

МОДЕЛЬ ЗМІНИ СТАНУ ЗРАЗКА ОЗБРОЄННЯ ТА ВІЙСЬКОВОЇ ТЕХНІКИ ПІД ЧАС ЕКСПЛУАТАЦІЇ ТА ПЛАНОВИХ РЕМОНТІВ

У статті розглянуто динаміку витрачання й відновлення технічного ресурсу і вартості зразка озброєння та військової техніки в ході основних етапів життєвого циклу, а саме під час експлуатації та планових ремонтів зразка.

Ключові слова: вартість, експлуатація, зразок, плановий ремонт, технічний ресурс.

Вступ

Постановка проблеми в загальному вигляді. Значна роль у формуванні календарного строку служби T зразка озброєння та військової техніки (ОВТ) належить тривалості міжремонтного строку експлуатації t_e та кількості циклів планового ремонту й експлуатації n (тривалість зазначеного циклу рівняється сумі тривалості планового ремонту t_p та тривалості міжремонтного строку експлуатації t_e зразка ОВТ), внаслідок чого теоретично значення T може бути яким завгодно великим, оскільки в кожному циклі в тому або іншому ступені відбувається відновлення раніше витраченого ресурсу зразка. Отже, в остаточному підсумку, календарний строк служби зразка ОВТ буде визначатися насамперед коштами, що виділяються на його експлуатацію та ремонт. Крім того, призначуваний строк служби повинен забезпечувати максимальне вироблення технічного ресурсу R зразка ОВТ.

Один із можливих варіантів визначення основних показників експлуатації та планового ремонту зразка ОВТ (календарного строку експлуатації, міжремонтного строку експлуатації, тривалості планового ремонту) базується на мінімізації невідпрацьованого (залишкового) ресурсу зразка ОВТ. Для визначення зазначеного показника потрібно дослідити динаміку зміни ресурсу зразка ОВТ протягом життєвого циклу. Тому розроблення моделі, яка аналітично опише цей процес, є питанням актуальним.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Аналіз літератури свідчить про те, що питанням визначення показників життєвого циклу зразків ОВТ дослідники приділяли певну увагу [1 – 4].

Методичному апарату обґрунтування основних показників експлуатації та планового ремонту зразка ОВТ, як показав проведений аналіз, притаманна низка недоліків, зокрема, тривалий збір даних про експлуатацію зразка, некоректність обчислення показників через те, що при їх визначенні використовуються дані, які залежать не лише від роботи зразка, а також від рівня підготовки особового складу,

який експлуатує зразок, обслуговуючого персоналу тощо.

Методичний апарат, який базується на мінімізації невикористаного залишку ресурсу зразка, раніше не використовувався. Питання ж щодо динаміки зміни ресурсу зразка в ході експлуатації та планових ремонтів розглядалося умоглядно, чіткого аналітичного опису цього процесу не було.

Тому **метою статті** є висвітлення моделі зміни стану зразка озброєння та військової техніки під час експлуатації та планових ремонтів.

Виклад основного матеріалу

Розглянемо динаміку витрачання й відновлення технічного ресурсу R і вартості C_{oi} зразка ОВТ у процесі його експлуатації й планових ремонтів з урахуванням впливу на цей процес факторів випадкового характеру. З початку введення в експлуатацію до **першого** планового ремонту зразка ОВТ буде витрачено ΔR_0 умовних одиниць технічного ресурсу (м / год, км, год):

$$\Delta R_0 = d \cdot t_e, \quad (1)$$

де d – встановлена величина витрат ресурсу в одиницю часу (наприклад, протягом року).

Тоді до початку **першого** ремонту (першого циклу експлуатації й ремонту $n = 1$) залишок ресурсу зразка складе величину:

$$\begin{aligned} R_1 &= R_0 - \Delta R_0 = \\ &= R_0 - d \cdot t_e = R_0 \left(1 - d \cdot \frac{t_e}{R_0} \right), \end{aligned} \quad (2)$$

де R_0 – величина ресурсу зразка до початку введення його в експлуатацію; t_e – тривалість експлуатації зразка до **першого** планового ремонту (міжремонтний строк експлуатації зразка ОВТ).

У ході першого планового ремонту протягом часу t_{p1} буде відновлена така величина витраченого ресурсу:

$$R_{1B} = \Delta R_0 \cdot P_B = d \cdot t_e \cdot (1 - e^{-P \cdot t_p}), \quad (3)$$

де імовірність відновлення P_B витраченої величини ресурсу (ΔR_0), наприклад, при експоненційному розподілі випадкової величини часу відновлення \tilde{T}_B може розраховуватися так:

$$P_B = P(\tilde{T}_B < t) = 1 - e^{-\Pi \cdot t_p}; \quad (4)$$

Π – параметр даного розподілу (середня, нормативна продуктивність ремонтного органа за певний проміжок часу); t_p – час, який витрачається на плановий ремонт.

Загальна величина ресурсу зразка після його першого ремонту з урахуванням того, що залишився (R_1) до початку першого ремонту, рівна:

$$R(t_{p1}) = R_1 + R_{1B} = R_0 \left(1 - d \cdot \frac{t_e}{R_0} \right) + R_0 \cdot d \times \frac{t_e}{R_0} \cdot \left(1 - e^{-\Pi \cdot t_p} \right) = R_0 \cdot \left(1 - d \cdot \frac{t_e}{R_0} e^{-\Pi \cdot t_p} \right). \quad (5)$$

Прийmemo в подальшому однаковими міжремонтні строки експлуатації

$$(t_{e1} = t_{e2} = \dots = t_{ei} = \dots = t_{en} = t_e),$$

а також час, який затрачується на плановий ремонт

$$(t_{p1} = t_{p2} = \dots = t_{pi} = \dots = t_{pn} = t_p),$$

і величини витрат ресурсу за визначений проміжок часу d незалежно від циклу експлуатації, протягом першого циклу ($n = 1$) витрачений ресурс складе величину:

$$\Delta R_1 = d \cdot t_e. \quad (6)$$

Тоді на початок другого ремонту ($n = 2$) залишок ресурсу зразка складе:

$$R_2 = R(t_{p1}) - \Delta R_1 = R(t_{p1}) - d \cdot t_e = R_0 \cdot \left(1 - d \cdot \frac{t_e}{R_0} \cdot e^{-\Pi \cdot t_p} \right) - R_0 \cdot d = R_0 \cdot \left[1 - d \cdot \frac{t_e}{R_0} \cdot \left(1 + e^{-\Pi \cdot t_p} \right) \right]. \quad (7)$$

У ході другого планового ремонту протягом часу t_p буде відновлена наступна величина витрачаного (ΔR_1) ресурсу:

$$R_{2B} = \Delta R_1 \cdot P_B = d \cdot t_e \cdot \left(1 - e^{-\Pi \cdot t_p} \right). \quad (8)$$

Загальна величина ресурсу зразка після другого ремонту рівняється:

$$R(t_{p2}) = R_2 + R_{2B} = R_0 \cdot \left[1 - d \cdot \frac{t_e}{R_0} \cdot \left(1 + e^{-\Pi \cdot t_p} \right) \right] + R_0 \cdot d \cdot \frac{t_e}{R_0} \cdot \left(1 - e^{-\Pi \cdot t_p} \right) = R_0 \cdot \left(1 - d \cdot \frac{t_e}{R_0} \cdot 2 \cdot e^{-\Pi \cdot t_p} \right). \quad (9)$$

Протягом другого циклу ($n = 2$) витрачений ресурс складе величину:

$$\Delta R_2 = d \cdot t_e. \quad (10)$$

Тоді на початок третього ремонту (третього циклу експлуатації і ремонту $n = 3$) залишок ресурсу зразка складе величину:

$$R_3 = R(t_{p2}) - \Delta R_2 = R(t_{p2}) - d \cdot t_e = R_0 \cdot \left(1 - d \cdot \frac{t_e}{R_0} \cdot 2 e^{-\Pi \cdot t_p} \right) - R_0 \cdot d \cdot \frac{t_e}{R_0} = R_0 \cdot \left[1 - d \cdot \frac{t_e}{R_0} \left(1 + 2 \cdot e^{-\Pi \cdot t_p} \right) \right]. \quad (11)$$

У ході третього планового ремонту протягом часу t_p буде відновлена наступна величина витраченого ресурсу:

$$R_{3B} = \Delta R_2 \cdot P_B = d \cdot t_e \cdot \left(1 - e^{-\Pi \cdot t_p} \right). \quad (12)$$

Загальна величина ресурсу після третього ремонту буде становити

$$R(t_{p3}) = R_3 + R_{3B} = R_0 \cdot \left[1 - d \cdot \frac{t_e}{R_0} \left(1 + 2 \cdot e^{-\Pi \cdot t_p} \right) \right] + R_0 \cdot d \cdot \frac{t_e}{R_0} \cdot \left(1 - e^{-\Pi \cdot t_p} \right) = R_0 \cdot \left(1 - d \cdot \frac{t_e}{R_0} \cdot 3 \cdot e^{-\Pi \cdot t_p} \right). \quad (13)$$

Протягом **третього** циклу ($n = 3$) витрачений ресурс становитиме:

$$\Delta R_3 = d \cdot t_e. \quad (14)$$

Тоді до початку **четвертого** ремонту ($n = 4$) залишок ресурсу складе:

$$R_4 = R(t_{p3}) - \Delta R_3 = R(t_{p3}) - d \cdot t_e = R_0 \cdot \left(1 - d \cdot \frac{t_e}{R_0} \cdot 3 \cdot e^{-\Pi \cdot t_p} \right) - R_0 \cdot d \cdot \frac{t_e}{R_0} = R_0 \cdot \left[1 - d \cdot \frac{t_e}{R_0} \left(1 + 3 \cdot e^{-\Pi \cdot t_p} \right) \right]. \quad (15)$$

У загальному випадку величина ресурсу після проведення ($n+1$)-го планового ремонту буде рівнятися:

$$R(t_{p(n+1)}) = R_{n+1} + R_{(n+1)B} = R_0 \cdot \left[1 - d \cdot \frac{t_e}{R_0} (n+1) \cdot e^{-\Pi \cdot t_p} \right]. \quad (16)$$

Залишок ресурсу до початку ($n + 1$)-го циклу експлуатації і ремонту подібно (15) складе наступну величину:

$$\begin{aligned}
 R_{n+1} &= \\
 -R(t_{pn}) - \Delta R_n &= R(t_{pn}) - d \cdot t_e = \\
 = R_0 \cdot \left(1 - d \cdot \frac{t_e}{R_0} n \cdot e^{-\Pi \cdot t_p} \right) - R_0 \cdot d \cdot \frac{t_e}{R_0} &= (17) \\
 = R_0 \cdot \left[1 - d \cdot \frac{t_e}{R_0} (1 + n \cdot e^{-\Pi \cdot t_p}) \right] &= \\
 = R_0 - d \cdot t_e \cdot (1 + n \cdot e^{-\Pi \cdot t_p}) &= R_0 - \Delta R_B,
 \end{aligned}$$

звідси розподіл початкового запасу ресурсу R_0 до початку $(n + 1)$ -го циклу експлуатації й ремонту здійснюється наступним чином:

$$\begin{aligned}
 R_0 = d \cdot t_e \cdot (1 + n \cdot e^{-\Pi \cdot t_p}) + R_{n+1} &= (18) \\
 = \Delta R_B + R_{n+1},
 \end{aligned}$$

де результуюча величина витраченого ресурсу ΔR_B протягом строку служби з урахуванням випадкового характеру його відновлення буде рівна:

$$\begin{aligned}
 \Delta R_B &= \\
 = d \cdot t_e \cdot (1 + n \cdot e^{-\Pi \cdot t_p}) &= \Delta R - R_B. (19)
 \end{aligned}$$

У даному випадку значення ΔR , R_B рівняються загальній величині витраченого й відновленого ресурсу на протязі строку служби T зразка ОБТ.

Але загальна (абсолютна) величина витраченого ресурсу ΔR зразка ОБТ з початку введення в експлуатацію до закінчення календарного строку служби T без урахування відновлення витраченого ресурсу складає:

$$\begin{aligned}
 \Delta R = \sum_{i=0}^n \Delta R_i &= \Delta R_0 + \Delta R_1 + \dots + \Delta R_n = (20) \\
 = d \cdot t_e + n \cdot d \cdot t_e &= d \cdot t_e \cdot (1 + n),
 \end{aligned}$$

де $\Delta R_i = d \cdot t_{ei}$ – величина витраченого технічного ресурсу після i -го планового ремонту до початку $(i + 1)$ -го планового ремонту зразка ОБТ.

Загальна ж величина відновленого ресурсу R_B в ході n проведених планових ремонтів буде складати:

$$\begin{aligned}
 R_B = R_{1B} + R_{2B} + R_{3B} + \dots + R_{nB} &= (21) \\
 = d \cdot t_e \cdot n \cdot (1 - e^{-\Pi \cdot t_p}).
 \end{aligned}$$

Отже, до початку $(n+1)$ -го циклу ремонту й експлуатації загальна величина витраченого ресурсу з урахуванням його відновлення з імовірністю

$$P_B = P(t_p < t) = 1 - e^{-\Pi \cdot t_p}$$

складе таку величину:

$$\begin{aligned}
 \Delta R_B = \Delta R - R_B &= (22) \\
 = d \cdot t_e \cdot (1 + n) - d \cdot t_e \cdot n \cdot (1 - e^{-\Pi \cdot t_p}) =
 \end{aligned}$$

$$= d \cdot t_e \cdot (1 + n \cdot e^{-\Pi \cdot t_p}),$$

що підтверджує (19).

Динаміка зміни ресурсу і вартості зразка ОБТ у процесі його експлуатації й планових ремонтів наведена на рис. 1.

Але, як уже відмічалось, в останньому, n -му, періоді експлуатації зразка ОБТ, за яким слідує зняття його з експлуатації (списання), повне вироблення наявного до початку цього періоду ресурсу зазвичай не здійснюється ($R_{n+1} \neq 0$) внаслідок недопустимого зростання в ході витрачання ресурсу величини експлуатаційних витрат.

Тобто, обмежуючись n циклами експлуатації й ремонту зразка ОБТ та враховуючи, що календарний строк його служби закінчується експлуатацією протягом часу t_e , можна записати величину початкового запасу його технічного ресурсу R_0 наступним чином:

$$\begin{aligned}
 R_0 = \Delta R_B + R_{n+1} &= (23) \\
 = d \cdot t_e \cdot (1 + n \cdot e^{-\Pi \cdot t_p}) + R_{\text{зал}},
 \end{aligned}$$

де $R_{\text{зал}} = R_{n+1}$ – запланований залишок ресурсу зразка ОБТ після n -го циклу експлуатації й планового ремонту. Ця величина по суті визначає значення реалізованого в подальшому залишку $S_{\text{зал}}$ вартості (ліквідаційної вартості порядку $(10 - 25)\%$ від первинної вартості зразка C_0) при знятті зразка ОБТ з експлуатації (при списанні).

Оскільки величина $R_{\text{зал}}$, як правило, прогнозується й планується завчасно, то доцільно забезпечити виконання умови, щоб загальні витрати ресурсу $\Delta R = d \cdot t_e \cdot (1 + n)$ за строк служби T зразка ОБТ не були меншими наступної величини:

$$\Delta R = d \cdot t_e \cdot (1 + n) \geq \beta \cdot R_0, \quad 0 < \beta \leq 1, \quad (24)$$

де β – коефіцієнт вироблення ресурсу зразка ОБТ.

Тоді:

$$\begin{aligned}
 R_0 = \Delta R_B + R_{n+1} &= \\
 = d \cdot t_e \cdot (1 + n \cdot e^{-\Pi \cdot t_p}) + R_{\text{зал}} &= (25) \\
 = \Delta R - R_B + R_{\text{зал}} &= \\
 = \beta \cdot R_0 - d \cdot t_e \cdot n \cdot (1 - e^{-\Pi \cdot t_p}) + R_{\text{зал}},
 \end{aligned}$$

звідки залишок ресурсу після n планових ремонтів

$$\begin{aligned}
 R_{\text{зал}} = R_0 - \Delta R_B = R_0 - \Delta R + R_B &= \\
 = R_0 \cdot (1 - \beta) + d \cdot t_e \cdot n \cdot (1 - e^{-\Pi \cdot t_p}), &= (26)
 \end{aligned}$$

що, як видно, співпадає з (17),

де коефіцієнт вироблення ресурсу зразка ОБТ

$$\beta = \frac{d}{R_0} \cdot t_e \cdot (1 + n).$$

Таким чином, в залежності від ступеня участі ремонтного органа, визначається значенням β , а зна-

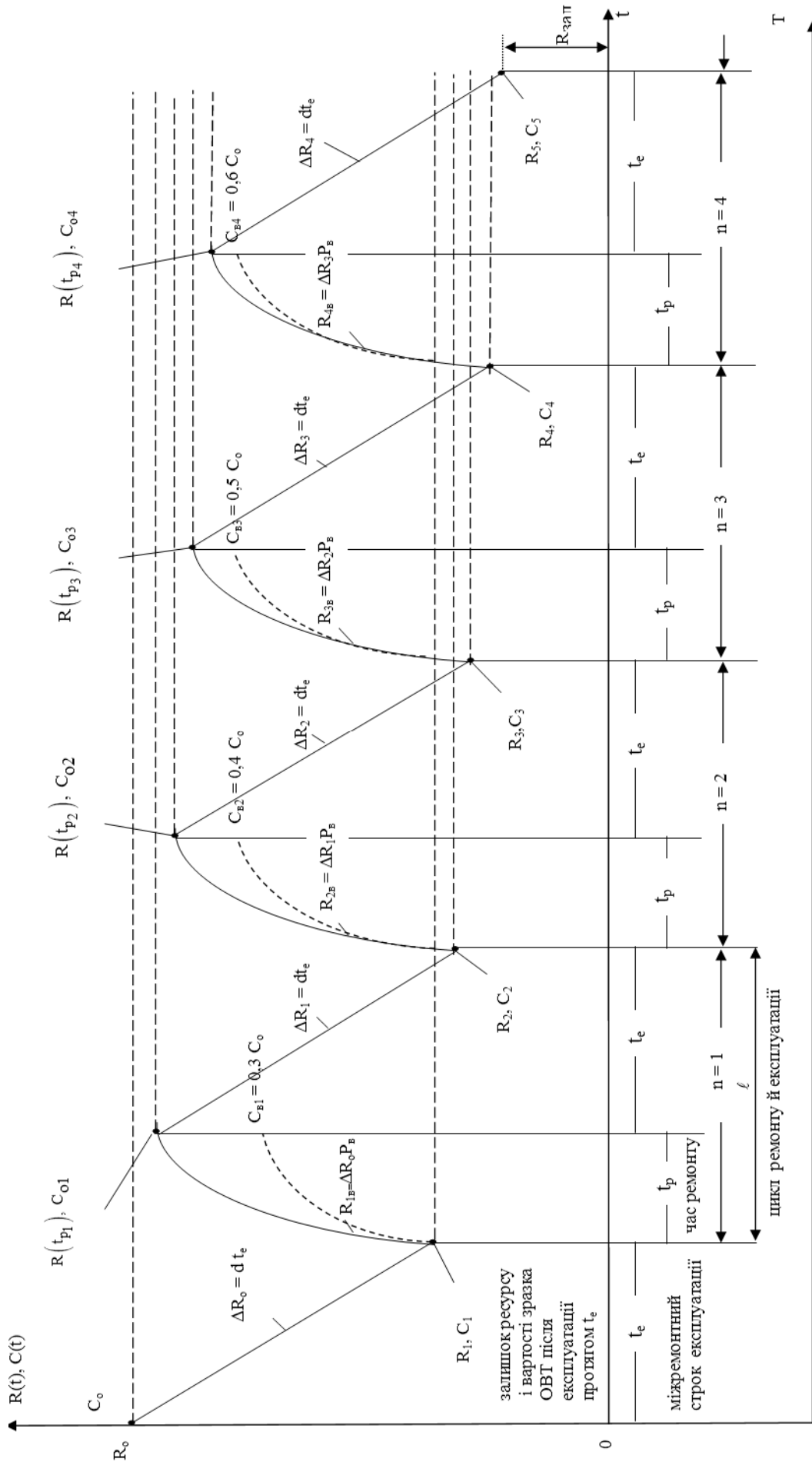


Рис. 1. Динаміка зміни початкових ресурсу R_0 і вартості C_0 зразка ОВТ у процесі його експлуатації й планових ремонтів на протязі строку служби T

чить і величиною t_p , у формуванні величини T , величина залишку невитраченого ресурсу при знятті зразка ОБТ з експлуатації (при списанні):

$$\begin{aligned} R_{\text{зал}} &= R_0 - \Delta R_B = \\ &= R_0 \cdot \left[1 - d \cdot \frac{t_e}{R_0} \left(1 + n \cdot e^{-\Pi \cdot t_p} \right) \right] = \\ &= R_0 \cdot (1 - \beta) + d \cdot t_e \cdot n \cdot \left(1 - e^{-\Pi \cdot t_p} \right) \end{aligned} \quad (27)$$

буде змінюватися в межах від мінімальної (теоретичної)

$$\begin{aligned} R_{\text{зал}} \Big|_{t_p \rightarrow 0} &= R_0 - d \cdot t_e \cdot (1 + n) = \\ &= R_0 - d \cdot T = R_0 \cdot (1 - \beta), \end{aligned} \quad (28)$$

до максимальної величини

$$\begin{aligned} R_{\text{зал}} \Big|_{t_p \rightarrow \infty} &= \\ &= R_0 - d \cdot t_e = R_0 \cdot (1 - \beta) + d \cdot t_e \cdot n. \end{aligned} \quad (29)$$

З урахуванням же (17), (27) величина залишку невитраченого ресурсу при знятті зразка озброєння та військової техніки з експлуатації (при списанні) становитиме:

$$\begin{aligned} R_{\text{зал}} &= R_0 \cdot \left[1 - d \cdot \frac{t_e}{R_0} \left(1 + n \cdot e^{-\Pi \cdot t_p} \right) \right] = \\ &= R_0 \cdot (1 - \beta) + d \cdot t_e \cdot \frac{T - t_e}{t_p + t_e} \left(1 - e^{-\Pi \cdot t_p} \right) = \\ &= R_0 \cdot (1 - \beta) + d \cdot t_e \cdot \frac{T}{t_p + t_e} \left(1 - e^{-\Pi \cdot t_p} \right) - \\ &\quad - d \cdot t_e \cdot \frac{t_e}{t_p + t_e} \cdot \left(1 - e^{-\Pi \cdot t_p} \right). \end{aligned} \quad (30)$$

Виконання ж умови (24) може бути забезпечене при $n \geq 1$, причому при $t_e, t_p \neq 0$. Тобто, завдання з визначення строку служби T зразка ОБТ може бути зведене також до обґрунтування доцільної кількості n планових ремонтів зразка ОБТ протягом цього строку.

Висновки й перспективи подальших досліджень

1. Одним із шляхів визначення показників життєвого циклу зразка ОБТ є використання критерію мінімуму залишкового ресурсу, який пов'язаний з динамікою витрат та відновлення ресурсу в процесі експлуатації та планових ремонтів цього зразка.

2. Розглянута модель зміни стану зразка ОБТ під час експлуатації та планових ремонтів досить чітко відображає графічно та аналітично (рис. 1) взаємозв'язок між показниками експлуатації та планового ремонту, витрат та відновлення технічного ресурсу й вартості зразків ОБТ.

3. Зниження запасу ресурсу зразка внаслідок його витрат еквівалентне зниженню вартості зразка від початкової до вартості перед черговим ремонтом (рис. 1).

Перспективами подальших досліджень є обґрунтування основних показників експлуатації й планового ремонту зразка ОБТ на основі вирішення оптимізаційної задачі по визначенню мінімуму величини залишку невикористаного ресурсу зразка ОБТ протягом календарного строку служби.

Список літератури

1. Колегаев, Р.Н. *Определение наимыгоднейших сроков службы машин [Текст] / Р.Н. Колегаев.* – М.: Экономиздат, 1963. – 173 с.
2. Колегаев, Р.Н. *Определение оптимальной долговечности технических систем [Текст] / Р.Н. Колегаев.* – М.: Сов. радио, 1967. – 113 с.
3. Селиванов, А.И. *Основы теории старения машин [Текст] / А.И. Селиванов.* – М.: Машигиз, 1971. – 408 с.
4. Петухов, Р.М. *Методика экономической оценки износа и сроков службы машин [Текст] / Р.М. Петухов.* – М.: Экономика, 1965. – 167 с.

Надійшла до редколегії 11.12.2015

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

МОДЕЛЬ ИЗМЕНЕНИЯ СОСТОЯНИЯ ОБРАЗЦА ВООРУЖЕНИЯ И ВОЕННОЙ ТЕХНИКИ ВО ВРЕМЯ ЭКСПЛУАТАЦИИ И ПЛАНОВЫХ РЕМОНТОВ

П.С. Закусило

В статье рассмотрена динамика расходования и восстановления технического ресурса и стоимости образца вооружения и военной техники в ходе основных этапов жизненного цикла, а именно во время эксплуатации и плановых ремонтов образца.

Ключевые слова: стоимость, эксплуатация, образец, плановый ремонт, технический ресурс.

MODEL OF CHANGE STATUS WEAPONS AND MILITARY EQUIPMENT DURING EXPLOITATION AND SCHEDULED REPAIRS

P.S. Zakusilo

In paper dynamics of outlaying and restoration of a technical resource and cost of the sample of armament and military technique is observed during the basic stages of life cycle, namely during maintenance and scheduled repairs of the sample.

Keywords: cost, maintenance, sample, scheduled repairs, technical resources.