

УДК 629.076:623.426



А. В. Ковтун



В. І. Кужелович



С. С. Лукашенко

## ОЦІНЮВАННЯ ЗМІНИ НАДІЙНОСТІ АВТОБРОНЕТАНКОВОЇ ТЕХНІКИ ВІЙСЬКОВОЇ ЧАСТИНИ ПІД ЧАС ЕКСПЛУАТАЦІЇ

У статті вирішується задача оцінювання існуючого і забезпечення заданого рівня надійності автобронетанкової техніки шляхом дослідження процесу зміни ймовірності безвідмовної роботи автомобілів та бойових машин і визначення напрямків підтримання заданого рівня їх технічної готовності.

Показано, що основним методом отримання вихідної інформації про відмови автомобілів (бойових машин) та їх елементів є випробування в умовах експлуатації з використанням системи збирання та оброблення інформації про надійність.

Запропонована залежність, яка дозволяє оцінити рівень надійності автомобілів військової частини як складової готовності автобронетанкової техніки до виконання завдань.

*К л ю ч о в і с л о в а:* технічна готовність, озброєння та військова техніка, автобронетанкова техніка, надійність, безвідмовність, показники, ймовірність безвідмовної роботи.

**Постановка проблеми.** Бойові дії, що тривають на сході держави, показують зростання бойової спроможності Збройних Сил, інших військових формувань, їх можливості виконувати свої завдання із захисту України. Однак велика кількість виробів озброєння та військової техніки, що були у Збройних Силах України на початку 2014 року, або повністю витратили свій ресурс, або близько підійшли до граничних показників його витрати. Це пов'язано з невиконанням основних засад військово-технічної політики з оновлення парку автобронетанкової техніки, організації її експлуатації та планового ремонту. Наслідком цього є невідповідність реальних показників оцінки рівня безвідмовності автобронетанкової техніки показникам, що очікувалися на рівні 88 % [1].

Фактичний рівень безвідмовності автобронетанкової техніки виявився нижчим на 38–42 %. Близько половини наявних автомобілів та бойових машин потребували технічного обслуговування та поточного ремонту [1].

Основними причинами цього є такі фактори [1, 2]:

– низькі показники безвідмовності та ремонтнопридатності автомобілів (бойових машин);

– до експлуатації автобронетанкової техніки допускали не підготовлені розрахунки;

– не виконувалися основні вимоги з експлуатації автобронетанкової техніки, встановлені нормативними документами.

Технічна готовність озброєння та військової техніки Національної гвардії України, в тому числі автобронетанкової техніки (АБТ), характеризується відповідними значеннями показників її експлуатаційної надійності. Одним із таких показників є ймовірність безвідмовної роботи. Але в процесі експлуатації автомобілів та бойових машин вона не є сталою, а під впливом внутрішніх і зовнішніх факторів з часом (пробігом, напрацюванням) зменшується, що призводить до погіршення технічних характеристик АБТ [3].

У зв'язку з різким ускладненням автобронетанкової техніки необхідне ретельне наукове обґрунтування військово-технічних рішень під час розроблення, випробувань, виробництва й експлуатації автомобілів та бойових машин. Також необхідно оцінити сучасний рівень надійності АБТ та спрогнозувати необхідний рівень її надійності у випадку заміни [4].

Вирішити задачу оцінювання існуючого і забезпечення заданого рівня надійності автомобілів і бойових машин можна шляхом дослідження процесу зміни ймовірності безвідмовної роботи

автомобілів та бойових машин і визначення напрямків підтримання заданого рівня їх технічної готовності. Однак діючі показники технічної готовності АБТ не дають можливості порівняти рівень надійності існуючих і перспективних машин.

**Аналіз останніх досліджень і публікацій.** Науковою базою дослідження рівня надійності існуючих та перспективних автомобілів (бойових машин) і рівня їх технічної готовності до перевезень є: теорія технічної експлуатації АБТ, теорія ефективності їх бойового застосування, теорія надійності АБТ, теорія ймовірностей. Теоретичні залежності, що використовуються у визначенні рівня надійності машин, наведені у публікаціях [3, 4]. Вирази для визначення показників боєготовності сучасних автомобілів і бойових машин наведені у статтях [5–7]. У праці [8] розроблені аналітичні залежності коефіцієнтів справності та боєготовності зразків АБТ від характеристик системи автотехнічного (бронетанкового) забезпечення.

Проте у відомих працях не наведені дослідження процесу зміни ймовірності безвідмовної роботи автомобілів та бойових машин і визначення шляхів підтримання заданого рівня їх технічної готовності.

**Мета статті** – отримати залежність для оцінювання зміни ймовірності безвідмовної роботи автомобілів та бойових машин при виконанні завдань та визначити шляхи підтримання заданого рівня їх технічної готовності.

**Виклад основного матеріалу.** Однією з аксіом теорії надійності технічних систем є можливість появи у машин відмов у процесі експлуатації. Відмова є випадковою подією, пов'язаною з порушенням працездатного стану машини. Можна вважати, що для фахівців, які експлуатують автомобілі, важливо знати, за якими ознаками класифікують відмови, як і коли вони з'являються, які вони бувають, до яких призводять наслідків і т. ін.

Автомобілі та бойові машини є складними багатовузловими технічними системами. Тому під час їх експлуатації виникають різні відмови. Наявність даних про відмови АБТ дозволяє визначити їх причини, розробити конкретні заходи з їх усунення, визначити терміни проведення профілактичних робіт, запропонувати методики моделювання надійності.

У зв'язку зі складністю процесів, які відбуваються в автомобілях і призводять до відмов елементів автомобілів, їх дуже важко імітувати в штучних умовах з високою достовірністю та в необхідних обсягах. Тому основним методом отримання вихідної інформації про відмови автомобілів та їх елементів є випробування в умовах експлуатації з використанням системи збирання й оброблення інформації про надійність [8].

Інформація повинна бути повною (повні відомості про об'єкт випробувань та умови випробувань), достовірною (мати об'єктивні, документальні, кваліфіковані дані), дискретною (мати повідомлення з окремих ознак), своєчасною, неперервною (неперервно оновлюватись разом з удосконаленням конструкції).

У результаті збирання інформації повинні бути отримані такі дані:

- найменування і марка машини;
- завод-виготовлювач;
- кліматична зона експлуатації;
- найменування і адреса військової частини;
- напрацювання за рік;
- загальне напрацювання машини;
- найменування деталей (вузлів), які відмовили під час роботи;
- час виникнення відмови і час на відновлення машини;
- зовнішній прояв відмови;
- причина відмови.

Спостереження за контрольною партією з 13 автомобілів УАЗ-31512, які протягом 7 років перевозили людей з метою несення служби в межах міста, показало, що дані автомобілі експлуатувались у легких умовах [7]. Всі агрегати замінялися на цих автомобілях частіше або рідше внаслідок їхньої не однакової надійності. Кожен автомобіль розглядався як технічна система, що складається з чотирьох окремих складових: двигуна, трансмісії, ходової частини та електрообладнання. В табл.1 показано сумарний пробіг у кілометрах кожної складової автомобіля до кожної відмови протягом 7 років.

*Дані про відмови агрегатів УАЗ-31512*

№ авто- біля в партії	Середній термін спосте- реження, р.	Рік випуску	Пробіг автомобіля з початку експлуатації до відмови, км			
			Двигун	Трансмiсія	Електро- обладнання	Ходова частина
1	5	1995	6200	170; 527; 1085; 1597	419	1287
2		1996	8	558; 574	829	7091
3		1994	4340	736; 1589	7091	4340
4		1998	8680	1628	1628	504; 1442
5		1997	232	116	1666	1628
6		1999	364	791	1147	116
7		1997	1294	155	6200	3565
8		1997	8680	388	62	1085; 1333; 3798
9		1996	341	930	39	1341
10		1995	372	3991	1031	15500
11		1998	4410	1945; 10052	2093; 7068	767
12		1994	1341; 2224	5425	1806; 8060	961; 2441
13		1996	736; 2209	1705	62; 93; 233	62

Оброблення результатів спостережень здійснимо за методикою, що наведена у праці [4].  
Пробіг до відмов для тринадцяти автомобілів  $k$  та кількості агрегатів  $i$  за сім років складає:

$$\sum_{k=1}^{13} \sum_{i=1}^{52} L_{\Sigma k,i} = 284\,000 \text{ км.}$$

Визначаємо статистичний ряд відмов складових автомобіля залежно від пробігу. Для цього весь діапазон пробігу між відмовами ділимо на інтервали

$$\Delta L = L_i - L_{i-1}. \quad (1)$$

За статистичними даними підраховуємо кількість відмов  $\Delta n_i$ , які припадають на кожний розряд  $\Delta L_{\Sigma i}$  і визначаємо частоту відмов  $N^*_i$  кожного розряду:

$$N^*_i = \frac{\Delta n_i}{\sum_{k=1}^n n_k}, \quad (2)$$

де  $\Delta n_i$  – кількість відмов на інтервалі  $\Delta L_{\Sigma i}$ ;  $\sum_{k=1}^n n_k = \sum_{k=1}^{52} n_k = 70$  – сумарна кількість відмов.

Статистичний ряд відмов підсистем автомобіля залежно від сумарного пробігу наведений у табл. 2.

*Статистичний ряд відмов складових частин автомобіля залежно від сумарного пробігу*

Характеристика	Результати розрахунків								
	0–800	800–1600	1600–3200	3200–4800	4800–6400	6400–8000	8000–9600	9600–12800	12800–16000
$L_{\Sigma i-1}; L_{\Sigma i}, \text{ км}$	0–800	800–1600	1600–3200	3200–4800	4800–6400	6400–8000	8000–9600	9600–12800	12800–16000
$\Delta L_{\Sigma i} = L_{\Sigma i} - L_{\Sigma i-1}, \text{ км}$	800	775	1600	1600	1600	1600	1600	3200	3200
$\Delta n_i$	26	14	14	6	3	3	23	1	1
$N^*_i$	0,37	0,2	0,2	0,86	0,043	0,043	0,029	0,014	0,014
$f^*_i \times 10^3$	3,7	2,0	1,0	0,4	0,22	0,22	0,14	0,04	0,04

Подамо отриманий статистичний ряд відмов підсистем автомобіля залежно від сумарного пробігу у вигляді гістограми, що наведена на рис. 1. Для цього на осі абсцис позначимо інтервали пробігу автомобіля, на яких побудуємо прямокутники, їх площі дорівнюватимуть частоті  $N^*_i$  цього інтервалу, а висота – величині  $f^*_i$ .

$$f^*_i = \frac{\Delta n_i}{\Delta L_{\Sigma i} \sum_{k=1}^n n_k} \quad (3)$$

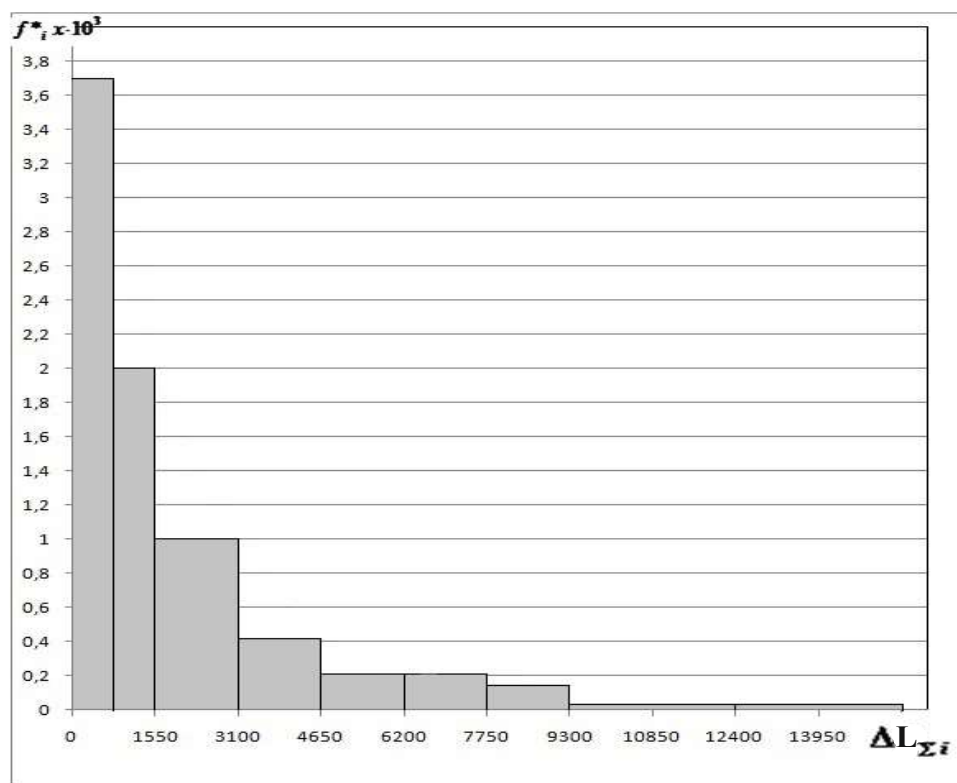


Рис. 1. Гістограма щільності розподілу відмов підсистем автомобіля залежно від сумарного пробігу

Зі збільшенням кількості інтервалів графік щільності розподілу відмов складових частин автомобіля залежно від пробігу буде наближатися до теоретичної функції  $f(L_{\Sigma})$ .

Вид статистичної щільності розподілу відмов складових частин автомобіля залежно від пробігу дає можливість встановити, що як теоретичну функцію можна використати експоненціальний закон розподілу зі щільністю

$$f(L_{\Sigma}) = \lambda_{\text{сеп}} \exp(-\lambda_{\text{сеп}} L), \quad (4)$$

де  $\lambda_{\text{сеп}}$  – середнє значення інтенсивності відмов агрегата, 1/км.

За допомогою теоретичної функції щільності розподілу відмов підсистем автомобіля залежно від сумарного пробігу  $f(L_{\Sigma})$  проведемо згладжування статистичного ряду (табл. 3).

Т а б л и ц я 3

*Статистичний ряд відмов підсистем автомобіля залежно від сумарного пробігу*

Характеристика	Результати обчислень										
	$L_{\Sigma 0i}$ , км	0	400	800	1600	3200	4800	6400	8000	9600	12800
$f(L_{\Sigma 0i})$	3,6	3,0	2,52	1,75	0,85	0,41	0,2	0,1	0,05	0,03	0,01

Припустимо, що інтенсивність відмови теоретичного розподілу  $\lambda_{\text{сеп}}$  дорівнює середньому значенню інтенсивності відмов  $\lambda_{\text{сеп}}^*$ .

$$\lambda_{\text{сеп}} = \frac{\sum_{k=1}^n n_k}{\sum_{k=1}^n \cdot \sum_{i=1}^{n_k} L_{\Sigma k,i}} = \frac{\sum_{k=1}^{52} n_k}{\sum_{k=1}^{52} \cdot \sum_{i=1}^{70} L_{\Sigma k,i}} = \frac{70}{150366} = 0,00047 \text{ 1/км}. \quad (5)$$

Будуємо теоретичну функцію розподілу відмов підсистем автомобіля залежно від сумарного пробігу (рис. 2).

$$f(L_{\Sigma}) = \lambda_{\text{сеп}} \cdot e^{-\lambda_{\text{сеп}} L_{\Sigma}} = 3,6 \cdot 10^{-3} \cdot e^{-3,6 \cdot 10^{-3} L_{\Sigma}} \quad (6)$$

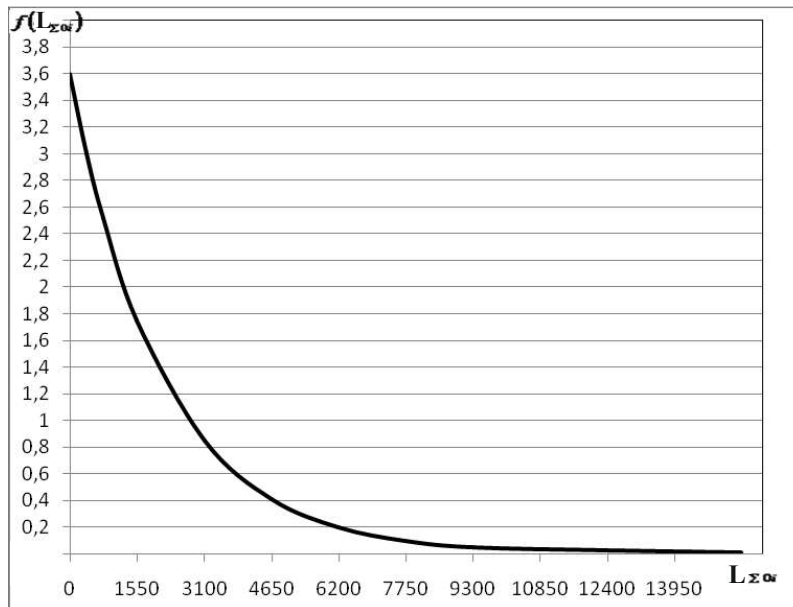


Рис. 2. Графік щільності розподілу відмов підсистем автомобіля залежно від сумарного пробігу

На рисунку видно, що теоретична крива  $f(L_{\Sigma})$  добре узгоджується з даними випробувань. Однак необхідна перевірка узгодженості за допомогою критерію академіка Колмогорова.

Для цього визначимо статистичну функцію розподілу  $F^*(L_{\Sigma})$  часу безвідмовної роботи підсистеми та теоретичну функцію розподілу  $F(L_{\Sigma})$ .

$$F^*(L_{\Sigma 0}) = 0;$$

$$F^*(L_{\Sigma 1}) = N^*_1 = 0,57;$$

$$F^*(L_{\Sigma 2}) = N^*_1 + N^*_2 = 0,57 + 0,2 = 0,77;$$

$$F^*(h) = 0,57 + 0,2 + 0,086 + 0,043 + 0,043 + 0,029 + 0,029 = 1 = \sum_{i=1}^h L^*_i.$$

Теоретична функція розподілу

$$F(L_{\Sigma}) = 1 - e^{-\lambda_{\text{сер}} L_{\Sigma 0 i}}. \tag{7}$$

Результати розрахунків функцій  $F^*(L_{\Sigma})$  та  $F(L_{\Sigma})$  наведені в табл. 4.

Т а б л и ц я 4

*Результати розрахунків функцій  $F^*(L_{\Sigma})$  та  $F(L_{\Sigma})$*

Характеристика	Результати розрахунків										
	$L_{\Sigma 0 i}$ , км	1600	3200	4800	6400	8000	9600	11200	12800	14400	16000
$F^*(L_{\Sigma i})$	0,6	0,8	0,86	0,9	0,94	0,97	0,99	0,99	0,99	0,99	1,000
$F(L_{\Sigma i})$	0,5	0,763	0,88	0,94	0,97	0,98	0,99	0,99	0,99	0,99	0,99

Максимальне значення модуля різниці між статистичною і теоретичною функцією розподілу

$$D = \max |F^*(L_{\Sigma}) - F(L_{\Sigma})| = 0,57 - 0,514 = 0,056. \tag{8}$$

$$\lambda_D = D\sqrt{n} = 0,056\sqrt{70} = 0,468. \tag{9}$$

Знаходимо ймовірність  $P(\lambda_D) = 0,97$ .

Результати розрахунків показують: гіпотеза про те, що функція щільності розподілу відмов складових частин автомобіля залежно від сумарного пробігу підкоряється експоненціальному закону, вірна.

Проведено аналіз залежності  $P(L_{\Sigma})$  для різних значень загального напрацювання (рис. 3).

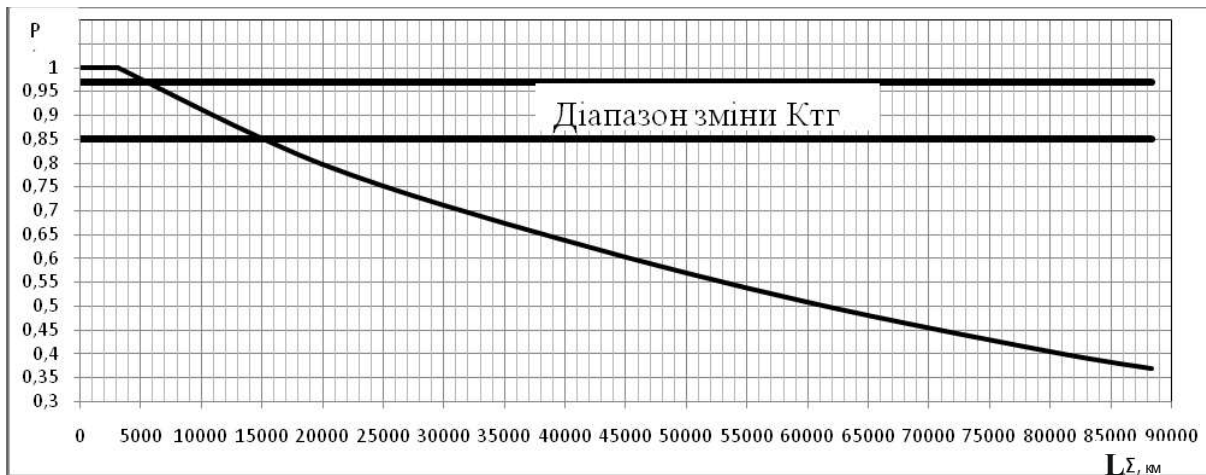


Рис. 3. Графік залежності  $P(L_{\Sigma})$  для автомобіля УАЗ-31512 від початку експлуатації до капітального ремонту

З графіка на рис. 3 видно, що вже для пробігу 15 000 км імовірність безвідмовної роботи автомобіля УАЗ становить 0,85, а для пробігу, наприклад, 30 000 км вона складає 0,7. Це пояснюється не однаковою надійністю складових частин автомобіля. Якщо вважати, що автомобіль є технічною системою, яка складається, наприклад, з 4-х частин (двигун, трансмісія, електрообладнання, ходова частина), ймовірність його безвідмовної роботи  $P_{\text{авт}}$  визначається як ймовірність безвідмовної роботи технічної системи з послідовним з'єднанням 4-х складових

$$P_{\text{авт}} = P_{\text{дв}} \cdot P_{\text{тр}} \cdot P_{\text{ел}} \cdot P_{\text{хч}},$$

де  $P_{\text{дв}}$  – ймовірність безвідмовної роботи двигуна;  $P_{\text{тр}}$  – ймовірність безвідмовної роботи трансмісії;  $P_{\text{ел}}$  – ймовірність безвідмовної роботи електрообладнання;  $P_{\text{хч}}$  – ймовірність безвідмовної роботи ходової частини.

Якщо ресурс двигуна автомобіля до капітального ремонту становить 150 тис. км; елементів трансмісії – 30 тис. км; електрообладнання – 60 тис. км; ходової частини – 70 тис. км, то для пробігу автомобіля 30 тис. км імовірність безвідмовної роботи автомобіля складає

$$P_{\text{авт}} = P_{\text{дв}} \cdot P_{\text{тр}} \cdot P_{\text{ел}} \cdot P_{\text{хч}} = 0,82 \cdot 1 \cdot 0,6 \cdot 0,65 = 0,32.$$

Таким чином, за допомогою наведеної залежності можна визначити ймовірність безвідмовної роботи автомобіля (бойової машини)  $P_{\text{авт}}$  та прогнозувати ймовірність безвідмовної роботи автомобілів військової частини на період виконання завдань.

### Висновки

1. Отримана залежність, яка дозволяє оцінити рівень безвідмовної роботи автомобілів (бойових машин) військової частини як складової технічної готовності автобронетанкової техніки до виконання завдань. Не однакова надійність складових частин автомобілів (бойових машин) призводить до швидкого зниження ймовірності їх безвідмовної роботи (наприклад, для автомобіля УАЗ імовірність безвідмовної роботи через 30 000 км становить 0,7 за потреби не менше 0,85).

2. Залежність для оцінювання ймовірності безвідмовної роботи автобронетанкової техніки дозволяє визначити вплив на неї різних факторів та намітити шляхи забезпечення високого рівня безвідмовної роботи АБТ на етапі розроблення вимог до її сучасних зразків для Національної гвардії України.

**Перелік джерел посилання**

1. Тимошенко Р. І. Оновлення парку озброєння та військової техніки – шлях до боєздатності Збройних Сил України. *Збірник наукових праць Центру воєнно-стратегічних досліджень Національного університету оборони України імені Івана Черняхівського*. Київ, 2016. № 4. С. 6–11.
2. Чепков І. Б., Нор П. І. Загальні тенденції розвитку озброєння та військової техніки. *Озброєння та військова техніка*. 2014. № 1. С. 4–13.
3. Надежность и эффективность в технике: справочник в 10 т. Т.1. Методология. Организация. Терминология. Москва: Машиностроение, 1986. 224 с.
4. Анилович В. Я., Гринченко А. С., Литвиненко В. Л. Надежность машин в задачах и примерах. Харьков: Око, 2001. 319 с.
5. Головня С. Б. Розробка рекомендацій щодо покращення процесу оцінювання рівня технічної готовності транспортних засобів прикордонного загону. *Збірник наукових праць Національної академії Державної прикордонної служби України*. Хмельницький: НАДПСУ, 2014. Вип. 1 (61). С. 292–303.
6. Купріненко О. М. Сучасний стан та проблеми побудови типуажу бойових броньованих машин. *Системи озброєння і військова техніка*. 2012. № 2 (30). С. 62–65.
7. Иванченко А. О., Шаша И. К., Рогозин И. В. Выбор критерия оценки эксплуатационной надежности автомобилей. *Збірник наукових праць ХУПС*. Харків: ХУПС, 2014. Т. 3 (40). С. 149–151.
8. Демянчук Б. О., Малишкін О. В. Основы технического обеспечения. Обгрунтування рішень. Одеса: МО України, 2014. 208 с.

*Стаття надійшла до редакції 12.09.2019 р.*

**УДК 629.076:623.426**

**А. В. Ковтун, В. И. Кужелович, С. С. Лукашенко**

*В статье решается задача оценивания существующего и обеспечения заданного уровня надежности автобронетанковой техники путем исследования процесса изменения вероятности безотказной работы автомобилей и боевых машин и определения направлений поддержания заданного уровня их технической готовности.*

*Показано, что основным методом получения исходящей информации об отказах автомобилей (боевых машин) и их элементов есть испытания в условиях эксплуатации с использованием системы сбора и обработки информации о надежности.*

*Предложена зависимость, которая позволяет оценить уровень надежности автомобилей воинской части как составляющей готовности автобронетанковой техники к выполнению задач.*

*К л ю ч е в ы е с л о в а: техническая готовность, вооружение и военная техника, автобронетанковая техника, надежность, безотказность, показатели, вероятность безотказной работы.*

**UDC 629.076:623.426**

**A. Kovtun, V. Kuzelovich, S. Lukashenko**

**ESTIMATION OF CHANGING THE RELIABILITY OF AUTOMOTIVE MECHANICS OF THE MILITARY PART OF OPERATION**

*In this article the task of assessing the existing and providing a given level of reliability of cars and combat vehicles is solved by studying the process of changing the probability of failure-free operation of cars and combat vehicles and determining ways to maintain a given level of technical availability.*



*It is shown that the main method of obtaining initial information about the failure of cars and their elements is testing in the conditions of operation using a system for collecting and processing reliability information.*

*Due to the sharp increase in the complexity of combat vehicles, a thorough scientific substantiation of military-technical solutions in the design, testing, production and operation of vehicles and combat vehicles is needed. In this case, it is necessary to assess the current level of reliability of combat vehicles and predict the required level of reliability when carrying out the replacement of equipment.*

*It is possible to solve the problem of assessing the existing and providing a given level of reliability of cars and combat vehicles by studying the process of changing the probability of failure-free operation of cars and combat vehicles and determining ways to maintain a given level of their technical readiness. However, the existing indicators of technical readiness of weapons and military equipment do not provide an opportunity to assess the level of reliability of existing and determine the desired level of reliability of promising machines.*

*Proposed dependence, which allows assessing the level of reliability of military vehicles, as a part of the readiness of automotive equipment to perform tasks.*

*K e y w o r d s: reliability, technical readiness, weapons and military equipment, automotive equipment, fault tolerance, indicators, probability of failure-free operation*

**Ковтун Анатолій Васильович** – кандидат технічних наук, доцент, доцент кафедри бойового та логістичного забезпечення Національної академії Національної гвардії України.

[http:// orcid.org/0000-0002-8427-1005](http://orcid.org/0000-0002-8427-1005)

**Кужелович Віктор Іванович** – старший викладач кафедри автобронетанкової техніки Національної академії Національної гвардії України.

[http:// orcid.org/0000-0002-6897-638X](http://orcid.org/0000-0002-6897-638X)

**Лукашенко Сергій Сергійович** – старший викладач кафедри автобронетанкової техніки Національної академії Національної гвардії України.

[http:// orcid.org/0000-0002-7121-9320](http://orcid.org/0000-0002-7121-9320)