

УДК 621.3.088

С.В. Герасимов, Г.Б. Черепенніков, І.Є. Бакулін

Об'єднаний науково-дослідний інститут Збройних Сил, Харків

## ОСОБЛИВОСТІ МЕТРОЛОГІЧНОГО ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ ОЗБРОЄННЯ ТА ВІЙСЬКОВОЇ ТЕХНІКИ В УМОВАХ ЗРОСТАННЯ ЙМОВІРНОСТІ ЇХ ВІДМОВ

*У статті розглядається сучасний стан озброєння та військової техніки, показана роль метрологічного забезпечення в умовах експлуатації озброєння та військової техніки з подовженим терміном експлуатації. Запропоновано функцію розрахунку витрат на метрологічне забезпечення старіючого озброєння та підхід до підвищення ефективності його експлуатації.*

*озброєння та військова техніка, засоби вимірювальної техніки, вірогідність справного стану, метрологічне обслуговування, функція вартості*

### Вступ

**Постановка проблеми.** Характерною рисою локальних воєнних конфліктів останніх двох десятиріч є реалізація нового підходу до організації та забезпечення бойових дій, особливістю якого є масштабне, глибоко скоординоване використання високоточних, складних систем ураження, сумісне застосування різномірних сил та засобів, перехід до мобільної, спроможної до адаптації системи матеріально-технічного забезпечення військ, яка ґрунтується на багатовимірному аналізі бойової обстановки [1]. Тому зростає роль тих видів забезпечення бойових дій, які мають вирішальне значення для успіху військової операції. У першу чергу це стосується метрологічного забезпечення, яке, будучи складовою частиною технічного забезпечення, гарантує повноту, точність і достовірність вимірювань, що проводяться при випробуваннях озброєння та військової техніки (ОВТ) у процесі їх технічного обслуговування, відновлення, підготовки до застосування та використання за призначенням. Обсяг потрібних вимірювань може складати до 90 % трудовитрат на технічне забезпечення окремих зразків ОВТ.

Таким чином, підтримання тактико-технічних характеристик сучасних зразків ОВТ визначається якістю метрологічного забезпечення, станом і застосуванням військових і робочих еталонів, атестацією методик виконання вимірювань, метрологічними випробуваннями та обслуговуванням. Отже, вимірювання лежать в основі ефективного використання зразків ОВТ.

При організації метрологічного забезпечення військ необхідно враховувати поточний стан та особливості розвитку ОВТ і засобів вимірювальної техніки (ЗВТ), які використовуються при метрологічному обслуговуванні озброєння.

На жаль, сучасний стан військової реформи та організації військового будівництва в Україні характеризується гострим дефіцитом грошових і матеріальних

ресурсів. Внаслідок цього Збройні Сили країни вимушені експлуатувати морально та фізично старіюче озброєння та військову техніку. Так, згідно з [2, 3], на початок 2005 р. понад 60 % ОВТ перебували в експлуатації більше 15 років, у тому числі 55 % бойових літаків і зенітних ракетних комплексів Повітряних Сил, 97 % бойових кораблів Військово-Морських Сил, 84 % ракетно-артилерійського озброєння, 11 % бронетанкового озброєння та техніки, понад 97 % автомобільної техніки. Потребували ремонту 53 % автоматизованих систем управління та 45 % радіоелектронної техніки. Були небоєздатними 80 % зенітних керованих ракет комплексів середньої дальності. Продовжується експлуатація частини ОВТ з вичерпаним розрахунковим ресурсом, виходячи з поточного дійсного їх стану [3].

У цих умовах певною гарантією можливості забезпечення боєготовності та боєздатності ОВТ, безаварійної їх експлуатації і застосування за призначенням є скорочення часових інтервалів між контрольними вимірюваннями, але це веде до збільшення обсягу вимірювань, потрібної кількості ЗВТ, штатного складу метрологічних служб, розширення ремонтної бази тощо. Без суттєвого нарощування грошових витрат вирішити ці проблеми неможливо.

З іншого боку, значна частина ЗВТ, що використовуються при проведенні метрологічного обслуговування ОВТ, теж є застарілою, потребує ремонту або заміни, а тому підтримка необхідного стану метрологічного забезпечення ОВТ потребує підвищення рівня метрологічного забезпечення ЗВТ.

**Аналіз останніх досліджень і публікацій.** Оскільки боєздатність та боєготовність військових частин у значній мірі залежить від стану та організації метрологічного забезпечення ОВТ, цілком обґрунтованим є висновок про обов'язковість пріоритетного розвитку матеріально-технічної та науково-дослідницької бази, удосконалення структури служби метрологічного забезпечення військ. Вирішенню

питань удосконалення системи метрологічного забезпечення складних зразків техніки, у тому числі озброєння, присвячено немало робіт, наприклад, [4 – 6]. Однак, вони не враховують особливості експлуатації та метрологічного обслуговування старіючого озброєння.

**Метою статті** є обґрунтування необхідності коригування міжперевірочного інтервалу старіючих зразків озброєння та військової техніки і засобів вимірювальної техніки з метою підвищення ефективності їх експлуатації.

**Виклад основного матеріалу**

Враховуючи реальні фінансові можливості країни, розв’язання вказаної проблеми можливе шляхом пошуку оптимальних рішень у координатах “витрати – потрібний рівень імовірності безвідмовної роботи об’єкта (зразка ОВТ, ЗВТ)”. Для цього потрібно обґрунтовано коригувати значення міжперевірочного інтервалу ОВТ та ЗВТ, особливо при подовженні їх технічного ресурсу, з метою підтримання необхідного рівня вірогідності застосування справних зразків.

Обґрунтуємо це твердження.

Як відомо, більшість ОВТ (ЗВТ), що знаходяться на озброєнні, складаються з напівпровідникових приладів, мікросхем і радіоелектронних засобів. При описі показників надійності напівпровідникових приладів, мікросхем і радіоелектронних засобів звичайно використовується розподіл Вейбулла-Гнеденка [7]. Відповідно до цього розподілу імовірність безвідмовної роботи в інтервалі 0 – t:

$$P(t) = \exp\left[-\left(\frac{t}{c}\right)^b\right], \quad (1)$$

де  $b \geq 0$  – параметр форми закону розподілу, який залежить від кількості відмов виробу (для ОВТ цей параметр перебуває в діапазоні від 2 до 5 [8];

$c \geq 0$  – параметр масштабу.

Щільність імовірності відмов (рис. 1, а) дорівнює

$$f(t) = \frac{b}{c} \cdot \left(\frac{t}{c}\right)^{b-1} \cdot \exp\left[-\left(\frac{t}{c}\right)^b\right]. \quad (2)$$

Поділивши (2) на (1), отримуємо інтенсивність відмов

$$\lambda(t) = \frac{b}{c} \cdot \left(\frac{t}{c}\right)^{b-1}. \quad (3)$$

Неважко визначити, що при  $b < 1$  інтенсивність відмов монотонно зменшується, а при  $b > 1$  (що відповідає зразкам ОВТ) монотонно збільшується (рис.1, б).

Для опису надійності засобів вимірювальної техніки, що складають технічну основу метрологічного забезпечення, широко використовується роз-

поділ Релея, який достатньо повно описує поведінку радіоелектронних засобів і їх елементів з явно вираженим ефектом старіння та зношеності [7].

Імовірність безвідмовної роботи

$$P(t) = \exp\left[-t^2 / 2s^2\right], \quad (4)$$

де s – параметр розподілу.

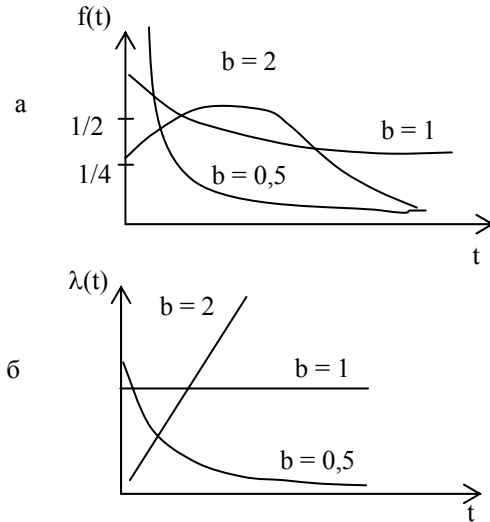


Рис. 1. Залежності розподілу Вейбулла-Гнеденка: а – щільності імовірності відмов; б – інтенсивності відмов

Щільність імовірності відмов (рис.2)

$$f(t) = \left(\frac{t}{s^2}\right) \exp\left[-\frac{t^2}{2s^2}\right]. \quad (5)$$

Інтенсивність відмов (рис.2)

$$\lambda(t) = \frac{t}{s^2}. \quad (6)$$

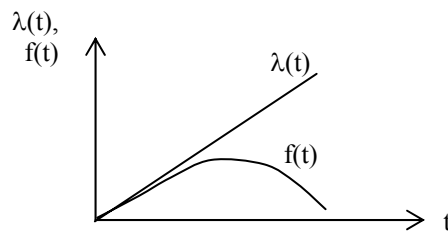


Рис. 2. Залежності інтенсивності відмов і щільності імовірності відмов розподілу Релея

Співвідношення (1) – (6) і залежності на рис. 1, 2 підтверджують зростання інтенсивності відмов ОВТ та ЗВТ у міру виробітку їх ресурсу. Отже, чим більше техніка пропрацювала, тим частіше необхідно проводити її метрологічне обслуговування з метою визначення її придатності до подальшого застосування, оскільки саме проведення періодичних контрольних перевірок параметрів цієї техніки (метрологічного обслуговування) сприяє визначенню їх технічного стану (справності чи не-

справності). Якщо зразок ОВТ за результатами метрологічного обслуговування визнається неприцездатним, то за допомогою ремонту чи регулювання він доводиться до справного стану. Тому можна стверджувати, що проведення метрологічного обслуговування ОВТ підвищує вірогідність того, що перевірений зразок буде справним на протязі подальшого міжперевірного інтервалу.

З рис. 3 видно, що з часом внаслідок старіння (виробітку ресурсу) зразка ОВТ навіть при проведенні планованого періодичного метрологічного обслуговування має місце зменшення вірогідності використання справного зразка (відносно величини вірогідності проведення контролю  $D_k$ )

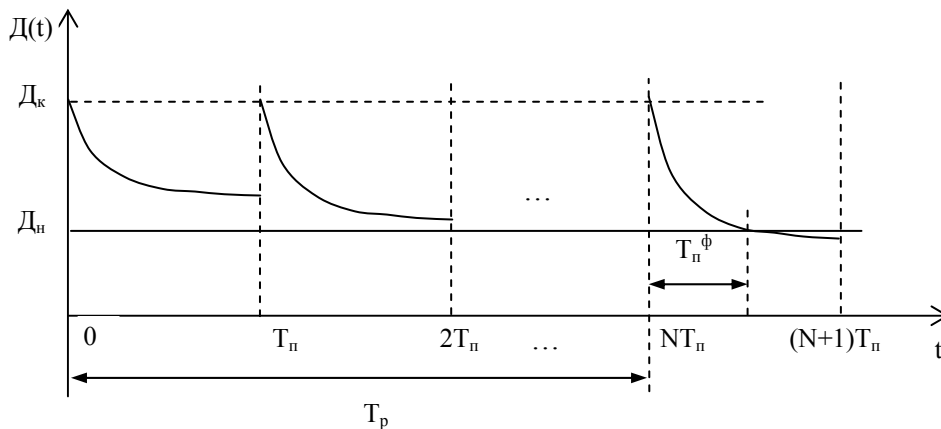


Рис. 3. Залежність вірогідності використання справного зразка ОВТ від часу

Але подовження технічного ресурсу ОВТ чи ЗВТ не може відбуватися нескінченно, навіть при коригуванні міжперевірного інтервалу. Очевидно, є часова межа, за якою подальше використання зразка ОВТ або ЗВТ стає технічно або фінансово несприйнятливим.

Вірогідність прийняття правильного рішення щодо призначення терміну проведення метрологічного обслуговування (вірогідність проведення метрологічного обслуговування) ОВТ визначається за формулою [6]:

$$D = 1 - P_{XB} - P_{NB} = 1 - \alpha P_{OBT} - \beta(1 - P_{OBT}), \quad (7)$$

де  $P_{XB}$ ,  $P_{NB}$  — хибна відмова (безумовна ймовірність того, що працездатний зразок ОВТ визнається неприцездатним) і невизнана відмова (безумовна ймовірність того, що зразок, який відмовив, визнається працездатним) відповідно;

$P_{OBT}$  — вірогідність безвідмовної роботи зразка ОВТ на протязі встановленого терміну;

$\alpha$ ,  $\beta$  — імовірність помилок контролю першого та другого роду відповідно.

Оскільки імовірності помилок контролю першого та другого роду залежать від допусків на парамет-

у межах міжперевірного інтервалу. Зрозуміло, що при використанні зразка ОВТ після закінчення його технічного ресурсу  $T_p$  це зменшення буде відбуватися ще швидше та може досягти величини нормованої (необхідної) вірогідності використання справного зразка  $D_n$  ще до метрологічного обслуговування. Значить, необхідно коригувати періодичність метрологічного обслуговування ОВТ (визначати фактичне значення періодичності метрологічного забезпечення  $T_n^{\phi}$ ) по мірі виробітку ресурсу та після закінчення розрахункового терміну експлуатації з метою підвищення вірогідності використання справного зразка.

ри контролю та похибок ЗВТ, які використовуються при контролі параметрів, то формула (7) визначає залежність вірогідності проведення метрологічного обслуговування зразка ОВТ від похибок ЗВТ, які застосовуються при цьому. Оскільки протягом експлуатації при метрологічному обслуговуванні зразка ОВТ звичайно використовуються одні й ті ж ЗВТ, то після проведення метрологічного обслуговування вірогідність використання справного зразка ОВТ однакова та дорівнює  $D_k$  (не залежить від кількості обслуговування, тобто часу використання) (рис. 3).

Тому пропонується для забезпечення високої ефективності використання старіючих зразків ОВТ і ЗВТ проводити коригування періодичності проведення їх метрологічного обслуговування, наприклад, використовуючи результати розв'язання задачі оптимізації: визначити періодичність проведення метрологічного обслуговування ОВТ (ЗВТ)  $T_n$  при забезпеченні максимального значення  $D$  (формула (7)), при цьому інтенсивність відмов ((3) — для ОВТ, (6) — для ЗВТ) та вартість експлуатації ОВТ повинні бути менше заданої величини.

Оцінити витрати на експлуатацію складних технічних об'єктів, включаючи зразки ОВТ, дозволяє комплексний економічний показник у вигляді річ-

них витрат [9]:

$$C = [C_e + C_{\text{сто}} \kappa_{\text{нор}}], \quad (8)$$

де  $C_e$  – собівартість одиниці продукції при експлуатації;

$C_{\text{сто}}$  – витрати на закупівлю складного технічного об'єкта;

$\kappa_{\text{нор}} = 0,12-0,15$  – нормативний коефіцієнт.

У випадку, що розглядається,  $C_e$  – експлуатаційні витрати на метрологічне обслуговування, ремонт, утримання обслуговуючого персоналу тощо;  $C_{\text{сто}} = C_{\text{ОВТ}}$  – вартість закупівлі ОВТ (ЗВТ).

Якщо виразити річні витрати в долях вартості ОВТ, тобто в формі питомих витрат, функція вартості експлуатації ОВТ (8) буде мати вигляд:

$$\tilde{C}_{e \text{ ОВТ}} = \left[ \frac{C_e}{C_{\text{ОВТ}}} + \kappa_{\text{нор}} \right]. \quad (9)$$

Введемо у функцію вартості (9) коефіцієнт  $T_e/T_{\text{ес}}$ , де  $T_e$  – строк знаходження ОВТ в експлуатації,  $T_{\text{ес}}$  – строк служби ОВТ до списання, який враховує ступінь зносу ОВТ. Тоді функцію вартості експлуатації ОВТ представимо так:

$$\tilde{C}_{e \text{ ОВТ}}^z = \left[ \frac{C_e}{C_{\text{ОВТ}}} + \kappa_{\text{нор}} \right] \frac{T_e}{T_{\text{ес}}}. \quad (10)$$

Вираз (10) більш повно описує річні витрати на експлуатацію ОВТ порівняно з відомими показниками, бо з кожним роком із-за зносу та старіння елементів ОВТ щорічні витрати на метрологічне обслуговування, а значить, і на експлуатацію ОВТ, збільшуються.

Отже, саме метрологічне забезпечення на даному етапі розвитку Збройних Сил України може відіграти провідну роль у гарантуванні боєготовності та ефективності старіючих зразків ОВТ, страхує особовий склад від можливих аварій і катастроф, раптових відмов. Проведення точних вимірювань у потрібному обсязі дозволяє уникати помилок при ухваленні рішень і зв'язаних з ними витрат.

Викладені підходи до оцінки обсягу трудовитрат на метрологічне забезпечення та метрологічне обслуговування ОВТ в умовах, що склалися, можуть бути реалізовані у формі обчислювальних програм і включені в математичне забезпечення існуючих моделей функціонування військової метрологічної служби (наприклад, територіального угруповання) на сучасному етапі їх реформування. Моделювання можливих ситуацій дозволить отримати оптимальні рішення щодо структури метрологічної служби, її матеріально-технічного оснащення, штатного складу тощо, виходячи з відомої кількості ОВТ, що підлягають метрологічному обслуговуванню, реальної оцінки їх поточного стану та фінансових можливостей.

У той же час, виходячи з викладеного, слід звернути увагу на те, що механічне скорочення військових метрологічних підрозділів може привести до негативних наслідків – втрати можливості своєчасного і в повному обсязі метрологічного обстеження стану ОВТ та ЗВТ з суттєво відпрацьованим ресурсом.

## Висновки

Особливостями метрологічного забезпечення ОВТ в умовах зростання ймовірності їх відмов є:

1) необхідність зменшення інтервалів між метрологічними обслуговуваннями (повірками) об'єктів в залежності від ступеня виробітку ресурсу;

2) зростаючі обсяги вимірювань потребують збільшення трудовитрат (штату обслуговуючого персоналу, кількості ЗВТ тощо), а значить і додаткового фінансування.

Тому необхідно проводити оптимізацію (при цьому слід враховувати, що оптимізація це не обов'язково скорочення) структури метрологічної служби військ на сучасному етапі. Це можливо шляхом моделювання її функціонування в імовірних ситуаціях з урахуванням викладених особливостей.

## Список літератури

1. Збройні Сили України: основні напрямки реформування та розвитку // *Вартів неба*. – 2003. – №№ 137, 138. – С. 7-8.
2. Оборонна політика України (Біла книга). – К.: МО України, 2006. – 134 с.
3. Державна програма розвитку Збройних Сил України на 2006 – 2011 роки. – К.: МО України, 2005. – 40 с.
4. Гнатенко Л.М., Каминский В.Ю. Состояние и направления развития систем метрологического обеспечения в Вооруженных Силах Украины // *Наука и оборона*. – 1995. – Вып. 2. – С. 3-22.
5. Камінський В.Ю., Коротков Б.В. Особливості метрологічної діяльності у сфері оборони // *Український метрологічний журнал*. – 2000. – № 1. – С. 60-63.
6. Чинков В.Н., Войтенко С.С. Методика определения оптимального расположения метрологических подразделений для силовых структур Украины // *Український метрологічний журнал*. – 2003. – № 4. – С. 60-64.
7. Герасимов С.В., Козлов В.С., Шамаев Ю.П. Метрологічна надійність засобів вимірювальної техніки: *Навчальний посібник*. – Х.: ХУ ПС, 2006. – 175 с.
8. Бабков Ю.П. Основы теории надежности, технического обслуживания и ремонта вооружения и военной техники войск ПВО Сухопутных войск. – Х.: ХВУ, 1996. – 237 с.
9. Крейцук В.В. Метрологическое обеспечение эксплуатации сложных изделий. – М.: Изд-во стандартов, 1989. – 200 с.

Надійшла до редколегії 5.03.2007

**Рецензент:** д-р техн. наук проф. Є.Л. Казаков, Об'єднаний науково-дослідний інститут Збройних Сил, Харків.