

УДК 355.6

П.С. Закусило

Центральний науково-дослідний інститут Збройних Сил України, Київ

ВЗАЄМОЗВ'ЯЗОК ОСНОВНИХ ПОКАЗНИКІВ ЕКСПЛУАТАЦІЇ ТА ПЛАНОВОГО РЕМОНТУ ЗРАЗКІВ ОЗБРОЄННЯ ТА ВІЙСЬКОВОЇ ТЕХНІКИ З ЕКОНОМІЧНИМИ ПОКАЗНИКАМИ

Розглянуто взаємозв'язок між календарним строком служби, міжремонтним строком експлуатації, тривалістю планових ремонтів зразків озброєння та військової техніки з економічними показниками, з урахуванням яких визначаються показники експлуатації та планових ремонтів озброєння та військової техніки.

Ключові слова: вартість, експлуатація, зразок озброєння та військової техніки, ремонт, строк служби,

Вступ

Постановка проблеми в загальному вигляді.

Визначення можливих (прийнятних) значень показників, які характеризують експлуатацію і планові ремонти зразків ОВТ, повинно здійснюватися з урахуванням факторів економічного характеру, які значною мірою визначають дисципліну експлуатації й ремонту зразків ОВТ, що підтверджується досвідом експлуатації й ремонту ОВТ, наприклад, в сухопутних військах США [1]: “Була досліджена загальна вартість радіоелектронної апаратури за перші п'ять років її експлуатації в сухопутних військах. Виявилося, що початкові затрати на придбання апаратури складають тільки одну четверту загальних затрат протягом п'яти років. Більша частина затрат зумовлена обслуговуючим персоналом, ремонтом і витратами на заходи із запасними частинами”. Подібне відмічалось в пресі також і відносно радіоелектронної апаратури ВПС США [2]: “Відомо, що затрати ВПС США по обслуговуванню складають близько двох доларів в рік на долар вартості радіоелектронної апаратури літака. Якщо прийняти, що ці затрати лінійно залежать від часу, то обладнання літака вартістю 1 млн. доларів обійдеться за п'ять років експлуатації в 10 млн. доларів експлуатаційних витрат”.

Неузгодженість основних показників експлуатації й планових ремонтів зразка ОВТ, яка існує на сьогоднішній день, пояснюється тим, що взаємозв'язок між ними встановлюється емпіричним шляхом, без достатньо строгого обґрунтування через відсутність необхідної для цього теорії обґрунтування основних показників таких найважливіших стадій життєвого циклу зразка ОВТ, якими є експлуатація й плановий ремонт. Крім того, зазначені показники повинні бути економічно обґрунтованими. Таким чином, визначення взаємозв'язку основних показників експлуатації та планового ремонту зразків ОВТ з економічними показниками, що є основою для обґрунтування календарного строку служби, міжремонтного строку експлуатації зразка ОВТ, є питанням актуальним.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Проведений аналіз літератури стосовно розглядуваної галузі свідчить про те, що питання визначення показників, які характеризують експлуатацію та планові ремонти зразків ОВТ, розглядалися в більшості джерел абстрактно, мають описовий характер [3 – 6]. Одним з недоліків зазначених публікацій є те, що між зазначеними показниками взаємозв'язок встановлюється емпірично, без достатньо строгого обґрунтування. До того ж, це проводилося без урахування оптимальних значень календарного строку служби, міжремонтного строку експлуатації та тривалості планових ремонтів зразка ОВТ. На сьогодні запропоновано новий підхід до визначення оптимальних значень показників експлуатації і планових ремонтів зразків ОВТ з урахуванням взаємозв'язків між ними [7; 8]. Важливе значення при експлуатації та планових ремонтах зразків ОВТ мають економічні показники, які характеризують зазначені етапи життєвого циклу зразка ОВТ. Виходячи з зазначеного, є необхідність у встановленні взаємозв'язків між показниками, які характеризують експлуатацію та планові ремонти зразків ОВТ, та вартісними характеристиками, які стосуються експлуатації та планових ремонтів зазначених зразків.

Тому **метою статті** є розгляд взаємозв'язку основних показників експлуатації та планового ремонту зразків озброєння та військової техніки з економічними показниками.

Виклад основного матеріалу дослідження

До основних показників експлуатації й планового ремонту зразка ОВТ належать: календарний строк служби T , міжремонтний строк експлуатації t_e , а також час t_p , який відводиться на плановий ремонт зразка ОВТ, і як узагальнення цих величин – кількість циклів n експлуатації й планового ремонту, зв'язок між якими наведено на рис. 1.

Розглянемо взаємозв'язок основних показників експлуатації та планового ремонту зразків ОВТ з середньорічними витратами на їх експлуатацію та

планові ремонти. Сумарні затрати Z протягом усього календарного строку служби T зразка ОБТ, які складаються із затрат C' на придбання (одноразові, виробничі затрати) зразка вартістю C_0 (його проектування, розроблення, безпосереднє виробництво, випробування) за винятком вартості реалізованих залишків $C_{\text{зал}}$ (ліквідаційної вартості, порядку (10 - 25) % від початкової вартості зразка C_0) при знятті зразка ОБТ з експлуатації, а також із затрат на експлуатацію $C_e(T)$ і планові ремонти $C_p(T)$, які в загальному випадку змінюються протягом часу T .

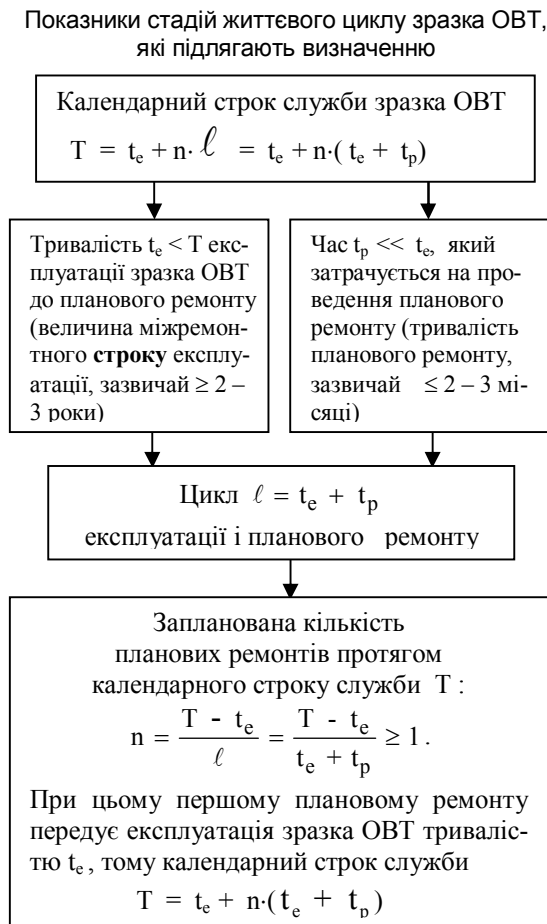


Рис. 1. Взаємозв'язок між основними показниками експлуатації й планових ремонтів зразка ОБТ

Економічна оцінка експлуатаційних властивостей зразка ОБТ може здійснюватися за допомогою коефіцієнта вартості експлуатації K_{ce} відносно виробничих затрат, пов'язаних з виробництвом зразка C_0 :

$$K_{ce} = C_e \cdot T / C_0, \quad (1)$$

де C_0 – початкова вартість зразка ОБТ з урахуванням забезпечення необхідного значення імовірності його безвідмовної роботи $P_{\text{вим}}$; C_e – усереднена за календарний строк служби T зразка ОБТ величина середньорічних затрат на експлуатацію зразка ОБТ.

При цьому затрати на його експлуатацію зазвичай включають затрати, пов'язані з використанням зразка за призначенням, з транспортуванням (при

необхідності) зразка, вартість утримання обслуговуючого персоналу, адміністративні затрати, затрати на поточний ремонт і технічне обслуговування, вартість витраченої електроенергії, витратних матеріалів, у тому числі пально-мастильних матеріалів, затрати на запасні частини, допоміжну апаратуру (обладнання) і ін., які залежать від тривалості експлуатації й ступеню вироблення ресурсу. Досвід експлуатації й ремонту складних технічних зразків ОБТ свідчить про те, що, наприклад, середньорічні затрати C_e на експлуатацію комплексного зразка ОБТ можуть скласти не менше 10% від його початкової вартості C_0 , тобто $C_e \geq 0,1 \cdot C_0$.

У загальному випадку сумарні затрати Z протягом усього календарного строку служби T зразка ОБТ, таким чином, складуть величину

$$Z = C' + C_e(T) + C_p(T), \quad (2)$$

де $C' = C_0 - C_{\text{зал}}$ – затрати, які можна назвати “корисними” з точки зору використання зразка ОБТ за призначенням; Z – сумарні затрати з урахуванням затрат на експлуатацію й планові ремонти протягом усього календарного строку служби T зразка ОБТ; $C_e(T)$, $C_p(T)$ – загальні затрати на експлуатацію й планові ремонти зразка ОБТ за його календарний строк служби T ; $C_{\text{зал}}$ – ліквідаційна (залишкова) вартість при знятті зразка з експлуатації і подальшим списанням: $C_{\text{зал}} \approx (0,10 - 0,25) \cdot C_0$.

Зміна (підвищення) у часі затрат $C_e(T)$ на експлуатацію протягом строку служби T зразка ОБТ може відбуватися внаслідок збільшення кількості відмов його комплектуючих елементів, їх старіння, зношення, закінчення міжремонтного строку експлуатації зразка і може виражатися на основі досвіду експлуатації, наприклад, ступеневим законом:

$$C_e(T) = C_e \cdot T^\alpha, \quad (3)$$

де α – показник експлуатаційних затрат, який визначається величиною відпрацьованого ресурсу, тривалістю експлуатації, інтенсивністю використання, умовами експлуатації зразка ОБТ (район, місце, кваліфікація обслуговуючого персоналу і т.і.). Зазвичай $\alpha \geq 1 \div 2$. Відмітимо, що (3) записане без урахування кінцевого часу T_0 напрацювання зразка ОБТ на відмову, тобто в передбаченні, що $T_0 \ll T$ або $T_0 \ll t_e$. Якщо ж урахувати і величину $T_0 \geq -t_e / \ln P_{\text{вим}}$ відносно t_e , то врахування обмеженої технічної надійності зразка ОБТ в експлуатаційних витратах за призначенням (календарний) строк служби T можна здійснити введенням множника $(t_e - T_0) / t_e$ в (3). У цьому випадку [9]:

$$C_e(T) = (t_e - T_0) / t_e \cdot C_e \cdot T^\alpha = (1 - T_0 / t_e) \times C_e \cdot T^\alpha = (1 + 1 / \ln P_{\text{вим}}) \cdot C_e \cdot T^\alpha, \quad (4)$$

де $C_e \geq 0,1 C_0$, $\alpha \geq 1 \div 2$.

Звідси видно, що зі зростанням $P(t)_i = P_{\text{вим}}$, T_0 загальна, результуюча величина експлуатаційних витрат зменшується. Очевидно, що при $T_0 = t_e$ (зразок ОВТ працює безвідмовно протягом міжремонтного строку експлуатації t_e) $C_e(T) = 0$.

Зміни у часі величини затрат $C_p(T)$ на проведення планових ремонтів зразка ОВТ зумовлюється рівнем його зношення, величиною витраченого ресурсу і може відобразитися, як показує досвід ремонту, наприклад, аналогічно (3):

$$C_p(T) = C_p \cdot T^\delta, \quad (5)$$

де δ – показник, встановлений дослідним шляхом для ремонтно-відновлювальних робіт у галузі стосовно певного виду (групи, типу) ОВТ (зазвичай $\delta > 1 \div 3$, при цьому $\delta \geq \alpha$); C_p – усереднена за календарний строк служби T зразка ОВТ величина середньорічних затрат на всі його планові ремонти, прогнозована кількість яких може становити n . При цьому в середньому затрати $C_B = (0,7 \div 0,8) \cdot C_{\text{зал}}$ і на проведення одного, i -го, планового ремонту (вартість ремонтно-технологічного обладнання, необхідних матеріалів, заміна деталей, вузлів, агрегатів зразка ОВТ, що ремонтується, які вийшли з ладу або з обмеженим ресурсом, залучення спеціалістів-ремонтників відповідної кваліфікації і ін.) визначаються аналогічно (1) таким чином:

$$C_B = C_p \cdot T/n \leq (0,7 \div 0,8) \cdot C_{\text{зал}}$$

і можуть у середньому складати (20 – 30) % від його початкової вартості C_0 зразка ОВТ (n – планована кількість (зазвичай 2–3) планових ремонтів протягом усього календарного строку служби T зразка ОВТ; $C_{\text{зал } i} = C_i$ – залишкова вартість зразка ОВТ перед i -м планованим ремонтом). Звідси випливає, що величина, наприклад, щорічних відчислень коштів на планові ремонти $C_p = C_B \cdot n/T$ при $n/T \approx 0,2 \div 0,3$ може складати порядку (4 – 10) % від початкової вартості C_0 зразка ОВТ. При цьому слід врахувати, що в загальному випадку вартість планового ремонту C_B може бути неоднаковою, залежною від кількості проведених ремонтів протягом календарного строку служби зразка ОВТ, оскільки ступінь зношення елементів і номенклатура “старіючих” елементів зразка збільшується по мірі витрачання його ресурсу R від ремонту до ремонту.

Таким чином, сумарні затрати Z протягом усього призначеного (календарного) строку служби T зразка ОВТ (2) складають наступну величину:

$$Z = C' + C_e \cdot T^\alpha + C_p \cdot T^\delta, \quad \delta \geq \alpha. \quad (6)$$

Сумарні середньорічні затрати на зразок ОВТ складуть величину:

$$C = C(T) = Z / T = C' / T + C_e \cdot T^{\alpha-1} + C_p \cdot T^{\delta-1} \quad (7)$$

$$\alpha \geq 1 \div 2; \quad \delta > 1 \div 3; \quad \delta \geq \alpha; \\ C_e \geq 0,1 C_0, \quad C_p \geq (0,04 \div 0,1) C_0.$$

Це рівняння можна назвати рівнянням середньорічних витрат на придбання, експлуатацію й планові ремонти зразка ОВТ.

Тоді мінімум цих затрат може бути знайдений звичайним шляхом, диференціюючи (7),

$$\frac{dC}{dT} = -\frac{C'}{T^2} + C_e \cdot (\alpha - 1) \cdot T^{\alpha-2} + C_p \cdot (\delta - 1) \cdot T^{\delta-2} = 0,$$

звідки оптимальне значення календарного строку служби $T = T_{\text{опт}}$ зразка ОВТ можна визначити з рівняння:

$$C_e \cdot (\alpha - 1) \cdot T^\alpha + C_p \cdot (\delta - 1) \cdot T^\delta = C'. \quad (8)$$

Вирішуючи (чисельним способом або графічно) це трансцендентне рівняння відносно T при відомих величинах C' , C_e , α , C_p , δ визначається оптимальне значення календарного строку служби T зразка ОВТ. Зокрема, за $\alpha = \delta \neq 1$ і цілому з (8) маємо:

$$T_{\text{опт}} = \sqrt[\delta]{C' / ((\delta - 1) \cdot (C_e + C_p))}$$

$$\text{або} \quad T_{\text{опт}} = \sqrt[\alpha]{C' / ((\alpha - 1) \cdot (C_e + C_p))}. \quad (9)$$

Якщо, наприклад, $\alpha = \delta = 2$, то

$$T_{\text{опт}} = \sqrt{C' / (C_e + C_p)}. \quad (10)$$

При $\alpha = 1$, δ – ціле, з (8) маємо:

$$T_{\text{опт}} = \sqrt[\delta]{C' / (C_p \cdot (\delta - 1))}, \quad (11)$$

або при $\alpha = 1$ і δ – нецілому (8):

$$\ln T_{\text{опт}} = \frac{1}{\delta} \cdot \ln \left(C' / (C_p \cdot (\delta - 1)) \right). \quad (12)$$

Розрахувавши величину $T_{\text{опт}}$, можна визначити і величину сумарних витрат Z протягом усього календарного строку служби зразка ОВТ. Крім того, при відомому значенні $T = T_{\text{опт}}$ можна визначити міжремонтний строк експлуатації t_e за відомим значенням календарного строку служби T із (8),

$$\text{тоді } t_e = \frac{T - n \cdot t_p}{n + 1} \quad \text{або при } t_p \ll t_e \text{ величина між-}$$

$$\text{ремонтного строку експлуатації } t_e \approx \frac{T}{n + 1}.$$

Значення міжремонтного строку експлуатації t_e зразка ОВТ може бути визначене не тільки безпосередньо за змінами (збільшенням) величини питомих експлуатаційних затрат C_e (1), але і по мірі відпрацювання зразком ресурсу R , аналогічно тому, як це робиться при прогнозуванні змін величини інтенсивності (параметра потоку) відмов зразка ОВТ у процесі його дослідної експлуатації. В цьому випадку закінчення міжремонтного строку t_e експлуатації зразка ОВТ фіксується в процесі його експлуатації (використання за призначенням), витрачання ресурсу R до

певної величини, одночасно спостерігаючи за збільшенням затрат C_e до допустимого (заданого) рівня. Враховуючи це, забезпечуючі (довольчі) управління (служби) і прогнозують величину міжремонтного строку експлуатації (ресурсу) для послідуочого проведення планових ремонтів зразків ОВТ.

Крім того, зниження запасу ресурсу R зразка внаслідок його витрачання еквівалентне зниженню його вартості від початкової C_0 до вартості C_i перед i -м ремонтом, тобто і вартість чергового планового ремонту буде певним чином корельовано по відношенню до величини зниженої за рахунок витрачання ресурсу вартості зразка ОВТ. Так, до початку першого планового ремонту при витрачанні ресурсу близько 25% від початкового запасу ресурсу R_0 , величина залишкової вартості C_i зразка може складати $(65 \div 75)\%$ від C_0 , до початку другого ремонту – $(30 \div 50)\%$ від C_0 , третього ремонту – $(10 \div 25)\%$ від C_0 і т.д., внаслідок чого й вартість чергового, i -го, планового ремонту не повинна перевищувати, за досвідом військ, $(70 \div 80)\%$ від залишкової вартості зразка ОВТ, тобто $C_{\text{вi}} \leq (0,7 \div 0,8) \cdot C_i = (0,7 \div 0,8) \cdot C_{\text{зал i}}$

Висновки й перспективи подальших досліджень

1. Визначення можливих значень міжремонтного строку експлуатації та тривалості планового ремонту зразка ОВТ повинно здійснюватися з урахуванням факторів економічного характеру, які значною мірою визначають дисципліну експлуатації й ремонту ОВТ, що підтверджується практикою.

2. Як видно з наведеного у статті, зниження запасу ресурсу зразка ОВТ внаслідок його витрат за одиницю часу еквівалентне зниженню вартості зразка від початкової до вартості перед черговим ремонтом, а як наслідок і вартість цього планового ремонту буде в певній мірі корельована по відношенню до величини, зниженої за рахунок витрат ресурсу вартості зразка ОВТ.

3. Вартість чергового, i -го, планового ремонту не повинна перевищувати, за досвідом військ, $(70 \div 80)\%$ від залишкової вартості зразка ОВТ.

Перспективами подальших досліджень є розроблення методичного апарату визначення економічної доцільності проведення чергового планового ремонту зразка ОВТ.

Список літератури

1. Шуенкин В.А. Использование математических моделей для решения задач технического обеспечения. [Текст] Учебное пособие / В.А. Шуенкин. – Киев.: АВС Украины, 2004. – 32 с.
2. Шуенкин В.А. К концепции восстановления поврежденных ВВТ в ходе операции (боя) [Текст] Информационный бюллетень РАУ МО Украины / В.А. Шуенкин, А.А. Гариб. – Киев.: МО Украины, 1993. – 120 с.
3. Волков Д.П. Надежность строительных машин и оборудования [Текст] / Д.П. Волков, С.Н. Николаев. – М.: Высшая школа, 1979. – 399 с.
4. Гук Ю.Б. Теория надежности в электроэнергетике [Текст] / Ю.Б. Гук. – Л.: Энергоиздат, 1990. – 203 с.
5. Левин Б.Р. Теория надежности радиотехнических систем [Текст] / Б.Р. Левин. – М.: Сов. радио, 1978. – 262 с.
6. Бунин М.В. К вопросу об экономическом обосновании амортизационных и межремонтных сроков строительных машин [Текст] / М.В. Бунин – К., Техника, 1965. – 243 с.
7. Закусило П.С. Метод обґрунтування календарного строку служби зразків озброєння та військової техніки з урахуванням їхнього морального старіння [Текст] / П.С. Закусило, В.П. Харченко // Зб. наук. пр. ЦНДІ ЗС України. – К., 2014. – № 3 (69). – С. 110–119.
8. Закусило П.С. Метод оптимізації міжремонтного строку експлуатації та тривалості планових ремонтів зразків озброєння та військової техніки [Текст] / В.О. Шуенкін, П.С. Закусило, В.П. Харченко // Зб. наук. пр. ЦНДІ ЗС України. – К., 2015. – № 2 (72). – С. 45–54.
9. Шуенкин В.А. Обоснование показателей безотказности, долговечности, эксплуатации и целесообразности проведения планового ремонта и модернизации образцов вооружения и военной техники [Текст] Учебное пособие / В.А. Шуенкин. – Киев.: МО ЦНДИ ВС Украины, 2012. – 432 с.

Надійшла до редколегії 2.06.2016

Рецензент: д-р техн. наук, проф. В.О. Шуенкін, Центральний науково-дослідного інститут Збройних Сил України, Київ.

ВЗАИМОСВЯЗЬ ОСНОВНЫХ ПОКАЗАТЕЛЕЙ ЭКСПЛУАТАЦИИ И ПЛАНОВОГО РЕМОНТА ОБРАЗЦОВ ОРУЖИЯ И ВОЕННОЙ ТЕХНИКИ С ЭКОНОМИЧЕСКИМИ ПОКАЗАТЕЛЯМИ

П.С. Закусило

В статье рассмотрено взаимосвязь между календарным сроком службы, межремонтным сроком эксплуатации, длительностью плановых ремонтов образцов вооружения и военной техники с экономическими показателями, с учетом которых определяются показатели эксплуатации и плановых ремонтов вооружения и военной техники.

Ключевые слова: стоимость, эксплуатация, образец вооружения и военной техники, ремонт, срок службы.

RELATIONSHIP OF KEY INDICATORS AND OPERATION SCHEDULED MAINTENANCE OF ARMAMENT AND MILITARY EQUIPMENT ECONOMIC INDICATORS

P.S. Zakusilo

The article deals the relationship between the calendar period of service, overhaul service life duration of planned repairs of armament and military equipment economic indicators against which performance determined operation and scheduled maintenance of weapons and military equipment.

Keywords: cost, maintenance, sample of arms and military equipment, repair, service life.