate of Technical Sciences)<sup>2</sup>  
Anatolii Dudush (Candidate of Technical Sciences)<sup>1</sup>  
Maksim Surgai<sup>1</sup>*

<sup>1</sup>*Ivan Kozhedub Kharkiv National Air Force University, Kharkiv, Ukraine*

<sup>2</sup>*National Defense University of Ukraine named by Ivan Cherniakhovsky, Kyiv, Ukraine*

*The approach to determining the probability of timely conduct the recovery repair taking into account limited stocks of spare parts, materials, tools and accessories (spare parts) is substantiated. An analytical expression is found to calculate the probability of timely conduct the recovery repair of anti-aircraft missile armament (AMA). The proposed expression allows to take into account data on the nomenclature and number of components that determine the operability of an AMA, the number of spare parts in recovery and operational spare parts kits, the nomenclature and the number of operable components in AMAs that are subject to decommissioning and understaffing, the probability of combat damage of AMA's components and recovery repair time.*

**Key words:** *recovery repair, anti-aircraft missile armament, resource limitations, efficiency indexes.*

### References

**1. Buravlev A. I.** Markovskaya model vosstanovleniya vooruzheniya i voennoj tehniky v novej sisteme tehničeskogo obslužhivaniya i remonta / A.I. Buravlev // Vooruzheniya i ekonomika. – 2014. – №1(26). – S. 39-52.  
**2. Pyankov A.A.** Matematičeskaya model processa vosstanovleniya vooruzheniya i voennoj tehniky v hode boevyh dejstvij taktičeskogo vojnogo formirovaniya / A.A. Pyankov // Vooruzheniya i ekonomika. – 2014. – №2(27). – S. 53-64.  
**3. Bykador A.K.** Osnovy ekspluatcii radioelektronnoj apparatury / A.K. Bykador, L.I. Kulbak, V.Yu. Lavrinenko i dr.: Pod red. V.Yu. Lavrinenko. – Vyssh. shkola, 1978. – 320 s.  
**4. Boyarnikov V. B.** Vosstanovlenie voennoj i boevoj tehniky ZRV PVO strany / V. B. Boyarnikov ; pod red. N. D. Grebennikova. – Minsk : MVIZRU PVO, 1972. – 240 s.  
**5. Metodika viznachennya ta koreguvannya skladu zapasiv zapasnih chastin kompleksiv ZIP nazemnih bojovih zasobiv zenitnih raketnih kompleksiv / B.M. Laneckij, V.V. Luk'yančuk, O.M. Doska, V.V. Lisovenko // Problemi koordinaciyi voyenno-tehničnoy ta oboronno-promislovovy politiki v Ukraini. Perspektivi rozvitku ozbrojenya ta vijskovoyi tehniky: materiali V**

**Mizhnarodnoy naukovo-praktičnoy konferenciyi, 11–12 zhovtnya 2017 roku.: tezi dopovidi. – K., 2017. – 272-273.**  
**6. Kovtunenکو A.P.** Osnovy teorii vosstanovleniya ekspluatacionnyh svojstv tehničeskij sistem / Kovtunenکو A.P., Shishanov M.A., Zubarev V.V. – K.: NAU, 2007. – 294 s.  
**7. Kovtunenکو A. P.** Vosstanovlenie ekspluatacionnyh svojstv radioelektronnyh sistem / A. P. Kovtunenکو, V. N. Kozlov, Yu. M. Rossinskij. – M. : MO, 1980. – 257 s.  
**8. Florov O.D.** Rozrahunok skladu remontnogo komplektu ZIP bojovih zasobiv ZRK / O.D. Florov, O.M. Doska // Nauka i tehnika Povitryanij Sil ZS Ukrayini. H.: HUPS.– 2013. – Vip. 1(10) – S. 61-64.  
**9. Metod rozrahunku pokaznika dostatnosti vidnovlyvalnogo komplektu ZIP zrazkiv zenitnogo raketnogo ozbrojenya, yaki otrimuyut bojovi poskodzhennya / B.M. Laneckij, O.M. Doska, // Novitni tehnologiyi dlya zahistu povitryanogo prostoru: materiali desyatoyi naukovoyi konferenciyi Harkivskogo universitetu Povitryanij Sil im. I. Kozheduba, 9-10 kvit. 2014 r.: Tezi dopovidi. – H., 2014. – S. 111.  
**10. Lando S.I.** Lekcii o proizvodyashej funkcii / Lando S.I. – M. MCNMO, 2007. – 144 s.**