

## МАТЕМАТИЧНА МОДЕЛЬ ФУНКЦІОНУВАННЯ СИСТЕМИ ВІДНОВЛЕННЯ АВТОМОБІЛЬНОЇ І СПЕЦІАЛЬНОЇ ТЕХНІКИ ВІЙСЬКОВОГО ПРИЗНАЧЕННЯ

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: можливості 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; можливості 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

**Постановка проблеми.** Процес відновлення автомобільної і спеціальної техніки військових частин повітряного командування реалізується в рамках організаційної структури його системи технічного забезпечення, що декомпонується за рівнями ієрархії її побудови і за видами заходів забезпечення.

Система відновлення автомобільної і спеціальної техніки включає в себе сили та засоби, об'єднані між собою єдиною метою підтримання даної техніки у справному стані та у постійній готовності до використання. Складність даної системи обумовлена такими основними ознаками: 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, 2, 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 вимагає перегляду застарілих або недостатньо обґрунтованих підходів до формування системи технічного забезпечення та однієї з її підсистем – це системи відновлення А і СТ. Але перш ніж удосконалити систему відновлення А і СТ необхідно розробити модель функціонування даної системи, вибрати показники ефективності та критерії її оцінки і удосконалити методику оцінки її функціонування, і на їх основі оцінити функціонування існуючої системи відновлення з метою встановлення її відповідності умовам сучасної збройної боротьби.

**Аналіз останніх досліджень і публікацій.** Аналізуючи подібні 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** є розробка 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 дослідження

Дослідження проводилося в рамках НДР шифр “Надія”. 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.

### Виклад основного матеріалу дослідження

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 її роботи в поточному 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  $\lambda$  убік погіршення технічного стану і з інтенсивністю  $\mu$  убік 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 убік 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:

$$N_{\text{відм.еі}} = \frac{N_i \cdot P_{\text{м.с.і}}}{L_i} \cdot D = N_i \cdot (1 - P_{\tau_e}) D = N_i \cdot K_e \cdot D, \quad (1)$$

$$N_{\text{відм.пі}} = N_i \cdot (1 - P_{\tau_{\text{п}}}) D = N_i \cdot K_{\text{п}} \cdot D, \quad (2)$$

$$N_{\text{відм.пді}} = N_i \cdot (1 - P_{\tau_{\text{пд}}}) D = N_i \cdot K_{\text{пд}} \cdot D, \quad (3)$$

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

$P_{\text{м.с.і}}$  – 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 роз приділяємо 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:

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

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.;

$k_{в.ф.}$  – коефіцієнт, що враховує використання інших фахівців при різних видах робіт;

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

$T_i$  – 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 реально евакуйованої А і СТ  $N_{іев,р}$  необхідно визначити кількість пошкодженої техніки, яка підлягає евакуації  $N_{іев}$  [6]:

$$N_{іев} = K_{ев} \cdot N_{відм_i}, \quad (6)$$

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

Для визначення кількості техніки, яку планується відновити в ремонтних підрозділах військових частин повітряного командування, доцільно використовувати залежність, враховуючи

середньодобовий вихід з ладу засобів ремонту:

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

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

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

$D$  – плануємий період, доба;

$P_{зр_j}$  – 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 розроблена 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 й перспективи подальших досліджень

Ґрунтуючись 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.

текущий и средний ремонт, разборку машин, капитальный ремонт агрегатов в подвижных ремонтных частях и подразделениях и методы их расчета. – М.: ГлавТУ МО СССР, 1983. - 18 с. 5. Петухов Г. Б. Основы теории массового обслуживания. – Л.: ВИКА имени Можайского, 1974. – 247 с. 6. Положення про порядок постачання Збройних Сил України автомобільною

### Література

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. Галушко И. М., Варламов Н. В. Основы моделирования и автоматизации управления тылом. – М.: Воениздат, 1982, - 237 с. 4. Нормативы времени на

технікою і майном. Введене Наказом Міністра оборони України від 16.02.1994 р. № 29, - 24 с. **7. Воронин А. Н.** Многокритериальные решения: модели и методы монография / Воронин А. Н., Зиятдинов Ю. К., Куклинский М. В. – К. : НАУ, 2011. – С. 30-50.

**8. Рєзнік Д. В.** Возможности использования модели узгодженої взаємодії для оцінки ефективності взаємодії військ / Д. В. Рєзнік, О. М. Чернобривченко // Сучасні інформаційні технології у сфері безпеки та оборони. – 2014. - №2(20). – С.88-92

## МАТЕМАТИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ ФУНКЦИОНИРОВАНИЯ СИСТЕМЫ ВОССТАНОВЛЕНИЯ АВТОМОБИЛЬНОЙ И СПЕЦИАЛЬНОЙ ТЕХНИКИ ВОЕННОГО НАЗНАЧЕНИЯ

*Василий Владимирович Полищук*

*Национальный университет обороны Украины имени Ивана Черняховского, Киев, Украина*

*Для оценки эффективности функционирования системы восстановления автомобильной и специальной техники (А и СТ) использовано математическое моделирование её функционирования с использованием теории массового обслуживания. В качестве входящих показателей модели системы восстановления использовались: возможности ремонтных органов во время выполнения задач; укомплектованность ремонтниками и ремонтными средствами, обеспеченность материальными средствами для восстановления А и СТ; состав органов управления системой, их оснащенность; интенсивность информационного обмена в системе управления.*

*Исходными показателями модели системы восстановления А и СТ есть: количество А и СТ, которая вышла из строя; возможности по ремонту и эвакуации техники; распределение неисправной техники по видам ремонта, которые, в свою очередь есть входящими данными для разработки методики оценки эффективности функционирования системы восстановления А и СТ.*

**Ключевые слова:** система восстановления; математическая модель системы восстановления; функция распределения отказов; адекватность модели.

## THE DEVELOPMENT OF THE MATHEMATICAL MODEL OF MILITARY AUTOMOTIVE AND SPECIAL VEHICLES RECOVERY SYSTEM FUNCTIONING

*Vasyl V. Polishchuk*

*National Defense University Ukraine named after Ivan Chernyakhovsky, Kyiv, Ukraine*

*The mathematical model of functioning the recovery system of military special vehicles with the use of queuing theory. The factors of model the recovery system that used: possibilities of maintenance organization to during implementation of missions; personnel, provision of material recovery resources for the military special vehicles; composition of system organs management, available technology; intensity of data exchange is in control system.*

*The parameters of model of the recovery system in military special vehicles are: quantity of damaged units; possibilities of repair base; distribution of the damaged units for the types of repair, that, in turn, are data-ins for development of efficiency estimation system operation technique of proceeding in military special vehicles.*

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

### References

**1. Buslenko N.P.** (1978) Design of the difficult systems. [Modelirovanie slozhnykh sistem], Moscow, Nauka, p.400  
**2. Ventcel' E.S.** (1972) Analysis of operations. [Issledovanie operatsiy], Moscow, Sov. Radio, pp. 515-557.  
**3. Galushko I.M., Varlamov N.V.** (1982) Basis of design and automation of management by a logistic. [Osnovy modelirovaniya i avtomatizatsiya upravleniya tylom], Moscow, Voenizdat, p. 237. **4. Norms** of time on permanent and middle repair, sorting out of machines, major repairs of aggregates in movable repair parts and subdivisions and methods of their calculation. [Normativy vremeni na tekushchiy i sredniy remont, razborku mashin, kapitalnyi remont agregatov v podvignyyh remontnykh chastyakh I podrazdeleniyah I metody ih raschota], (1983), Moscow, Glavtu, Ministerstvo obrony SSSR, p.18. **5. Petuhov G.B.** (1974) Bases of theory of mass service. [Osnovy teorii

masovogo obsluzhivaniya], Leningrad, VETCH of the name of Mozhayskogo, p.247. **6. Position** about the order of supply of Military Powers of Ukraine by a motor-car technique and property. It is entered by Order of Secretary of defense of Ukraine from 16.02.1994 No 29, [Polozhennya pro porядok postachannya Zbroynyh Syl Ukrainy avtomobilnoyu tehnikoyu I maynom vvedene nakazom Ministra obrony Ukrainy vid 16.02.1994 №29], p. 24. **7. Voronin A.N.** (2011) Multicriteria decision: Models and Methods: Monograph. [Mnogokriterialnie resheniya: modeli i metody], NAU, Kyiv, pp. 30–50. **8. Riezник D.V.** (2014), Possibility of using coordinated interaction model for evaluation of troops interaction efficiency. [Mojlyvist vykorystannya modeli uzgojenoї vzaemodii dlia ocinky efektyvnosti vzaemodii viisk], Suchasni informacijni tekhnologiji u sferi bezpeky ta obrony, No. 2(20), pp. 88-92.

Отримано: 12.10.2015 р.