

УДК 623.4.017; 621.396.6

С.О. Пасхін, Д.А. Гриб, І.М. Невмержицький, П.А. Коваленко

*Харківський університет Повітряних Сил ім. І. Кожедуба, Харків*

## ВИЗНАЧЕННЯ ОПТИМАЛЬНОГО РЕСУРСУ РЕТ ДО РЕМОНТУ ТА СПИСАННЯ

*Пропонується метод визначення ресурсу радіоелектронної техніки радіотехнічних військ (РЕТ) до військового, капітального ремонту та списання, який враховує не тільки фактор фізичного зношування та старіння, але і фактор морального старіння, тобто відповідності задачам, що виконує РЕТ.*

*радіотехнічні війська, ресурс радіоелектронної техніки, капітальний ремонт*

### Вступ

**Постановка проблеми.** Ресурс РЕТ ( $T_{\text{опт}}$ ) є одним із основних показників довговічності техніки. Визначення оптимальних значень цього показника дозволить визначати раціональну тривалість стадії експлуатації життєвого циклу РЕТ і економічні витрати її експлуатації.

Заниження ресурсу РЕТ приводить до передчасного вилучення виробів із системи для проведення ремонту, а з цього до підвищення витрат на ремонт. Завищення ресурсу РЕТ приводить до підвищення витрат на технічне обслуговування (ТО) й поточний ремонт. Наслідком завищення ресурсу виробів може бути зниження їх надійності за час експлуатації і зменшення ефективності системи експлуатації. Тому оптимізація ресурсу РЕТ і її міжремонтних строків експлуатації є одним із важливих напрямків розвитку теорії надійності, експлуатації та ремонту.

На даний час визначення ресурсу РЕТ проводилось адміністративним шляхом, тобто ресурс призначався відповідними настановами та наказами. Такий підхід не є економічно й науково обґрунтованим та не відповідає вимогам до організації експлуатації РЕТ у сучасних умовах економічного розвитку держави.

Значення ресурсу РЕТ обумовлюється фізичним строком служби та моральним старінням.

Таким чином, оптимізація ресурсу та довговічності техніки є однією із складних та актуальних проблем сучасної науки.

**Аналіз літератури.** Актуальність проблеми оптимізації термінів ресурсів РЕТ підтверджується великою кількістю опублікованих робіт за даною проблемою і постійною увагою у теперішній час багатьох дослідників на пошук раціональних значень ресурсу РЕТ [1 – 5].

Слід зазначити, що якщо для механічних пристроїв (станків, машин та ін.) на сьогодні розроблені прийнятні методи розрахунку довговічності [3, 6], то для складних радіоелектронних пристроїв, якими є РЕТ, такі методи не є досконалими.

Урахувати специфічні особливості експлуатації зразка РЕТ складно, тому за деякими наближеннями можна використовувати загальні методи оптимізації ресурсу. Для вирішення задачі оптимізації в основному враховуються фактори старіння елементів РЕА [2, 5]. Таким чином, як показує аналіз літератури, на теперішній час відсутній метод визначення оптимальних ресурсів РЕТ, який одночасно враховує фізичні та моральні строки служби РЕТ.

**Мета статті.** Отримати метод визначення ресурсу РЕТ, який враховує не тільки фактор фізичного зношування та старіння, але і фактор морального старіння, тобто моральну відповідність задачам, що виконуються.

### Методика аналізу

Для з'ясування сутності поставленого питання розглянемо залежність вартості одного часу роботи РЕТ від часу експлуатації, що наведена на рис. 1.

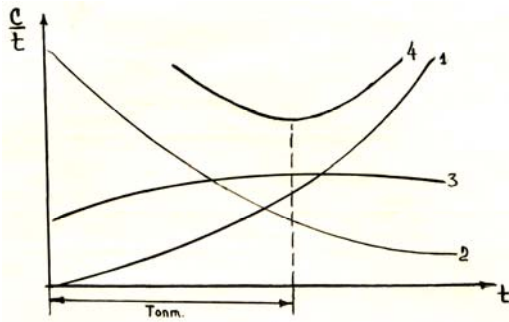


Рис. 1. Залежність вартості одного часу роботи РЕТ від часу експлуатації

На рис. 1 показана вартість однієї години роботи РЕТ від її середнього ресурсу (терміну служби). Крива 1 показує зростання вартості однієї години роботи РЕТ через збільшення експлуатаційних витрат на виконання поточного ремонту, ТО, збитків на погіршення характеристик РЕТ і простоїв у несправному стані. Крива 2 показує зменшення питомих витрат на відновлення РЕТ зі збільшенням терміну служби апаратури. Ці витрати зменшуються за гіперболічним або експонентним законами [2]. Такий характер кривої 2 пояснюється тим, що вартість нової РЕТ розподіляється на все більшу кількість годин роботи (або на все більший термін служби) від початку експлуатації.

Інші експлуатаційні витрати (наприклад, величина заробітної плати або вартість утримання обслуговуючого персоналу) залишаються практично постійними незалежно від терміну служби РЕТ або витраченого ресурсу. Сумарна величина питомих експлуатаційних витрат представлена на рис. 1 кривою 3.

Якщо тепер графічно або аналітично взяти суму кривих 1 – 3, то буде отримана крива 4, що представляє змінення вартості однієї години роботи РЕТ за сумою всіх витрат.

Результати аналізу показують, що термін вилучення РЕТ у ремонт можливо оптимізувати за мінімальною середньою вартістю однієї години роботи на час експлуатації РЕТ до ремонту. Тобто критерієм оптимізації (з економічної точки зору) ресурсу РЕТ до ремонту (списання) доцільно обрати мінімальну середню вартість однієї години роботи РЕТ  $C_p(t)$  від початку її експлуатації та до її вилучення у ремонт.

Математично умова оптимізації ресурсу РЕТ визначається таким рівнянням:

$$(C_p(t))' = 0, \quad (1)$$

де  $C_p(t)$  – вартість однієї години роботи РЕТ.

У процесі експлуатації РЕТ піддається фізичному й моральному зношуванню.

Для компенсації фізичного зношування РЕТ за час експлуатації витрачаються кошти  $C_\phi(t)$ . Прийmemo, що збільшення  $C_\phi(t)$  носить лінійний характер. Тоді сумарна величина всіх економічних втрат (тобто витрати на експлуатацію) від фізичного зношування РЕТ за весь строк експлуатації складає:

$$C_\phi(t) = C_e \cdot t + \int_0^t r \cdot t \cdot dt + C_0 - C_{сп} = \\ = C_e \cdot t + (r \cdot t^2) / 2 + C_0 - C_{сп}, \quad (2)$$

де  $r$  – постійний у часі приріст витрат на експлуатацію за мірою збільшення строку експлуатації, грн./рік;  $C_e$  – постійна частина щорічних витрат на експлуатацію, грн./рік (витрати на початку року);  $t$  – повний ресурс (термін служби) РЕТ;  $C_{сп}$  – вартість зразка РЕТ на момент списання (заміни), тобто остаточна вартість РЕТ, грив.

Вартість однієї години роботи РЕТ  $C_{\phi 1}$  (середньорічна величина витрат на експлуатацію) пов'язана з компенсацією її фізичного зношування:

$$C_{\phi 1} = \frac{C_\phi}{t} = C_e + \frac{r \cdot t}{2} + \frac{C_0 - C_{сп}}{t}. \quad (3)$$

Для оптимізації терміну ресурсу РЕТ  $T_{опт}$  необхідно розв'язати рівняння (1), тобто про диференціювати вираз (3) за перемінною  $t$ , дорівняти похідну до нуля та розв'язати отримане рівняння. Виконавши це, отримуємо:

$$T_{опт} = \sqrt{\frac{2 \cdot (C_0 - C_{сп})}{r}}. \quad (4)$$

У загальному випадку збільшення витрат на відшкодування економічних втрат у процесі експлуатації від зношування елементів (деталей), вузлів РЕТ на протязі терміну її експлуатації має нелінійний характер, тобто  $C_e(t) = C_e + r \cdot t^b$ , де  $b$  – постійний коефіцієнт. Проводячи аналогічні міркування та операції, як і для лінійного характеру, отримуємо оптимальний ресурс у такому виразі:

$$T_{опт} = \left[ \left(1 + \frac{1}{b}\right) \cdot \left(\frac{C_0 - C_{сп}}{r}\right) \right]^{\frac{1}{b+1}}. \quad (5)$$

Очевидно, що вираз (4) є частковим випадком (при  $b = 1$ ) більш загального виразу (5).

Розглянемо тепер, як впливає на  $T_{опт}$  моральне зношування (старіння). Спочатку будемо вважати (для спрощення розв'язання), що темпи росту як фізичного, так і морального зношування апаратури постійні у часі. Тоді сумарна величина витрат на експлуатацію РЕТ за весь період її експлуатації має вигляд:

$$C'_\phi = \frac{C_{\phi 1}}{t} = \\ = C_e \cdot t + \frac{(r - k_1) \cdot t^2}{2} + \frac{(C_0 - C_{сп}) \cdot t}{t} - k_2 \cdot t, \quad (6)$$

де  $k_1$  – зниження витрат на технічне обслуговування та ремонт РЕТ, яке обумовлене постійним підвищенням продуктивності труда у сфері експлуатації, грн./рік;  $k_2$  – середньорічне зменшення витрат на виготовлення, транспортування, зберігання РЕТ, грн./рік.

Таким чином, якщо середньорічну величину витрат на експлуатацію та ремонт  $C'_{\phi 1} = \frac{C'_{\phi}}{t}$  продиференціювати за перемінною  $t$  та дорівняти похідну до нуля, визначимо оптимальний термін служби РЕТ:

$$T_{\text{опт}} = \sqrt{\frac{2 \cdot (C_0 - C_{\text{сп}})}{r - k_1}}. \quad (7)$$

Аналізуючи вирази (7) та (4), можна зробити висновок, що при врахуванні морального зношування ресурс РЕТ зростає. Це зростання залежить від темпів фізичного зношування: воно мале при швидких темпах, але може бути суттєвим при повільних темпах, які визначаються коефіцієнтом  $r$ .

У більш загальному випадку підвищення витрат на відшкодування економічних втрат у процесі експлуатації та ремонту носять нелінійний характер. Це обумовлено фізичним зношуванням, зниженням вартості нового озброєння, зберігання, транспортування, а також зменшення витрат на технічне обслуговування та ремонт у сфері експлуатації РЕТ. Середньорічні витрати на експлуатацію та ремонт обчислюються за таким виразом:

$$C''_{\phi 1} = C_e + \frac{r \cdot t^b}{b+1} - \frac{k_1 \cdot t^d}{d+1} + \frac{C_0 - C_{\text{сп}}}{t} - \frac{k_2 \cdot t^c}{c+1}, \quad (8)$$

де  $b = \frac{1}{T_{\text{знош}}}$  – коефіцієнт, котрий характеризує інтенсивність фізичного зношування апаратури зразка РЕТ;

$d = \frac{1}{T_{\text{стар}}}$  – коефіцієнт, котрий характеризує інтенсивність фізичного старіння апаратури зразка РЕТ;

$c = \frac{1}{T_{\text{мор}}}$  – коефіцієнт, котрий характеризує інтенсивність морального старіння апаратури зразка РЕТ;

$T_{\text{знош}}, T_{\text{стар}}, T_{\text{мор}}$  – граничні ресурси зразка техніки зі зношування відмовою, фізичного та морального старіння відповідно (ці коефіцієнти можуть визначатися й експертами і називаються заданими);

$r, k_1, k_2$  – постійні коефіцієнти, які введені раніше.

Якщо провести диференціювання виразу (8) за змінною  $t$  та дорівняти похідну до нуля, отримуємо вихідний вираз для оптимізації  $T_{\text{опт}}$  РЕТ:

$$\frac{r \cdot b \cdot T_{\text{опт}}^{b+1}}{b+1} - \frac{d \cdot k_1 \cdot T_{\text{опт}}^{d+1}}{d+1} - \frac{c \cdot k_2 \cdot T_{\text{опт}}^{c+1}}{c+1} = C_0 - C_{\text{сп}}. \quad (9)$$

Визначити оптимальне значення  $T_{\text{опт}}$ , використовуючи вираз (9), достатньо важко. Однак якщо

при рівності показників ступенів ( $b = d = c$ ) у всіх доданків лівої частини виразу (9)  $T_{\text{опт}}$  визначається таким чином:

$$T_{\text{опт}} = \left[ \left(1 + \frac{1}{b}\right) \cdot \left(\frac{C_0 - C_{\text{сп}}}{r - k_1 - k_2}\right) \right]^{\frac{1}{b+1}}. \quad (10)$$

Порівнюючи вирази 5,7,10, відмітимо, що зроблений раніше висновок повністю підтверджується і в цьому випадку:  $T_{\text{опт}}$  при врахуванні морального зношування зростає у порівнянні з одним тільки фізичним старінням.

$T_{\text{опт}}$  РЕТ без врахування економічних факторів може бути визначений за виразом

$$T_{\text{опт}} = T + k \cdot T + k^2 \cdot T + \dots + k^n \cdot T, \quad (11)$$

де  $T$  – ресурс до першого капітального ремонту;

$k$  – коефіцієнт відновлення ресурсу.

При  $n \rightarrow \infty$  вираз (11) має вигляд  $T_{\text{опт}} = \frac{T}{1-k}$ .

## Висновки

1. Отриманий метод дозволяє визначати оптимальні (за запропонованим критерієм) ресурси до ремонту (списання) з урахуванням не тільки фізичного зношування, старіння апаратури, але і морального старіння.

2. Загальний ресурс до списання буде визначатися не тільки фактором виробничого середовища, але й експлуатаційними факторами. Тому цей метод дозволяє отримати рекомендації з оптимального розподілу засобів як на виробництво, так і на експлуатацію.

## Список літератури

1. Гриб Д.А., Кириченко І.О. Інформаційний показник для оцінки ефективності підсистеми розвідки протирадіолокаційного вогневого комплексу // Збірник наукових праць. – С.: Севастопольський ВМІ ім. П.С. Нахімова. – 2002. – Вип. 1. – С. 73-78.
2. Пошехонов Б.В. Экономика надежности энергетических машин. – Л.: Машиностроение, 1974. – 160 с.
3. Основные вопросы эксплуатации сложных систем / В.К. Дедков, Н.А. Северцев и др. – М.: Высшая школа, 1976. – 255 с.
4. Олейников Л.Ф., Ильинков В.М. и др. Эксплуатация и расчет радиолокационного вооружения радиотехнических войск: Учебн. пособ. – Х.: ВИРТА, 1975. – 260 с.
5. Основные вопросы инженерно-технического обеспечения радиолокационных систем войск Противовоздушной обороны страны: Учебн. пособ. / Под ред. М.Т. Берегового. – М.: Воениздат, 1976. – 320 с.
6. Чуев О.В. Исследование операций в военном деле. – М.: Воениздат, 1970. – 255 с.

Надійшла до редколегії 16.04.2007

**Рецензент:** д-р техн. наук, проф. І.І. Обод, Харківський університет Повітряних Сил ім. І. Кожедуба, Харків.