

## УДК 519.4

Поліщук Василь Володимирович (кандидат військових наук)

<https://orcid.org/0000-0001-8990-9648>

Салій Анатолій Григорович (кандидат військових наук, професор)

<https://orcid.org/0000-0002-3491-9301>

Целішев Юрій Павлович (кандидат технічних наук, доцент)

<https://orcid.org/0000-0002-6308-4024>

Іванов Василь Іванович

<https://orcid.org/0000-0002-1963-1991>

Косков Юрій Максимович

<https://orcid.org/0000-0003-4707-9898>

Національний університет оборони України імені Івана Черняхівського, Київ, Україна

# ОБГРУНТУВАННЯ МАТЕМАТИЧНОЇ МОДЕЛІ ФУНКЦІОНУВАННЯ СИСТЕМИ ВІДНОВЛЕННЯ АВТОМОБІЛЬНОЇ І СПЕЦІАЛЬНОЇ ТЕХНІКИ ПОВІТРЯНИХ СИЛ В УМОВАХ ШВИДКОЇ ЗМІНИ ОБСТАНОВКИ

Для оцінки ефективності функціонування системи відновлення автомобільної і спеціальної техніки (А і СТ) застосовано математичне моделювання її функціонування з використанням теорії масового обслуговування. В якості вхідних показників моделі системи відновлення використовувались: можливість ремонтних органів в ході виконання завдань; укомплектованість ремонтниками і ремонтними засобами, забезпеченість матеріальними засобами для відновлення А і СТ; склад органів управління системою, їх оснащеність; інтенсивність інформаційного обміну в системі управління.

Вихідними показниками моделі системи відновлення А і СТ є: кількість А і СТ, що виходить з ладу; можливість щодо ремонту і евакуації техніки; розподіл пошкодженої техніки за видами ремонту, які, у свою чергу, є вхідними даними для розробки методики оцінки ефективності функціонування системи відновлення А і СТ.

**Ключові слова:** система відновлення; математична модель системи відновлення; функція розподілу відмов; адекватність моделі.

## Вступ

Процес ремонту автомобільної і спеціальної техніки військових частин Повітряних Сил реалізується в рамках організаційної структури за рівнями ієрархії її побудови і за видами заходів забезпечення.

Ці процеси реалізуються системою відновлення А і СТ включаючи сили та засоби, об'єднані між собою єдиною метою підтримання даної техніки у справному стані та у постійній готовності до використання. Багатогранність даної системи обумовлена такими основними чинниками: наявністю декількох рівнів системи; різноманітністю функцій, виконуваних системою; наявністю в системі декількох служб, що знаходяться у взаємодії між собою; нестаціонарним режимом функціонування. За ступенем невизначеності процеси відновлення А і СТ носять стохастичний характер. Випадковість величин, що характеризують складові його заходи, обумовлена впливом різних дестабілізуючих факторів, які, у свою чергу, залежать від умов, що постійно змінюються. Досвід аналізу і оптимізації складних систем [1 - 5] показав доцільність і перспективність їх дослідження шляхом розробки моделей системи, які можна представити у виді структурної, функціональної і математичної моделей. Кожна зі складових частин цих моделей має досить складну структуру і будується з

урахуванням визначених вимог.

Застосування системного підходу припускає конкретний аналіз складу, структури, функціонування і взаємозв'язків системи відновлення А і СТ в цілому, так і її підсистем.

Сьогоднішній етап реформування Повітряних Сил в умовах ведення бойових дій вимагає перегляду недостатньо обґрунтованих підходів до формування системи відновлення А і СТ. Одним із етапів удосконалення системи є процес її моделювання, що включає вибір моделі функціонування, вибору показників ефективності та критеріїв її оцінювання.

Аналізуючи моделі подібних систем встановлено, що основна увага приділялась дослідженню питань організації відновлення несправної і пошкодженої техніки в одній, окремо взятій службі технічного забезпечення і показниками були вибрані імовірність своєчасного освоєння ремонтного фонду за окремим видом ремонту, коефіцієнт нанесення збитків противнику. Але такий показник, як імовірність своєчасного освоєння ремонтного фонду за окремим видом ремонту може бути застосований тільки як частковий, а інші показники взагалі не можуть бути застосовані для оцінки ефективності функціонування системи відновлення А і СТ військових частин повітряного командування.

Тому, враховуючи вищезазначене метою обґрунтування вибраної математичної моделі

функціонування системи відновлення А і СТ повітряного командування яка дасть змогу визначити імовірний середньодобовий вихід з ладу А і СТ та розподілити її за видами ремонту.

### Методи

Для досягнення поставленої мети обраний метод статистичного моделювання систем масового обслуговування (СМО). Даний метод дозволяє здійснювати завдання в СМО різних законів розподілу вхідного потоку заявок і часу обслуговування, облік фізичної сутності процесів які моделюються, створення адекватної моделі.

### Результати

Складовою частиною структурної та функціональної моделей є математична модель системи відновлення А і СТ повітряного командування, що складається із сукупності математичних блоків визначення показників функціонування підсистем і формалізованого опису функціонування системи в цілому.

За цикл функціонування системи звичайно приймається одна доба, це пов'язано з періодом надходження інформації від частин і служб. У системах автоматизованого управління інформація буде надходити практично безупинно, тому пропонується модель побудована з урахуванням можливості задоволення заявок які надходять у реальному часі.

Вхідні параметри формуються на основі даних про склад, характер застосування і базування військових частин повітряного командування, характер впливу противника і військово-географічних умов та дій вищих органів в інтересах командира повітряного командування.

Вплив вхідних параметрів буде обумовлювати кількість автомобільної і спеціальної техніки, що переходить у той чи інший стан. При цьому потік відмов буде формуватися з двох потоків: відмови від впливу противника і відмов з експлуатаційних причин. Відмови автомобільної і спеціальної техніки будуть відбуватися на всіх етапах циклу, у тому числі на етапах зберігання, експлуатації і відновлення (перехід техніки зі стану функціональних відмов, що вимагає виконання поточного ремонту, у стан повної відмови чи списання).

Виходячи з вищевикладеного, функціонування системи відновлення А і СТ повітряного командування може бути представлене у виді потоків техніки, технічного майна та інформації, що циркулюють у з'єднаннях, частинах і службах.

В ході експлуатації визначена кількість техніки буде переходити з працездатного стану в інші з інтенсивністю  $\lambda$  убик погіршення технічного стану і з інтенсивністю  $\mu$  убик відновлення працездатності. Добова інтенсивність переходу техніки з системи експлуатації в систему відновлення визначається величиною виходу техніки з ладу з експлуатаційних причин, ушкоджень і подій, а також розподілом відмов за видами ремонту. Інтенсивність потоків убик відновлення працездатності техніки визначається добовими можливостями ремонтних органів. У моделі прийнято, що очікування ремонту чи

евакуації не впливає на імовірність переходу техніки з одного стану в інший, а тільки збільшує час переходу. Перехід техніки з одного виду ремонту в більш складний є малоімовірним.

Очікуваний вихід техніки з ладу визначається окремо з причин (експлуатаційні, бойові, інші), за групами використання і за видами техніки (автомобілі, засоби АТЗ, причепи, гусеничні машини), з урахуванням її розміщення на об'єктах (аеродромах, складах).

Розподіл А і СТ на групи використання дозволяє з достатньою точністю прогнозувати витрати моторесурсів в умовах невизначеності на майбутній період бойових дій, оцінити різні варіанти використання машин, визначити шляхи економії моторесурсу і, у кінцевому рахунку, підвищити ефективність застосування засобів. Для цього використовуються наступні математичні залежності:

$$N_{відм_{e_i}} = \frac{N_i \cdot P_{м.с.ч_i}}{L_i} \cdot D = N_i \cdot (1 - P_{\tau_e}) D = N_i \cdot K_e \cdot D, \quad (1)$$

$$N_{відм_{n_i}} = N_i \cdot (1 - P_{\tau_n}) D = N_i \cdot K_n \cdot D, \quad (2)$$

$$N_{відм_{nd_i}} = N_i \cdot (1 - P_{\tau_{nd}}) D = N_i \cdot K_{nd} \cdot D, \quad (3)$$

де  $N_{відм}$  – очікувана кількість техніки, що відмовить у і-тій групі засобів з експлуатаційних причин, пошкоджень чи подій відповідно;

$P_{м.с.ч_i}$  – середньодобова витрата моторесурсів одним засобом і-тої групи;

$N_i$  – кількість засобів у групі, од.;

$L_i$  – середній наробіток на відмову для засобів і-тої групи;

$K_e$  – середньодобовий коефіцієнт (частка) виходу техніки з ладу з експлуатаційних причин;

$D$  – тривалість планованого періоду, доба.

Провівши розрахунки за формулами [1, 2, 3] отримаємо ймовірний середньодобовий вихід з ладу техніки яку розподіляємо за видами ремонту.

Вихід техніки з ладу від бойових пошкоджень і експлуатаційних причин не залежить один від одного і, разом з тим, можливе їх сполучення, тобто в зону ураження може потрапити техніка, що одержала до цього експлуатаційне пошкодження. Отже, загальний вихід з ладу одержимо за формулою [4]:

$$M[N] = \sum_{j=1}^m N_j P_j, \quad (4)$$

де  $M[N]$  – математичне сподівання пошкодженої А і СТ визначеного ступеня;

$N_j$  – кількість пошкодженої А і СТ;

$P_j$  – імовірність ураження техніки j-го ступеня;

j – ступінь ураження техніки ( 1 – слабка, 2 – середня, 3 – сильна, 4 – повна, що відповідає поточному, середньому, капітальному ремонтам і

списанню);

$m$  – кількість ступенів ураження.

Після визначення імовірного виходу техніки з ладу і розподілу її за видами ремонту проводиться оцінка можливостей засобів відновлення щодо ремонту і евакуації ушкоджених машин.

Добові виробничі можливості ремонтних підрозділів повітряного командування  $W$  розраховуються з урахуванням встановлених обмежень по трудомісткості виконуваних робіт за формулою:

$$W = \sum_{i=1}^n \frac{N_{\phi_i} \cdot (t_p - t_n)}{T_i \cdot k_{e.\phi.} \cdot k_{cl}}, \quad (5)$$

де  $N_{\phi_i}$  – кількість ремонтників у ремонтному органі (фахівців майстерні), чол.;

$t_p$  – добовий фонд робочого часу одного виробничника, год.;

$t_n$  – втрати часу на переміщення, евакуаційні роботи, згортання, розгортання, спеціальну обробку техніки і тд., год.;

$k_{e.\phi.}$  – коефіцієнт, що враховує використання інших фахівців при різних видах робіт;

$k_{cl}$  – коефіцієнт, що враховує складність умов роботи (вночі  $k_{cl} = 0,8 \dots 0,9$ , в засобах захисту  $k_{cl} = 0,75 \dots 0,8$ , при сполученні з особливою діяльністю  $k_{cl} = 0,8 \dots 0,9$ );

$T_i$  – трудомісткість робіт для  $i$ -тих ремонтних органів з урахуванням умов дій, люд.-г;

$n$  – кількість ремонтних органів (бригад).

Якщо витрати часу на ремонт машини перевищують встановлені, то вона підлягає евакуації.

Для забезпечення ефективної роботи ремонтних засобів потік ремонтного фонду евакуації повинен перевищувати їх добові можливості щодо виконання відповідних видів ремонту.

Для визначення кількості евакуйованої А і СТ  $N_{iev.p}$  необхідно визначити кількість пошкодженої техніки, яка підлягає евакуації  $N_{iev}$  [6]:

$$N_{iev} = K_{ev} \cdot N_{vidm}, \quad (6)$$

де  $K_{ev}$  – коефіцієнт, який враховує необхідність евакуації для подальшого ремонту  $N_{iev} \geq N_{iev.p}$  зразків А і СТ із загальної кількості  $N_{vidm}$  пошкодженої техніки (в розрахунках  $K_{ev} = 0,7$ ).

Для визначення кількості техніки, яку планується відновити в ремонтних підрозділах військових частин повітряного командування,

доцільно використовувати залежність, враховуючи середньодобовий вихід з ладу засобів ремонту:

$$N_{na} = \sum_{j=1}^n \sum_{i=1}^k \sum_{\phi=1}^l W_{ji\phi} \cdot N_{ji\phi} \cdot D \cdot \left[ 1 - \frac{P_{zp_j}}{100} \cdot (D-1) \right], \quad (7)$$

де  $W_{ji\phi}$  – виробничі можливості  $j$  – того ремонтного підрозділу, по  $\phi$  – му виду ремонту в і-готипу (марки) машини, од;

$N_{ji\phi}$  – кількість ремонтних засобів  $j$  – того ремонтного підрозділу, по  $\phi$  – му виду ремонту і-го типу (марки) машини, од;

$D$  – плануємий період, доба;

$P_{zp_j}$  – середньодобовий вихід з ладу засобів ремонту  $j$  – того типу, %;

$n$  – кількість ремонтних підрозділів;

$l$  – число видів ремонту;

$k$  – число типів, марок машин.

Адекватність моделі системи відновлення процесу, який моделюється визначається: відповідністю переліку і черговості виконання окремих заходів у моделі реальному процесу; використанням у моделі в якості тимчасових показників статистичних даних, які отримані в ході навчань і з досвіду експлуатації техніки.

Таким чином обрана математична модель функціонування системи відновлення А і СТ є моделлю багатоканальної системи масового обслуговування. Принциповою особливістю даної моделі є врахування в ній:

можливості евакуації частки машин своїм ходом, та враховувати при цьому кількість техніки, яка відновлюється в місцях виходу з ладу; врахування втрат часу на переміщення ремонтних органів;

врахування в ході відновлення техніки втрат засобів ремонту, а також відновлення А і СТ за технічним станом, що відрізняє дану модель від інших моделей.

## Висновки

Грунтуючись на результатах дослідження дана модель дозволяє, з достатньою точністю провести моделювання процесів відновлення і виконання поставлених завдань.

Однак для досягнення мети дослідження необхідно досліджувати характер зміни вихідних параметрів моделі з використанням відповідного критеріального апарату, що дозволив би оцінити ефективність функціонування системи відновлення А і СТ і обґрунтувати рекомендації щодо її підвищення в сучасних умовах.

## Список використаних джерел

1. Бусленко Н.П. Моделирование сложных систем. – М.: Наука, 1978.–400 с.
2. Вентцель Е.С. Исследование операций. – М.: Сов. Радио, 1972. –С. 515-557.
3. Петухов Г.Б. Основы теории массового обслуживания. – Л.: ВИКА имени Можайского, 1974. – 247 с.

4. Система стандартів НАТО із організації роботи системи логістики (C4ISR). Частина I: навч. посіб. / К.: НУОУ ім. Івана Черняхівського, 2018. – 94 с.

5. Положення про порядок постачання Збройних Сил України автомобільною технікою і майном. Введене Наказом Міністра оборони України від 16.02.1994 р. № 29, - 24 с.

6. Салій А.Г, Поліщук В.В. /Математична модель функціонування системи відновлення автомобільної і спеціальної техніки військового призначення / А.Г. Салій, В.В. Поліщук / інформаційні технології у сфері безпеки та оборони. – 2014. - №3(21). – С.88-92.

## **JUSTIFICATION OF THE MATHEMATICAL MODEL OF THE FUNCTIONING OF THE AUTOMOBILE AND SPECIAL EQUIPMENT OF THE AIR FORCE RECOVERY SYSTEM IN THE CONDITIONS OF A QUICK CHANGE IN THE ENVIRONMENT**

**Vasyl Polishchuk** (Candidate of Military Sciences)

<https://orcid.org/0000-0001-8990-9648>

**Anatolii Saliy** (Candidate of Military Sciences, Professor)

<https://orcid.org/0000-0002-3491-9301>

**Yury Tselishev** (Candidate of Technical Sciences, Associate Professor)

<https://orcid.org/0000-0002-6308-4024>

**Vasyl Ivanov**

<https://orcid.org/0000-0002-1963-1991>

**Yuriy Koskov**

<https://orcid.org/0000-0003-4707-9898>

*The National Defence University of Ukraine named after Ivan Cherniakhovskyi, Kyiv, Ukraine*

*To evaluate the effectiveness of the system of restoration of automobile and special equipment (A and SE), mathematical modeling of its functioning using the theory of mass service was applied. As input indicators of the model of the restoration system, the following were used: capabilities of repair bodies during the execution of tasks; staffing of repairmen and repair equipment, provision of material means for restoration of A and SE; composition of system management bodies, their equipment; the intensity of information exchange in the management system.*

**Keywords:** *recovery system; mathematical model of the recovery system; failure distribution function; adequacy of the model.*

### **References**

1. Buslenko N.P. Modelirovanie slozhnyih sistem. M.: Nauka, 1978.-400 s.

2. Venttsel E.S. Issledovanie operatsiy. M.: Sov. Radio, 1972. S. 515-557.

3. Petuhov G.B. Osnovy teorii massovogo obsluzhivaniya. – L.: VIKА imeni Mozhayskogo, 1974. – 247 s.

4/ Sistema standartiv NATO Iz organIzatsIYi roboti sistemi logIstiki (C4ISR). Chastina I: navch. posIb. / K.:

NUOU Im. Ivana Chernyahovskogo, 2018. – 94 s.

5. Polozhennya pro poryadok postachannya Zbroynih Sil UkraYini avtomobilnoyu tehnikoyu I maynom. Vvedene Nakazom MInIstra obroni UkraYini vId 16.02.1994 r. № 29, - 24 s.

6. Saliy A.G, PolIschuk V.V. /Matemachna model funktsionuvannya sistemi vIdnovlennya avtomobilnoYi I spetsialnoYi tehniky vIyskovogo pryznachennya / A.G.Saliy, V.V.PolIschuk / InformatsIynI tehnologIYi u sferI bezpeki ta obroni. – 2014. №3(21). – S.88-92.