

УДК 629.076:623.426



А. О. Литовченко

ОБґРУНТУВАННЯ ЗАЛЕЖНОСТІ ДЛЯ ВИЗНАЧЕННЯ КОЕФІЦІЄНТА ЕКСПЛУАТАЦІЙНОЇ ГОТОВНОСТІ ВІЙСЬКОВОЇ АВТОМОБІЛЬНОЇ ТЕХНІКИ

У статті розглянуто поняття готовності військової автомобільної техніки до виконання завдань. Запропоновано як показник готовності використовувати узагальнений показник експлуатаційної готовності, який урахує етапи експлуатації військової автомобільної техніки.

Виявлено, що зменшення середнього часу на підтримання машин у визначеному ступені бойової готовності, відновлення, зберігання та транспортування веде до збільшення коефіцієнта експлуатаційної готовності військової автомобільної техніки.

Отриманий показник дає змогу оцінювати рівень експлуатаційної готовності військової автомобільної техніки, визначати вплив рівня організації експлуатації машин на експлуатаційну готовність, забезпечувати заданий рівень готовності військової автомобільної техніки.

К л ю ч о в і с л о в а: готовність, надійність, автомобільна техніка, відновлення, зберігання, транспортування.

Постановка проблеми. Набутий досвід ведення російсько-української війни доводить, що бойова готовність є основною властивістю якості військової автомобільної техніки (ВАТ). Складовою бойової готовності військової автомобільної техніки є її надійність.

Під час повномасштабної війни статистика перевезень в Україні змінилася. Автомобільний транспорт залишається найпоширенішим видом перевезень, особливо на короткі відстані. Робота інших видів транспорту суттєво ускладнена через воєнні дії та блокаду морських портів, закриття повітряного простору, зменшення використання залізничного транспорту, особливо в регіонах, що знаходяться на небезпечному віддаленні від районів ведення активних бойових дій, та внаслідок знищення інфраструктури країни (мости, вокзали, залізничні колії, порти).

У зв'язку з широким застосуванням автомобільної техніки збільшується кількість її відмов. Для підвищення ефективності застосування ВАТ необхідно приділяти увагу технічній готовності машин.

Оцінювання технічної готовності автомобільної техніки ґрунтується на системі кількісних і якісних показників. Вони дозволяють визначити ефективність використання автопарку, рівень його надійності, а також потребу в технічному обслуговуванні (ТО) та ремонті. В науковій літературі відомі такі показники оцінювання готовності автомобільної техніки: коефіцієнт технічної готовності $K_{ТТ}$, коефіцієнти готовності $K_{Г}$ та оперативної готовності машин $K_{ОГ}$, які дають змогу оцінити такі етапи експлуатації автомобільної техніки, як-от використання за призначенням та ремонт [1]. Проте зазначені показники враховують не всі етапи експлуатації ВАТ, тому виникає необхідність у обґрунтуванні комплексного показника готовності, який урахувуватиме основні етапи експлуатації військової автомобільної техніки.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Науковою основою досліджень з оцінювання рівня готовності машин до виконання завдань за призначенням є: теорія ефективності застосування військової техніки, технічна експлуатація машин, теорія надійності виробів техніки, теорія ймовірностей та математична статистика. Основні залежності, які використовуються для визначення рівня готовності машин, наведені у джерелах [2–8].

У статті [2] визначено функції готовності для оцінювання працездатності систем «людина – машина» в умовах зростання інтенсивності відмов та відновлень.

У статті [3] оцінено вплив умов експлуатації на технічну готовність автотранспортних засобів.

Автори праць [4, 5] надають рекомендації щодо організації контролю за рівнем готовності парку військової техніки та підтримання її на заданому рівні бойової готовності.

У статті [6] запропоновано розглядати властивість «експлуатаційна готовність» як імовірність того, що обладнання буде виконувати покладену на нього функцію у потрібний час і за будь-яких умов. Експлуатаційна готовність виражається у відсотковому відношенні або характеризується коефіцієнтом справної дії $K_{сд}$ і обчислюється за такою формулою:

$$K_{сд} = \frac{T_{сд}}{T_{заг}} \text{ або } \frac{(T_{заг} - T_{несп})}{T_{заг}},$$

де $T_{заг}$ – загальний термін, за який обчислюється експлуатаційна готовність, год;

$T_{сд}$ – період безвідмовної роботи або час справної дії обладнання, год;

$T_{несп}$ – час на усунення несправностей або час неготовності обладнання виконувати покладену на нього функцію, год.

У методичних вказівках [7] розглянуто необхідність визначення коефіцієнта експлуатаційної готовності об'єкта залізничної інфраструктури. Коефіцієнт експлуатаційної готовності конструкції об'єкта $k_{функ}$ характеризує її здатність виконувати свої функції у конкретних умовах експлуатації.

$$k_{функ} = \frac{(24 \cdot D - T_{техн})}{24 \cdot D},$$

де D – кількість днів у розрахунковому місяці;

24 – тривалість доби, год;

$T_{техн}$ – сумарна тривалість (у годинах) технологічних «вікон», що були надані для виконання ремонтно-колійних робіт на перегоні у розрахунковому місяці.

Міжнародний стандарт ISO 22400-2 [8] дає таке визначення поняття експлуатаційної готовності. Експлуатаційна готовність $E_{Г}$ – це відношення між фактичним часом виробництва продукції APT та запланованим часом зайнятості PBT для одного робочого вузла. Вона обчислюється за формулою

$$E_{Г} = \frac{APT}{PBT}, \%$$

Експлуатаційна готовність показує, якою мірою потужність робочого вузла для виробництва продукції використовується насправді.

Проте у зазначених публікаціях не наведені залежності та дані щодо узагальненого оцінювання існуючого рівня експлуатаційної готовності зразків ВАТ.

Мета статті – отримання залежності для визначення коефіцієнта експлуатаційної готовності військової автомобільної техніки, який враховує всі етапи експлуатації ВАТ.

Виклад основного матеріалу. Експлуатацією військової автомобільної техніки називається стадія життєвого циклу машини з моменту прийняття її військовою частиною від підприємства-виробника або ремонтного підприємства до зняття з експлуатації [9, 10].

Експлуатація ВАТ передбачає проведення комплексу організаційно-технічних заходів та виконання певних завдань під час таких її етапів:

- уведення ВАТ в експлуатацію;
- приведення ВАТ у визначений ступінь готовності до використання за призначенням;
- підтримання ВАТ у встановленому ступені готовності до використання за призначенням;
- використання ВАТ за призначенням;
- зберігання ВАТ під час їх експлуатації;
- транспортування ВАТ.

З урахуванням зазначених етапів пропонується оцінювати готовність ВАТ до виконання завдань за призначенням комплексним показником – коефіцієнтом експлуатаційної готовності, який визначається таким чином:

$$K_{ЕГ} = \frac{T_0}{T_0 + T_{підтр} + T_в + T_{зб} + T_{тр}}, \quad (1)$$

де T_0 – середній час безвідмовної роботи, год;

$T_{підтр}$ – час, витрачений на підтримання машини у заданому ступені бойової готовності, год;

T_B – середній час відновлення, год;
 $T_{зб}$ – середній час зберігання, год;
 $T_{тр}$ – середній час транспортування, год.

Середній час безвідмовної роботи T_0 є математичним сподіванням напрацювання системи до першої відмови, він обчислюється за формулою [1]

$$T_0 = \int_0^{\infty} t \cdot f(t) dt = \int_0^{\infty} t \cdot dQ(t) = \int_0^{\infty} P(t) \cdot dt, \quad (2)$$

де $f(t)$ – функція щільності розподілу часу до відмови;
 Q – імовірність відмови за час t ;
 $P(t)$ – імовірність безвідмовної роботи машин.

Середній час безвідмовної роботи T_0 пов'язаний з інтенсивністю відмов $\lambda(t)$.

Інтенсивність відмов – це умовна щільність ймовірності виникнення відмови невідновлювальної системи, яка визначається для моменту часу за умови, що до цього моменту відмова не виникла [1]:

$$\lambda(t) = \frac{f(t)}{P(t)}. \quad (3)$$

Оскільки $f(t) = \frac{dF(t)}{d(t)}$, то

$$\lambda(t) = \frac{1}{P(t)} \cdot \frac{dQ(t)}{dt} = -\frac{1}{P(t)} \cdot \frac{dP(t)}{dt}. \quad (4)$$

Проінтегрувавши ліву й праву частини останнього диференціального рівняння, одержимо

$$\int_0^t \lambda(t) dt = -\ln P(t). \quad (5)$$

Якщо $\lambda(t) = \lambda$, то

$$T_0 = \int_0^{\infty} e^{-\lambda t} dt = -\frac{1}{\lambda} \cdot e^{-\lambda t} \Big|_0^{\infty} = \frac{1}{\lambda}. \quad (6)$$

Час підтримання у заданому ступені бойової готовності $T_{нідмр}$ – це фактичний час, витрачений на проведення ТО різних видів. У таблиці 1 на прикладі автомобіля КрАЗ-6322 наведені витрати часу на проведення різних видів технічного обслуговування [11].

Таблиця 1 – Час проведення різних видів ТО автомобіля КрАЗ-6322

Вид технічного обслуговування	Контрольний огляд	Щоденне технічне обслуговування	ТО-1	ТО-2	Сезонне обслуговування
Час проведення, год	0,3	0,5	11	30,4	ТО-1 + 4,9 ТО-2 + 12,2

Середнім часом відновлення працездатного стану називається математичне сподівання часу відновлення [1]

$$T_B = \int_0^{\infty} t_B \cdot f(t_B) \cdot dt_B. \quad (7)$$

Середній час відновлення характеризує середній час вимушеного нерегламентованого простою, спричиненого пошуком і усуненням наслідків однієї відмови.

Статистично T_B можна визначити, знаючи кількість відмов системи n за даний період експлуатації (випробувань) і час, витрачений на відновлення об'єкта після кожної відмови $t_{B1}, t_{B2}, \dots, t_{Bi}$ [1]:

$$T_B = \frac{\sum_{i=1}^n t_{Bi}}{n}, \quad (8)$$

Якщо існують кілька однотипних систем, то слід підсумувати проміжки часу відновлення для всіх систем і розділити цю суму на загальну кількість відмов [1]:

$$T_B = \frac{\sum_{j=1}^N \sum_{i=1}^{n_j} t_{Bij}}{\sum_{i=1}^N n_j}, \quad (9)$$

де t_{Bij} – час, витрачений на виявлення й усунення відмови;
 n_j – кількість відмов j -ї системи;
 N – кількість систем.

Середній час відновлення є зворотною функцією інтенсивності відновлення μ , год⁻¹:

$$T_B = \frac{1}{\mu}. \quad (10)$$

Величини T_B та μ залежать від рівня технічної підготовки розрахунку, який обслуговує систему. Цей рівень визначається знанням будови системи, найпоширеніших типів відмов, найкращих методів їх усунення та організації проведення операцій відновлення.

Середній термін збереженості – це математичне сподівання строку збереженості [1]:

$$T_{ЗБ} = \int_0^{\infty} t \cdot f_{ЗБ}(t) dt, \quad (11)$$

де $f_{ЗБ}(t)$ – щільність розподілу строку збереженості.

$$T_{ЗБ} = \frac{1}{\lambda_{ЗБ}}, \quad (12)$$

$$\lambda_{ЗБ} = \frac{\lambda(t)}{G}, \quad (13)$$

де G – коефіцієнт, що враховує інтенсивність відмов машини під час роботи та інтенсивність відмов під час зберігання [1]; ця величина залежить від умов роботи та зберігання, зазвичай G лежить у межах від 10 до 100.

Час транспортування машин $T_{тр}$ – фактичний час, витрачений на транспортування конкретної машини у процесі її експлуатації.

$$T_{тр} = \frac{S_{тр}}{V_{тр}}, \quad (14)$$

де $S_{тр}$ – відстань транспортування ВАТ, км;
 $V_{тр}$ – швидкість транспортування, км/год.

Приклад 1. Визначимо коефіцієнт експлуатаційної готовності автомобіля КРАЗ-6322, який має пробіг 11 000 км. Для середньої швидкості здійснення маршруту автомобільних колон 30 км/год час безвідмовної роботи автомобіля складатиме $T_0 = 11\,000 / 30 = 367$ год. За час, який автомобіль пройшов 11 000 км, двічі проводилось ТО-1. На проведення кожного з них витрачено 11 год (табл. 1). $T_{пр} = 11 \times 2 = 22$ год, $T_B = 0$ год, $T_{збер} = 0$ год, $T_{тр} = 0$ год.

За допомогою формули (1) визначимо:

$$K_{ЕГ} = \frac{T_0}{T_0 + T_{підтр} + T_B + T_{ЗБ} + T_{тр}} = \frac{367}{367 + 22} = 0,94.$$

Приклад 2. Визначимо коефіцієнт експлуатаційної готовності автомобіля КРАЗ-6322 з пробігом 22 000 км. За час, який машина пройшла між пробігами 11 000 км і 22 000 км були проведені два ТО-1 і одне ТО-2, що разом складає $T_{підтр} = 22 + 30,4 = 52,4$ год (табл. 1). При досягненні пробігу 11 100 км була

проведена заміна карданного вала, а після 12 600 км – заміна зчеплення, що разом дорівнює $T_B=4+6=10$ год.

За допомогою формули (1) визначимо:

$$K_{EG} = \frac{T_0}{T_0 + T_{\text{підтр}} + T_B + T_{\text{зб}} + T_{\text{тр}}} = \frac{367}{367 + 52,4 + 10} = 0,85.$$

Приклад 3. Визначимо коефіцієнт експлуатаційної готовності автомобіля КраЗ-6322 з пробігом 33 000 км. За час, який машина пройшла між пробігами 22 000 км і 33 000 км були проведені два ТО-1 і одне ТО-2, що разом складає $T_{\text{підтр}}=22+30,4=52,4$ год (табл. 1). Після досягнення пробігу 22 200 км була проведена заміна карданного вала, а після 25 200 км – заміна зчеплення і після 24 500 км – заміна коробки передач, на що загалом витрачено $T_B=4+6+8=18$ год. Також у цей період машина знаходилась на зберіганні, $T_{\text{збер}}=60$ год.

За допомогою формули (1) визначимо:

$$K_{EG} = \frac{T_0}{T_0 + T_{\text{підтр}} + T_B + T_{\text{зб}} + T_{\text{тр}}} = \frac{367}{367 + 52,4 + 18 + 60} = 0,74.$$

Залежність коефіцієнта експлуатаційної готовності від часу експлуатації машини (пробігу, який вона пройшла за цей час) показано на рисунку 1.

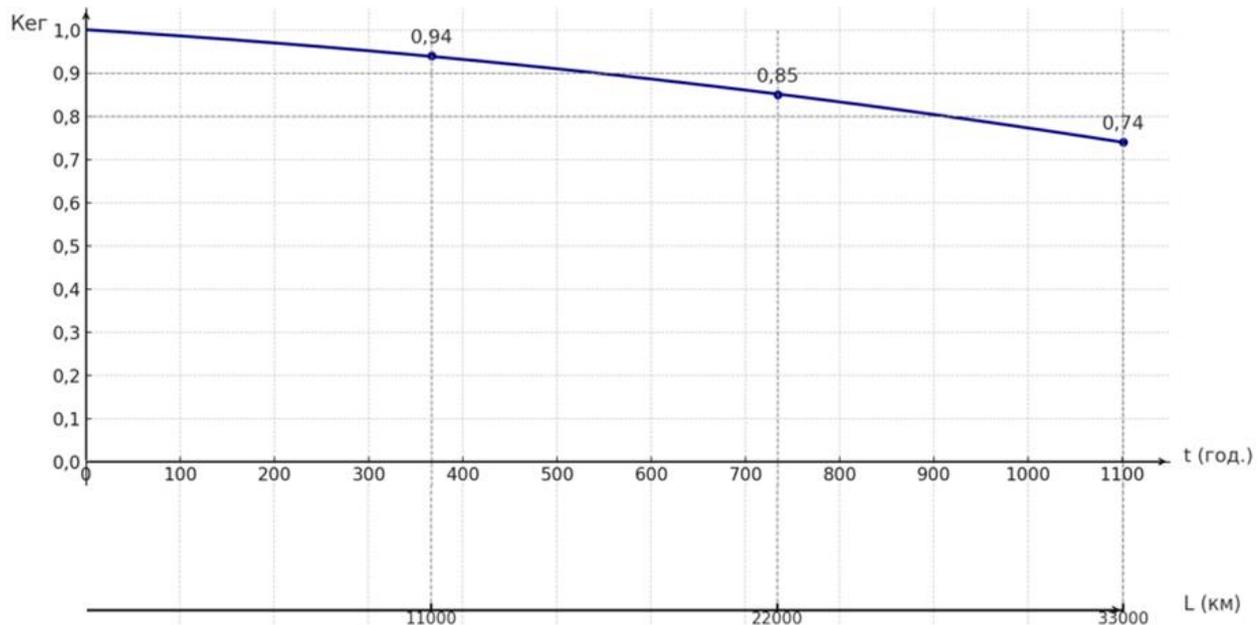


Рисунок 1 – Графік залежності K_{EG} від часу експлуатації (пробігу) машини

Отже, за допомогою залежностей (1–14) можна визначити показник експлуатаційної готовності машин до виконання завдань за призначенням. Вони також можуть допомогти у визначенні напрямів підвищення експлуатаційної готовності військової автомобільної техніки військових частин і з'єднань НГУ.

Висновки

1. Отриманий комплексний показник для визначення коефіцієнта експлуатаційної готовності військових машин дозволяє оцінити рівень готовності військової автомобільної техніки НГУ, визначити вплив рівня організації експлуатації ВАТ у військовій частині на експлуатаційну готовність, забезпечення заданого рівня готовності військової автомобільної техніки корпусів, з'єднань, військових частин та підрозділів НГУ.

2. Зменшення середнього часу на підтримання машин у визначеному ступені бойової готовності, відновлення, зберігання та транспортування військової автомобільної техніки призведе до збільшення

коефіцієнта експлуатаційної готовності ВАТ у НГУ.

3. Запропоновані математичні залежності для визначення показників окремих властивостей експлуатаційної готовності ВАТ дозволяють створити математичний апарат її оцінювання і прогнозування, надають можливість побудувати математичні моделі застосування ВАТ у бою (операції), які відповідатимуть реальним процесам ведення бойових дій, що є перспективою подальших досліджень у зазначеному напрямі.

Перелік джерел посилання

1. Ковтун А. В., Цебрюк І. В. Основи надійності автомобільної техніки : навч. посіб. Харків : Акад. ВВ МВС України, 2013. 181 с.

2. Новицький А. В., Ружило З. В. Визначення функції готовності систем «людина – машина» при зростанні інтенсивностей відмов. *Machinery & Energetics. Journal of Rural Production Research*. Київ : 2019. Vol. 10, No 2. Pp. 89–96.

3. Цимбал С. В., Рудь І. І. Оцінювання впливу умов експлуатації на технічну готовність автотранспортних засобів. *Молодь в науці: дослідження, проблеми, перспективи* : тези доп. Всеукр. наук.-практ. Інтернет-конф. студентів, аспірантів та молодих науковців (м. Вінниця, 11–30 трав. 2019 р.). URL:<https://conferences.vntu.edu.ua/index.php/mn/mn2019/paper/view/6360> (дата звернення: 07.11.2025).

4. Головня С., Шафорост С., Кіретов В. Рекомендації начальнику органу охорони державного кордону щодо організації контролю за рівнем готовності парку техніки. *Збірник наукових праць Національної академії Державної прикордонної служби України імені Богдана Хмельницького. Військові та технічні науки*. Хмельницький, 2024. № 3 (96). С. 110–128.

5. Головня С., Кіретов В., Чиж О. Рекомендації начальнику органу охорони державного кордону щодо організації заходів з питань підтримання парку озброєння і техніки на заданому рівні бойової готовності. *Збірник наукових праць Національної академії Державної прикордонної служби України імені Богдана Хмельницького. Військові та технічні науки*. Хмельницький, 2024. № 1 (94). С. 126–138.

6. Черепинець М. Експлуатаційна готовність засобів навігаційного обладнання. *Вісник Держгідрографії*. 2009. № 1 (25). С. 2–4.

7. Штомпель А. М., Скорик О. О. Оцінка діяльності з технічного обслуговування колії : метод. вказівки до практ. занять з дисципліни «Управління колійним господарством». Харків : УкрДУЗТ, 2018. 18 с.

8. ДСТУ ISO 22400-2:2019. Автоматизовані системи керування та їх інтеграція. Ключові показники ефективності (КПЕ) для керування виробничими операціями. Частина 2 (ISO 22400-2:2014, IDT) [Чинний від 2019-09-01] Вид. офіц. Київ : ДП «УкрНДНЦ», 2019. 76 с.

9. Положення про організацію експлуатації бронетанкового озброєння та техніки, іншого майна номенклатури бронетанкової служби Національної гвардії України : затв. наказом МВС України від 16.12.2016 р. № 1313.

10. Про затвердження Порядку організації та експлуатації автомобільної техніки, іншого майна номенклатури автомобільної служби Національної гвардії України : наказ командувача НГУ від 27.12.2016 р. № 900.

11. ВП 4-83(03).01. Методичний посібник з планування, організації та проведення заходів щодо переведення озброєння та військової техніки на літню (зимову) експлуатацію в Збройних Силах України. Командування Сил логістики Збройних Сил України, 2021, С. 80.

Стаття надійшла до редакції 17.11.2025 р.

UDC 629.076:623.426

A. Lytovchenko

**JUSTIFICATION OF THE DEPENDENCE FOR DETERMINING
THE COEFFICIENT OF OPERATIONAL READINESS
OF MILITARY VEHICLES**

The experience gained in the Russian-Ukrainian war proves that combat readiness is the main quality property of military automotive equipment. A component of the combat readiness of military automotive equipment is its reliability.

Automotive equipment is widely used in the national economy. During a full-scale war, transportation statistics in Ukraine have changed: road transport remains the most common type of transportation, especially for cargo over short distances. The work of other types of transport is significantly complicated due to military operations and the blockade of seaports, the closure of airspace, a decrease in the use of rail transport, especially in regions located at a dangerous distance from areas of active hostilities and as a result of the destruction of the country's infrastructure (bridges, stations, railway tracks, ports). Currently, road transport remains the main type of transport for transporting cargo and passengers, especially over short distances.

Due to the widespread use of automotive equipment, the number of its failures is increasing. To increase the efficiency of the use of military automotive equipment, it is necessary to pay attention to the technical readiness of the machines.

Assessment of the technical readiness of automotive equipment is based on a system of quantitative and qualitative indicators. These indicators allow determining the efficiency of the fleet, the level of its reliability, as well as the need for maintenance and repair. The following indicators for assessing the readiness of automotive equipment are known in the scientific literature: the coefficient of technical readiness, the coefficients of readiness and operational readiness of machines, which make it possible to assess such stages of operation of automotive equipment as intended use and repair. However, these indicators do not take into account all stages of operation of military automotive equipment, therefore there is a need to substantiate a comprehensive indicator of readiness, which will take into account the main stages of operation of military automotive equipment.

The purpose of the article is to obtain a dependence for determining the operational readiness coefficient of military automotive equipment, which takes into account all stages of its operation.

It was found that reducing the average time for maintaining vehicles at a certain level of combat readiness, restoration, storage and transportation leads to an increase in the operational readiness coefficient of military automotive equipment.

The obtained indicator makes it possible to assess the level of readiness of military automotive equipment, determine the impact of the level of organization of vehicle operation on operational readiness, and ensure a given level of readiness of military automotive equipment.

Key words: readiness, reliability, automotive equipment, recovery, storage, transportation.

Литовченко Артем Олександрович – викладач кафедри бронетанкової техніки Національної академії Національної гвардії України.

<https://orcid.org/0000-0002-1441-9860>