І.В. Телевний, В.М. Феденько

Державний науково-дослідний інститут випробувань і сертифікації озброєння та військової техніки, Чернігів

ЗАСТОСУВАННЯ МЕТОДУ АНАЛІЗУ ІЄРАРХІЙ ДЛЯ ОЦІНКИ ВПЛИВУ ЕКРАННО-ВИХЛОПНОГО ПРИСТРОЮ НА ЗМІНУ ЗАХИЩЕНОСТІ ВЕРТОЛЬОТУ ВІД КЕРОВАНИХ РАКЕТ З ІНФРАЧЕРВОНИМИ ГОЛОВКАМИ САМОНАВЕДЕННЯ

Розглянуто порядок створення методики оцінки впливу екранно-вихлопного пристрою на захищеність вертольоту від керованих ракет з інфрачервоними головками самонаведення. Для вирішення задач багатокритеріального вибору застосовано метод аналізу ієрархій. В його межах визначені критерії оцінки зміни помітності та льотно-технічних характеристик вертольоту. В результаті отримані критерії захищеності при застосуванні ЕВП, встановленого на вертольоті, у порівнянні з базовим вертольотом без ЕВП.

Розроблену оцінку доцільно використовувати при випробуваннях систем захисту модернізованих і новітніх зразків вертолітної техніки.

Ключові слова: вертоліт, керовані ракети з інфрачервоними головками самонаведення, екранно-вихлопний пристрій, льотно-технічні характеристики, помітність.

Вступ

Постановка проблеми. Тактика застосування літальних апаратів армійської авіації, зокрема вертольотів, переважно базується на використанні малих і надмалих висот польоту, що підвищує ймовірність ураження їх засобами протиповітряної оборони малого радіусу дії, в більшості випадків керованими ракетами з інфрачервоними головками самонаведення (далі - ІЧ ГСН). Досвід бойових дій і причини бойових втрат в ході ООС на Сході країни є яскравим тому підтвердженням. Для зменшення ймовірності ураження літального апарату разом з активними засобами постановки завад використовуються різні засоби зменшення інфрачервоної помітності вертольотів, основними з яких є екранно-вихлопні пристрої (далі - ЕВП). Тому виникає потреба в розробці методики оцінки впливу ЕВП на захищеність вертольоту, що знайшло своє відображення у сучасній науково-технічній періодиці.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Слід зауважити, що незважаючи на значну кількість наукових праць з захисту вертольотів від ракет з інфрачервоними головками самонаведення [1–4], питання розробки комплексної методики оцінки впливу ЕВП на льотно-технічні характеристики (далі - ЛТХ) та характеристики інфрачервоної помітності вертольотів не втрачають своєї теоретичної та практичної важливості.

Аналіз основних тенденцій розвитку систем захисту ЛА [5–8] свідчить, що основними завданнями комплексу захисту будь-якого літального апарату від керованого ракетного озброєння є виявлення, ідентифікація, визначення місцезнаходження (пус-

ку) та забезпечення активної і пасивної протидії всім видам загроз з будь-якого напрямку.

Метою даної роботи є розробка методики оцінки впливу ЕВП на льотно-технічні характеристики та характеристики інфрачервоної помітності вертольотів, яка дозволяє підвищити ступінь захищеності вертольоту від ураження.

Виклад основного матеріалу

З метою підвищення ефективності захисту вертольоту від ракет з ІЧ ГСН разом з хибними тепловими цілями використовуються ЕВП [9], встановлення яких підвищує ступінь захищеності авіаційної техніки, зокрема, помітності та призводить до зміни льотно-технічних характеристик. Принцип їх дії ґрунтується на розсіюванні теплового потоку від газотурбінних двигунів вертольотів, відхиленні напрямку викиду газового струменю та зменшенні його температури, що у підсумку призводить до суттєвого зменшення дальності захвату вертольоту ІЧ ГСН.

Так як не всі характеристики можна оцінити кількісно і визначити їх важливість на зміну захищеності вертольоту, то слід використовувати експертні методи оцінки.

Розглянемо вертоліт як складну технічну систему, яку можна описати багатьма критеріями. Необхідно визначити вплив цих критеріїв на захищеність вертольоту від ракет з ІЧ ГСН. Найбільш перспективним методом для вирішення реальних задач багатокритеріального вибору являється метод аналізу ієрархій (далі - МАІ) [10]. Тому пропонується використати МАІ для оцінки зміни захищеності

вертольоту при встановленні екранно-вихлопного пристрою.

По-перше, потрібно визначити мету – це знаходження впливу ЕВП на захищеність вертольоту як складної технічної системи. По-друге - побудувати ієрархію, де вершиною є мета, проміжними рівнями є критерії, а найнижчим рівнем є підкритерії [11].

Згідно МАІ, вершиною ієрархії є узагальнений показник оцінки системи захисту вертольоту (захищеність).

До основних критеріїв захищеності, що змінюються при встановленні екранно-вихлопного пристрою, віднесемо:

- помітність;
- висотно-швидкісні характеристики (ВШХ);
- дальність та тривалість польоту.

До першого критерію захищеності, який змінюється при встановленні ЕВП, відносяться висотно-швидкісні характеристики:

- максимальна висота польоту;
- мінімальна швидкість польоту;
- максимальна швидкість польоту.

Другий з критеріїв, помітність, в свою чергу включає в себе підкритерії:

- маскувальне (камуфляжне, деформуюче) за-

барвлення, у тому числі з малим коефіцієнтом віддзеркалення в оптичному діапазоні електромагнітних хвиль;

- зменшення теплової помітності ЛА;
- покриття, які поглинають електромагнітні хвилі засобів виявлення і прицілювання противника в інфрачервоному і радіодіапазонах;
- зменшення ефективної поверхні розсіювання електромагнітних хвиль;
- зменшення акустичної помітності ЛА.

Оскільки встановлення екранно-вихлопного пристрою на вертоліт впливає переважно на зміну теплової помітності [9], то в цьому випадку в якості підкритерію будемо оцінювати зміну лише теплової помітності.

Для третього критерію, дальності та тривалості польоту, які змінюються при встановленні ЕВП, основними характеристиками є:

- бойовий радіус;
- практична дальність польоту;
- тривалість польоту.

Побудуємо ієрархію, починаючи з мети, яка досягається через основні критерії і закінчується підкритеріями (рис. 1). Як бачимо з рис. 1, є 3 основних критерії і 7 підкритеріїв.

Рис. 1. Ієрархія захищеності
Джерело: розроблено авторами.

Позначимо підкритерії через x_i , де $i=1 \dots n$; $n=7$ – кількість підкритеріїв (на рис. 1 нумерація зліва направо); a_{ij} – оцінки, де $j=1 \dots n$, критерії через X_k , де $k=1 \dots N$; $N=3$ – кількість критеріїв (нумерація зліва на право). Необхідно побудувати, використовуючи експертів, множину матриць парних порівнянь для кожного із нижніх рівнів – по

одній матриці для кожного елемента, що примикає зверху рівня (табл. 1–3).

Перейдемо до викладення методики оцінки впливу ЕВП на льотно-технічні характеристики та характеристики інфрачервоної помітності вертольотів.

Експерти оцінюють підкритерії та критерії по наступній дев'ятибальній шкалі та заносять в матриці (табл. 1–3):

- один критерій з іншим критерієм однаково важливі, заноситься 1;
- один критерій незначно важливіший, ніж інший критерій, заноситься 3;
- один критерій значно важливіший за інший критерій, заноситься 5;
- один критерій явно важливіший за інший

критерій, заноситься 7;

- один критерій по своїй значимості абсолютно перевищує інший критерій, заноситься 9 в позицію, де пересікаються рядок одного критерію і стовбець іншого критерію.

Порівнюючи критерії самі з собою, маємо однакову значимість критеріїв, до матриці заносимо 1.

Таблиця 1

Матриця попарних порівнянь підкритеріїв критерію “Висотно-швидкісні характеристики”

Висотно-швидкісні характеристики	Максимальна висота польоту	Мінімальна швидкість польоту	Максимальна швидкість польоту
Максимальна висота польоту	1	0,5	0,5
Мінімальна швидкість польоту	2	1	0,25
Максимальна швидкість польоту	2	4	1

Джерело: розроблено авторами.

Таблиця 2

Матриця попарних порівнянь підкритеріїв критерію “Дальність та тривалість”

Дальність та тривалість польоту	Бойовий радіус	Практична дальність польоту	Тривалість польоту
Бойовий радіус	1	0,5	0,5
Практична дальність польоту	2	1	0,25
Тривалість польоту	2	4	1

Джерело: розроблено авторами.

Таблиця 3

Матриця попарних порівнянь критерію “Захищеність”

Захищеність	Висотно-швидкісні характеристики	Помітність	Дальність та тривалість польоту
Висотно-швидкісні характеристики	1	0,5	0,5
Помітність	2	1	0,25
Дальність та тривалість польоту	2	4	1

Джерело: розроблено авторами.

Після заповнення експертами матриць (табл. 1–3) обчислюються вектори пріоритетів за отриманими матрицями.

Спочатку визначимо оцінки компонент власного вектора e_i , помноживши n елементів кожного рядка і взяти корінь n -ї ступені. Так наприклад для підкритерію x_1 , e_1 прийме вигляд:

$$e_1 = \sqrt[n]{a_{11} \times a_{12} \times a_{13} \times a_{14} \times a_{15} \times a_{16} \times a_{17}}.$$

Отримавши суму оцінок власних векторів $\sum_{i=1}^n e_i$, розрахуємо нормалізовані оцінки вектору пріоритетів для кожного підкритерію, розділивши значення оцінки власного вектору на цю суму і внесемо їх до відповідної таблиці. Так, наприклад, для підкритерію x_1 , E_1 прийме вигляд:

$$E_1 = e_1 / \sum_{i=1}^7 e_i.$$

Позначимо матрицю порівнянь через A , вектор пріоритетів через E . Помноживши матрицю порівнянь справа на отриману оцінку вектору рішення, отримаємо новий вектор

$$B = A \times E.$$

Поділивши першу компоненту цього вектору (B) на першу компоненту оцінки вектору рішення (E), другу компоненту нового вектору на другу компоненту оцінки вектору рішення і т. д., визначимо ще один вектор

$$C = \left(\frac{B_1}{E_1}, \frac{B_2}{E_2}, \frac{B_3}{E_3}, \frac{B_4}{E_4}, \frac{B_5}{E_5}, \frac{B_6}{E_6}, \frac{B_7}{E_7} \right).$$

Поділивши суму компонентів цього вектору на число компонент, знайдемо приближення до числа $\lambda_{\max}$ (називається максимальним або головним значенням), яке використовується для оцінки узгодженості, яка відображає пропорційність уподобань.

$$\lambda_{\max} = \frac{\sum_{i=1}^n C_i}{n},$$

де n – кількість підкритеріїв для заданого критерію.

Чим ближче $\lambda_{\max}$ до n (числа об'єктів або видів дій в матриці), тим більш узгоджений результат.

Узгодженість виражається величиною, яка називається індексом узгодженості (IU):

$$IU = (\lambda_{\max} - n) / (n - 1).$$

Відношення IU до середнього BI [10] для матриці того самого порядку називається відношенням узгодженості (BV):

$$BV = IU / BI.$$

Значення BV , менше 0,1 або рівне йому, вважається задовільним.

Повторюємо розрахунки для всіх критеріїв.

Позначивши нормалізовані оцінки вектору пріоритетів критеріїв через EE та беручи до уваги, що підкритерії x_i приймають значення від 0 до 1, та отримані нормалізовані оцінки векторів пріоритетів для підкритеріїв і критеріїв зводимо в формулу для отримання оцінки ефективності застосування ЕВП:

$$q = EE_1(x_1E_1 + x_2E_2 + x_3E_3) + EE_2(x_4E_4) + EE_3(x_5E_5 + x_6E_6 + x_7E_7).$$

Так як експертів 5, то і кількість оцінок ефективності отримуємо 5.

Побудовані моделі оцінки ефективності застосування ЕВП за результатами оцінок експертами.

$$q = 0,081(0,64x_1 + 0,11x_2 + 0,26x_3) + 0,78x_4 + 0,13(0,29x_5 + 0,57x_6 + 0,14x_7).$$

Критерії захищеності при застосуванні ЕВП, встановленого на вертольоті, у порівнянні з базовим вертольотом без ЕВП, наведені на рис. 2.

Так як сума оцінок пріоритетів дорівнює одиниці, то очевидно буде, що показник комплексної оцінки буде приймати значення від 0 до 1. Тобто, значення 1 означає, що на ЛА проведений повний комплекс заходів щодо захищеності ЛА, нижче 1 – відсутні деякі заходи щодо захищеності, або слабко виражені.

Середнє квадратичне відхилення S_m результатів розрахунків на заданій системі вхідних даних складає 2%.

Рис. 2. Критерії захищеності вертольоту без ЕВП та з встановленим ЕВП

Джерело: розроблено авторами.

Оцінка захищеності базового вертольоту без ЕВП складає 0,52, а вертольоту з ЕВП - 0,98. Таким чином, захищеність вертольоту з використанням ЕВП зростає на 47% в порівнянні з базовим вертольотом.

Висновки

1. Визначено та обґрунтовано основні критерії для забезпечення основної мети: захищеності вертольотів від ураження керованими ракетами з ІЧ ГСН.
2. Оцінено ефективність встановленого ЕВП на вертольоті і його вплив на зміну ЛТХ вертольоту. Результати розрахунків свідчать про незначне, в

межах декількох відсотків, погіршення ЛТХ вертольоту. Водночас значне покращення підкритерію теплової помітності вертольоту можна розглядати як переважний позитивний фактор для зниження ймовірності ураження вертольоту і підвищення ступені його захищеності.

3. Отримані результати можуть бути використані в практичній діяльності при формуванні методики визначення ефективності комплексу захисту на різних стадіях розробки (модернізації) систем захисту вертольотів, а також при випробуваннях систем захисту модернізованих та новітніх зразків вертолітної техніки.

Список літератури

1. Кравчук І. С. Авіаційні керовані засоби ураження. Конструкція : навч. посібник. Київ : Вид-во Київського інституту ВПС, 1999. 164 с.
2. Захист повітряних об'єктів від ракет з інфрачервоним самонаведенням : монографія / Кравчук І. С., Архипов М. І., Туренко С. М., Штарнов В. І. Київ : Видавничий дім Інтернаука, 2020. 296 с. <https://doi.org/10.25313/978-966-97817-5-8>.
3. Chengxiong P., Jingzhou Z., Yong S. Modeling and analysis of helicopter thermal and infrared radiation. *Chinese Journal of Aeronautics*. 2011. No. 24. P. 558-567.
4. Paszko M. Infrared signature suppression systems in modern military helicopters. *Sciend*. 2017. No. 3(248). P. 63-83.
5. Башинський В. Г., Камак Ю. О., Феденько В. М. Метод комплексної оцінки захищеності літальних апаратів від керованих ракет з інфрачервоним контуром наведення. *ABIA-2013* : матеріали XI міжнар. наук.-техн. конф., м. Київ, 21-23 травня 2013 р. Київ : Національний авіаційний університет, 2013. С. 4.39-4.44.
6. Башинський В. Г., Камак Ю. О., Феденько В. М. Метод комплексної оцінки захищеності кораблів та судів від керованих ракет з інфрачервоним контуром наведення. *Вісник Національного університету кораблебудування : електронне видання*. 2013. Вип. 1. URL: <http://ev.nuos.edu.ua/ru/issue?issueId=19642> (дата звернення 23.03.2021).
7. Башинський В. Г., Герасимюк О. В., Семенов В. Б. Активний комплекс захисту вертольоту на основі систем оптико-електронного придушення і постановки аерозольних завіс. *Збірник наукових праць Національної академії Державної прикордонної служби України*. 2012. № 57. С. 74-75.
8. Башинський В. Г., Камак Ю. О. Вибір критерію оцінки ефективності дії завад на оптичні головки самонаведення авіаційних керованих ракет. *Збірник наукових праць Державного науково-дослідного інституту авіації*. 2011. № 7(14). С. 46-49.
9. Туренко С. М. От "Адроса" – к комплексной системе защиты летательных аппаратов. *Defense express*. 2010. № 3. С. 40-46.
10. Саати Т. Принятие решений. Метод анализа иерархий : монография / пер. с англ. Р. Г. Вачнадзе. Москва : Радио и связь, 1993. 278 с.
11. Саати Т., Кернс К. Аналитическое планирование. Организация систем : монография / пер. с англ. Р. Г. Вачнадзе, под ред. И. А. Ушакова. Москва : Радио и связь, 1991. 224 с.
12. Тоценко В. Г. Методы и системы поддержки принятия решений. Алгоритмический аспект : учебник. Київ : Наук. думка, 2002. 381 с.

Надійшла до редколегії 07.06.2021

Схвалена до друку 13.07.2021

Відомості про авторів:

Телевний Ігор Володимирович

заступник начальника Державного науково-дослідного інституту випробувань і сертифікації озброєння та військової техніки,
Чернігів, Україна
<https://orcid.org/0000-0003-0761-3013>

Феденько Володимир Михайлович

начальник науково-дослідної лабораторії
Державного науково-дослідного інституту випробувань і сертифікації озброєння та військової техніки,
Чернігів, Україна
<https://orcid.org/0000-0002-6211-6901>

Information about the authors:

Igor Televnyi

Deputy Chief of State Scientific Research Institute for Testing and Certification of Armament and Military Equipment,
Chernigiv, Ukraine
<https://orcid.org/0000-0003-0761-3013>

Volodymyr Fedenko

Chief of Scientific Research Laboratory of State Scientific Research Institute for Testing and Certification of Armament and Military Equipment,
Chernigiv, Ukraine
<https://orcid.org/0000-0002-6211-6901>

**ПРИМЕНЕНИЕ МЕТОДА АНАЛИЗА ИЕРАРХИЙ ДЛЯ ОЦЕНКИ ВЛИЯНИЯ ЭКРАННО-ВЫХЛОПНОГО
УСТРОЙСТВА НА ИЗМЕНЕНИЕ ЗАЩИТЫ ВЕРТОЛЕТА ОТ УПРАВЛЯЕМЫХ РАКЕТ
С ИНФРАКРАСНЫМИ ГОЛОВКАМИ САМОНАВЕДЕНИЯ**

И.В. Телевный, В.М. Феденько

В статье определяются возможности разработки программ и методик оценки защиты вертолетов с комплексной системой защиты от управляемых ракет с инфракрасными головками самонаведения. Выполняется разработка метода усовершенствования оценки комплексной защиты вертолетов с экранно-выхлопным устройством от ракет с инфракрасной головкой самонаведения и сравнение с базовым вертолетом на основе обобщенного показателя. Для решения реальных задач многокритериального выбора применяется метод анализа иерархий (МАИ).

На основе выбранных критериев формируется единая модель, которая будет соответствовать критериям отбора, и по которой будет рассчитываться обобщенный показатель защищенности вертолета. Разработанную методику целесообразно использовать при испытаниях систем защиты модернизированных и новых образцов вертолетной техники.

Ключевые слова: вертолет, управляемая ракета с инфракрасной головкой самонаведения, экранно-выхлопное устройство, инфракрасная заметность, летно-технические характеристики.

**APPLICATION OF THE METHOD OF HIERARCHY ANALYSIS TO ASSESS THE IMPACT
OF THE SCREEN-EXHAUST DEVICE ON CHANGE OF HELICOPTER THE BOARD PROTECTION
AGAINST MANAGED MISSILES FROM INFRARED HEAD SELF-NOMINATION**

I. Televnyi, V. Fedenko

The article contains the determines the possibilities of developing and improving programs and methods for assessing helicopters security equipped with a comprehensive system of protection against managed missiles from managed missiles from infrared head self-nomination in trials of helicopter technology. In order to increase the efficiency of protecting the helicopter with infra-red self-nomination heads, various means for reducing the infrared notifications of helicopters are used, the main of which are screen-exhaust devices, the installation of which increases the security of aviation technology.

The development of the method of improving the assessment of the complex security of helicopters from the infrared head self-nomination missiles and their comparison on the basis of a generalized indicator is being performed. The criteria for the security of helicopter are selected, which change when the screen-exhaust device is installed on the helicopter, as well as the subcriteria as their constituent elements.

To solve the real tasks of multicriteria, a method for analyzing hierarchies is used. On the basis of the proposed method, the development of a methodology of a comprehensive assessment of the effectiveness of protecting helicopters from rockets with infrared head self-nomination is carried out. In this article is investigated by changing the flight-technical characteristics of helicopters when installing screen-exhaust devices.

On the basis of selected criteria, a single model that will satisfy the selection criteria is formed and in which a generalized measure of helicopter security will be calculated. The developed method is expedient to use when testing systems for protecting modernized and latest samples of helicopter technology.

The obtained results can be directly used in practical activities when testing systems for protecting modernized and latest samples of helicopter technology.

Keywords: helicopter, controlled rocket with infrared head self-nomination, screen-exhaust device, infrared noticitude, flight-technical characteristics.