УДК 623.437.4

В'ячеслав Іванович Семенцов

Національний університет оборони України імені Івана Черняховського, Київ, Україна

МАТЕМАТИЧНА МОДЕЛЬ ПРОГНОЗУВАННЯ ТЕРМІНІВ СЛУЖБИ АВТОМОБІЛЬНИХ ЗАСОБІВ РУХОМОСТІ ОЗБРОЄННЯ

У статті запропонована математична модель прогнозування термінів служби автомобільних засобів рухливості озброєння тривалого терміну перебування в експлуатації з використанням положень теорії надійності.

Математична модель прогнозування розширює можливості отримання динамічної оцінки зміни технічного стану зразка автомобільних засобів рухливості озброєння тривалого терміну перебування в експлуатації з урахуванням впливу основних чинників.

Приведені аналітичні вирази для обліку основних показників моделі. Використовуються показники безвідмовності, через які виражена похідна від надійності − довговічність, що визначає доцільний термін експлуатації технічної системи, залежний від динаміки морального старіння системи і від витрат на підтримку її надійності в період експлуатації.

Розроблена поліноміальна модель дозволяє прогнозувати терміни служби для автомобільних засобів рухливості озброєння тривалого терміну перебування в експлуатації, задаючи умови і тривалість експлуатації.

Ключові слова: *автомобільні засоби рухомості озброєння; технічний стан; експлуатація; технічна готовність.*

Вступ

Одним з основних напрямів розвитку озброєння і військової техніки є проведення заходів продовження термінів служби виробів військового призначення тривалого терміну перебування в експлуатації, а також модернізація як існуючих так і перспективних зразків озброєння і військової техніки, у тому числі автомобільних засобів рухомості озброєння.

Постановка проблеми. Питання теорії надійності при експлуатації виробів військового призначення є актуальними при вирішенні проблеми прогнозування рівня довговічності автомобільних засобів рухомості озброєння тривалого терміну перебування в експлуатації [1, 3-5].

Етап реформування Збройних Сил вимагає перегляду застарілих та недостатньо обґрунтованих підходів до прогнозування технічного стані зразків озброєння. Але перш ніж удосконалювати систему модернізації озброєння і техніки необхідно розробити математичну модель, вибрати показники та критерії її оцінки і удосконалити методику прогнозування термінів служби зразків озброєння з метою встановлення її відповідності умовам сучасної збройної боротьби.

Аналіз останніх досліджень і публікацій.

Аналізуючи дослідження в області теорії надійності та експлуатації озброєння і військової техніки, як правило, обмежується використанням статистичних підходів і не завжди враховують динаміку зміни показників надійності, вплив стану елементної бази, під якою розуміється вплив окремих елементів на стан зразка і їх взаємозв'язок в цілому [1, 3,4,6].

Аналізуючи подібні моделі [1, 3-6] встановлено, що основна увага приділялась дослідженню питань технічного стану, експлуатації та ремонту, але такому показнику, як термін служби (ресурс) приділялась часткова увага.

Мета статті полягає в розробці математичної моделі прогнозування термінів служби автомобільних засобів рухомості озброєння тривалого терміну перебування в експлуатації.

Методи дослідження

Дослідження проводиться в рамках НДР шифр "Ремонт". Для досягнення поставленої мети обрані математичні методи оцінки та прогнозування технічних показників експлуатаційних якостей складних технічних систем. Дані методи дозволяють раціонально підійти до виконання завдання щодо обґрунтування продовження термінів служби автомобільних засобів рухомості озброєння.

Виклад основного матеріалу дослідження

Запропонуємо модель прогнозування термінів служби автомобільних засобів рухомості озброєння тривалого терміну експлуатації і можливостей отримання динамічної оцінки зміни технічного стану зразка в цілому [3-4].

Довговічність певною мірою є похідною від надійності (довговічність визначає, зрештою, доцільний термін експлуатації технічної системи, який залежить як від динаміки морального старіння системи, так і від витрат на підтримку її надійності протягом її життєвого циклу) [3-4].

Відомо також, що надійність залежить не лише від чисельних значень чинників [3-4], але і від того, яким чином ці чинники змінювалися в процесі експлуатації, у тому числі від календарної тривалості експлуатації виробу. Чисельні значення обраного набору чинників $\varphi_1(t), \varphi_2(t), ..., \varphi_m(t)$ в певний момент часу для кожного виробу складають вектор-функцію:

© В.І. Семенцов

$$\underline{\Phi}(t) = (\phi_1(t), \phi_2(t), ..., \phi_m(t)) \cdot \quad (1)$$

При цьому процес експлуатації автомобільних засобів рухливості озброєння може бути [4] поданий вектором віку $\underline{\Phi}(t)$ в так званому факторному просторі. У окремому випадку вектор віку може бути одновимірним.

Зробимо математичне формулювання завдання оцінки і прогнозування надійності автомобільних засобів рухливості озброєння.

Відомо [3-5], що вірогідність безвідмовної роботи зразка озброєння в заданому інтервалі часу, за умови, що у момент часу t_0 зразок озброєння справний, визначається співвідношенням:

$$P(t_0, t) = e^{-\int_{t_0}^{t} \widehat{\omega}(t)dt}, \quad (2)$$

де $\widehat{\omega}(t)$ - параметр потоку відмов.

Це співвідношення називається функцією надійності виробу. Вважатимемо, що надійність залежить від значення компонент вектору віку. Тоді функція надійності може бути записана таким чином:

$$P(t_0, t) = e^{-\int_{t_0}^{t} \widehat{\omega}(\underline{\Phi}(t))dt}, \quad (3)$$

для обчислення значення вірогідності $Ð(t_0, t)$ необхідно і достатньо знати значення параметра потоку відмов $\widehat{\omega}(\underline{\Phi}(t))$ в довільний момент часу.

Введемо функцію

$$\widehat{\omega}(\underline{\Phi}(t)) \cong \omega(\underline{B}, \underline{\Phi}(t)), \quad (4)$$

що може бути визначене набором параметрів

$$\underline{B} = (b_1, b_2, ..., b_n) \quad (5)$$

і що якнайкраще апроксимує закон зміни параметра потоку відмов $\widehat{\omega}(\underline{\Phi}(t))$. Функція $\widehat{\omega}(\underline{\Phi}(t))$ називається моделлю надійності. Число чинників T, які враховуються в моделі надійності, називаються розмірністю моделі по чинниках. Число параметрів моделі надійності ї назвемо розмірністю моделі за параметрами.

Вектор параметрів моделі B може бути лише приблизно оцінений у вигляді вектору оцінок $\underline{B} = (b_1, b_2, ..., b_n)$ за результатами періодичних контролів надійності автомобільних засобів рухливості озброєння. При цьому

$$\widehat{P}(t_0, t) = e^{-\int_{t_0}^{t} \omega(\underline{\widehat{B}}, \underline{\Phi}(t))dt}, \quad (6)$$

де $\omega(\underline{B}, \underline{\Phi}(t))$ - функція, випадкового векторного аргументу $\underline{B}$, який приблизно описує параметр потоку відмов, тобто

$$\omega(\underline{\widehat{B}}, \underline{\Phi}(t)) \cong \omega(\underline{\widehat{A}}, \underline{\Phi}(t)) \cong \widehat{\omega}(\underline{\Phi}(t)). \quad (7)$$

Іноді, користуючись термінологією факторного аналізу, функцію $\omega(\underline{B}, \underline{\Phi}(t))$ називають поверхнею відгуку. Таким чином, проблема обліку умов експлуатації автомобільних засобів рухливості озброєння при оцінці і прогнозуванні їх надійності і її похідної - довговічності, зводиться по суті до вибору виду апроксимуючої функції $\omega(\underline{B}, \underline{\Phi}(t))$, і знаходження способу отримання оцінки $\underline{\widehat{B}}$ вектору параметрів $\underline{B}$ цієї функції [3-4]. При цьому будуємо багатофакторну поліноміальну модель:

$$\omega(\underline{\widehat{B}}, \underline{\Phi}) = b_0 + \sum_{i=1}^{m} b_i \varphi_i + \sum_{i_1=1}^{m} \sum_{i_2=i_1}^{m} b_{i_1 i_2} \varphi_{i_1} \varphi_{i_2} + ... + \sum_{i_1=1}^{m} \sum_{i_2=i_1}^{m} ... \sum_{i_d=i_{d-1}}^{m} b_{i_1 i_2 ... i_d} \varphi_{i_1 i_2} ... \varphi_{i_d}. \quad (8)$$

у разі використання апарату регресійного аналізу цей поліном утворює так зване рівняння регресії. Через відомі переваги поліноміальної апроксимації, запропонована модель є найбільш зручною багатофакторною моделлю надійності автомобільних засобів рухливості озброєння. Коефіцієнти $b_i i = 1,2,...,m,$, у функції, при належному нормуванні вектору віку, характеризують міру впливу відповідного чинника на надійність зразка озброєння. Коефіцієнти визначають міру впливу на надійність виробів взаємодій другого і вищих порядків.

Для отримання оцінок параметрів багатофакторної поліноміальної моделі можуть бути використані добре відпрацьовані статистичні методи, зокрема метод найменших квадратів [2].

Для визначення терміну служби автомобільних засобів рухливості озброєння тривалого періоду експлуатації необхідно задати допустиме значення параметра потоку відмов, який характеризує стан технічної готовності виробів.

Розроблена поліноміальна модель дозволяє прогнозувати терміни служби автомобільних засобів рухливості озброєння, задаючи умови, тривалість експлуатації та технічний стан зразків.

Висновки й перспективи подальших досліджень

В результаті, який є найбільш важливим в теоретичному плані, за допомогою запропонованої моделі забезпечується можливість прогнозувати раціональні терміни служби автомобільних засобів рухливості озброєння тривалого терміну експлуатації, а також проводити заходи по їх відновленню до стану технічної готовності, здійснюючи подальшу модернізацію існуючих перспективних зразків.

Подальшим напрямом досліджень в цій галузі може бути розгляд закономірності зміни технічного стану зразків озброєння і військової техніки.

Література

1. Крижний А. В. Комплексне обгрунтування вимог щодо оновлення парку зенітних ракетних комплексів (систем)/ А. В. Крижний, П. В. Опенько, С. А. Новіцький // Збірник наукових праць НУОУ “Труди університету”. – 2011. – вип. №6 (105). – С. 51-62. **2. Линник Ю. В.** Метод наименьших квадратов и основы теории обработки наблюдений./ Юрий Владимирович Линник. – М.: ГИФМЛ, 1962. – 350 с. **3. Ковтуненко А. П.** Математическое моделирование в задачах исследования надежности технических систем / Ковтуненко А. П., Зубарев В. В., Ланецкий Б. Н., Зверев А. А. – К.: Книжное изд-во НАУ, 2006. – 236 с.

4. Ковтуненко А. П. Математические методы оценки и прогнозирования технических показателей эксплуатационных свойств радиоэлектронных систем / Ковтуненко А. П., В. В. Зубарев Л. Г. Раскин. - К.: Книжное изд-во НАУ, 2005. – 184 с. **5. Барлоу Р.** Статистическая теория надежности и испытания на безотказность / Р. Барлоу, Ф. Прошан; пер. с англ. И. А. Ушакова. – М.: Наука, 1985. 328 с. **6. Воронин А. Н.** Многокритериальные решения: модели и методы монография / Воронин А. Н., Зиатдинов Ю. К., Куклинский М. В. – К. : НАУ, 2011. – С.30-50.

МАТЕМАТИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ ПРОГНОЗИРОВАНИЯ СРОКОВ СЛУЖБЫ АВТОМОБИЛЬНЫХ СРЕДСТВ ПОДВИЖНОСТИ ВООРУЖЕНИЯ

Вячеслав Иванович Семенцов

Национальный университет обороны Украины имени Ивана Черняховского, Киев, Украина

В статье предложена математическая модель прогнозирования сроков службы автомобильных средств подвижности вооружения длительного периода пребывания в эксплуатации с использованием положений теории надежности.

Математическая модель прогнозирования расширяет возможности получения динамической оценки изменения технического состояния образца автомобильных средств подвижности вооружения длительного периода пребывания в эксплуатации с учетом влияния основных факторов.

Приведены аналитические выражения для учета основных показателей модели. Используются показатели безотказности, через которые выражена производная от надежности − долговечность, определяющая целесообразный срок эксплуатации технической системы, зависящий от динамики морального старения системы и от затрат на поддержание ее надежности в течении эксплуатации.

Разработанная полиномиальная модель позволяет прогнозировать сроки службы для автомобильных средств подвижности вооружения длительного периода пребывания в эксплуатации, задавая условия и продолжительность эксплуатации.

Ключевые слова: *автомобильные средства подвижности вооружения; техническое состояние; эксплуатация; техническая готовность.*

MATHEMATICAL MODEL FOR PREDICTING THE SERVICE LIFE OF WEAPONS MOBILITY MEANS

Viacheslav I. Sementsov

National Defence University of Ukraine named after Ivan Cherniakhovskyi, Kyiv, Ukraine

A mathematical model for predicting the service life of weapons mobility means of extended-period stay in operation based on the theory of reliability was proposed in this article.

The mathematical model for predicting expands the opportunities for dynamic assessment of changes in the technical condition of weapons mobility means of extended-period stay in operation, taking into account the main factors' influence.

The analytic expressions for accounting the basic model parameters are given. Used Reliability indexes, which express the derivative of reliability - durability, determining the appropriate service life of the technical system, which depends on the dynamics of the system obsolescence and on the costs for maintaining its reliability during operation, are used.

The developed polynomial model allows to predict the service life of weapons mobility means of extended-period stay in operation, specifying the conditions and operation time.

Keywords*: weapons mobility means; technical condition; operation; technical readiness.*

References

1. Kryzhnyi A.V., Openko P.V., Novitskyi S.A. (2011) Integrated explanations of requirements for renewing the anti-aircraft missile systems. [*Kompleksne obhruntuvannia vymoh shchodo onovlennia parku zenitnykh raketnykh kompleksiv (system)*], Kyiv, №6 (105), pp. 51-62. **2. Lynnyk Iu.V.** (1962) The method of the least squares and the basis of observations processing theory. [*Metod naymenshykh kvadratov y osnovy teoryy obrabotky nabliudenyi*], Moscow, p. 350. **3. Kovtunenko A.P.,** Zubarev V.V., Lanetskyi B.N., Zverev A.A. (2006) Mathematical modeling in problems of technical systems reliability study. [*Matematycheskoe modelyrovanye v zadachakh yssledovanyia nadezhnosty tekhnycheskykh system*], Kyiv, p. 236. **4. Kovtunenko A.P.,** Zubarev V.V., Raskyn L.H. (2005) Mathematical methods of assessment and prediction of the technical indexes of operational properties of electronic systems. [*Matematycheskye metody otsenky y prohnozyrovanyia tekhnycheskykh pokazatelei ekspluatatsyonnykh svoistv radyoelektronnykh system*], Kyiv, p.184. **5. Barlou R.,** Proshan F. (1985) Statistical theory of reliability and reliability test. [*Statystycheskaia teoryia nadezhnosty y yspytanyia na bezotkaznost*], Moscow, p. 328. **6. Voronin A.N.** (2011) Multicriteria decision: Models and Methods: Monograph. [*Mnogokriterialnie resheniya: modeli i metodi*], NAU, Kyiv. pp. 30-50.

Отримано: 08.04.2016 року.