

УДК 623.451.5

І.В. Пасько, В.М. Сай

Філія Центрального науково-дослідного інституту озброєння та військової техніки
Збройних Сил України, Суми

МЕТОДИЧНИЙ ПІДХІД ДО ПРОГНОЗУВАННЯ ЗМІНИ ТЕХНІЧНОГО СТАНУ ІНЖЕНЕРНИХ БОЄПРИПАСІВ

У статті запропоновано удосконалений методичний підхід щодо визначення перспектив зміни стану інженерних боєприпасів, який дає можливість спрогнозувати зміни технічного стану інженерних боєприпасів, які перебувають на озброєнні інженерних військ Збройних Сил України.

Ключові слова: інженерні боєприпаси, прогнозування змін технічного стану, метод екстраполяції, статистичні данні, натурне зберігання, функціональна модель.

Вступ

Постановка проблеми. Хід проведення анти-терористичної операції на території Донецької та Луганської областей свідчить, що інженерні боєприпаси (ІБ) відіграють вагомую роль у вирішенні бойових завдань, створенні передумов ефективного застосування частин і підрозділів військ (сил), а також захисту своїх військ, перешкоджанні діям незаконно створених збройних формувань і нанесенні їм значних втрат.

Разом з тим, на сьогодні значна кількість наявних інженерних боєприпасів знаходиться в режимі тривалого зберігання (більше 30 років). Зрозуміло, що з часом стан даних боєприпасів під впливом внутрішніх і зовнішніх факторів змінюється і, на жаль, не в кращий бік, що потребує постійного контролю та прогнозування їх технічного стану. Але на даний час проблема прогнозу технічного стану ІБ на продовжуваний період є нерозкритою.

Метою статті є розробка удосконаленого методичного підходу до прогнозування зміни технічного стану інженерних боєприпасів, який дозволить визначити гранично допустимий термін експлуатації ІБ за відомими статистичними даними про їх відмови під час тривалого зберігання.

Основна частина

Відповідно до [1, 2] за якісним станом ІБ поділяються на чотири категорії.

До першої категорії відносяться інженерні боєприпаси, які придатні до бойового застосування та тривалого зберігання, повністю відповідають вимогам діючої документації на їхнє виробництво та термін зберігання яких не перевищує гарантійний термін, визначений підприємством-виробником (у більшості випадків 10 років).

До другої категорії відносяться ІБ, які придатні до бойового застосування та тривалого зберігання, але мають незначні відхилення від норм першої ка-

тегорії в сторону зниження рівня їх технічного стану або термін зберігання яких перевищує гарантійний, визначений підприємством-виробником.

Третя категорія – інженерні боєприпаси, які потребують військового або заводського ремонту чи технічного обслуговування (корозія різьби, що унеможливує з'єднання з підриивниками, непридатність або відсутність окремих деталей, незначні механічні пошкодження, розтріскування та втрата еластичності гумових деталей тощо). Після проведення відповідного технічного обслуговування (ремонт) боєприпаси переводяться в другу або четверту категорію.

До четвертої категорії відносяться ІБ, що непридатні до бойового застосування військами, тривалого зберігання або є небезпечними для зберігання. Такі боєприпаси підлягають утилізації або відчуженню та реалізації відповідно до чинного законодавства.

Під час тривалого зберігання інженерні боєприпаси потребують періодичного контролю їхнього технічного (якісного) стану та бойової спроможності [1, 2].

Загальний контроль якісного стану ІБ, що зберігаються, проводиться під час планових контролю-технічних оглядів, а більш детальний контроль – під час проведення планових випробувань зразків ІБ.

Контроль стану бойової спроможності ІБ проводиться виключно під час планових їх випробувань. При цьому перевіряється якість бойової ефективності боєприпасу, а саме [3]:

повнота детонації вибухової речовини, якою споряджений боєприпас;

ефективність дії боєприпасу;

якість спрацювання відповідних вузлів, що відповідають за дієздатність боєприпасу.

Контроль якісного стану ІБ здійснюється по партіях заводського виготовлення. У разі виникнення відмов, які за своєю кількістю перевищують

встановлену норму [1], вся партія переводиться у четверту категорію.

Визначити перспективи зміни (прогнозування) технічного стану інженерних боєприпасів можливо шляхом проведення прискорених випробувань на довговічність та збережуваність, але вони потребують значних фінансових і часових витрат і тому на даний час такі випробування повноцінно не проводяться. Тому для прогнозування стану ІБ доцільно застосовувати статистичну екстраполяцію.

Суть екстраполяції полягає у вивченні стійких тенденцій розвитку об'єкта прогнозу, які склалися у минулому та сьогодні й у перенесенні їх на майбутнє.

Екстраполяція базується на наступних допущеннях:

зміна технічного стану ІБ може бути з достатньою основою охарактеризована плавною траєкторією – трендом;

загальні умови, що визначають тенденцію розвитку в минулому, не зазнають істотних змін в майбутньому [4], тобто передбачається певна консервативність поведінки ІБ.

Для екстраполяції характерне знаходження плавної лінії, що відображає закономірності розвитку з часом або лінії теоретичного тренду.

Під трендом розуміється характеристика основної закономірності руху в часі, в деякій мірі вільній від випадкових дій [4].

Екстраполяція на основі тренду включає:

збір інформації по динамічному ряду показника, що характеризує явище, яке вивчається, за попередні періоди;

вибір оптимального виду функції, що описує вказаний ряд шляхом його згладжування та вирівнювання (апроксимація);

розрахунок параметрів вибраної функції апроксимації;

розрахунок прогнозу на майбутнє за вибраною функцією шляхом її екстраполяції.

Метод екстраполяції не дає точних результатів на тривалий термін прогнозу (20-25 років), тому що він виходить з минулого й сьогодні, тим самим накопичується погрішність, але він дозволяє отримати позитивні результати на найближчу перспективу прогнозування тих або інших об'єктів (до 5 років) [4, 5].

Загальний підхід щодо прогнозування процесу зміни технічного стану інженерних боєприпасів тривалого зберігання представлений на рис. 1.

На основі визначення показників і критеріїв для прогнозування стану ІБ здійснюється формування переліку показників, за якими буде здійснюватись прогнозування стану ІБ.

Вихідними даними для проведення прогнозування змін технічного стану інженерних боєприпа-

сів є статистичні дані про результати їх натурального зберігання [5].

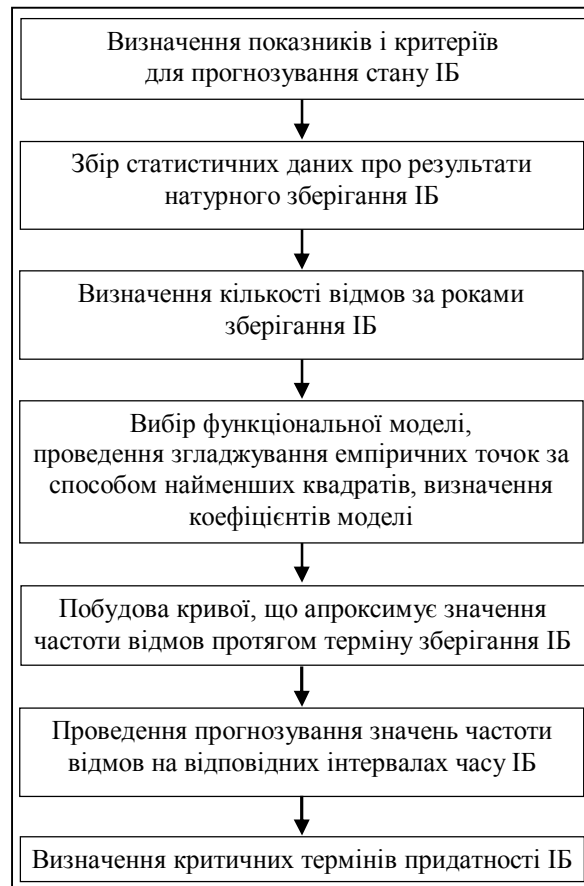


Рис. 1. Методичний підхід до прогнозування зміни технічного стану інженерних боєприпасів

На складах та арсеналах інженерних військ ЗС України по кожному типу ІБ можна отримати наступну статистичну інформацію:

- рік проведення випробувань;
- рік виготовлення ІБ та партія заводського виготовлення;
- кількість ІБ досліджуваного типу, відібраних для випробувань;
- результати випробувань зразків ІБ (кількість відмов);
- категорія ІБ до та після випробувань.

Для визначення кількості відмов за роками зберігання інженерних боєприпасів необхідно:

- а) визначити термін зберігання ІБ досліджуваного типу за формулою:

$$t_{зб} = t_{випр} - t_{виг} \quad (1)$$

де $t_{зб}$ – термін зберігання ІБ;

$t_{випр}$ – рік проведення випробувань ІБ;

$t_{виг}$ – рік виготовлення ІБ.

- б) розрахувати частоту відмов за роками зберігання:

$$v(t_{36}) = \frac{n(t_{36})}{N(t_{36})}, \quad (2)$$

де $v(t_{36})$ – частота відмов ІБ досліджуваного типу відповідного терміну зберігання;

$n(t_{36})$ – кількість відмов ІБ досліджуваного типу відповідного терміну зберігання;

$N(t_{36})$ – кількість ІБ досліджуваного типу, ви-

дбраних на випробування відповідного терміну зберігання.

в) розрахувати частоту спрацювання інженерних боєприпасів:

$$\eta(t_{36}) = 1 - v(t_{36}). \quad (3)$$

Отримані дані за кожним досліджуваним типом інженерних боєприпасів заносяться в таблицю (табл. 1).

Таблиця 1

Статистичні дані про інженерні боєприпаси досліджуваного типу

Термін зберігання, рік	Рік зберігання				
	t_1	t_2	t_3	...	t_n
Загальна кількість випробуваних мін, шт.
Кількість відмов, шт.
Частота відмов
Частота спрацювання ІБ

Наступним кроком є вибір функціональної моделі, проведення згладжування емпіричних точок способом найменших квадратів, визначення коефіцієнтів моделі.

Проведений аналіз показав, що при обробці статистичної інформації щодо частоти відмов ІБ виникає ряд труднощів, які не дозволяють привести дану інформацію до вигляду, придатного для подальшого дослідження. Це пов'язано з тим, що випробування ІБ, під час яких можливо оцінити їх технічний стан, проводяться з визначеною періодичністю залежно від категорії, яка присвоєна цим боєприпасам [6].

Дані, наведені в [6], свідчать, що збільшення кількості відмов у процесі зберігання ІБ спостерігається лише під час чергових випробувань. Це пояснюється тим, що до моменту проведення випробувань зразки ІБ знаходяться в стані прихованої відмови і виявити інтервал часу, на якому боєприпаси прийшли в непридатний стан, за такою статистичною інформацією неможливо.

Хоча нам і не відомі дані про процеси старіння ІБ, але можна припустити, що з часом під впливом внутрішніх і зовнішніх факторів стан інженерних боєприпасів погіршується і, як наслідок, збільшується частота відмов.

Тому як тренд можна прийняти функцію для розрахунку безвідмовної роботи ІБ, яка найбільш точно відображає процес зміни технічного стану інженерних боєприпасів [7], виду:

$$y_t = e^{-k_0 t}; \quad k_0, k_1 \in \mathbb{R}, \quad (4)$$

де y_t – значення частоти спрацювання ІБ у t -му році;

t – порядковий номер року з даного періоду;

k_0 – коефіцієнт регресії прогнозу моделі.

Для знаходження коефіцієнту регресії k_0 застосуємо метод найменших квадратів, який полягає в мінімізації суми квадратичних відхилень між спостережуваними та розрахованими величинами.

Крім того під час розрахунку k_0 будемо вважати, що в разі, коли число відмов більше визначеного критерію (кількість відмов перевищує 10% від кількості ІБ однієї партії, відібраних на випробування), то партія не відбракується, а результати випробувань враховуються в наступних роках.

За методом найменших квадратів найкращими значеннями коефіцієнтів функції регресії $a_0, a_1, \dots, a_m \in \mathbb{R}$, для яких сума квадратів відхилень

$$s(a_0, a_1, \dots, a_m) = \sum_{i=0}^n \delta_i = \sum_{i=0}^n (y_i - F(x_i; a_0, a_1, \dots, a_m))^2$$

дослідних даних y_i , обчислених за емпіричною формулою $y = F(a_0, a_1, \dots, a_m)$, найменша. Звідси випливає, що величина $s(a_0, a_1, \dots, a_m)$, яка є функцією від коефіцієнтів a_0, a_1, \dots, a_m , повинна мати мінімум.

Ураховуючи вище викладене, коефіцієнт регресії k_0 буде мати вигляд:

$$k_0 = \frac{-\sum_{i=1}^n y'_i t_i}{\sum_{i=1}^n t_i^2}. \quad (5)$$

За статистичними даними про інженерні боеприпаси досліджуваного типу будується графік функції (4), тобто крива, що апроксимує значення частоти спрацювання ІБ протягом терміну зберігання та визначається аналітичне продовження функції в області екстраполяції.

Для проведення прогнозування значень частоти відмов на відповідних інтервалах часу зберігання ІБ застосовується рівняння для визначення надійності інженерних боеприпасів:

$$q(t) = 1 - e^{-k_0 t}. \quad (6)$$

За даним рівнянням також будується крива та визначається аналітичне продовження функції в області екстраполяції.

Наступним кроком є прогнозування значень частоти відмов на відповідних інтервалах часу зберігання ІБ, тобто встановлення терміну зберігання дослідженого типу інженерних боеприпасів, при якому частота відмов перевищує допустимі норми $t_{гр}$.

За отриманими даними визначаються критичні терміни придатності інженерних боеприпасів:

$$t_{кр} = t_{виг} + t_{гр}, \quad (7)$$

де $t_{кр}$ – критичний термін придатності ІБ;

$t_{вигр}$ – рік проведення випробувань ІБ;

$t_{виг}$ – рік виготовлення ІБ.

Висновок

Таким чином, запропонований удосконалений методичний підхід дає можливість прогнозувати технічний стан інженерних боеприпасів на основі статистичних даних про їх відмови, а також оцінити граничні терміни їх придатності на найближчу перспективу (до 5 років) за ознакою безвідмовності.

МЕТОДИЧЕСКИЙ ПОДХОД К ПРОГНОЗИРОВАНИЮ ИЗМЕНЕНИЯ ТЕХНИЧЕСКОГО СОСТОЯНИЯ ИНЖЕНЕРНЫХ БОЕПРИПАСОВ

И.В. Пасько, В.Н. Сай

В статье предложен усовершенствованный методический подход определения перспектив изменения состояния инженерных боеприпасов, который позволяет разработать прогноз изменения технического состояния инженерных боеприпасов, находящихся на вооружении инженерных войск Вооруженных Сил Украины.

Ключевые слова: инженерные боеприпасы, прогнозирование изменений технического состояния, метод экстраполяции, статистические данные, натурное хранение, функциональная модель.

METHODICAL GOING NEAR PROGNOSTICATION OF CHANGE OF THE TECHNICAL STATE OF ENGINEERING LIVE AMMUNITIONS

I.V. Pasko, V.N. Say

The improved methodical approach of determination of prospects of change of the state of engineering live ammunitions is offered in the article, that allows to work out the prognosis of change of the technical state of engineering live ammunitions being on the armament of engineering troops of the Armed Forces of Ukraine.

Keywords: engineering live ammunitions, prognostication of changes of the technical state, method of extrapolation, statistical data, model storage, functional model.

Список літератури

1. Керівництво зі зберігання інженерних боеприпасів у Збройних силах України, затверджене наказом начальника Генерального штабу – Головнокомандувача Збройних Сил України від 12.11.07 № 200.

2. Керівництво з застосування інженерних боеприпасів у Міністерстві оборони України та Збройних Сил України, затверджене наказом Міністра оборони України від 27.12.10 № 700.

3. Богучарський В.В. "Загальна методика проведення випробувань інженерних боеприпасів" / В.В. Богучарський, О.Б. Крашаница, Н.В. Гамалій // *Наук.-техн. конф. "Проблемні питання розвитку ОВТ": тези доповіді.* – К., ЦНДІ ОВТ ЗСУ, 2011 рік.

4. Громова Н.М. *Основы экономического прогнозирования* / Н.М. Громова, Н.И. Громова. – "Академия Естествознания", 2006.

5. Мальченко С.В. *Прогнозування процесу зміни технічного стану інженерних боеприпасів тривалого зберігання* / С.В. Мальченко // *Зб. наук. пр. Національної академії Державної прикордонної служби України ім. Богдана Хмельницького.* – Серія: військові та технічні науки, 2009. – № 49. – С. 38-40.

6. Каленик М.М. *Методичний підхід до визначення адекватності результатів дослідного зберігання інженерних боеприпасів натурному* / *Збірник наукових праць Національної академії Державної прикордонної служби України ім. Богдана Хмельницького.* – Серія: військові та технічні науки. – 2009. – № 49. – С. 72-74.

7. Венцель Е.С. *Введение в исследование операций* / Е.С. Венцель. – М.: Советское радио, 1964. – 391 с.

Надійшла до редколегії 12.02.2015

Рецензент: канд. військ. наук, ст. наук. співр. М.Ю. Мокроцький, філія Центрального науково-дослідного інституту озброєння та військової техніки Збройних Сил України, Суми.