

DOI: <https://doi.org/10.37129/2313-7509.2020.14.1.81-91>

УДК 623.4(075.3)

В.М. Герасимов¹**А.В. Головань¹**, к.т.н., доц.**В.Г. Головань¹**, к.т.н., проф.**А.М. Машталер²**, к.пед.н.<https://orcid.org/0000-0001-5650-2972><https://orcid.org/0000-0002-4451-4703><https://orcid.org/0000-0003-0042-8739>¹Військова академія (м. Одеса), Україна²Національна академія Державної прикордонної служби України імені Богдана Хмельницького, м. Хмельницький, Україна

МЕТОДИКА ПODOВЖЕННЯ ПОКАЗНИКІВ ДОВГОВІЧНОСТІ ЗРАЗКІВ ОЗБРОЄННЯ ТА ВІЙСЬКОВОЇ ТЕХНІКИ НА ЕТАПІ ЕКСПЛУАТАЦІЇ

Представлено аналіз змісту та особливостей робіт з подовження призначеного строку служби (ресурсу), розроблена методика визначення середнього значення залишкового ресурсу та зроблена оцінка необхідної кількості зразків ОВТ і тривалості їх спостережень при подовженні ресурсу.

Ключові слова: зразок, експлуатація, озброєння та військова техніка, ресурс, строк служби.

Постановка проблеми

Застосування озброєння та військової техніки (ОВТ) за призначенням в ході операції об'єднаних сил (ООС) на сході країни виявило суттєві недоліки щодо його надійності під час експлуатації. Ці недоліки, насамперед, обумовлені тим, що стан значної кількості зразків ОВТ, що знаходяться в експлуатації, наблизений до граничного.

По відношенню до зразків ОВТ, які були виготовлені 30 і більше років тому, ця проблема може бути частково вирішена шляхом коригування (подовження) призначеного строку служби (ресурсу).

Можливість та доцільність подовження строку дії призначених показників довговічності оцінюють на підставі: аналізу всієї накопиченої інформації про надійність і технічний стан зразків ОВТ протягом призначеного строку служби (ресурсу) на призначений час; результатів прогнозування надійності і технічного стану зразків ОВТ на продовжуваний період; результатів оцінки техніко-економічної ефективності подовження призначених показників.

Аналіз останніх досягнень і публікацій

Для реалізації збалансованих за часом і виділеними ресурсами планів технічного переоснащення Збройних Сил важливо враховувати досвід розробки та експлуатації ОВТ. Накопичений досвід показує, що в окремих випадках тривалість експлуатації ОВТ може перевищувати зазначені в технічній документації нормативні терміни. Це може відбуватися через невиправдано занижені терміни експлуатації, що вказані в технічній документації, недотримання календарних термінів завершення окремих етапів робіт щодо їх модернізації і заміни новими зразками, а також по ряду інших причин. Тому дуже важливо мати методики, за допомогою яких можна оцінювати можливість подовження строків експлуатації ОВТ. Іншими словами, мати методики розрахунку їх залишкового ресурсу для статистично значущою підтримки процесу прийняття рішень при реалізації планів їх розвитку. Окремі результати досліджень, які можна використовувати для апріорної оцінки зразків ОВТ, наведені, зокрема, в [1, 2]. У них, однак, не розглянуто практично важливе питання, щодо послідовності визначення середнього значення залишкового ресурсу зразків ОВТ та методики подовження термінів їх експлуатації.

Постановка завдання

Метою статті є аналіз робіт з подовження призначеного строку служби (ресурсу) зразків ОВТ на підставі даних про їх експлуатацію або із застосуванням методів прискореної витрати ресурсів і строку служби та визначення середнього значення їх залишкового ресурсу за результатами

експлуатаційних випробувань. Для вирішення поставленої задачі здійснено аналіз змісту та особливостей робіт з продовження призначеного строку служби (ресурсу), розроблена методика та зміст визначення середнього значення залишкового ресурсу та зроблена оцінка необхідної кількості зразків ОВТ і тривалості їх спостережень при подовженні ресурсу.

Виклад основного матеріалу дослідження

На сучасному етапі у Збройні Сили України інтенсивно постачаються як новітні, так і модернізовані зразки ОВТ. Однак, з урахуванням складної економічної ситуації, необхідності зосередження ресурсів на всебічне забезпечення ООС в Збройних Силах широко використовуються зразки ОВТ, які мають значні строки експлуатації. Зрозуміло, що ці зразки є дещо застарілими, як морально, так і фізично. Це, безумовно, ускладнює їх експлуатацію і потребує прийняття додаткових заходів, щодо її покращення.

В роботах щодо забезпечення надійності зразка ОВТ приймають участь споживач (замовник), підприємство-виробник зі своїми суміжниками та підприємство-розробник зі своїми суміжниками. Специфікою сьогодення є те, що роль розробника та виробника, по відношенню до зразків ОВТ, що виготовлені за радянські часи, зведена до нуля.

В процесі експлуатації відбувається старіння зразка ОВТ, яке визначається процесами фізичного старіння матеріалів, а також спільною дією різних видів внутрішніх і зовнішніх процесів та впливів, як механічних, так і кліматичних. Ці процеси і впливи викликають накопичення ушкоджень, розвиток дефектів, незворотні зміни властивостей матеріалів і, як наслідок, поступове зниження функціональної здатності складових частин і компонентів, що згодом призводить до несправності зразка ОВТ в цілому та досягнення їм граничного стану.

Під час експлуатації відмови зразка ОВТ виникають з багатьох причин. Відмови можуть бути викликані:

- впливом внутрішніх і зовнішніх навантажень, їх комбінацією і комплексною дією;
- старінням матеріалів;
- зносом;
- корозією.

Призначений строк служби (ресурс) є найбільш тривалим проміжком часу, який визначає можливий термін експлуатації будь-якого зразка ОВТ. Під час експлуатації зразка ОВТ протягом цього періоду на ньому проводяться різні види технічного обслуговування та поточний ремонт, який передбачає заміну складових частин, які відмовили або виробили призначений строк зі складу комплектів запасних частин. Технології з цих робіт, передбачені в експлуатаційній документації.

Встановлення призначених показників здійснюється переважно виходячи з вимог забезпечення безпеки експлуатації зразка ОВТ [3].

Одним з основних завдань щодо забезпечення надійності, які вирішуються на етапі експлуатації зразка ОВТ, є визначення можливості подовження призначеного строку служби (ресурсу) та планування заходів, що необхідні для цього. Можливість і доцільність подовження призначеного строку служби (ресурсу) зразка ОВТ визначається на основі відповідних критеріїв, а саме:

- рівня показників безвідмовності зразка ОВТ, які очікуються протягом періоду часу, що подовжується;
- збереження зразком ОВТ протягом періоду часу, що подовжується, характеристик щодо безпеки експлуатації;
- економічних витрат на виконання заходів, необхідних для подовження призначеного строку служби (ресурсу).

Одним із завдань під час подовження призначеного строку служби (ресурсу) зразка ОВТ є також визначення часових інтервалів для проведення необхідного виду ремонту (середнього або капітального) та об'єму цього ремонту.

Слід підкреслити, що після виконання n_1 виду ремонтних робіт ремонт на конкретний зразок ОВТ може бути встановлений новий призначений строк служби (ресурс) t_1 . Якщо ремонт виконаний з проведенням n_2 виду ремонтних робіт, то може бути встановлений новий призначений строк служби (ресурс) t_2 .

Під ремонтом розуміється комплекс операцій, спрямованих на відновлення справності і працездатності та строку служби (ресурсу) зразка ОВТ або його складових частин. При подовженні термінів експлуатації зразка ОВТ можуть проводитися планові види ремонту.

Ремонт будь-якого виду супроводжується встановленням певних гарантій і нових призначених показників довговічності зразка ОВТ на наступний період експлуатації.

Для проведення ремонту зразка ОВТ повинна бути розроблена ремонтна документація. У процесі виконання робіт з подовження призначеного строку служби (ресурсу) ця документація уточнюється в частині конкретного обсягу ремонту, необхідного для забезпечення потрібного призначеного строку служби (ресурсу) після ремонту.

Для деяких зразків ОВТ, після закінчення призначеного строку служби (ресурсу), роботи по його продовженню не проводяться, але експлуатація зразка ОВТ споживачем триває. Метод експлуатації зразка ОВТ з відновленням їх працездатності без розробки будь-яких спеціальних заходів щодо забезпечення подальшої експлуатації і без відправки зразка ОВТ в ремонтні органи чи на підприємство-виробник називається експлуатацією за технічним станом. Зазначений вид експлуатації передбачає, в разі виникнення відмови, відновлення працездатності зразка ОВТ або із застосуванням наявних у споживача запасних частин, або із залученням для відновлення фахівців підприємства-виробника або ремонтного органу.

Основна відповідальність при експлуатації зразка ОВТ за технічним станом покладається на споживача. Слід зазначити, що в процесі експлуатації реальний технічний стан більшості зразків ОВТ може бути визначено тільки при використанні їх за призначенням. При проведенні контролю в процесі технічного обслуговування зразка ОВТ його технічний стан визначається в тому обсязі, який передбачений інструкцією по експлуатації, тобто з проектною повнотою контролю. При цьому частка, як правило, високонадійних складових частин зразка ОВТ контролю не підлягає. До цих складових частин часто відносять базову складову частину (наприклад, корпус), елементи одноразової дії (наприклад, різні типи засобів піротехніки) та інші.

Але, як показує досвід експлуатації, і в цих складових частинах протягом певного часу можуть виникати відмови, які проявляються при використанні зразка ОВТ за призначенням і можуть привести до серйозних наслідків. З метою виключення появи таких відмов, особливо по складовим частинам, що визначають безпеку застосування, при переході на експлуатацію за технічним станом необхідне введення в якості додаткового виду технічного обслуговування операцій по контролю технічного стану складових частин, працездатність яких протягом призначених показників не перевірялася.

Вибір напрямків робіт з подовження призначеного строку служби (ресурсу) зразків ОВТ.

Як показує досвід експлуатації зразків ОВТ, вони зберігають свої основні технічні характеристики протягом деякого періоду часу понад призначений строк служби (ресурс). Визначення цього періоду часу і заходів, які повинні бути виконані на кожному зразку ОВТ, є основною метою робіт, що виконуються підприємством-розробником спільно зі споживачем і виробником зразка ОВТ.

Роботи з подовження призначеного строку служби (ресурсу) за способами їх виконання можна розділити на наступні напрямки:

- подовження призначених показників для зразка ОВТ на підставі даних його експлуатації;
- подовження призначених показників на основі результатів спеціально спланованих досліджень, із застосуванням методів прискореної витрати ресурсу (строку служби).

Вибір напрямку робіт з подовження призначених показників визначається споживачем за погодженням з розробником зразка ОВТ.

Роботи за першим напрямком можуть проводитися як із залученням результатів експлуатації всіх зразків ОВТ, що знаходяться в експлуатації, так і за результатами експлуатації, так званих, лідерних зразків ОВТ, що виділені із загальної кількості. При цьому експлуатація лідерних зразків ОВТ здійснюється за спеціальною програмою експлуатаційних випробувань, в якій повинен бути вказаний порядок робіт на кожному лідерному зразку ОВТ і порядок прискорених витрат кожного виду з призначених показників. Як правило, до складу лідерної групи включаються серійні зразки ОВТ перших років випуску.

При виконанні робіт за цим напрямком найбільш критичними за тривалістю будуть роботи з оцінки можливості збільшення призначеного строку служби (ресурсу), оскільки по іншим видам призначених показників рішення про їх збільшення можуть бути прийняті до закінчення призначеного строку служби (ресурсу) за результатами спеціально організованої прискореної перевірки цих показників. Наприклад, якщо на зразок ОВТ встановлено призначений строк служби, що дорівнює 15 рокам, і призначений ресурс, що дорівнює 60 000 годинам, то в разі безперервної роботи цього зразка ОВТ призначений ресурс може бути вироблений протягом 5-7 років. За результатами цих робіт може бути визначена можливість збільшення призначеного ресурсу по напрацюванню в межах встановленого раніше призначеного строку служби.

Експлуатаційні випробування лідерних зразків ОВТ проводяться споживачем спільно з підприємством – розробником і виробником. В процесі цих випробувань на місці експлуатації перевіряється відповідність часу виконання та обсягу технічного обслуговування встановленим вимогам, а також фіксуються відмічені відхилення, порушення умов експлуатації, відмови і несправності, що виникли, вжиті заходи щодо їх усунення, здійснюються заходи щодо вдосконалення системи експлуатації та щодо продовження призначеного строку служби (ресурсу). В процесі експлуатаційних випробувань перевіряється збереження зразком ОВТ своїх характеристик на всіх етапах експлуатації, якщо інше не обумовлено в програмі випробувань.

За матеріалами експлуатаційних випробувань, із залученням наявних статистичних даних по всьому парку зразків ОВТ, періодично за етапами подовження споживачем або підприємством – розробником проводиться оцінка показників безвідмовності зразків ОВТ, визначається динаміка зміни показників за строком служби (ресурсом) зразка ОВТ. Споживачем проводиться оцінка припустимого рівня зниження показників безвідмовності при продовженні призначеного строку служби (ресурсу).

У зв'язку з тим, що в процесі експлуатації в дуже рідкісних випадках можливе знаходження зразка ОВТ в межах граничних умов, а також не завжди є можливість проведення контролю технічного стану ряду його складових частин, частина лідерних зразків ОВТ після певного часу перебування в експлуатації направляється до розробника або виробника для проведення лабораторних досліджень. Метою цих досліджень є оцінка збереження працездатності зразка ОВТ або його окремих складових частин при граничних умовах.

Другий напрямок передбачає застосування прискорених методів витрати строку служби (ресурсу) зразка ОВТ. Основними роботами в цьому напрямку є лабораторні випробування.

До цих випробувань відносяться прискорені випробування на зберігання або витрати ресурсу з напрацювання, випробування з витрат ресурсу по транспортуванню і інші види. По завершенню цих випробувань проводяться випробування з перевірки працездатності в режимі застосування за призначенням.

У разі неможливості проведення випробувань зразка ОВТ в режимі застосування за призначенням, що часто обумовлено відсутністю стендового обладнання, зразок ОВТ розбирається на складові частини і проводяться випробування складових частин в цих режимах роботи.

При виникненні в процесі випробувань відмов, досліджуються причини їх виникнення та визначаються заходи щодо забезпечення експлуатації зразка ОВТ протягом нового призначеного строку служби (ресурсу) і час їх реалізації.

До заходів, які необхідно виконати з метою продовження призначеного терміну служби (ресурсу), можна віднести:

- зниження рівня безвідмовності зразка ОВТ до припустимого значення;
- проведення заміни деяких складових частин, комплектуючих виробів, деталей, складальних одиниць;
- зміна періодичності і обсягу технічного обслуговування зразка ОВТ або його окремих складових частин, при цьому можливе введення додаткових видів технічного обслуговування, що не передбачені раніше, а також збільшення кількості контрольованих параметрів і повноти контролю;
- зміна складу запасних частин як за номенклатурою, так і за кількістю;
- проведення автономного середнього ремонту окремих складових частин зразка ОВТ;
- проведення капітального ремонту зразка ОВТ або автономного капітального ремонту складових частин.

Для вирішення завдань за обома напрямками досліджень необхідно визначити об'єкти досліджень і перелік планованих робіт по кожному об'єкту, виходячи з конструктивних особливостей зразка ОВТ. Під об'єктом досліджень будемо розуміти складові частини і компоненти зразка ОВТ.

Перш за все, необхідно визначити базову частину зразка ОВТ і його складові частини. Під базовою частиною розуміють основну частину зразка ОВТ, що призначена для його компонування і встановлення інших складових частин. До базової складової частини слід віднести і складові частини, які конструктивно встановлені у зразку ОВТ таким чином, що, в разі їх відмови, для проведення їх ремонту або заміни потрібне істотне розбирання зразка ОВТ і при цьому таке розбирання можливо провести тільки на підприємстві – виробнику або в ремонтному органі.

Призначений строк служби (ресурс), що встановлений для базової частини, визначають значення призначеного строку служби (ресурсу) і інших призначених показників для зразка ОВТ в цілому.

Виділяються складові частини, технічний стан яких визначає безпеку зразка ОВТ на всіх етапах експлуатації, включаючи застосування за призначенням. Перелік цих складових частин формується на підставі переліку аварійних ситуацій, які можуть виникнути при експлуатації зразка ОВТ.

Визначаються складові частини зразка ОВТ, які з метою подовження призначеного строку служби (ресурсу) можуть бути замінені в процесі експлуатації на нові, або на яких можливе проведення середнього або капітального ремонту, без відправлення всього зразка ОВТ на ремонт.

Якщо за результатами робіт з подовження призначеного строку служби (ресурсу) буде визначено, що після якогось проміжку часу базова частина зразка ОВТ потребує капітального ремонту, то здійснюється капітальний ремонт усього зразка ОВТ. Після капітального ремонту зразка ОВТ встановлюється новий призначений строк служби або строк служби до наступного капітального ремонту. З урахуванням капітального ремонту загальний строк служби зразка ОВТ має вигляд

$$T = t_p + t_n + t_k, \quad (1)$$

де t_p – значення призначеного строку служби зразка ОВТ, що встановлене при його розробці;

t_n – додаткова величина призначеного строку служби, на яку збільшується його значення за результатами робіт з подовження;

t_k – значення призначеного строку служби зразка ОВТ, що встановлюється після проведення капітального ремонту.

За залежностями, що є аналогічними (1), визначаються значення інших призначених показників.

У зв'язку з тим, що в процесі капітального ремонту не відбувається повного відновлення матеріалів і елементів, що застосовуються в конструкції, а процеси, що визначають їх старіння, будуть відбуватися і протягом часу t_k , на певній партії перших зразків ОВТ, які пройшли капітальний ремонт також необхідне проведення досліджень розробником і виробником з метою визначення необхідності розробки будь-яких додаткових заходів з підтримки працездатності зразка ОВТ протягом знову встановленого призначеного строку служби.

Методика визначення середнього значення залишкового ресурсу зразка ОВТ за результатами експлуатаційних випробувань.

Під залишковим ресурсом слід розуміти вироблення зразком ОВТ відповідного виду ресурсу, починаючи з моменту закінчення призначеного ресурсу до переходу зразка ОВТ у граничний стан. Якщо R – ресурс зразка ОВТ від початку експлуатації до переходу його в граничний стан, то залишковий ресурс R_0 після часу T_0 визначається за формулою

$$R_0 = R - T_0. \quad (2)$$

Величина R_0 є випадковою величиною.

Значення величини R_0 можна розрахувати, або визначити за результатами експлуатації.

За результатами експлуатації групи зразків ОВТ точкову оцінку середнього значення залишкового ресурсу R_0 можна визначити за формулою [4]:

$$R_0 = \frac{\sum_{i=1}^m V_i + (n - k - m) \cdot t}{n - k}, \text{ при } k \neq n, \quad (3)$$

де n – кількість зразків ОВТ, за якими проведено спостереження протягом часу t щодо вироблення відповідного виду ресурсу;

t – величина вироблення відповідного виду ресурсу кожним зразком ОВТ в процесі спостережень понад призначений ресурс T_0 ;

k – кількість зразків ОВТ із n , що відмовили протягом часу T_0 ;

m – кількість зразків ОВТ, що відмовили при спостереженні за їх станом протягом часу t ;

V_i – величина виробленого ресурсу кожним i -м зразком ОВТ на інтервалі $(T_0, T_0 + t)$.

Розглянутий підхід визначення середнього значення залишкового ресурсу застосовуємо для тих складових зразка ОВТ, які, в разі виникнення відмови, відновленню або ремонту не підлягають, для них при виникненні відмови досягнуто граничний стан.

Залежність (3) може бути застосовна для оцінок залишкового ресурсу за результатами експерименту, під час проведення якого на групі з n зразків ОВТ виробляється тільки один вид ресурсу, наприклад, кожний зразок ОВТ тільки безперервно працює або тільки зберігається.

На практиці всі зразки ОВТ виробляють свої ресурси змішано, якийсь час працюють, транспортуються, знаходяться на зберіганні в різних умовах і так далі. У зв'язку з чим як для простих, так і для складних зразків ОВТ до проведення розрахунків за формулою (3) необхідно оцінювати відповідні еквівалентні значення параметрів t і V_i для j -го виду ресурсу. Еквівалентні значення величин t або V_i або для кожного з n зразків ОВТ визначаються за наступною формулою:

$$t = t_0 + \sum_{j=1}^J K_j \cdot r_j, \quad (4)$$

де t_0 – величина певного виду ресурсу, виробленого понад призначене значення;

J – кількість інших видів призначених ресурсів, встановлених для зразка ОВТ;

j – порядковий номер виду ресурсу;

r – величина j -го виду ресурсу, виробленого зразком ОВТ, понад встановлене значення;

K_j – коефіцієнт, що приводить значення j -го виду ресурсу, до значення виду ресурсу, що визначається.

Величину коефіцієнта K_j можна визначити за формулою

$$K_j = \frac{\omega_j}{\omega_0}, \quad (5)$$

де ω_j – значення параметра потоку відмов зразка ОВТ при виробленні j -го виду ресурсу;

ω_0 – значення параметра потоку відмов при виробленні еквівалентного значення частини оцінюваного ресурсу, що визначається за формулою (4).

Для складних зразків ОБТ, що підлягають відновленню при відмові комплектуючих елементів, середнє значення залишкового ресурсу можна визначити за формулою

$$R_0 = \frac{1}{P(T_0)} \int_0^t P(T_0 + Z) dZ, \quad (6)$$

де $P(T_0)$ – ймовірність безвідмовної роботи або ймовірність не виникнення відмови зразка ОБТ протягом призначеного ресурсу;

$P(T_0 + Z)$ – функція зміни ймовірності безвідмовної роботи або ймовірності не виникнення відмови зразка ОБТ на інтервалі $(T_0, T_0 + t)$, де $0 \leq Z \leq t$;

t – інтервал спостережень для оцінки середнього значення залишкового ресурсу.

Вид функції $P(T_0 + Z)$ визначається за результатами обробки статистичної інформації, що отримана за результатами спостережень при проведенні експлуатаційних випробувань.

Незміщена оцінка математичного очікування середнього значення залишкового ресурсу визначається за формулою

$$M(R_0) = \frac{R_0}{K_n(T_0)}, \quad (7)$$

де $K_n(T_0) = 1 - [1 - P(T_0)]^n$;

$P(T_0)$ – ймовірність безвідмовної роботи зразка ОБТ протягом часу T_0 .

В [4] показано, що довірчі інтервали для оцінки математичного очікування середнього значення залишкового ресурсу з довірчою ймовірністю a визначаються за наступними залежностями:

при малому числі спостережень ($n \leq 30$):

нижня довірча межа R_{0H} дорівнює

$$R_{0H} = M(R_0) - \frac{t}{2} \cdot \sqrt{\frac{1+a}{n \cdot (1-a)}}, \quad (8)$$

верхня довірча межа R_{0B} дорівнює

$$R_{0B} = M(R_0) + \frac{t}{2} \cdot \sqrt{\frac{1+a}{n \cdot (1-a)}}, \quad (9)$$

при досить великій кількості спостережень ($n > 30$):

нижня довірча межа дорівнює

$$R_{0H} = \frac{M(R_0)}{1 + \frac{X_a}{n}}, \quad (10)$$

верхня довірча межа дорівнює

$$R_{0B} = \frac{M(R_0)}{1 - \frac{X_a}{n}}, \quad (11)$$

В залежностях (10), (11) значення параметра X_a визначається за таблицями значень функції нормального розподілу $F(X_a)$, виходячи з умови:

$$F(X_a) = a/2, \quad (12)$$

де a – прийняте значення довірчої ймовірності.

Оцінка необхідної кількості зразків ОВТ і тривалості спостережень при продовженні ресурсу.

Одним із завдань, що вирішуються при розробці програми робіт по збільшенню призначеного строку служби (ресурсу), є визначення необхідної кількості зразків ОВТ для виконання досліджень і тривалості цих досліджень.

У технічній документації на кожний зразок ОВТ, як правило, встановлюють декілька видів призначених показників, мінімум – два види: призначений строк служби і призначений ресурс в межах призначеного строку служби, тому при плануванні необхідної кількості зразків ОВТ для спостережень необхідно враховувати цю обставину, а також визначити можливість перевірки та вироблення всіх видів ресурсів на одному зразку ОВТ.

Перш за все, повинні бути визначені види призначених показників, значення яких планується збільшити, а також визначені плановані кількісні значення цих показників. Наступним етапом є визначення послідовності вироблення різних видів ресурсів на одному зразку. Спочатку виробляється ресурс t_1 , потім ресурс t_2 і так далі.

Найбільш тривалим за часом є процес оцінки можливості збільшення призначеного строку зберігання, в зв'язку з чим роботи за цим показником проводяться з початку виконання досліджень. У загальному випадку застосовується наступна послідовність виконання робіт:

- перевірка можливості збільшення призначеного строку зберігання;
- перевірка можливості збільшення призначеного ресурсу по транспортуванню;
- перевірка можливості збільшення призначеного ресурсу по напрацюванню.

Слід зазначити, що всі вказані вище види призначених ресурсів для відповідного зразка ОВТ можуть перевірятися при різних умовах. Наприклад, при перевірці ресурсів по транспортуванню може перевірятися ресурс по транспортуванню залізницею, ресурс по транспортуванню автотранспортом, ресурс по транспортуванню авіацією тощо.

Як правило, в процесі досліджень перевіряється можливість збільшення якого-небудь одного виду призначеного показника при, найбільш жорстких умовах експлуатації, з метою виявлення найбільш слабких місць в конструкції і в цілях економії фінансових витрат.

У разі виконання робіт з подовження ресурсів зразка ОВТ, що знаходяться в експлуатації, необхідна кількість зразків для проведення робіт по кожному виду ресурсу визначається за формулою [5]

$$n \geq \text{ent} \left[\frac{a}{4 \cdot (1-a)} \left(1 + \frac{R_{0H}}{t - R_{0H}} \right)^2 \right], \quad (13)$$

де n – кількість зразків ОВТ, що необхідна для спостережень;

t – плановане значення періоду спостережень понад призначений ресурс T_0 , $t > R_{0H}$;

R_{0H} – нижня довірча межа для середнього значення залишкового ресурсу;

a – довірча ймовірність;

$\text{ent}[b]$ – ціла частина числа b , укладеного в квадратних дужках.

При плануванні доцільно встановлювати нижню довірчу межу для середнього значення залишкового ресурсу, що дорівнює величині, на яку планується збільшити встановлене раніше значення призначеного ресурсу.

Із залежності (13) видно, що кількість зразків ОВТ для спостережень залежить від тривалості спостережень t . Чим більше значення t , тим менша кількість зразків ОВТ потрібна для досліджень.

З використанням залежності (13) визначається необхідна кількість зразків ОВТ для виконання робіт по кожному призначеному показнику, відповідно n_1, n_2, n_3, \dots . Потім з отриманого ряду значень $\{n\}$ обирається максимальне значення кількості зразків за умовою

$$N = \max \{ n_1, n_2, n_3, \dots \}. \quad (14)$$

На кількості зразків ОВТ N повинні проводитися роботи з оцінки можливості подовження призначених показників в планованому обсязі. При цьому по кожному з цих N визначається часова послідовність виконання робіт з вироблення кожного виду ресурсу зразка ОВТ.

Для проведення робіт з дослідження можливості збільшення різних видів ресурсів може знадобитися різна кількість зразків ОВТ. За умовою (14) обирається для спостережень або досліджень максимальна кількість зразків ОВТ. Після проведення розрахунків за формулою (13) і вибору необхідної кількості зразків ОВТ за умовою (14) доцільно провести уточнення планової тривалості спостережень для тих видів ресурсів, які потребують для досліджень необхідну кількість зразків ОВТ $n_j < N$. Уточнення планової тривалості проводиться за формулою

$$t = \frac{R_{0H}}{1 - 0,5 \cdot \sqrt{\frac{a}{N \cdot (1-a)}}} \quad (15)$$

Розрахунки необхідної кількості зразків ОВТ і тривалості спостережень із залежностей (13) - (15) в основному слід використовувати при плануванні робіт на зразках ОВТ, що знаходяться в експлуатації. Поряд з цими залежностями як для виконання робіт на зразках ОВТ, що знаходяться в експлуатації, так і для випадку проведення робіт з дослідження можливості подовження призначених ресурсів із застосуванням лабораторних досліджень, планування необхідної кількості зразків може здійснюватися із застосуванням методів, що використовуються для планування випробувань на безвідмовність.

Висновки

Проведений аналіз робіт з продовження призначеного строку служби (ресурсу) зразків ОВТ свідчить про доцільність використання саме цього інструмента покращення їх надійності при експлуатації. Перед усім, це стосується зразків ОВТ, які були прийняті на озброєння понад 30 років тому. Крім того, запропоновані послідовність і зміст вирішення задач визначення середнього значення залишкового ресурсу зразків ОВТ за результатами досліджень та випробувань в процесі їх експлуатації. В умовах сурової економії та обмеженості ресурсів вкрай важливою є задача оцінки необхідної кількості зразків ОВТ і тривалості спостережень при продовженні ресурсу.

Перспективи подальших досліджень

При подальших дослідженнях слід зосередитися на економічній оцінці величини ресурсу, що подовжується. Дійсно, вирішення задач покращення надійності при експлуатації зразків ОВТ шляхом подовження ресурсу, пов'язано з певними економічними витратами. Доцільно ретельно оцінювати ці витрати та з'ясувати, яким може виявитися залишковий ресурс при обмеженнях на кошти, що виділяються на підтримку в працездатному стані і експлуатацію ОВТ. Це дає можливість прийняття обґрунтованих рішень, щодо проведення робіт щодо продовження ресурсу зразків ОВТ старого парку, або придбання нових зразків. А це, в кінцевому результаті, дає змогу зекономити такі необхідні в теперішній час ресурси.

Список використаних джерел

1. Андрушко М.В. Аналіз впливу надійності виробу на ресурсні показники. Взаємна залежність. // Системи озброєння і військова техніка, 2016, № 2(46). – С. 67-69.
2. Будур О.М., Головань А.В., Головань В.Г. Напрямки прогнозування ресурсу артилерійських систем. Збірник тез доповідей Міжнародної науково-практичної конференції «Спільні дії військових формувань і правоохоронних органів держави: проблеми та перспективи», Військова академія (м. Одеса), м. Одеса, 10-11 вересня 2020р. – Одеса: ВА, 2020. – С.41-42.

3. ДСТУ В-П 15.702:2019. Система розроблення і поставлення на виробництво озброєння та військової техніки. Установлення та продовження строку дії призначених показників. Основні положення. [На заміну ГОСТ В 15.702-83; чинний від 2021-01-01]. Вид. офіц. Київ : Мінекономрозвитку України, 2019. 15 с. (Інформація та документація).

4. Животкевич И.Н., Смирнов А.П. Надежность технических изделий – М.: Институт испытаний и сертификации вооружений и военной техники, 2004 – 472 с.

5. Садыхов Г.С., Лапина Е.И. Исследование процессов старения и оценка остаточного ресурса основных конструкционно-технологических групп изделий электронной техники //Качество и надежность изделий. – 1992. – N 4(20). – С. 3–58.

References

1. Andrushko, M.V. (2016). Analiz vplyvu nadiinosti vyrobu na resursni pokaznyky. Vzaiemna zalezhnist. [Analysis of the impact of product reliability on resource indicators. Interdependence]. *Systemy ozbroiennia i viiskova tekhnika – Weapons systems and military equipment*. 5, 67-69 [in Ukrainian].

2. Budur, O.V., Holovan, A.V., & Holovan, V.H. (2020). Napriamky prohnovuvannia resursu artyleriiskykh system [Directions of forecasting the resource of artillery systems]. *Zbirnyk tez dopovidei Mizhnarodnoi naukovo-praktychnoi konferentsii «Spilni dii viiskovykh formuvan i pravookhoronnykh orhaniv derzhavy: problemy ta perspektyvy» – Collection of abstracts of the International scientific-practical conference «Joint actions of military formations and law enforcement agencies of the state: problems and prospects»*, Odessa: Odessa Military Academy, 41-42. [in Ukrainian].

3. *Systema rozroblennia i postavlennia na vyrobnytstvo ozbroiennia ta viiskovoi tekhniky. Ustanovlennia ta prodovzhennia stroku dii pryznachenyykh pokaznykiv. Osnovni polozhennia. [System of development and supply of weapons and military equipment. Establishing and extending the validity of the assigned indicators. Substantive provisions]*. DSTU V-P 15.702:2019 from 01January 2021. Kyiv: Minekonomrozvytku Ukrainy [in Ukrainian].

4. Zhyvotkevych, Y.N., & Smyrnov, A.P. (2004). Nadezhnost tekhnicheskyykh yzdelyi [Reliability of technical products]. Moscow, Institut ispytaniy i sertifikatsii vooruzheniy i voennoy tehniky. [in Russian].

5. Sadyihov G.S., & Lapina E.I. (1992). Issledovanie protsessov stareniya i otsenka ostatochnogo resursa osnovnyih konstruksionno-tehnologicheskikh grupp izdeliy elektronnoy tehniky. [Investigation of aging processes and assessment of the residual life of the main structural and technological groups of electronic products]. *Kachestvo i nadezhnost izdeliy – Quality and reliability of products*, 4, 3-50 [in Russian].

Рецензент: Петрушенко М.М., доктор технічних наук, професор, Військова академія (м. Одеса), Україна

МЕТОДИКА ПРОДЛЕНИЯ ПОКАЗАТЕЛЕЙ ДОЛГОВЕЧНОСТИ ОБРАЗЦОВ ВООРУЖЕНИЯ И ВОЕННОЙ ТЕХНИКИ НА ЭТАПЕ ЭКСПЛУАТАЦИИ

В. Герасимов, А. Головань, В. Головань, А. Машталер

Представлен анализ содержания и особенностей работ по продлению назначенного срока службы, разработана методика определения среднего значения остаточного ресурса и произведена оценка необходимого количества технических изделий и продолжительности наблюдений при продлении ресурса.

Это необходимо в связи с тем, что состояние значительного количества образцов вооружения, находящихся в эксплуатации, близко к предельному.

Проведенный анализ работ по продлению назначенного срока службы (ресурса) образцов вооружения и военной техники свидетельствует о целесообразности использования именно этого инструмента улучшения их надежности при эксплуатации.

Ключевые слова: *техническое изделие, эксплуатация, срок службы, продление ресурса.*

PROCEDURE FOR EXTENDING DURABILITY INDICATORS OF WEAPONS AND MILITARY EQUIPMENT AT THE OPERATION STAGE

V. Herasimov, A. Holovan, V. Holovan, A. Mashtaler

An analysis of the content and features of works on the extension of the assigned service life is presented, a method for determining the average value of the residual resource is developed, and the necessary number of technical products and the duration of observations for the extension of the resource are estimated.

The experience of the Joint Forces operation in the east of the country has revealed significant shortcomings in the reliability of armaments and military equipment during operation, which are primarily due to the fact that the condition of a significant number of samples of weapons in operation is close to the limit.

Therefore, it is considered appropriate, based on the analysis of the content and features of work to extend the service life (resource) of samples of weapons and military equipment, to develop a methodology for determining the average value of residual resources and assess the required number of samples of weapons and duration of observations.

For most models of armaments and military equipment involved in a joint force operation, this problem can be partially addressed by adjusting (extending) the assigned service life (resource).

The accumulated experience of development and operation of armaments and military equipment shows that in some cases the duration of operation of armaments may exceed the normative terms specified in the technical documentation. Therefore, it is very important to have methods for calculating their residual resource for statistically significant support of the decision-making process in the implementation of their development plans.

To achieve the result, work on extending the assigned service life (resource) of weapons samples is analyzed on the basis of data on their operation or using methods of accelerated consumption of resources and service life and determine the average value of their residual life based on operational tests. To solve this problem, an analysis of the content and features of work to extend the service life (resource), developed a method and content for determining the average value of the residual resource and estimated the required number of samples of weapons and the duration of their observations when extending the resource.

The analysis of works on extension of the appointed service life (resource) of samples of armament and military equipment testifies to expediency of use of this tool of improvement of their reliability at operation.

Further research should focus on the economic assessment of the size of the resource that is being extended, as solving the problem of improving the reliability of the operation of weapons models by extending the resource is associated with certain economic costs. And this, in the end, saves the much-needed resources.

Keywords: *technicalproduct, operation, servicelife, lifeextension.*