

УДК 355.35

І.К. Шаша, А.О. Іванченко, В.О. Темніков, І.В. Цебрюк

Національна академія Національної гвардії України, Харків

УДОСКОНАЛЕННЯ МАТЕМАТИЧНОЇ МОДЕЛІ ЗМІНИ ТЕХНІЧНОГО СТАНУ АВТОБРОНЕТАНКОВОЇ ТЕХНІКИ

В статті приводяться результати дослідження по удосконаленню математичної моделі зміни технічного стану автобронетанкової техніки з урахуванням індивідуальних особливостей та умов експлуатації автобронетанкової техніки.

Ключові слова: технічний стан, коефіцієнт оперативної готовності, коефіцієнт технічної готовності, закон розподілу, умови експлуатації.

Вступ

Постановка проблеми. Серед основних факторів, які впливають на високу бойову готовність частин і підрозділів Національної гвардії України (НГУ) є технічний стан (ТС) автобронетанкової техніки (АБТ).

Одним з невирішених питань є можливість точного оцінювання цього стану.

На цей час технічна готовність парку АБТ у НГУ характеризується коефіцієнтом технічної готовності (Ктг), що є відношенням кількості справної АБТ до загальної кількості АБТ [1]. Основними недоліками Ктг можна вважати наступні: оцінка технічного стану відбувається тільки в момент перевірки, тобто відсутнє прогнозування стану; оцінка технічного стану не залежить від віку та пробігу АБТ; оцінка технічного стану не відображає зміни ресурсу основних агрегатів АБТ.

Із аналізу виконання завдань в зоні АТО при використанні АБТ підрозділом НГУ в умовах експлуатації що постійно змінюються, не завжди є можливість проведення планових ТО і Р, немає можливості визначати наскільки змінився технічний стан техніки, який її залишковий ресурс, визначати час та пробіг до чергової профілактики. Тобто, подальша зміна технічного стану не відображується в числових показниках коефіцієнта технічної готовності. Відсутність можливості оцінки технічного стану АБТ, може негативно вплинути на БГ АБТ і на хід виконання СБЗ і привести до втрат особового складу та техніки.

Тому задача визначення дійсного технічного стану з урахуванням індивідуальних особливостей та умов експлуатації є актуальною.

Аналіз останніх досліджень та публікацій. Питання оцінювання рівня технічної готовності автобронетанкової техніки (АБТ) розглядаються у низці наукових праць, та керівних документів основними з яких є [1, 2]. Всі існуючі підходи з оцінки рівня технічної готовності АБТ НГУ використовують виробничий показник – коефіцієнт технічної

готовності (Ктг), який не враховує факторів, які можуть впливати на відновлення АБТ.

В роботі [2] для оцінювання технічного стану системи пропонується застосовувати комплексні показники надійності, такі як коефіцієнт оперативної готовності (Ког), коефіцієнт готовності (Кг), коефіцієнт технічного використання (Ктв), та ін., які включають в себе середній час відновлення (Тв). Але він зворотно пропорційний інтенсивності відновлення і також не враховує найбільш значущих факторів, від яких залежить час відновлення.

Ще один недолік існуючих методів оцінювання технічного стану у відповідності з [1] – використання середньостатистичних норм пробігів та працёмісткостей на кожен конкретний автомобіль. Наприклад, [1, 3] приведені норми пробігу АБТ та основних агрегатів до капітального ремонту. Однак, в тексті [1, 3] не сказано, якому завантаженню автомобіля відповідають ці норми та в яких умовах експлуатується автомобіль. Не враховується також зміни в процесі експлуатації коефіцієнтів використання вантажопід'ємності та пробігу. В той же час дослідження [4 – 6] показують, що в залежності від завантаження та умов експлуатації пробіг автомобіля до технічного впливу може змінитись майже в два рази.

Передбачені для компенсації цього недоліку коефіцієнти не можуть повністю вирішити цього питання, адже вони не враховують всього багатоманіття умов експлуатації, та й самі умови для багатьох автомобілів не лишаються постійними навіть протягом одного робочого дня [7].

В роботах [8, 9] розглянуті основні питання підвищення надійності АБТ, одержання об'єктивної діагностичної інформації для керування працездатністю машин та їх елементів, вибору моделюючих засобів діагностування.

Але всі розглянуті методи оцінювання зміни технічного стану та прогнозування залишкового ресурсу АБТ оптимальні лише в тому випадку, коли максимізується Кг АБТ.

$$K_{\Gamma}(l) = \frac{M(U)}{M(U) + M(V)},$$

де $M(U)$ – математичне сподівання напрацювання між профілактиками; $M(V)$ – математичне сподівання втрат пробігу за час простоїв.

Але при виконанні СБЗ АБТ НГУ доцільно було б враховувати готовність техніки під час проведення спеціальної операції. Таким показником може бути КОГ.

Дані дослідження значно покращують систему оцінювання зміни технічного стану та прогнозування залишкового ресурсу АБТ, але не враховують те, що у НГУ техніка працює в особливих умовах експлуатації та під час виконання СБЗ необхідне постійне підтримання її надійності.

Отже, аналіз літературних джерел свідчить, що існуючі підходи до оцінювання зміни технічного стану та прогнозування залишкового ресурсу орієнтовані на старі і малоефективні методи. А саме, технічний стан АБТ визначається за середньостатистичними показниками лише на момент перевірки та не дозволяє визначити ймовірність перебування зразка АБТ в такому стані певний проміжок часу. Прогнозування залишкового ресурсу відбувається на інтуїтивному рівні на основі даних пробігу зразка АБТ за час експлуатації та не враховує зміни умов експлуатації та інших зовнішніх факторів.

Мета статті: удосконалення математичної моделі зміни технічного стану автобронетанкової техніки з урахуванням індивідуальних особливостей та умов експлуатації автобронетанкової техніки.

Основний матеріал

Для вирішення практичних завдань розробки й експлуатації зразків АБТ потрібні кількісні показники, що дозволяють оцінити рівень надійності цих систем, вибрати найкращий варіант побудови, оптимізувати процес їх експлуатації. Для цього існують показники надійності (ПН) – кількісні характеристики однієї або кількох властивостей, що обумовлюють надійність систем.

Середній час безвідмовної роботи T_0 - одиночний показник властивості надійності безвідмовності зворотно протилежний інтенсивності відмов λ та повинен бути більшим, або рівним періодичності профілактик. Це дає можливість стверджувати, що відмова не настане раніше, ніж можливість її виникнення буде діагностовано. Середній час відновлення T_B - одиночний показник властивості надійності ремонтпридатності, що надає визначальний вплив на технічну готовність (технічний стан) АБТ, яка в свою чергу залежить від періодичності профілактик. Середній час відновлення T_B АБТ зворотно протилежний інтенсивності відновлення μ , що становить кількість відновлень, виконаних за одиницю часу. Для комплексної оцінки необхідно використовувати

комбінацію одиночних показників, або вводити показники, що враховують більше властивостей надійності техніки. Тому виникає необхідність застосовувати більш інформативні показники стану техніки, що враховують можливість використання техніки на всьому періоді проведення спеціальної операції [10, 11]. Перелічені показники є одиночними показниками властивостей надійності безвідмовності та ремонтпридатності. Вони можуть визначатися окремо та у складі комплексного показника надійності. Оцінити технічний стан АБТ можна за допомогою комплексного показника надійності техніки коефіцієнта оперативної готовності ($K_{ог}$). Коефіцієнт оперативної готовності – це ймовірність того, що система виявиться в працездатному стані у будь-який момент часу, крім запланованих періодів, коли використання об'єкта за призначенням не передбачається, і починаючи з цього моменту, буде працювати безвідмовно протягом заданого періоду [10, 11].

Для практичних розрахунків формула для визначення коефіцієнту оперативної готовності, яка на даний час застосовується у НГУ, має вигляд

$$K_{ог}(t) = P(t) \cdot \frac{T_0}{T_0 + T_B} \left(1 + \frac{T_B}{T_0} e^{-\frac{T_0 + T_B}{T_0 T_B} t}\right),$$

де $P(t) = e^{-\lambda(t)}$ – ймовірність безвідмовної роботи для експоненціального закону розподілу випадкових величин;

λ – інтенсивність відмов техніки;

t – заданий час;

T_0 – середній час безвідмовної роботи;

T_B – середній час відновлення [10 – 12].

Тоді базова математична модель зміни технічного стану АБТ буде мати наступний вигляд:

Допущеннями даної моделі є:

Зміна технічного стану підпорядковується експоненціальному закону розподілу.

Для нових (після КР машин) $P(t) = 1$ при $t = 0$.

На періоді гарантійної експлуатації $P(t) = 1$.

$\lim_{t \rightarrow \infty} P(t) = 0$,

$dP(t) / dt \leq 0$;

$V_{сер.} = 25$ км/год.

Початкові умови:

При $t = t_{поч.експл.}$ $P(t) = 1$;

$t_{проф} \leq T_0$;

$$K_{ог}(t) = P(t) \cdot \frac{T_0}{T_0 + T_B} \left(1 + \frac{T_B}{T_0} e^{-\frac{T_0 + T_B}{T_0 T_B} t}\right);$$

$P(t) = e^{-\lambda t}$;

$T_0 = \frac{1}{\lambda}$;

$T_B = \frac{1}{\mu}$;

Проведено аналіз математичної моделі зміни технічного стану на прикладі оцінювання технічного стану парку АБТ військової частини 3052 в кількості 13 шт. протягом 1 року. Середня кількість відмов складає 10, середній час відновлення 16 годин. Побудовані графіки залежності Ко_г від протяжності маршруту (L) для п'яти категорій умов експлуатації (рис. 1).

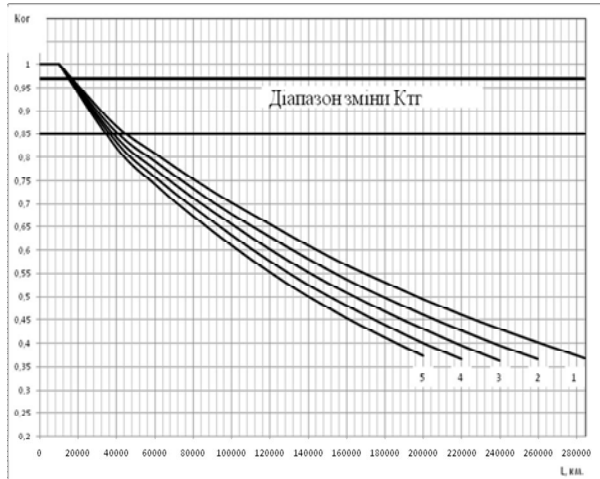


Рис. 1. Графік залежності зміни Ко_г від L для автомобіля ЗІЛ-130 в різних категоріях умов експлуатації

Із графіку можна зробити висновки, що при поступовому зростанні протяжності маршруту L, Ко_г зменшується на відміну від Ктг, який підтримується на постійно високому рівні та не відображує реальний технічний стан. Для різних категорій умов експлуатації зразки АБТ потребують капітального ремонту при різній витраті моторесурсу та при однаковому значенні Ко_г.

Таким чином, запропонована математична модель більш повно оцінює технічний стан АБТ:

- враховуються терміни безвідмовної роботи та знаходження в профілактичних обслуговуваннях і ремонтах.

- виникає можливість прогнозувати безвідмовну роботу АБТ протягом заданого періоду часу.

Запропонована математична модель не враховує вплив всього різноманіття умов роботи, кваліфікацію водіїв та інші фактори, що сприяють зміні технічного стану АБТ. Математична модель не враховує впливу експлуатаційних та ремонтно – обслуговуючих факторів на середній час відновлення АБТ.

Були проведені експериментальні дослідження, результатом яких стало отримання регресійних залежностей часу відновлення T_в АБТ НГУ в залежності від експлуатаційних та ремонтно-обслуговуючих факторів, що на нього впливають в польових та стаціонарних умовах експлуатації:

З урахуванням отриманих рівнянь регресії математична модель зміни технічного стану АБТ буде мати такий вигляд [13, 14]:

Допущеннями даної моделі є:

Зміна технічного стану підпорядковується експоненціальному закону розподілу.

Для нових (після КР машин) P(t) = 1

На періоді гарантійної експлуатації P(t) = 1 ;

lim_{t→∞} P(t) = 0,

dP(t) / dt ≤ 0 ,

Початкові умови:

При t = t_{поч.експл.} P(t) = 1 ;

t_{проф} ≤ T₀ ;

$$K_{OG}(t) = P(t) \cdot \frac{I_0}{1 + \lambda T_B} (1 + \lambda T_B e^{-\frac{1+\lambda T_B}{T_B} t}) ;$$

$$P(t) = e^{-\lambda t} ;$$

$$T_B = 46,125 - 7,375x_{п1} - 8,875x_{п2} - 0,125x_{п3} + 2,625x_{п1}x_{п2} + 2,875x_{п2}x_{п3} - 4,125x_{п1}x_{п2}x_{п3} .$$

Проведено аналіз математичної моделі зміни технічного стану на прикладі оцінювання технічного стану парку АБТ військової частини 3052 в кількості 13 шт. протягом 1 року. Середня кількість відмов складає 10, середній час відновлення 1 година, 1000 годин і 2000 годин. Час напрацювання до КР варіюється від 0 до 11360 год., що відповідає 284000 км. Побудовані графіки залежності Ко_г від t при різних значеннях T_в для автомобіля ЗІЛ - 130 (рис. 2).

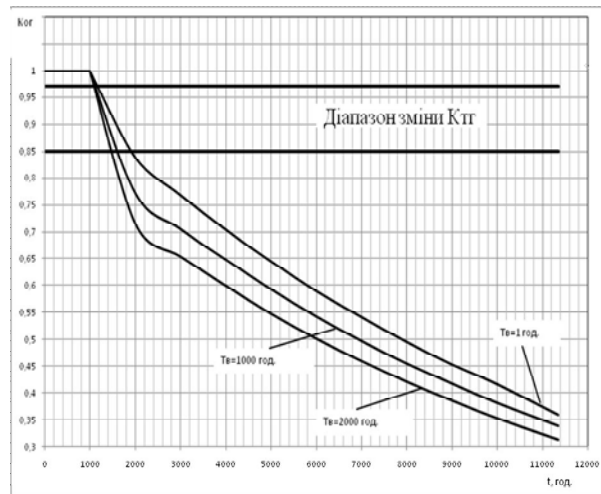


Рис. 2. Графік залежності зміни Ко_г від t при різних значеннях T_в для автомобілів ЗІЛ-130

Із графіку можна зробити висновки, що при поступовому зростанні часу напрацювання t, Ко_г зменшується на відміну від Ктг, який підтримується на постійно високому рівні та не відображує реальний технічний стан. Для різних категорій умов експлуатації зразки АБТ потребують капітального ремонту при різному часу напрацювання та при однаковому значенні Ко_г.

Протягом перших 1000 годин напрацювання автомобілів (гарантійний термін) вплив T_в на Ко_г

відсутній. В діапазоні 1000...1200 годин вплив T_B на $K_{ог}$ не значний. В діапазоні 1200...11000 годин різниця $K_{ог}$ при $t=2000$ годин складає максимальну, 1,18, а при $t=11000$ годин – 1,16.

Запропонована математична модель більш повно оцінює технічний стан АБТ та враховує:

- вплив різноманітних умов роботи, зміну експлуатаційних та ремонтно-обслуговуючих факторів.

- вплив експлуатаційних та ремонтно-обслуговуючих факторів на середній час відновлення АБТ.

Запропонована математична модель не враховує вплив всього різноманіття умов роботи, кваліфікацію водіїв та інші фактори, що сприяють зміні технічного стану АБТ.

У попередніх дослідженнях було отримано і доведено залежність ймовірності безвідмовної роботи автомобіля від сумарної витрати пального.

Враховуючи отримані рівняння регресії та сумарну витрату пального, що впливають на технічний стан АБТ, удосконалена математична модель зміни технічного стану АБТ буде мати наступний вигляд [16, 17]:

Допущеннями даної моделі є:

Зміна технічного стану підпорядковується експоненціальному закону розподілу.

На періоді гарантійної експлуатації $P(Q_{\Sigma}) = 1$.

Початкові умови:

При $t = t_{\text{поч.експл.}}$ $P(Q_{\Sigma}) = 1$;

$t_{\text{проф}} \leq T_0$; $T_{\text{ост}} \geq T_{\text{прог.операц}}$;

$T_{\text{ост}} = T_{\text{проф}} - T_i$; $K_{ог} = P(Q_{\Sigma}) \cdot K_{г}$;

$$K_{ог}(Q_{\Sigma}) = P(Q_{\Sigma}) \cdot \frac{1}{1 + \lambda T_B} (1 + \lambda T_B e^{-\frac{1 + \lambda T_B}{T_B} t});$$

$$P(Q_{\Sigma}) = e^{-Q_{i\Sigma}/Q_{\Sigma\text{норм.}}}; \quad Q_{\Sigma} = \sum_{i=1}^n Q_i;$$

$$Q_i = \frac{(Kt - 0,3 \cdot 10^{-2}t)(Kh + 0,057 \cdot 10^{-3}H)}{\eta_i} \times$$

$$\times [A i_k + B i_k^2 V_a + C(G_a \psi + 0,077 k F V_a^2)];$$

$$n = \frac{L}{100}; \quad A = \frac{7,95 a V_h i_0}{H_n \rho_T r_k}; \quad B = \frac{0,69 b V_h S_n i_0}{H_n \rho_T r_k^2};$$

$$C = \frac{100}{H_n \rho_T \eta_{тр}};$$

$$T_B = 46,125 - 7,375 x_{e1} - 8,875 x_{e2} - 0,125 x_{e3} + 2,625 x_{e1} x_{e2} + 2,875 x_{e2} x_{e3} - 4,125 x_{e1} x_{e2} x_{e3},$$

де t і H - відповідно температура повітря в градусах і висота над рівнем моря, м;

A , B і C - постійні для даного автомобіля коефіцієнти;

i_k - передавальне число коробки передач;

$G_a \psi$ - добуток ваги автомобіля в H і коефіцієнту сумарного опору дороги;

kF - фактор обтічності автомобіля, $Hc^2 m^{-2}$;

η_i - індикаторний ККД двигуна;

V_a - середня технічна швидкість, км/год;

$P(Q_{\Sigma})$ - ймовірність безвідмовної роботи;

Q_i - поточна витрата пального за певний період;

$Q_{\Sigma\text{норм.}}$ - нормативна сумарна витрата пального;

T_B - середній час відновлення;

K_t , K_h - відносні коефіцієнти зміни витрати пального в залежності від температури повітря та висоти над рівнем моря;

a , b - постійні коефіцієнти для кожного типу двигуна;

V_h - робочий об'єм циліндра, cm^3 ;

i_0 - передавальне число головної передачі;

H_n - нижча питома теплота згоряння пального, $кДж/кг$;

ρ_T - щільність пального, $г/см^3$;

r_k - радіус кочення колеса, м;

S_n - хід поршня, мм;

$\eta_{тр}$ - коефіцієнт корисної дії трансмісії;

L - протяжність маршруту.

Проведено аналіз залежності $K_{ог}$ від значень Q_{Σ} для різних значень загального напрацювання (рис. 3):

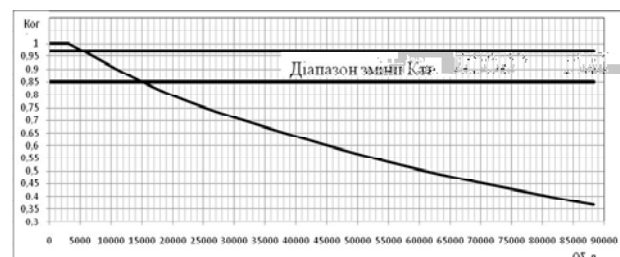


Рис. 3: Графік залежності $K_{ог}$ від Q_{Σ} для автомобіля ЗІЛ-130 від початку експлуатації до КР

Запропонована математична модель більш повно оцінює зміни технічного стану АБТ за рахунок:

- оцінки технічного стану за допомогою $K_{ог}$.

- інтегрального показника, який враховує різноманіття факторів впливу на зміну технічного стану – сумарної витрати пального;

- використання регресійних залежностей середнього часу відновлення (профілактик) від експлуатаційних та ремонтно-обслуговуючих факторів.

Даний графік дозволяє оцінювати технічний стан з використанням показника Q_{Σ} до капітального ремонту для групи вантажних автомобілів в різних категоріях умов експлуатації. Порівнюючи значення $K_{ог}$ з діапазоном зміни $K_{ог}$, виявилось, що $K_{ог}$ на протяжці всього періоду експлуатації залишається в межах значень, заданих директивно, а $K_{ог}$ поступово зменшується. Це наочно вказує на те, що $K_{ог}$

являється показником, який завдяки урахуванню великої кількості складових визначає дійсну зміну технічного стану та дозволяє в подальшому прогнозувати остаточний ресурс АБТ.

В даній математичній моделі значення Q_i може бути отримане за допомогою виразів, які враховують зміни умов експлуатації, або за допомогою приладів вимірювання витрати пального (витратомір), що дозволить більш точно визначати Ко_г.

Висновки

За результатами проведених теоретико-експериментальних досліджень була удосконалена математична модель зміни технічного стану та прогнозування остаточного ресурсу АБТ.

Для оцінки технічного стану та прогнозування залишкового ресурсу АБТ запропоновано використання комплексного показника властивостей надійності безвідмовності та ремонтпридатності – коефіцієнта оперативної готовності. Це дозволяє визначити готовність АБТ з урахуванням середнього часу безвідмовної роботи і середнього часу відновлення та визначивши ймовірність безвідмовної роботи прогнозувати технічний стан АБТ протягом певного терміну.

Список літератури

1. Про введення в дію Настанови з автомобільної служби внутрішніх військ МВС України [Текст] / Наказ МВС України від 21.11.2003 р. №1402.
2. Технічна експлуатація та надійність [Текст] / Є.Ю. Форнальчик, М.С. Оліскевич, О.Л. Мاستикаш, Р.А. Пельо. – Львів : Афіша, 2004. – 125 с.
3. Говоруценко Н.Я. Техническая эксплуатация автомобилей [Текст] / Н.Я. Говоруценко. – Х.: Вища школа, 1984. – 312 с.
4. Карташов В.П. Организация технического обслуживания и ремонта автомобилей [Текст] / В.П. Карташов, В.М. Мальцев. – М.: Транспорт, 1979. – 215 с.
5. Говоруценко Н.Я. Экономическая кибернетика транспорта [Текст] / Н.Я. Говоруценко, В.Н. Варфоломеев. – Х.: РИО ХГАДТУ, 2000. – 218 с.
6. Кузнецов Е.С. Положение о техническом обслуживании и ремонте подвижного состава автомобильного транспорта [Текст] / Е.С. Кузнецов – М.: Автотрансиздат, 1964. – 54 с.
7. Варфоломеев В.Н. Научные основы построения и реализации технологии поддержания автомобилей в работоспособном состоянии на базе диагностической информации [Текст]: дис ... докт. техн. наук / В.Н. Варфоломеев. – Х., 1992. – 360 с.
8. Говоруценко Н.Я. Техническая кибернетика транспорта [Текст]: учебное пособие / Н.Я. Говоруценко, В.Н. Варфоломеев. – Х.: ХГАДТУ, 2001. – 271 с.
9. Говоруценко Н.Я. Системотехника проектирования транспортных машин [Текст]: учебное пособие - Изд. 3-е испр. и доп. / Н.Я. Говоруценко, А.Н. Туренко. – Х.: ХНАДУ, 2004. – 208 с.
10. Авдуевский В.С. Надежность и эффективность в технике [Текст]: справочник в 10 т. Т. 2. Математические методы в теории надежности и эффективности / В.С. Авдуевский и др. – М.: Машиностроение, 1987. – 280 с.
11. Авдуевский В.С. Надежность и эффективность в технике [Текст]: справочник в 10 т. Т. 7. Качество и надежность в производстве / В.С. Авдуевский и др. – М.: Машиностроение, 1989. – 280 с.
12. Анілович В.Я. Надійність машин в завданнях та прикладах [Текст] / В.Я. Анілович, О.С. Гринченко, В.Л. Литвиненко. – Х.: Око, 2001. – 320 с.
13. Грушко И.М. Основы научных исследований [Текст] / И.М. Грушко, В.М. Сиденко – Х.: Вища школа, 1983. – 224 с.
14. Элементы теории вероятностей та математичної статистики [Текст] / В.І. Пахомов, В.Г. Книгавко, О.В. Зайцева, В.С. Клименко, В.Г. Каліманов, М.А. Бондаренко. – Х.: Харк. мед. ін.-т., 1992. – 85 с.
15. Пісарев В.П. Методологія та організація наукових досліджень : [навч. посіб.] / В.П. Пісарев. – Х.: Військ. ін-т ВВ МВС України, 2006. – 95 с.
16. Самарский А.А. Математическое моделирование: Идеи. Методы. Примеры / А.А. Самарский, А.П. Михайлов. – М.: ФИЗМАТЛИТ, 2005. – 266 с.

Надійшла до редколегії 11.09.2015

Рецензент: д-р техн. наук проф. Б.Т. Кононов, Харківський університет Повітряних Сил ім. І. Кожедуба, Харків.

СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ МАТЕМАТИЧЕСКОЙ МОДЕЛИ ИЗМЕНЕНИЯ ТЕХНИЧЕСКОГО СОСТОЯНИЯ АВТОБРОНЕТАНКОВОЙ ТЕХНИКИ

И.К. Шаша, А.О. Иванченко, В.А. Темников, И.В. Цебрюк

В статье приводятся результаты исследования по совершенствованию математической модели изменения технического состояния автобронетанковой техники с учетом индивидуальных особенностей и условий эксплуатации автобронетанковой техники.

Ключевые слова: техническое состояние, коэффициент оперативной готовности, коэффициент технической готовности, закон распределения, условия эксплуатации.

IMPROVED MATHEMATICAL MODEL TECHNICAL CHANGES OF AUTOARMORED VEHICLES

I.K. Shashai, A.O. Ivanchenko, V.O. Temnikov, I.V. Tsebryuk

The article presents the results of research to improve the mathematical model changes armored vehicles condition of equipment based on individual characteristics and conditions armored vehicles technology.

Keywords: technical condition, the ratio of operational readiness, technical readiness coefficient, Law distribution, operating conditions.