

УДК 621.762:623.462.22.4.017

А.А. Шоколовський, І.В. Коваль, В.П. Попов, В.Д. Ткачик

Харківський університет Повітряних Сил ім. І. Кожедуба, Харків

ДІАГНОСТУВАННЯ ТА ПРОГНОЗУВАННЯ ТЕХНІЧНОГО СТАНУ БОРТОВОГО ОБЛАДНАННЯ ЗЕНІТНИХ КЕРОВАНИХ РАКЕТ ВЕЛИКОЇ ДАЛЬНОСТІ ПРИ ПРОДОВЖЕННІ ПРИЗНАЧЕНИХ ПОКАЗНИКІВ З ВИКОРИСТАННЯМ МЕТОДУ ФАКТОРНОГО АНАЛІЗУ

У зв'язку з необхідністю продовження призначених показників зенітних керованих ракет (ЗКР) розглянути питання діагностування та прогнозування технічного стану бортового обладнання ЗКР великої дальності з використанням методу факторного аналізу. Використання методу факторного аналізу дозволяє прогнозувати настання непрацездатного стану бортового обладнання ЗКР за рахунок аналізу зміни факторних навантажень параметрів бортового обладнання. Статистичні дані пропонується накопичувати груповим методом за результатами вимірювань параметрів бортового обладнання групи ЗКР одного типу.

Ключові слова: *продовження призначених показників ЗКР, діагностування бортового обладнання, метод факторного аналізу, факторні навантаження, прогнозування технічного стану.*

Вступ

Постановка завдання. На даний час на озброєнні зенітних ракетних військ (ЗРВ) знаходяться ЗКР, в яких закінчуються або закінчилися призначені терміни служби (зберігання). У зв'язку з цим виникає необхідність у продовженні призначених показників цих ЗКР.

При продовженні призначених показників ЗКР проводиться комплекс робіт, за результатами яких визначається можливість експлуатації виробів за межами, установлених у нормативній документації, значень призначених показників, розробляються і реалізуються заходи щодо забезпечення експлуатації ЗКР на період продовження.

Комплекс робіт з продовження призначених

показників ЗКР включає контрольнотехнічне опосвідчення ЗКР, до якого входить контроль технічного стану бортового обладнання ЗКР. Діагностування технічного стану бортового обладнання ЗКР проводиться при технічному обслуговуванні (регламентних роботах) в процесі експлуатації ЗКР. Статистичний матеріал, що накопичується за результатами цього діагностування, можна використовувати для оцінки та прогнозування технічного стану бортового обладнання ЗКР з використанням сучасних методів обробки результатів вимірювань.

Мета статті: обґрунтування можливості діагностування та прогнозування технічного стану бортового обладнання ЗКР великої дальності (ВД) з використанням методу факторного аналізу при продовженні призначених показників цих ЗКР.

Основна частина

ЗКР ВД є виробом одноразового використання, в процесі експлуатації контролюємо, підлягає обслуговуванню та діагностуванню з використанням автоматичних (автоматизованих) контрольновимірювальних пересувних станцій (АКВПС) та апаратури передстартової підготовки, розбиранню та відновленню агрегатним методом.

Для бортового обладнання ЗКР ВД технічний стан оцінюється як працездатний, коли значення всіх параметрів, що характеризують його здатність виконувати покладені на нього функції, відповідають вимогам нормативнотехнічної документації. Одним із завдань, які вирішуються при продовженні призначених показників ЗКР ВД, є діагностування і прогнозування технічного стану бортового обладнання цих ЗКР.

Прогнозування технічного стану бортового обладнання ЗКР можна проводити використовуючи метод факторного аналізу [1], який є сучасним методом обробки статистичної інформації і дозволяє провести обробку результатів вимірювань параметрів бортового обладнання ЗКР з прогнозуванням можливих прихованих відмов цього обладнання. Вибір цього методу оснований на тому, що в процесі функціонування значення параметрів бортового обладнання ЗКР можуть відхилятися від номінальних в той чи інший бік. Відхилення параметрів від своїх номінальних значень, як правило, носить випадковий характер, а причинами цих відхилень можуть бути різні фактори. Факторний аналіз, в свою чергу, це методика формування гіпотез, яка спирається на те, що декілька змінних величин (параметрів) сильно корелюють між собою. Це означає, що або вони взаємно визначають одна одну, або зв'язок між ними обумовлюється іншою третьою величиною, яку безпосередньо вимірити неможливо. Результатом обробки статистичних даних з використанням методу факторного аналізу є отримання фак-

торної матриці, в якій у стовпчиках містяться загальні (основні) фактори, а у рядках параметри, що аналізуються, з відповідними факторними навантаженнями. Ці факторні навантаження дозволяють дати чисельне пояснення кореляційних зв'язків між параметрами. При функціонуванні бортового обладнання ЗКР у штатному режимі з відхиленням його параметрів, як у межах допуску так і за межами допуску, будуть змінюватися і факторні навантаження параметрів з відповідними ознаками відхилення цих параметрів від номінальних значень. Виходячи з цього, за результатами обробки статистичної інформації з використанням методу факторного аналізу по характеру зміни факторних навантажень параметрів можна прогнозувати можливі відмови та технічний стан пристроїв бортового обладнання.

Для аналізу можливості прогнозування технічного стану бортового обладнання ЗКР ВД за допомогою методу факторного аналізу з використанням комп'ютерної програми "Micro-Cap 9" було проведено моделювання функціонування задаючого генератору $f_{КВБ}$ приймального пристрою головки самонаведення (ГСН). Для аналізу у п'яти точках схеми задаючого генератору $f_{КВБ}$ проводилося періодичне вимірювання напруги і частоти (всього десять параметрів).

На першому етапі здійснювалося штучне дискретне змінення величини напруги живлення каскадів генератору без виходу її значення за межі допуску. За результатами вимірювань була сформована матриця вихідних даних (табл. 1), на основі якої проводилася статистична обробка цих даних за допомогою комп'ютерної програми "Statistica", яка реалізує метод факторного аналізу.

В рядках матриці вихідних даних Y наведена кількість проведених вимірювань, у стовпчиках параметри, що вимірюються.

Слід зазначити, що на практиці отримання статистичних даних (за результатами перевірки бортового обладнання ЗКР ВД на АКВПС) для формування матриці вихідних даних і проведення такого аналізу можливо здійснити двома методами:

- груповим, при якому накопичується інформація про стан бортового обладнання за результатами вимірювання контролюємих параметрів групи ракет одного типу, року виготовлення, однакових умов утримання (зберігання), наробітку;

- індивідуальним, при якому здійснюється контроль технічного стану до переходу бортового обладнання до граничного стану окремої ракети.

Для ЗКР великої дальності, які у військах утримуються, в основному, в режимі проміжної готовності, накопичення статистичних даних груповим методом є переважним. Тобто, накопичення статистичних даних для матриці вихідних даних повинно здійснюватися за кількістю параметрів та зростаючою кількістю ЗКР, які діагностуються.

Таблиця 1

Матриця вихідних даних для першого етапу

	Uзг,мВ	fзг,МГц	Uyc1,мВ	fyc1,МГц	Uyc2,мВ	fyc2,МГц	Uyc3,мВ	fyc3,МГц	Uyc4,мВ	fyc4,МГц
1.	4,75	10,01	620,4	9,987	310,4	10,009	284,4	10,009	27,3	10,98
2.	4,75	10,01	625,7	9,987	310,8	9,987	290,1	9,986	28,1	10,98
3.	4,75	10	617,8	10,009	308,7	10,009	292,1	10,009	29,4	11
4.	4,8	10,01	627	10	315	9,987	300,4	9,987	28,54	10,98
5.	4,7	10,01	621	10	307	10,009	299	9,986	28,12	10,98
6.	4,8	10,01	625	10	313,4	9,987	300,2	9,987	28,7	10,98
7.	4,69	10,01	625,7	9,987	314,7	9,987	293	9,987	27,7	10,98
.....										
97.	4,7	10,01	622,4	9,987	307,5	9,987	293,8	9,987	28,7	10,98
98.	4,8	10,01	627	10	315	9,987	300,4	9,987	28,54	10,98
99.	4,74	10,01	621	9,987	311,8	9,987	299,2	9,987	28,3	10,98
100.	4,7	10,01	624,3	9,987	308,5	9,987	294,8	9,987	29	10,98

Послідовність процедур, які передбачені методом факторного аналізу і реалізовані програмою полягає в наступному [2]:

- обчислюються парні коефіцієнти кореляції між параметрами, що наведені у матриці вихідних даних Y, в результаті чого отримується кореляційна матриця – R, яка є симетричною. Ця матриця містить важливу інформацію про ступінь статистичних зв'язків між параметрами;

- по головній діагоналі кореляційної матриці проставляються оцінки спільностей і отримується редуцирована кореляційна матриця R_h;

- з отриманої матриці R_h вилучаються фактори, в результаті чого отримується матриця відображення – A, елементами якої є факторні навантаження;

- за допомогою спеціальних процедур обернення отримується факторна матриця – V [1].

На рис. 1 наведена послідовність отримання

факторної матриці V. В цій факторній матриці кожному параметру відповідає певне факторне навантаження. Далі здійснювався аналіз значень факторних навантажень щодо встановлення кореляційних зв'язків між параметрами, при умові змінення цих параметрів у межах допуску.

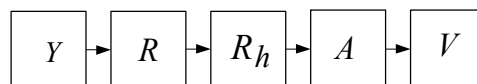


Рис. 1. Послідовність отримання факторної матриці

Процедура отримання факторної матриці при моделюванні функціонування задаючого генератора f_{кв.б} приймального пристрою ГСН ЗКР ВД здійснювалася поступово для 10, 30, 60, 100 вимірювань.

Результати, які отримані у факторних матрицях V, наведені у табл. 2.

Таблиця 2

Величини факторних навантажень параметрів на загальні фактори для першого етапу

Параметр	10		20		30		40	
	Фактор1	Фактор2	Фактор1	Фактор2	Фактор1	Фактор2	Фактор1	Фактор2
Uзг	0,538794	0,166534	0,034129	0,049667	0,012083	-0,176319	0,084630	0,008062
fзг	0,458202	-0,595180	-0,686608	-0,336940	-0,398457	0,476219	-0,264442	0,612307
Uyc1	0,726353	-0,285319	-0,691141	0,116592	-0,128359	0,774881	-0,127902	0,845065
fyc1	-0,098890	0,887063	0,315590	0,764416	0,694347	0,361891	0,564292	0,551259
Uyc2	0,748720	-0,290745	-0,554460	0,101278	-0,149172	0,529686	-0,123137	0,657403
fyc2	-0,879023	0,256192	0,842232	0,181927	0,776719	-0,340174	0,867271	-0,124700
Uyc3	0,737957	0,490538	-0,422650	0,801304	0,277954	0,783109	0,093953	0,675804
fyc3	-0,809848	0,296942	0,860762	0,188262	0,798121	-0,364396	0,897980	-0,139203
Uyc4	0,057459	0,735749	0,014704	0,718763	0,416158	0,244846	0,222910	-0,099435
fyc4	-0,547297	0,726069	0,761465	0,489768	0,877281	-0,206085	0,901179	-0,071648

На другому етапі, з метою встановлення ступіню впливу виходу вимірюваних параметрів задаючого генератора f_{кв.б} за межі допуску на факторні навантаження імітувалася зміна ємності конденсатору фільтра живлення, за допомогою штучного дискретного виведення величини напруги живлення каскадів генератору за межі допуску. Результати вимірювань параметрів наведені у матриці вихідних даних Y для другого етапу (табл. 3). Обробка результатів вимірювань проводилася поступово через

10, 30, 60, 100 вимірювань. Результати, які отримані у факторних матрицях V після дискретного виведення величини напруги живлення каскадів генератору за межі допуску, наведені у табл. 4.

З аналізу таблиць 1 і 3 та 2 і 4 можливо зробити висновок, що при штучному дискретному виведенні величини напруги живлення каскадів генератору за межі допуску, чим імітувалася зміна ємності конденсатору фільтра живлення, змінюються вимірювальні параметри і, як наслідок, їх факторні навантаження.

таження для обох етапів експерименту. На рис. 2 і 3 наведено геометричне представлення факторного простору загальних факторів (двох факторів) з факторними навантаженнями на кожний параметр відповідного фактору для обох етапів експерименту. Аналіз геометричного представлення показує, що: по-перше, відбулася суттєва зміна орієнтації векто-

рів факторних навантажень параметрів; по-друге, змінився кут φ (який є мірою кореляції двох змінних величин), між цими векторами-змінними на точки, що характеризують факторні навантаження. Відповідно змінився і їх коефіцієнт кореляції. Як приклад, на рис. 2 наведено зміну положень векторів факторних навантажень параметрів U_{yc1} , f_{yc2} .

Таблиця 3

Матриця вихідних даних для другого етапу

	Uзг,мВ	fзг,МГц	Uyc1,мВ	fyc1,МГц	Uyc2,мВ	fyc2,МГц	Uyc3,мВ	fyc3,МГц	Uyc4,мВ	fyc4,МГц
1.	4,75	10,01	620,4	9,987	310,4	10,009	284,4	10,009	27,3	10,98
2.	4,75	10,01	625,7	9,987	310,8	9,987	290,1	9,986	28,1	10,98
3.	4,75	10	617,8	10,009	308,7	10,009	292,1	10,009	29,4	11
4.	4,8	10,01	627	10	315	9,987	300,4	9,987	28,54	10,98
5.	4,7	10,01	621	10	307	10,009	299	9,986	28,12	10,98
6.	4,8	10,01	625	10	313,4	9,987	300,2	9,987	28,7	10,98
7.	4,69	10,01	625,7	9,987	314,7	9,987	293	9,987	27,7	10,98
.....										
97.	4,7	10,01	623,4	9,987	182,1	9,987	173,8	9,98	14,5	10,98
98.	4,7	10,01	621,5	9,987	180,4	9,933	172,3	9,98	13,9	10,89
99.	4,7	10,01	625,3	9,987	178,6	9,933	167,9	9,98	12,6	10,89
100.	4,7	10,01	627,4	9,987	173,3	9,93	165,3	9,98	12	10,89

Таблиця 4

Величини факторних навантажень параметрів на загальні фактори для другого етапу

Параметр	10		20		30		40	
	Фактор1	Фактор2	Фактор1	Фактор2	Фактор1	Фактор2	Фактор1	Фактор2
Uзг	0,538794	0,166534	-0,067166	0,584005	-0,004206	-0,151663	0,471021	-0,201065
fзг	0,458202	-0,595180	-0,383411	0,481240	0,279106	-0,449890	-0,042655	-0,337661
Uyc1	0,726353	-0,285319	-0,047824	0,711457	-0,030568	0,019018	0,186513	-0,237333
fyc1	-0,098890	0,887063	0,676066	0,315587	-0,095542	0,596584	-0,205102	0,500381
Uyc2	0,748720	-0,290745	0,435326	0,703839	0,961006	0,084128	0,953860	0,173411
fyc2	-0,879023	0,256192	0,877117	-0,006540	0,331616	0,814843	0,371122	0,729190
Uyc3	0,737957	0,490538	0,382020	0,748223	0,959482	0,064941	0,954102	0,171072
fyc3	-0,809848	0,296942	0,893074	-0,086075	0,019472	0,786352	0,058853	0,727311
Uyc4	0,057459	0,735749	0,023731	-0,238298	0,840085	-0,053461	0,892391	0,211659
fyc4	-0,547297	0,726069	0,903369	-0,098871	-0,171411	0,799655	0,217574	0,736599

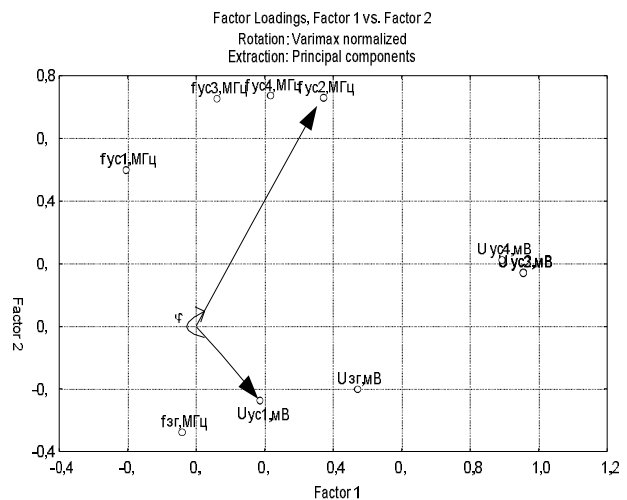
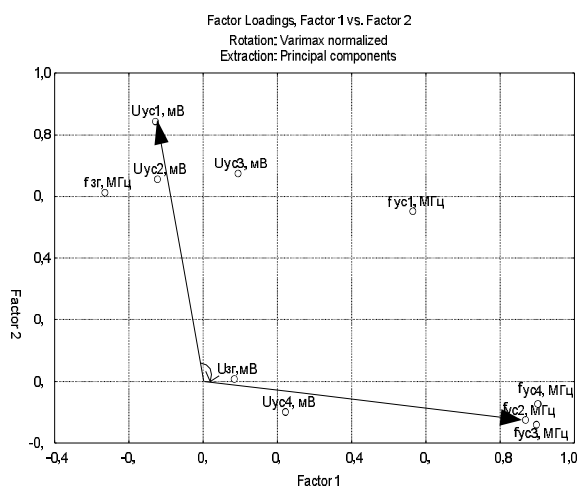


Рис. 2. Геометричне представлення факторних навантажень у просторі загальних факторів: а – для першого етапу вимірювань; б – для другого етапу вимірювань

В якості міри відхилення факторних навантажень від попередніх значень, які послідовно отримуються після кожного етапу вимірювань, обрана середня відстань між факторними навантаженнями – r_a , що обчислюється як відстань між точками m -мірного простору за вираженням [2]:

$$r_a = \frac{1}{m} \sum_{i=1}^m d_i, \quad (1)$$

де $d_i = ((a_{1i} - a_{11})^2 + (a_{2i} - a_{21})^2)^{0,5}$ – відстань між значеннями a_{1i} та a_{2i} факторних навантажень першого і другого факторів на i -ті параметри при 10, 30, 60, 100 вимірюваннях параметрів; $i = \overline{1, m}$, де m – кількість параметрів, що контролюються.

Розрахунок середньої відстані між факторними навантаженнями r_a , за формулою (1), показав що:

– при умові функціонування задаючого генератора $f_{кв.б}$ приймального пристрою ГСН у працездатному стані $r_a=0,726$;

– при умові штучної зміни ємкості фільтра живлення в межах непрацездатного стану задаючого генератора $f_{кв.б}$ $r_a=0,531$, звідси різниця Δ_a складає 0,195.

З цього можна зробити висновок, що зміна величин факторних навантажень та їх положень у просторі загальних факторів свідчить про порушення працездатності задаючого генератора $f_{кв.б}$ (вихід з ладу фільтра живлення).

Висновки

Із проведених досліджень можна зробити наступні висновки:

– при продовженні призначених показників ЗКР ВД необхідним є проведення діагностування і прогнозування технічного стану бортового обладнання ЗКР;

– обґрунтований підхід до прогнозування непрацездатного (або граничного) стану бортового обладнання ЗКР ВД за допомогою використання процедури факторного аналізу;

– прогнозування непрацездатного стану бортового обладнання ЗКР може здійснюватися шляхом порівняння зміни середніх відстаней між факторними навантаженнями та положень факторних навантажень у просторі загальних факторів;

– накопичення статистичної інформації для використання методу факторного аналізу пропонується проводити груповим методом перевірки бортового обладнання ЗКР ВД на АКВПС.

Список літератури

1. Иберла К. Факторный анализ / К. Иберла. – М.: Статистика, 1980. – 397 с.
2. Шоколовський А.А. Прогнозування технічного стану виробів зенітного ракетного озброєння та радіоелектронної техніки за допомогою використання методу факторного аналізу в стратегії технічного обслуговування та ремонту за станом / А.А. Шоколовський, І.В. Коваль, В.П. Попов, О.А. Наконечний // Системи озброєння і військова техніка. – 2010. – № 2 (22). – С. 80-84.

Надійшла до редколегії 10.06.2011

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

ДИАГНОСТИРОВАНИЕ И ПРОГНОЗИРОВАНИЕ ТЕХНИЧЕСКОГО СОСТОЯНИЯ БОРТОВОГО ОБОРУДОВАНИЯ ЗЕНИТНЫХ УПРАВЛЯЕМЫХ РАКЕТ БОЛЬШОЙ ДАЛЬНОСТИ ПРИ ПРОДЛЕНИИ НАЗНАЧЕННЫХ ПОКАЗАТЕЛЕЙ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ МЕТОДА ФАКТОРНОГО АНАЛИЗА

А.А. Шоколовский, И.В. Коваль, В.П. Попов, В.Д. Ткачик

В связи с необходимостью продления назначенных показателей зенитных управляемых ракет (ЗУР) рассмотрены вопросы диагностирования и прогнозирования технического состояния бортового оборудования ЗУР большой дальности с использованием метода факторного анализа. Использование метода факторного анализа позволяет прогнозировать наступление неработоспособного состояния бортового оборудования ЗУР за счет анализа изменения факторных нагрузок параметров бортового оборудования. Статистические данные предлагается накапливать групповым методом по результатам измерений параметров бортового оборудования группы ЗУР одного типа.

Ключевые слова: продление назначенных показателей ЗУР, диагностирование бортового оборудования, метод факторного анализа, факторные нагрузки, прогнозирование технического состояния.

DIAGNOSING AND FORECASTING OF THE TECHNICAL STATE OF AIRBORNE EQUIPMENT OF LONG RANGE ANTI-AIRCRAFT MISSILES UNDER PROLONGATION OF SPECIFIED FACTORS USING FACTOR ANALYSIS METHOD

A.A. Shokolovskiy, I.V. Koval, V.P. Popov, V.D. Tkachik

In connection with the necessity of prolongation of the specified factors of the anti-aircraft missiles the problem of diagnosing and forecasting of the technical state of long-range missile airborne equipment using a factor analysis method was considered. Using factor analysis method allows to forecast the appearing of missile airborne equipment disabled state by means of the analysis of missile airborne equipment parameter factor loadings changing. It is suggested to accumulate statistical information by means group method using the results of measuring of missile airborne equipment parameters for group of same type missiles.

Keywords: prolongation of the specified factors of anti-aircraft missiles, diagnosing of airborne equipment, factor analysis method, factor loadings, forecasting of the technical state.