

Шифр АТЗ

**РОЗРОБКА УЗАГАЛЬНЕНОЇ МОДЕЛІ АВТОТЕХНІЧНОГО  
ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ МАРШУ**

## ЗМІСТ

ВСТУП.....	3
1. Визначення залежності ймовірностей перебування системи забезпечення маршруту в кожному стані від параметрів забезпечення.....	6
2. Аналіз параметрів системи технічного забезпечення маршруту.....	8
3. Визначення ймовірностей перебування системи технічному забезпеченні маршруту.....	16
4. Визначення ймовірностей перебування системи забезпечення маршруту в кожному з її чотирьох станів.....	20
5. Приклад 1 для визначення показника ефективності функціонування системи забезпечення маршруту.....	22
6. Приклад 2 для визначення показника ефективності функціонування системи забезпечення маршруту.....	23
ВИСНОВКИ.....	27
СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ.....	29

# РОЗРОБКА УЗАГАЛЬНЕНОЇ МОДЕЛІ АВТОТЕХНІЧНОГО ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ МАРШУ

## ВСТУП

### *Актуальність теми*

Всебічне та своєчасне забезпечення підготовки і здійснення маршу автомобільного транспорту спеціального призначення традиційно потребує ретельного аналізу і концентрації матеріально-технічних ресурсів на основі семи принципів військової логістики [1, 2].

В умовах традиційного дефіциту матеріальних засобів для забезпечення, актуальним є визначення і порівняння потрібних і наявних виробничих можливостей і досвіду оперативного маневрування ними, перш за все, для керівників технічної служби, водіїв і технічних спеціалістів під час забезпечення маршу. Всі ці вимоги потребують зараз розробки і обґрунтування адекватного плану технічного забезпечення маршу на значні відстані за допомогою моделей та сучасного програмного забезпечення. Саме тому тема кількісного аналізу якості забезпечення підготовки і здійснення маршу на основі відомих моделей для аналізу процесів є актуальною для навчального процесу, для теорії та практики з урахуванням вимог державних стандартів забезпечення функціонування військових технічних об'єктів [3,4].

### **Мета роботи**

Метою є розробка моделі процесу функціонування *системи автотехнічного забезпечення маршу* для науково-обґрунтованої оцінки ефективності та надійності функціонування цієї системи, а також для визначення напрямів удосконалення процесу забезпечення, шляхом застосування математичного апарата, наприклад, дискретних марківських процесів [5].

## Виклад основного матеріалу

Стани системи технічного забезпечення застосування автомобільного транспорту під час підготовки і протягом маршру пов'язані між собою переходами із стану в стан. Кожен з переходів характеризується деякою інтенсивністю і ймовірністю.

Моделювання процесу в системі забезпечення маршру типовим графом станів і переходів системи в процесі її функціонування в часі протягом підготовки і застосування автомобільного транспорту на маршру сприяє отриманню важливих показників якості її функціонування.

Адекватність застосування цієї моделі для процесів без післядії, якою є процес технічного забезпечення застосування зразків автомобілів, пояснюється тим, що ця модель точніше відображає систему, у разі, коли поточний її стан не залежить від того, в якому стані система знаходилася до цього моменту. Саме такою є система технічного забезпечення застосування автомобілів протягом підготовки і здійснення маршру. Варіант графа станів і переходів цієї системи в різні стани представлений на рисунку 1.

Перелік інтенсивності переходів та відповідних ймовірностей виникнення цих випадкових явищ, тобто переходів, є наступним.

$f, F$  – інтенсивність і ймовірність переходів від стану підготовки транспорту до стану його застосування за призначенням;

$g, G$  – інтенсивність і ймовірність переходів від стану застосування транспорту до стану підготовки нових зразків транспорту з метою їх застосування замість зразків, що пошкоджені протягом маршру у значної степені;

$u, U$  – інтенсивність і ймовірність переходів від стану відновлення зразків техніки після їх пошкодження до стану готовності їх до застосування;

$z, Z$  - інтенсивність і ймовірність переходів від стану застосування зразків транспорту до стану їх відновлення у разі пошкодження;

$v, V$  - інтенсивність і ймовірність переходів від стану застосування зразків транспорту до стану їх технічного обслуговування;

ц,  $U$  - інтенсивність і ймовірність переходів від стану технічного обслуговування зразків транспорту до стану їх застосування на марші.

Важливо підкреслити, що цей граф містить саме *циклічні* (не одноразові) переходи і віддзеркалює реальні переходи системи забезпечення в той або інший стан. Перехід в стан бойового застосування транспорту є можливим і після підготовки транспорту з метою його застосування, і після технічного обслуговування транспорту, і після відновлення пошкоджених зразків.

Стан відновлення пошкодженого транспорту є можливим або після його застосування, або ще на етапі, тобто у стані, готовому до застосування, наприклад, через технічні відмови, через дії противника або випадкові помилки і поламки автомобільної техніки.

Неважко також уявити собі ситуацію, коли необхідно здійснити технічне обслуговування транспорту після його застосування за призначенням, а також ситуацію додаткової підготовки техніки, коли застосування окремих зразків транспорту показало необхідність їх нової підготовки з метою застосування, наприклад, через незадовільні результати попереднього використання, через недостатньо ретельну попередню підготовку до застосування, а також в ситуації необхідності підготовки нових зразків до застосування, натомість безповоротно пошкоджених зразків протягом маршу.

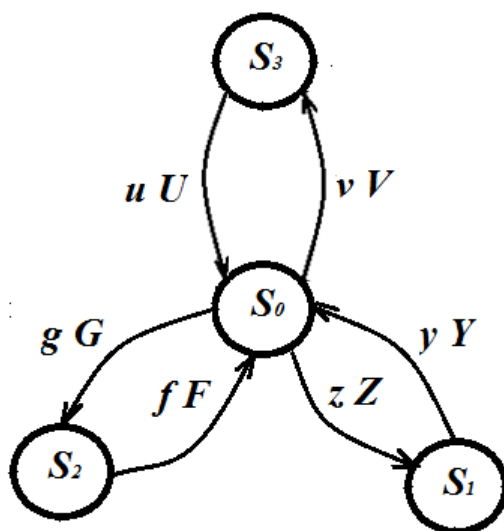


Рис. 1 – Граф станів і переходів системи технічного забезпечення застосування автомобільного транспорту протягом маршу.

Стани системи:  $S_0$ – стан застосування за призначенням;  $S_1$ – стан відновлення після пошкодження або поломки зразків транспорту, або відмови;  $S_2$  – стан підготовки транспорту до початку застосування або підготовки нових зразків до застосування після безповоротного пошкодження;  $S_3$ – стан технічного обслуговування транспорту.

В процесі функціонування системи технічного забезпечення маршруту в часі, ця система, таким чином, перебуває у будь-якому стані з ймовірністю:

$P_{00}(t)$  – ймовірність перебування транспорту в стані його застосування за призначенням або готовності до призначення;

$P_{01}(t)$  – ймовірність перебування транспорту в стані його відновлення після пошкодження або ремонту після поломки, або ремонту після відмови через фізичний знос зразків;

$P_{02}(t)$  – ймовірність підготовки транспорту до початку його застосування або після безповоротних втрат деяких зразків транспорту;

$P_{03}(t)$  – ймовірність перебування транспорту в стані його технічного обслуговування до або після його застосування за призначенням протягом маршруту.

Саме ці ймовірності, тобто об'єктивні показники якості автотехнічного забезпечення маршруту, необхідно далі визначити в роботі.

### ***1. Визначення залежності ймовірностей перебування системи забезпечення маршруту в кожному стані від параметрів забезпечення***

Сукупність диференціальних рівнянь, що описують процес функціонування системи забезпечення протягом застосування транспорту у часі  $t$  відносно ймовірностей  $P_{00}, P_{01}, P_{02}, P_{03}$  перебування цього транспорту в кожному із 4-х станів, доцільно записати, відповідно до правила контурів для станів транспорту, в оточенні кожного із станів, що досліджуються (див. рис. 1), згідно до літератури [1], у вигляді:

$$\frac{dP_{00}(t)}{dt} = yY P_{01} + fF P_{02} + uU P_{03} - zZ P_{00} - i P_{00} - vV P_{00};$$

$$\begin{aligned}
\frac{dP_{01}(t)}{dt} &= zZ P_{00} - yY P_{01} ; \\
\frac{dP_{02}(t)}{dt} &= gG P_{00} - fF P_{02} ; \\
\frac{dP_{03}(t)}{dt} &= vV P_{00} - uU P_{03} .
\end{aligned}
\tag{1}$$

Рішення цих диференціальних рівнянь є наступними:

$$\begin{aligned}
P_{00}(t) &= [yYP_{01} + fFP_{02} + uUP_{03}] \frac{[1 - \exp[-(zZ + gG + vV)t]]}{zZ + gG + vV} ; \\
P_{01}(t) &= [zZP_{00}] \frac{[1 - \exp[-yYt]]}{yY} ; \\
P_{02}(t) &= [gGP_{00}] \frac{[1 - \exp[-fFt]]}{fF} ; \\
P_{03}(t) &= [vVP_{00}] \frac{[1 - \exp[-uUt]]}{uU} ;
\end{aligned}
\tag{2}$$

В системі з чотирьох алгебраїчних рівнянь (2) тільки три рівняння є лінійно незалежними, тому, для визначення залежностей для чотирьох ймовірностей, потрібно застосувати ще одне, рівняння нормування ймовірностей.

Умова нормування сукупної ймовірності станів системи при  $t > 0$ , з врахуванням повної групи випадкових явищ перебування системи забезпечення в кожному стані з чотирьох, має вигляд

$$P_{00}(t) + P_{01}(t) + P_{02}(t) + P_{03}(t) = 1 . \tag{3}$$

В результаті перетворень (2) з урахуванням (3) отримаємо залежності ймовірностей перебування автомобільного транспорту, а саме, системи технічного забезпечення у станах: «готовності транспорту до застосування або перебування у стані застосування»; «відновлення зразків транспорту після пошкоджень»; «підготовки зразків транспорту до його бойового

застосування»; «перебування зразків у стані їх технічного обслуговування», у вигляді:

$$P_{00}(t) = \frac{uUyYfF}{uUyYfF + \alpha(t)vVyYfF + \beta(t)uUzZfF + \gamma(t)uUgGyY}; \quad (4)$$

$$P_{01}(t) = \frac{\beta(t)uUzZfF}{uUyYfF + \alpha(t)vVyYfF + \beta(t)uUzZfF + \gamma(t)uUgGyY} \quad (5)$$

$$P_{02}(t) = \frac{\gamma(t)uUgGyY}{uUyYfF + \alpha(t)vVyYfF + \beta(t)uUzZfF + \gamma(t)uUgGyY} \quad (6)$$

$$P_{03}(t) = \frac{\alpha(t)vVyYfF}{uUyYfF + \alpha(t)vVyYfF + \beta(t)uUzZfF + \gamma(t)uUgGyY}, \quad (7)$$

де позначено:

$$\alpha = 1 - \exp(-uUt); \quad \beta = 1 - \exp(-yYt); \quad \gamma = 1 - \exp(-fFt). \quad (8)$$

## ***2. Аналіз параметрів системи технічного забезпечення маршру***

Система технічного забезпечення маршру є структурою, яка складається з підсистем, що спільно функціонують, що об'єднані єдиною метою п'яти підсистем: управління; підготовки особового складу; матеріального забезпечення; експлуатації; відновлення пошкоджених зразків автомобілів.

Вхідні параметри цієї системи забезпечення маршру є наступними:

- параметри управління діями під час підготовки, здійснення маршру і відновлення зразків автотранспорту;
- кількість і особливості застосування зразків транспорту і підрозділів забезпечення;
- вплив фізико-географічних умов зони здійснення маршру;
- ресурс і показники технічного стану зразків транспорту.
- кількість нових (відремонтованих) зразків автомобілів для підрозділів;
- наявність постачання резервів до місця підготовки і здійснення маршру;
- структура і дислокація колони транспорту і підрозділів забезпечення;



- наявність і номенклатура резервів транспорту і їх комплектів для ремонту;
- наявність резервів водіїв і технічних спеціалістів;
- база живлення засобами ремонту зразків транспорту;
- характер дій противника, коефіцієнт його бойового впливу.

Вплив вхідних параметрів обумовлює кількість зразків автомобілів, яке переходить в той або інший стан. При цьому необхідно враховувати сумарні відмови, тобто і пошкодження зразків, і експлуатаційні відмови зразків, і відмови через помилки особового складу. До того ж сумарні відмови транспортних засобів зазвичай відбуваються на усіх етапах: зберігання, застосування за призначенням, відновлення, підготовки до списання.

Підсистема відновлення транспорту повинна містити: *сили і засоби* для забезпечення швидкого відновлення зразків, які є слабо пошкодженими; *ремонтну базу* пошкоджених зразків для звільнення підрозділів на марші від тих зразків, відновлення яких в підрозділах неможливе або недоцільне; *ремонтне підприємство* для визначення дефектів і відновлення або розбирання зразків, які є сильно пошкодженими.

Інтервал часу для оцінки ймовірності перебування системи технічного забезпечення в тому або іншому стані і переходів системи з одного стану в інший вважатимемо довільним і рівним  $(t - t_0) = t$ .

Спочатку визначимо ймовірність випадкової події, що полягає в тому, що за інтервал часу, рівний  $t$ , транспорт не буде виведений з ладу з різних причин, а саме, з причин: його відмови з ймовірністю  $P_1$  в процесі маршу; його бойового пошкодження з ймовірністю  $P_2$  через недостатню живучість; його поламки з ймовірністю  $P_3$  із-за помилок особового складу.

Ймовірність  $P_{ct}$  цієї спільної події дорівнює

$$P_{ct} = \prod_{i=1}^3 P_i; P_1 = e^{-\alpha t}, P_2 = 1 - k_2, P_3 = 1 - k_3; \alpha = 1/L, (9),$$

де  $L$  – середній час напрацювання зразків на відмову;

$k_2$  – середньодобова частина зразків транспорту, що отримали бойові пошкодження;

$k_3$  – середньодобова частина зразків транспорту, що отримали поламки через помилки особового складу.

Далі доцільно оцінювати ймовірності успішного виконання завдань забезпечення в кожному із станів системи забезпечення маршру, яка представлена на рисунку 1.

З даних досвіду і вимог до готовності транспорту і підсистеми управління застосуванням транспорту за призначенням робимо висновок, що *достовірність успішного управління підготовкою, застосуванням і відновленням транспорту на маршру* повинна складати в типових умовах на рівні  $P_y = 0,95$ .

У реальних умовах оперативність підсистеми управління доцільно виражати математичним очікуванням тривалості циклу  $T_y$ , який дорівнює інтервалу часу між двома черговими етапами ухвалення управлінських рішень, наприклад, з урахуванням реального часу тривалості циклу управління та гарантованої ймовірності цієї тривалості циклу, у вигляді

$$T_y = T_p / [-\ln(1 - P_g)], \quad (10)$$

де  $T_p$  – реальний час тривалості циклу управління;

$P_g$  - гарантована ймовірність тривалості циклу управління.

У досліджуваній системі технічного забезпечення маршру для умови рівно інтенсивних переходів системи в кожного з її станів, тобто при  $f = g = u = v = z = y = 1/T$ , доцільно зажадати, щоб реальний час тривалості циклу управління задовольняв співвідношенню

$$T_p \leq T. \quad (11)$$

*Ймовірність успішної підготовки зразків транспорту до застосування, з врахуванням різних чинників, що заважають, може бути прийнята рівною  $P_4 = 0,9$ .*

Успішне технічне обслуговування до початку або протягом маршу є принципово необхідним завданням і для підтримки в готовності зразків озброєння, і, особливо, їх транспортної колісної бази в складних фізико-географічних умовах, а саме, в умовах: сухого жаркого клімату; піщаного ґрунту; високо запиленого повітря. Це постійно вимагає обслуговування і двигунів, і ходової частини.

З урахуванням очікуваних умов маршу, а також реальних вказаних чинників і динаміки сучасних умов її застосування, *ймовірність успішного технічного обслуговування транспорту до початку або протягом маршу, навіть в умовах високої оснащеності і чіткої організації їх технічного обслуговування і відновлення, доцільно враховувати на рівні, наприклад, рівному  $P_5 = 0,8$ .*

Ймовірність виконання завдання застосування зразків транспорту за призначенням доцільно визначити у вигляді відношення загальної кількості  $N$  непошкоджених зразків із загального числа зразків  $N \cdot d$ , що беруть участь у здійсненні маршу *впродовж  $d$  діб.*

При цьому кількість непошкоджених зразків визначається з врахуванням ймовірності пошкоджень зразків згідно до формул (9). Очікувана кількість пошкоджених зразків озброєння по видах причин пошкоджень дорівнює

$$K_1 = N(1 - P_1)d; \quad K_2 = N(1 - P_2)d; \quad K_3 = N(1 - P_3)d, \quad (12)$$

де  $d$  - кількість діб маршу.

Кількість непошкоджених (збережених в працездатному стані) зразків автомобілів на момент часу  $t$  дорівнює

$$\dot{N} = N K_y \left\{ \prod_{i=1}^3 P_i + P_6 \left[ 1 - \prod_{i=1}^3 P_i \right] \right\} + N P_{pp} P_t, \quad (13)$$

де  $K_y = 1 - P_p$  - коефіцієнт укомплектованості частини зразками;

$P_6$  - ймовірність успішного відновлення зразків, пошкоджених в різній степені і відновлюваних в польових умовах (при слабких пошкодженнях), у частині, і на ремонтній базі (при середніх ушкодженнях), і на ремонтному підприємстві (при сильних ушкодженнях);

$P_{pp}$  - ймовірність поповнення комплексів за рахунок резерву з баз зберігання, з виробництва і за рахунок перерозподілу ресурсів зразків;

$P_t$  - ймовірність безвідмовної роботи зразків резерву за час перебування їх в частині, т. е. з моменту  $t$ .

Отже, ймовірність  $P_6$  події готовності застосування зразків транспорту до застосування за призначенням дорівнює

$$P_6 = [\dot{N} / N] = K_y \left\{ \prod_{i=1}^3 P_i + P_6 \left[ 1 - \prod_{i=1}^3 P_i \right] \right\} + P_{pp} P_t. \quad (14)$$

Ймовірність  $P_7$  успішного відновлення зразків, що пошкоджені в різному ступені та відновлювані і в польових умовах (при слабких пошкодженнях), тобто у частині, і на ремонтній базі (при середніх пошкодженнях), і на ремонтному підприємстві (за умов сильних пошкоджень), обчислюється складніше. Вона дорівнює відношенню числа відновлених зразків  $M$  до загальної кількості  $M$  пошкоджених зразків.

Добові виробничі можливості  $W$  підрозділів технічного забезпечення типової частини і ремонтного підприємства доцільно визначити, з урахуванням можливостей та обмежень з трудомісткості ремонтних робіт, які визначають формулою

$$W = \sum_{j=1}^m \frac{n_j(t_p - t_\pi)}{n_{ij}(1+k_{\alpha}) \cdot (1+k_{\beta})}, \quad (15)$$

де  $m$  - кількість ремонтних ділянок (підрозділів), що здійснюють в частині відновлення зразків автомобілів, що пошкоджені в слабкій і в середній ступені плюс ділянка (ремонтного підприємства) для відновлення сильно пошкоджених зразків комплексів;

$n_j$  - кількість ремонтників на  $j$ -й ремонтній ділянці (у підрозділі);

$t_p$  - добовий фонд робочого часу (більше 10 годин);

$t_\pi$  - втрати часу на згортання, евакуацію, спеціальну обробку і розгортання пошкоджених зразків транспорту;

$n_{ij}$  - трудомісткість робіт на  $j$ -й ремонтній ділянці (у підрозділі);

$k_\alpha$  - відносне число використання фахівців з інших ділянок;

$k_\beta$  - коефіцієнт ускладнення умов ремонтних робіт (вночі - 0,15; у засобах захисту - 0,23; в умовах відображення нападів супротивника - 0,15; при поєднанні вказаних умов - числа складаються).

Тому кількість зразків транспорту, відновлених системою технічного забезпечення маршруту частини за  $d$  діб, з урахуванням ймовірності  $P_p$  відмови в роботі (відносного середньодобового виходу з ладу) ремонтного устаткування, згідно до (15) дорівнює

$$\dot{M} = \sum_{j=1}^m \frac{d \cdot n_j(t_p - t_\pi) \cdot (1 - P_p)}{n_{ij}(1+k_{\alpha}) \cdot (1+k_{\beta})}. \quad (16)$$

Тепер обчислимо загальну кількість зразків транспорту, що отримали яке-небудь пошкодження. Згідно до (9), ця кількість дорівнює

$$M = N \cdot d [1 - P_1 P_2 P_3]. \quad (17)$$

Тоді шукана ймовірність  $P_7$  успішного відновлення зразків, що пошкоджені в різній степені, з урахуванням можливостей (17), дорівнює

$$P_7 = \frac{M'}{M} = \sum_{j=1}^m \dots \quad (18)$$

Оцінимо тепер потреби в рівні поповнення *зразків*, тобто кількість потрібних резервних зразків транспорту через бойові безповоротні втрати зразків перед маршем і протягом маршу.

Необхідно при цьому враховувати не лише ймовірність: їх повних пошкоджень –  $P_\pi$ ; сильних пошкоджень –  $P_c$ ; середніх пошкоджень –  $P_{cp}$ ; слабких ушкоджень –  $P_{cl}$ , але і допустимий час на відновлення боєздатності частини –  $t_d$ , а також середні витрати часу відповідно –  $T_c, T_{cp}, T_{cl}$  на відновлення працездатності зразків транспорту, що отримали бойові пошкодження.

Необхідна кількість резервних зразків транспорту  $N_p$  частині для досліджуваної підсистеми відновлення *зразків*, з урахуванням загальної кількості втрат *зразків*  $M$ , згідно до (17), може бути вчислено (за умови, що виконується правило нормування ймовірності випадкових подій чотирьох видів пошкодження *зразків* ). Ця умова є наступною

$$P_\pi + P_c + P_{cp} + P_{cl} = 1,$$

Тоді кількість резервних зразків транспорту  $N_p$  частині обчислюється за формулою

$$N_p = M \cdot \left[ P_\pi + P_c \cdot e^{\left(\frac{-t_d}{T_c}\right)} + P_{cp} \cdot e^{\left(\frac{-t_d}{T_{cp}}\right)} + P_{cl} \cdot e^{\left(\frac{-t_d}{T_{cl}}\right)} \right]. \quad (19)$$

Далі, перш ніж перейти до визначення реальних рівнів ймовірності перебування системи технічного забезпечення маршу частини в кожному із

чотирьох її станів, доцільно вичислити оцінки значень ймовірностей переходів системи із стану в стан, тобто визначити (відповідно до рисунку 1) ймовірності:  $G$  – переходу із стану застосування до стану позачергової підготовки;  $F$  – переходу із стану підготовки зразків транспорту до стану застосування за призначенням;  $V$  – переходу із стану застосування до стану обслуговування зразка;  $U$  – переходу із стану обслуговування зразка до стану застосування за призначенням;  $Z$  – переходу із стану застосування до стану відновлення через пошкодження, поламки або відмови;  $Y$  – переходу із стану відновлення до стану застосування за призначенням.

За умов (11), (14), (18), ці ймовірності переходів із стану у стан системи забезпечення маршруту доцільно визначити за допомогою формул:

$$\begin{aligned} G &= P_y P_6 \left[ 1 - \prod_{i=1}^3 P_i \right]; F = P_y P_4 \left[ 1 - \prod_{i=1}^3 (1 - P_i) \right]; \\ V &= P_6 \left[ 1 - \prod_{i=1}^3 (1 - P_i) \right]; \quad U = P_y P_5 \left[ 1 - \prod_{i=1}^3 (1 - P_i) \right]; \\ Z &= P_6 \left[ 1 - \prod_{i=1}^3 P_i \right]; \quad Y = P_y (1 - P_p) P_7 \left[ 1 - \prod_{i=1}^3 P_i \right] + P_{pp} P_t. \quad 20) \end{aligned}$$

Отримані залежності сприяють висловленню деяких попередніх зауважень.

1. Ймовірність переходу системи технічного забезпечення маршруту колони зразків автомобілів із стану їх відновлення в стан застосування за призначенням є завжди найбільш важливим показником ефективності підсистеми відновлення в загальній системі технічного забезпечення маршруту.

Чим більше рівень ймовірності цього переходу, тим більше значення має ймовірність перебування системи в стані застосування зразків за призначенням і тим менший рівень має ймовірність перебування усієї системи в стані відновлення пошкоджених автомобілів. У справедливості цих

тверджень далі необхідно переконатися, використовуючи для розрахунків ймовірність переходів, що представлена вище.

2. Особливістю структури формул (для визначення вказаної ймовірності переходів системи технічного забезпечення маршруту) є залежність величин отриманих ймовірностей переходів від ймовірності  $P_y$  – успішного управління конкретним переходом (за допомогою зовнішнього керівника ініціації цього переходу).

### ***3. Визначення ймовірностей перебування системи технічному забезпеченні маршруту***

Складна система забезпечення маршруту характеризується безліччю важливих показників її ефективності, які нескладно визначити, наприклад, на підставі початкових даних, що отримані з урахуванням попередніх результатів досліду забезпечення маршруту, або за допомогою експертного опитування досвідчених фахівців, що мають практичний досвід організації функціонування подібних систем.

Оцінки прогнозних значень показників ефективності цих систем можливі також і на підставі аналізу публікацій і, отже, на основі конкретних реальних *початкових* даних для розрахунків ефективності конкретної системи технічного забезпечення. Але, перш за все, необхідно кількісно визначити ймовірності перебування системи технічного забезпечення маршруту.

Розрахунок ймовірностей  $P_{00}$ ,  $P_{01}$ ,  $P_{02}$ ,  $P_{03}$  перебування системи технічного забезпечення в станах (див. рисунок 1):  $S_2$  – підготовки комплексів засобів транспорту до застосування;  $S_0$  – застосування транспорту за призначенням;  $S_1$  – відновлення зразків транспорту після їх пошкодження;  $S_3$  – технічного обслуговування зразків до початку або протягом маршруту, згідно з формулами (4)...(8), а також показника ефективного функціонування системи технічного забезпечення маршруту, доцільно здійснити за результатами розрахунків параметрів системи забезпечення за формулами (9)...(20).



Нехай середнє напрацювання зразків (за часом) на відмову із-за складних фізико-географічних умов їх пересування і функціонування на марші дорівнює 24 годинам, тоді ймовірність випадкової події, що полягає в тому, що за інтервал часу, рівний, наприклад,  $t = 6$  годинам, типовий зразок не буде виведений з ладу з експлуатаційних причин, згідно до залежності (9), що дорівнює

$$P_1 = e^{-\alpha t} = e^{-\frac{t}{L}} = \exp(-6/24) = 0,78. \quad (21)$$

Вважатимемо, що середньодобова відносна кількість зразків, що отримали бойові пошкодження різної міри складності, складає (5,7) %, а доля пошкоджень зразків через помилки особового складу – (2,4) %. Тоді ймовірність працездатного стану зразків з урахуванням їх живучості і відсутності пошкоджень із-за помилок особового складу, згідно до (9), складає відповідно:

$$P_2 = 1 - 0,06 = 0,94; \quad P_3 = 1 - 0,03 = 0,97.$$

Ймовірність спільної події цих трьох факторів дорівнює

$$P_{\alpha} = \prod_{i=1}^3 P_i = 0,78 \cdot 0,94 \cdot 0,97 = 0,71. \quad (22)$$

Вважаємо, що в підсистемі управління технічним забезпеченням маршу застосовані надійні та завадостійкі засоби управління і зв'язку.

Тоді ймовірність успішного управління підготовкою, застосуванням і відновленням зразків транспорту складає (в типових умовах) величину

$$P_y = 0,95.$$

Ймовірність успішної підготовки зразків до застосування з урахуванням різних чинників, що заважають виконанню цього завдання, може бути прийнята рівною  $P_4 = 0,9$ .

*Ймовірність успішного технічного обслуговування зразків транспорту до початку або протягом маршу, в умовах дії противника, заважають, тому, мабуть, має бути дещо меншою. Вважаємо її рівною  $P_5 = 0,8$ .*

*Вважаємо, що кількість зразків транспорту в колоні дорівнює  $N = 150$ , а середня тривалість маршу складає  $d = 1$  добу.*

*Тому загальна кількість зразків, які потрібно відремонтувати за заданий час, згідно до (17), дорівнює*

$$M = M = Nd [1 - P_1 P_2 P_3] = 150 \cdot 1 \cdot [1 - 0,78 \cdot 0,94 \cdot 0,97] = 43 (\text{од.}) \quad (23)$$

*Добові виробничі можливості  $W$  (для підрозділів технічного забезпечення) визначимо, за конкретних умов, а саме:*

*$m = 3$  - кількість ремонтних ділянок (підрозділів), що здійснюють в на марші ремонт зразків, які пошкоджені у слабкій і в середній степені плюс ділянка ремонтного підприємства для ремонту сильно пошкоджених зразків;*

*$n_j = 18$  - кількість ремонтників на  $j$ -й ремонтній ділянці;*

*$t_p \cong 33$  - людино·години - добовий фонд робочого часу;*

*$t_n = 3$  людино·години - втрати часу на згортання, евакуацію, спеціальну обробку і розгортання пошкоджених зразків транспорту;*

*$n_{ij} = 27$  люд.·год. - трудомісткість робіт на  $j$ -й ремонтній ділянці;*

*$k_\alpha = 0,2$  - відносне число використання фахівців з інших ділянок;*

*$k_\beta = 0,15$  - коефіцієнт ускладнення умов ремонтних робіт (вночі - 0,15; у засобах захисту - 0,23; в умовах відбиття нападів противника - 0,15; при поєднанні вказаних умов - числа складаються).*

*Тому кількість зразків, що відновлені системою технічного забезпечення маршу за  $d = 1$  добу, з урахуванням ймовірності  $P_{po} = 0,05$  відмови ремонтного обладнання (відносного середньодобового виходу з ладу ремонтного устаткування), згідно до (15), дорівнює*

$$\dot{M} = \sum_{j=1}^m \frac{d \cdot n_j (t_p - t_\pi) \cdot (1 - P_{po})}{n_{ij} (1 + k_{\alpha}) \cdot (1 + k_{\beta})} = 3 \cdot \frac{1 \cdot 18 \cdot 30 \cdot 0,95}{27 \cdot 1,2 \cdot 1,15} = 41 \text{ і.} \quad (24)$$

Тоді шукана ймовірність  $P_7$  успішного відновлення комплексів, що пошкоджені в різній степені, з урахуванням (16, 17, 18), дорівнює

$$P_7 = \frac{\dot{M}}{M} = \sum_{j=1}^m \text{ііі} \quad (25)$$

Визначимо потреби в рівні поповнення зразків, тобто у кількості резервних зразків транспорту, з урахуванням їх бойових втрат при рівно ймовірних ушкодженнях зразків, тобто за умов:  $P_\pi = P_c = P_{cp} = P_{cl} = 0,25$ , при допустимому часі на відновлення,  $t_d = 4$  (години), а також при середніх витратах часу відповідно:  $T_c = 100$  годин,  $T_{cp} = 70$  годин,  $T_{cl} = 4$  (години) на відновлення працездатності зразків, що отримали бойові пошкодження.

Тоді необхідна кількість резервних зразків  $N_p$  для забезпечення маршруту досліджувана підсистема відновлення зразків, згідно до формули (19), дорівнює

$$N_p = M \cdot \left[ P_\pi + P_c \cdot e^{\left(\frac{-t_d}{T_c}\right)} + P_{cp} \cdot e^{\left(\frac{-t_d}{T_{cp}}\right)} + P_{cl} \cdot e^{\left(\frac{-t_d}{T_{cl}}\right)} \right] = 43 \cdot 0,25 \cdot 3,17 \cong 34. \quad (26)$$

Кількість збережених в працездатному стані зразків транспорту з урахуванням функціонування системи відновлення і поповнень озброєння з резерву при ймовірності такого поповнення втрат зразків, що дорівнює  $P_p = N_p / N = 34 / 150 = 0,23$  і безвідмовності зразків, що дорівнює  $P_i = 0,95$ , згідно до (18), дорівнює

$$\dot{N} = N \left( 1 - P_p \right) \left\{ \prod_{i=1}^3 P_i + P_7 \left[ 1 - \prod_{i=1}^3 P_i \right] \right\} + N P_p P_i = \text{і}$$

$$\text{і} 150 \cdot 0,77 \cdot [0,71 + 0,9[0,29]] + 150 \cdot 0,23 \cdot 0,95 = 145.$$

(27)

Отже, ймовірність події успішного авто-технічного забезпечення маршруту зразків автомобілів за призначенням, згідно до (14), дорівнює

$$P_6 = \left[ \prod_{i=1}^3 P_i + P_6 \left[ 1 - \prod_{i=1}^3 P_i \right] \right] + P_p P_t = 0,77 \cdot [0,71 + 0,9[0,29]] + 0,23 \cdot 0,95 = 0,97.$$

(28)

Оцінки кількісних значень ймовірності переходів системи забезпечення із стану в стан (відповідно з рисунком 1), згідно до (20) і результатів попередніх розрахунків дорівнюють:

$$G = P_y P_6 \left[ 1 - \prod_{i=1}^3 P_i \right] = 0,26; \quad F = P_y P_4 \left[ 1 - \prod_{i=1}^3 (1 - P_i) \right] = 0,8$$

$$V = P_6 \left[ 1 - \prod_{i=1}^3 (1 - P_i) \right] = 0,96; \quad U = P_y P_5 \left[ 1 - \prod_{i=1}^3 (1 - P_i) \right] = 0,76;$$

$$Z = P_6 \left[ 1 - \prod_{i=1}^3 P_i \right] = 0,28; \quad Y = P_y (1 - P_p) P_7 \left[ 1 - \prod_{i=1}^3 P_i \right] + P_{pp} P_t = 0,59.$$

(29)

#### **4. Визначення ймовірностей перебування системи забезпечення маршруту в кожному з її чотирьох станів**

Після визначення реальних значень ймовірностей переходів системи технічного забезпечення маршруту (згідно її моделі-графа станів і переходів), із стану у стан, дістаємо можливість оцінити важливі для практики кількісні характеристики цієї системи, а саме, ймовірність її перебування в кожному із станів впродовж заданого часу забезпечення маршруту.

Дійсно, систему можна вважати прийнятною, лише у тому випадку, якщо ймовірність її перебування у стані її застосування за призначенням  $P_{00}(t)$  виявиться значно більшою, ніж ймовірність  $P_{01}(t)$  перебування її в стані

відновлення зразків, що отримали бойові пошкодження впродовж усього часу здійснення маршу.

Обчислення і порівняння цих і інших ймовірностей станів системи технічного забезпечення маршу здійснимо, за умови рівно інтенсивних переходів системи та відповідно до формул (7), (8) для стаціонарного інтервалу часу здійснення маршу,  $t \gg 1 \text{ години}$ , в умовах циклічних переходів із стану у стан в системі забезпечення.

За цих умов розрахунки, згідно до формул (7), (8), суттєво спрощуються, коефіцієнти  $\alpha, \beta, \gamma$  від часу не залежать і дорівнюють одиниці.

З урахуванням цих зауважень, формул (8) та результатів розрахунків (29), отримаємо ймовірності:

$$P_{00}(t) = \frac{uUyYfF}{uUyYfF + \alpha(t)vVyYfF + \beta(t)uUzZfF + \gamma(t)uUgGyY}; \quad P_{00} =$$

**0,328.**

$$P_{01}(t) = \frac{\beta(t)uUzZfF}{uUyYfF + \alpha(t)vVyYfF + \beta(t)uUzZfF + \gamma(t)uUgGyY}; \quad P_{01} =$$

**0,156.**

$$P_{02}(t) = \frac{\gamma(t)uUgGyY}{uUyYfF + \alpha(t)vVyYfF + \beta(t)uUzZfF + \gamma(t)uUgGyY}; \quad P_{02} =$$

**0,099**

$$P_{03}(t) = \frac{\alpha(t)vVyYfF}{uUyYfF + \alpha(t)vVyYfF + \beta(t)uUzZfF + \gamma(t)uUgGyY}; \quad P_{03} =$$

**0,415.**

(30)

До цих результатів доцільно зробити деякі коментарі.

По-перше, вірність розрахунків нескладно перевірити шляхом складання отриманих ймовірностей для кожного конкретного моменту часу, відповідно до правила (6) нормування ймовірності сукупності випадкових подій, у будь-який момент часу, які є повною групою подій.

По-друге, отримані результати розробки і застосування моделі для оцінки якості системи технічного забезпечення маршруту дозволяють досліджувати динаміку змін якості системи за часом протягом маршруту.

По-третє, з результатів розрахунків витікає, що в першу добу ймовірності станів системи забезпечення маршруту:  $P_{00}(t=1\text{доб.})$  – ймовірність застосування зразків автомобілів за призначенням і  $P_{03}(t=1\text{доб.})$  – ймовірність технічного обслуговування зразків є практично сумірними, тому що кількість зразків, яким потрібно ретельне обслуговування, вже накопичилося і як результат – це викликає необхідність: по-перше, прийняти заходи до збільшення показника безвідмовності зразків. В першу чергу обслуговування потрібно автомобільним базовим шасі озброєння на маршруті через їх більш низьку надійність роботи в умовах жаркого, сухого і пильного клімату.

По-чверте, з результатів (30) видно також, що в умовах реальних параметрів функціонування системи автотехнічного забезпечення маршруту і негативних впливів противника протягом доби, ймовірність перебування системи у працездатному стані перевищує більш ніж у два рази величину ймовірності її перебування у стані відновлення (через пошкодження, поломки і експлуатаційні відмови автомобілів).

### ***5. Приклад 1 для визначення показника ефективності функціонування системи забезпечення маршруту***

Розглянемо спочатку показник ймовірнісної природи, що є побудованим на використанні цільової функції у вигляді відношення ймовірності  $P_{00}$  – перебування системи в стані повної готовності технічного забезпечення маршруту до ймовірності  $P_{01}$  – перебування системи технічного забезпечення у стані відновлення зразків транспорту після їх пошкоджень, поломок і відмов. Цей показник залежить від ймовірностей безвідмовного функціонування, а також без пошкоджень та поломок зразків транспорту,  $P_1, P_2, P_3$ , (див. формули (9)).

Тоді критерій ефективності функціонування системи технічного забезпечення маршруту отримаємо в наступному вигляді

$$Y^i = Y[(P_1 \cdot P_2 \cdot P_3)^i] = \max_{P_1 \cdot P_2 \cdot P_3} \frac{P_3(t, P_1 \cdot P_2 \cdot P_3)}{P_6(t, P_1 \cdot P_2 \cdot P_3)} \quad (31)$$

Критерій (31) має ясний фізичний зміст. Сенс полягає в необхідності нарощування часу перебування системи в стані забезпечення маршру при одночасному скороченні витрат часу на відновлення зразків.

Критерій, як і раніше було відзначено, показує, що для збільшення степені досягнення мети функціонування системи потрібно: збільшення показника безвідмовності зразків озброєння і, в першу чергу, їх транспортної бази. Потрібно забезпечити підсистему відновлення запасними елементами для транспортної бази і всього автомобільного транспорту на маршруті, а також ремонтним обладнанням та кваліфікованими фахівцями.

Результати розрахунків цього показника ефективності функціонування системи забезпечення маршру надані на графіках (рисунок 2).

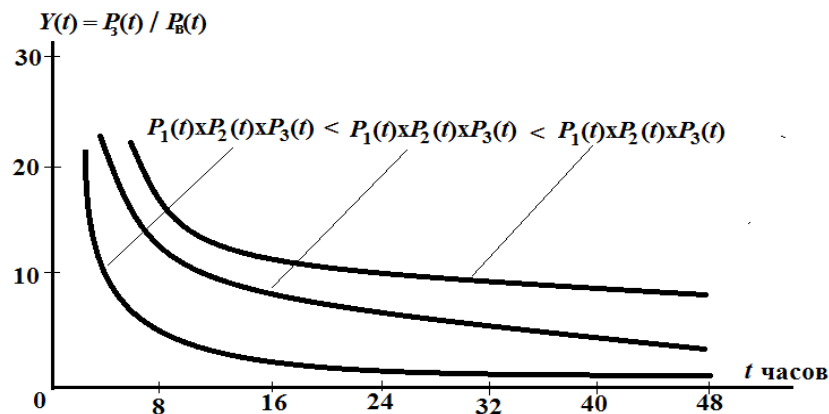


Рис. 2 – Залежності цільової функції у вигляді ймовірності перебування системи технічного забезпечення маршру у стану готовності до застосування засобів транспорту, яка віднесена до ймовірності перебування системи у стані відновлення засобів від часу забезпечення бойових дій і від добутку ймовірностей  $P_1$ ,  $P_2$ ,  $P_3$  подій справного і непошкодженого стану зразків транспорту.

## **6. Приклад 2 для визначення показника ефективності функціонування системи забезпечення маршруту**

Врахуємо, що зазвичай маємо інші, тобто наступні вихідні дані щодо інтенсивності переходів системи забезпечення маршруту із стану в стан:

$z$  – інтенсивність переходу зразків транспорту із стану готовності  $S_0$  в стан відновлення  $S_1$ , яка дорівнює  $1/T_{01}$ ;

$T_{01}$  – середній час перебування зразків у стані готовності, у даному разі, у стані відсутності пошкоджень, поломок або відмов до переходу зразків у стан відновлення;

$y$  – це інтенсивність переходу зразків із стану відновлення  $S_1$  в стан готовності  $S_0$  до застосування, що дорівнює  $1/T_1$ ;

$T_1$  – середня витрата часу на відновлення зразків після їх пошкоджень, поломки, або відмов ;

$T_{01} \dot{< T_1$  , звичайно;

$g$  – інтенсивність переходу зразків із стану бойового застосування  $S_0$  у стан підготовки нових зразків до застосування  $S_2$ , у разі пошкоджень попередніх в без поверненої степені під час маршруту, яка дорівнює  $1/T_{02}$ ;

$T_{02}$  – середній час перебування зразків у стані його готовності або у стані бойового застосування  $S_0$  до переходу в стан  $S_2$  підготовки нових зразків після пошкоджень попередній у без поверненої степені;

$f$  – інтенсивність переходу підсистеми із стану  $S_2$  підготовки нових зразків після втрат попередніх у стані бойового застосування  $S_0$ , яка дорівнює  $1/T_2$ ;

$T_2$  – середній час на підготовку нових зразків (резерва) до бойового застосування; нерівність  $T_{02} \dot{< T_2$  звичайно виконується;

$v$  – інтенсивність переходу системи із стану готовності зразків до застосування або їх застосування  $S_0$  у стан  $S_3$  обслуговування до або після їх бойового застосування, яка дорівнює  $1/T_{03}$ ;

$T_{03}$  – середній час перебування зразків у стані готовності до застосування або у стані застосування  $S_0$  на маршруті до переходу у стан обслуговування  $S_3$ ;



и – інтенсивність переходу зразків ракетно-артилерійського озброєння із стану обслуговування  $S_3$  у стан готовності комплексу до застосування або у стан його застосування  $S_0$ ;  $T_{03}$  і  $T_3$  звичайно;

Припустимо, що ймовірності переходів комплексу із стану у стан дорівнюють  $Y \approx 1$ ;  $Z \approx 1$ ;  $F \approx 1$ ;  $G \approx 1$ ;  $V \approx 1$ ;  $U \approx 1$ , (реальна підсистема може так працювати, тобто працювати з рівно ймовірними змінами її станів та зі стовідсотковою ймовірністю переходів із стану у стан).

За цих спрощених умов із (4),..., (8) одержимо ймовірності перебування системи в кожному із станів, які характеризують якість системи забезпечення маршу у вигляді:

$$P_{00} = [1 + \alpha(t)\gamma T_3/T_{03} + \beta(t)T_1/T_{01} + \gamma(t)T_2/T_{02}]^{-1};$$

(32)

$$P_{01} = \beta(t)(T_1/T_{01})[1 + \alpha(t)T_3/T_{03} + \beta(t)T_1/T_{01} + \gamma(t)T_2/T_{02}]^{-1};$$

(33)

$$P_{02} = \gamma(t)(T_2/T_{02})[1 + \alpha(t)T_3/T_{03} + \beta(t)T_1/T_{01} + \gamma(t)T_2/T_{02}]^{-1}$$

(34)

$$P_{03} = \alpha(t)(T_3/T_{03})[1 + \alpha(t)T_3/T_{03} + \beta(t)T_1/T_{01} + \gamma(t)T_2/T_{02}]^{-1}$$

(35)

де позначено:

$$\alpha = 1 - \exp(-\frac{t}{T_3}U); \quad \beta = 1 - \exp(-\frac{t}{T_1}Y); \quad \gamma = 1 - \exp(-\frac{t}{T_2}F).$$

(36)

Показник готовності зразків транспорту до застосування і перебування їх у стані застосування визначається формулами (32) і (36). На рівень цієї

готовності та рівень ймовірності перебування системи забезпечення маршруту у стані застосування суттєво впливають співвідношення  $T_1/T_{01}$ ,  $T_2/T_{02}$ ,  $T_3/T_{03}$ .

Це означає, що ці співвідношення суттєво впливають на показник ефективності функціонування системи технічного забезпечення маршруту, а також на цей показник суттєво впливають заходи, які спрямовані на збереження функцій системи під час дії противника.

За умов заходів системи технічного забезпечення маршруту потрібне суттєве зменшення: витрат часу  $T_1$  на відновлення, за умов його пошкоджень або відмов, або поломки; витрат часу  $T_2$  на підготовку нових зразків транспорту, у разі безповоротних втрат зразків витрат часу  $T_3$  на технічне обслуговування зразків.

Від цих складових системи забезпечення маршруту залежать можливості збереження функцій транспорту під час дії противника, тобто залежить збільшення часу  $T_{01}$ ,  $T_{02}$ ,  $T_{03}$  перебування зразків і системи у готовому стані.

Ймовірності (32), (33), (34) та (35) дозволяють визначити показники ефективності функціонування трьох підсистем технічного забезпечення маршруту, наприклад, наступними показниками їх оперативної готовності:

$$K_{\Gamma 1}=[1+\beta(t)T_1/T_{01}]^{-1} ; \quad K_{\Gamma 2}=[1+\gamma(t)T_2/T_{02}]^{-1} ; \quad K_{\Gamma 3}=[1+\alpha(t)T_3/T_{03}]^{-1} .$$

(37)

*Ефективність функціонування системи технічного забезпечення маршруту*, згідно до (32)...(36), доцільно визначити у вигляді наступного відношення ймовірностей перебування системи забезпечення маршруту у вигляді

$$E=P_{00}/(P_{01}+P_{02}+P_{03})=[\beta(t)(T_1/T_{01})+\gamma(t)(T_2/T_{02})+\alpha(t)(T_3/T_{03})]^{-1}$$

(38)

За умов, що  $T_1/T_{01} = 0,35$ ;  $T_2/T_{02} = 0,35$ ;  $T_3/T_{03} = 0,35$ , а час здійснення маршу перевищує витрати часу: на відновлення зразків на марші, тобто  $t \gg T_1$ ; на підготовку комплексу до застосування  $t \gg T_2$ ; витрату часу на обслуговування комплексу  $t \gg T_3$ . Тому з урахуванням залежностей:

$$\alpha(t) = 1 - \exp\left(-\frac{t}{T_3}U\right) \approx 1; \quad \beta(t) = 1 - \exp\left(-\frac{t}{T_1}Y\right) \approx 1; \quad \gamma(t) = 1 - \exp\left(-\frac{t}{T_2}F\right) \approx 1, \quad (39)$$

маємо, згідно до формули (38), що ефективність функціонування системи технічного забезпечення маршу у стаціонарному стані системи порівнюватиме  $E(t) = 0,95$ .

### Висновки

1. Розрахунки згідно до останнього прикладу показують, що за умов рівно ймовірного переходу системи забезпечення маршу із стану у стан та рівних інтенсивностей її переходу із стану у стан, які обернено пропорційні термінам:  $T_1$  – відновлення зразків, що пошкоджені або поламані, або відмовили;  $T_2$  – підготовки зразків із резерву замість втрачених;  $T_3$  обслуговування зразків після застосування протягом маршу, показник ефективності функціонування системи дорівнюватиме 0,95, у разі, що вказані терміни дорівнюватимуть не більше 35 відсотків від часу перебування системи в повністю готовому стані. Це визначає, що вказані підсистеми повинні бути швидкодіючими.

2. Моделювання показує, що за умов застосування змінних вузлів, блоків, приладів, здійснення евакуації та швидкого ремонту і обслуговування зразків автомобільного транспорту, які отримали пошкодження, результати

функціонування системи автотехнічного забезпечення маршруту *суттєво покращуються*.

3. Розрахунки показують також, що принциповою умовою для збільшення ефективності функціонування системи забезпечення транспортних засобів в колоні протягом маршруту, є *зменшення* середнього часу відновлення зразків транспорту, у разі його пошкоджень будь-якої природи, суттєве зменшення часу підготовки нових зразків до застосування протягом маршруту, після безповоротної втрати деяких попередніх зразків, та нарешті потрібне суттєве зменшення часу обслуговування зразків транспорту в польових умовах.

4. Отримані результати аналізу за допомогою моделі, що пропонується, показують також, що збільшення ефективності функціонування системи забезпечення маршруту зразків транспорту в колоні принципово неможливо: в умовах незадовільного рівня: підготовки водіїв, а також виробничих навичок і можливостей підрозділів ремонту і швидкого повернення зразків у стрій.

5. Аналіз досвіду застосування зразків спеціального транспорту, огляд вітчизняних і зарубіжних публікацій, наукової літератури і патентної інформації показує помітне відставання реальних показників живучості типових зразків автомобільного транспорту від необхідного їх рівня. В той же час перспективні нетрадиційні шляхи, що засновані на розробці і застосуванні комплектуючих матеріалів, наприклад, гумотехнічних комплектуючих з необхідними високими показниками полімеризації, а саме, з малим рівнем їх реакційної здатності та стійкості протягом експлуатації, для забезпечення живучості транспортних засобів, застосовуються нечасто.

6. Наявність резервних зразків транспорту і сукупність адекватних і своєчасних організаційних заходів сприяє досягненню мети забезпечення маршруту на рівні 0,95...0,96.

### Список використаних джерел

1. Гуляк О.В. Марківська модель для оцінки і адаптивного відновлення працездатності складної системи забезпечення / О. В. Гуляк, Б. О. Дем'янчук, В. М. Косарев // Європейський вектор економічного розвитку. Дніпровський університет імені Альфреда Нобеля. Науковий журнал. Видання міжнародних науко-метричних баз: *INDEX COPERNICUS, ULRICH'S PERIODICALS DIRECTORY*. – 2(21), 2016. – С. 16 – 36.
2. Гуляк О.В. Основи військової логістики. Прогнозні моделі забезпечення / О. В. Гуляк, Б.О. Дем'янчук, О. М. Маслій та ін. // Навчальний посібник. – Одеса: Військова академія. – 2019. – 262 с.
3. ДСТУ 2860-94. Надійність техніки. Терміни. – К.: Держстандарт України, 1994. – 64 с.
4. ДСТУ В 3576-97. Експлуатація та ремонт військової техніки. Терміни та визначення. – К.: Держстандарт України, 1997. – 60 с.

5. Городнов В.П. Моделювання бойових дій військ (сил) протиповітряної оборони та інформаційне забезпечення процесів управління ними / В.П. Городнов, Г.А. Дробаха, М.О. Єрмошин, С.Б. Смирнов, В.І. Ткаченко – Харків: ХУПС. – 2004. – 410 с.