

УДК 621. 384

**КРАВЧУК І.С.**, начальник науково-дослідного відділу Науково-виробничої фірми “Адрон”, кандидат технічних наук, доцент

## **ОСОБЛИВОСТІ РОЗРАХУНКУ СИЛИ ІНФРАЧЕРВОНОГО ВИПРОМІНЮВАННЯ ВЕРТОЛЬОТІВ, ОСНАЩЕНИХ ЕКРАННО-ВИХЛОПНИМИ ПРИСТРОЯМИ**

*Запропонована методика оцінки теплової помітності вертольота при його оснащенні екранно-вихлопними пристроями для середньохвильового діапазону ІЧ випромінювання*

*Ключові слова: сила випромінювання, сопло, струмінь, екранно-вихлопний пристрій*

Головною загрозою бойових та транспортно-бойових вертольотів при виконанні ними польотів над полем бою залишаються переносні зенітні ракетні комплекси (ПЗРК), керовані ракети яких для наведення найчастіше використовують інфрачервоні (ІЧ) головки самонаведення (ГСН) з чутливістю у середньохвильовому ІЧ-діапазоні –  $\Delta\lambda = 3...5$  мкм. Характерною особливістю середньохвильового ІЧ-діапазону є те, що в ньому власне теплове та відбите сонячне ІЧ-випромінювання фюзеляжу вертольота мінімальні, а для функціонування ІЧГСН використовується теплове випромінювання вихлопного пристрою двигунної установки вертольота – нагрітого сопла та струменя гарячих продуктів згоряння палива. Ця особливість дозволяє при моделюванні ІЧ-випромінювання вертольота враховувати тільки випромінювання двигунної установки і нехтувати випромінюванням фюзеляжу вертольота, як незначним.

Питанням теоретичного та експериментального визначення параметрів ІЧ випромінювання двигунів літальних апаратів присвячена достатня кількість публікацій, наприклад [1, 2].

Для зниження теплової помітності вертольотів застосовуються екранно-вихлопні пристрої (ЕВП) [3]. Наявність ЕВП на вертольоті призводить до того, що основним ІЧ випромінювачем стає струмінь продуктів згоряння палива.

Метою статті є розгляд питань оцінки теплової помітності вертольотів, оснащених ЕВП, для середньохвильового діапазону, коли основним фактором ІЧ випромінювання стає фактор випромінювання струменя гарячих продуктів згоряння палива. При цьому, під тепловою помітністю вертольотів розуміють силу їх ІЧ випромінювання.

Припущення про малість власного теплового та відбитого сонячного ІЧ-випромінювання фюзеляжу вертольота для діапазону  $\Delta\lambda = 3...5$  мкм, дає змогу записати силу повного ІЧ-випромінювання  $I_{\nu}$  вертольота у вигляді суми

$$I_n = I_c + I_{стр}, \quad (1)$$

де  $I_c$  – сила випромінювання нагрітого сопла;  $I_{cmp}$  – сила випромінювання струменя гарячих продуктів згоряння палива.

Найчастіше приймають, що [4]:

$$I_{cmp} = 0,1 \cdot I_c, \quad (2)$$

тому, з урахуванням (1), можна записати

$$I_n = 1,1 \cdot I_c. \quad (3)$$

При розгляді випромінювання сопла газотурбінного двигуна, у якості випромінювача приймають рівно нагріту площину зрізу сопла, що має абсолютну температуру  $T_c$ , площу  $S_c$  та коефіцієнт випромінювання  $\varepsilon_c$ . Згідно з законами теплового випромінювання [5], максимальне значення  $I_c$  у напрямку нормалі до площини зрізу сопла записується у вигляді

$$I_c = \frac{1}{\pi} \varepsilon_c \cdot S_c \cdot \sigma T_c^4 \cdot \Delta Z_{\Delta\lambda}(T_c), \quad (4)$$

де  $\sigma = 5,67 \cdot 10^{-8} \text{ Вт} \cdot \text{м}^{-2} \cdot \text{К}^{-4}$  – постійна Стефана-Больцмана;  $\Delta Z_{\Delta\lambda}(T_c)$  – щільність випромінювання чорного тіла, що має температуру  $T_c$ , у діапазоні довжин хвиль  $\Delta\lambda$ .

При виконанні заходів по зниженню теплової помітності вертольота за допомогою ЕВП, максимально екранують найбільш нагріті частини двигунної установки – її сопло та знижують температуру струменя продуктів згоряння палива.

Внаслідок екранування, замість сопла – випромінювачем стає зовнішня поверхня ЕВП з абсолютною температурою  $T_{ЕВП}$ , площею  $S_{ЕВП}$  та коефіцієнтом випромінювання  $\varepsilon_{ЕВП}$ . Сучасні ЕВП створюються таким чином, що  $T_{ЕВП}$  максимально наближується до абсолютної температури фюзеляжу вертольота.

Суттєве зниження температури струменя продуктів згоряння палива пов'язане з досить складними технічними рішеннями, тому у найбільш поширених схемах ЕВП температура струменя знижується на кілька десятків градусів завдяки перемішуванню струменя з холодним повітрям, яке надходить до ЕВП, за рахунок дії ежекції та набігаючого потоку.

Таким чином, при застосуванні ЕВП, основним джерелом ІЧ-випромінювання вертольота стає струмінь продуктів згоряння палива.

Для зовнішньої поверхні ЕВП, аналогічно з виразом (4), можна записати

$$I_{ЕВП} = \frac{1}{\pi} \varepsilon_{ЕВП} \cdot S_{ЕВП} \cdot \sigma T_{ЕВП}^4 \cdot \Delta Z_{\Delta\lambda}(T_{ЕВП}), \quad (5)$$

де  $I_{ЕВП}$  – сила випромінювання зовнішньої поверхні ЕВП.

Для описання сили випромінювання струменя використаємо наступний підхід.

Відомо, що для діапазону  $\Delta\lambda = 3...5$  мкм основними складовими ІЧ випромінювання струменя продуктів згоряння палива є селективне випромінювання вуглекислого газу ( $CO_2$ ) на довжині хвилі  $\lambda \approx 4,3$  мкм та теплове випромінювання твердих частинок, що утворюються в процесі хімічних перетворень під час згоряння палива, які випромінюють як чорне тіло [4]. Але селективне випромінювання вуглекислого газу струменя найбільш сильно поглинається молекулами  $CO_2$  атмосфери. Тому, при розгляді переносу ІЧ випромінювання струменя в атмосфері на відстані дії ІЧГСН (одиниці км і більше), можна прийняти

припущення про те, що ІЧГСН сприймає випромінювання струменя, яке утворене тільки твердими частинками продуктів згоряння палива.

Тоді силу випромінювання струменя  $I_{\text{н}\delta\delta}$  можемо записати у вигляді

$$I_{\text{стр}} = \frac{1}{\pi} \varepsilon_{\text{стр}} \cdot S_{\text{стр}} \cdot \sigma T_{\text{стр}}^4 \cdot \Delta Z_{\Delta\lambda}(T_{\text{стр}}), \quad (6)$$

де  $\varepsilon_{\text{стр}}$ ,  $S_{\text{стр}}$ ,  $T_{\text{стр}}$  – коефіцієнт випромінювання, площа та абсолютна температура випромінювача, утвореного твердими частинками продуктів згоряння палива, що знаходяться у струмені, причому,  $S_{\text{стр}}$  являє собою сумарну площу проєкцій всіх твердих частинок струменя у заданому напрямку з урахуванням взаємного затінення. Найбільша складність при застосуванні (6) полягає у труднощах визначення площі  $S_{\text{стр}}$ .

Очевидно, що температура твердих частинок продуктів згоряння палива на зрізі сопла така сама, як і температура газів на тому ж зрізі. Аналогічна картина спостерігається і на вході ЕВУ. Тому, для будь-якого режиму роботи двигуна, вимірявши температуру газів на зрізі відкритого сопла (без встановленого ЕВП) та на виході ЕВП при його встановленні, маємо інформацію про абсолютну температуру продуктів згоряння палива  $T_{\text{стр}1}$  на зрізі відкритого сопла та абсолютну температуру  $T_{\text{стр}2}$  на виході ЕВУ. Припускаючи, що площа випромінювача  $S_{\text{стр}}$ , утвореного твердими продуктами згоряння палива та його коефіцієнт випромінювання  $\varepsilon_{\text{стр}}$ , як у випадку застосування ЕВП так і без нього, будуть однаковими, введемо коефіцієнт зниження  $k_{\text{зниж}} < 1$  сили випромінювання струменя за допомогою ЕВП, який, при використанні (6), матиме вигляд

$$k_{\text{зниж}} = \frac{I_{\text{стр}}(T_{\text{стр}2})}{I_{\text{стр}}(T_{\text{стр}1})} = \frac{T_{\text{стр}2}^4 \cdot \Delta Z_{\Delta\lambda}(T_{\text{стр}2})}{T_{\text{стр}1}^4 \cdot \Delta Z_{\Delta\lambda}(T_{\text{стр}1})}, \quad (7)$$

тобто для заданого діапазону довжин хвиль  $\Delta\lambda$  параметр  $k_{\text{зниж}}$  залежить тільки від абсолютних температур  $T_{\text{стр}1}$  і  $T_{\text{стр}2}$ .

Отже, сила випромінювання струменя продуктів згоряння палива на виході ЕВП  $I_{\text{стрЕВП}}$ , з застосуванням (2), запишеться у вигляді

$$I_{\text{стрЕВП}} = 0,1 \cdot k_{\text{зниж}} \cdot I_c, \quad (8)$$

де  $k_{\text{зниж}}$  обчислюється за допомогою виразу (7).

Тоді формула для визначення повної сили ІЧ випромінювання вертольота, оснащеного ЕВП, запишеться як:

$$I_{\text{нЕВП}} = I_{\text{ЕВП}} + 0,1 \cdot k_{\text{зниж}} \cdot I_c. \quad (9)$$

Застосуємо викладену методику для оцінки ступеня зниження теплової помітності вертольота типу Ми-8, оснащеного ЕВП “Адрос” АШ-01В, що розроблений у НВФ “Адрон” [3].

Розглянемо, для прикладу, найбільш типовий випадок польоту вертольота типу Ми-8 на крейсерському режимі.

На рис. 1 наведено тепловізійне зображення вертольота типу Ми-8 без ЕВП, а на рис.2 – тепловізійне зображення того самого вертольота з встановленим ЕВП,

при цьому в обох випадках двигуни вертольота працюють в режимі крейсерського польоту.

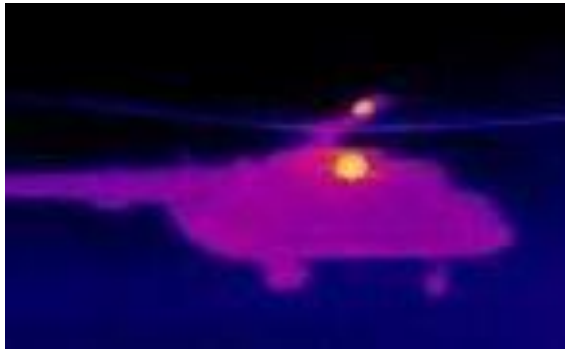


Рис.1. Вертоліт без ЕВП

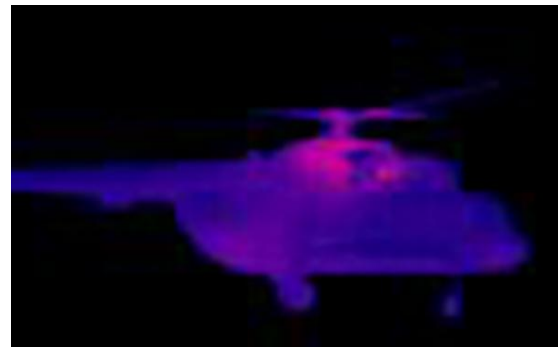


Рис.2. Вертоліт з ЕВП

В ході тепловізійних вимірювань отримано середню температуру випромінюючої поверхні сопла (рис.1), що становить  $T_c = 573K$  або  $300^{\circ}N$ , а середня температура зовнішньої поверхні ЕВП (рис.2) становить  $T_{EBV} = 330K$  або  $57^{\circ}C$ .

Маючи зазначені температури  $T_c$  та  $T_{EBV}$ , для діапазону  $\Delta\lambda = 3...5$  мкм, за методикою, викладеною в [4], отримуємо:  $\Delta Z_{3...5}(T_c) = 0,24$ ;  $\Delta Z_{3...5}(T_{EBV}) = 0,035$ . Інші дані, які необхідні для розрахунків за формулами (4) та (5), для вертольота типу Ми-8 приймаємо такими:  $S_c = 0,21m^2$ ;  $\epsilon_c = 0,9$ ;  $S_{EBV} = 0,5m^2$ ;  $\epsilon_{EBV} = 0,85$ .

Використавши формулу (4), отримуємо  $I_c = 118Wm/cp$ , а по формулі (3) визначаємо повну силу ІЧ випромінювання вертольота типу Ми-8, який не оснащений ЕВП, при виконанні крейсерського польоту –  $I_n = 130 Wm/cp$ .

Для визначення повної сили ІЧ випромінювання вертольота типу Ми-8, який оснащений ЕВП, необхідно скористатися формулами (5), (7) та (9).

Підставивши всі необхідні дані в формулу (5), отримуємо –  $I_{EBV} = 3,6 Wm/cp$ .

В процесі вимірювання температури продуктів згоряння палива в одному і тому ж режимі роботи двигуна у площині зрізу сопла (рис.1) та у площині зрізу вихідного каналу ЕВП (рис.2) за допомогою термопар отримано, що середні температури струменя складають  $T_{cmp1} = 583K$  ( $310^{\circ}C$ ) та  $T_{cmp2} = 523K$  ( $250^{\circ}C$ ). Для діапазону  $\Delta\lambda = 3...5$  мкм при встановлених в ході вимірювань температурах  $T_{cmp1}$  і  $T_{cmp2}$  за методикою викладеною в [2], отримуємо:  $\Delta Z_{3...5}(583K) = 0,18$ ;  $\Delta Z_{3...5}(523K) = 0,22$ . Підставивши отримані результати в (7), маємо  $k_{зниж} = 0,86$ , а за формулою (9) обчислимо повну силу ІЧ випромінювання вертольота типу Ми-8, який оснащений ЕВП. В результаті обчислень маємо –  $I_{nEBV} = 14Wm/cp$ .

Аналогічно можна визначати  $I_n$  та  $I_{nEBV}$  і для інших режимів польоту (“максимальний”, “злітний”) як вертольотів типу Ми-8, так і інших – Ми-17, Ми-24.

Порівнюючи значення  $I_n$  та  $I_{nEBV}$  приходимо до висновку, що застосування ЕВП “Адрос” АШ-01В на вертольотах типу Ми-8, при польоті на крейсерському режимі, дає змогу знизити рівень сили ІЧ випромінювання на порядок.

Натурні вимірювання параметрів ІЧ випромінювання, а також розрахунки свідчать, що встановлення ЕВП “Адрос” АШ-01В на вертольоти типу Ми-8 дає змогу знизити силу ІЧ випромінювання вертольота у 8...12 разів у всьому діапазоні швидкостей і висот польоту та у всіх напрямках можливих атак керованих ракет з ІЧ ГСН, що суттєво знижує зону бойового застосування сучасних ПЗРК.

Висновки:

1. Запропоновано методику визначення ступеня зниження інфрачервоної помітності вертольота при його оснащенні екранно-вихлопними пристроями. Дана методика може бути використана як на етапі розробки нових зразків екранно-вихлопних пристроїв, так і при експлуатації існуючих.

2. З застосуванням запропонованої методики визначена ступінь зниження інфрачервоної помітності вертольота типу Ми-8 при його оснащенні екранно-вихлопним пристроєм типу “Адрос” АШ-01В. Так, застосування вказаного екранно-вихлопного пристрою на вертольоті Ми-8, дає змогу знизити його силу ІЧ випромінювання у 8...12 разів для всього діапазону швидкостей і висот польоту та у всіх напрямках можливих атак керованих ракет з ІЧ ГСН.

## ЛІТЕРАТУРА

1. Башинский В.Г., Камак Ю.О. Методика определения инфракрасного излучения летательного аппарата при проведении испытаний//Интегрированные технологии та енергозбереження. – 2011. – №1. – С. 76-81.
2. Кравчук І.С., Тараненко В.В., Тимофтика Г.Ф. Методика вимірювання сили випромінювання тепло випромінюючих об’єктів //Зб. наук. праць ДНДІА. – К., 2012 – Вип. 8(15). – С. 76-82.
3. Екранно-вихлопний пристрій “Адрос” АШ-01В. Рекламні матеріали НВФ “Адрон”. 2016.
4. Криксунов Л.З. Справочник по основам инфракрасной техники. – М.: Сов. Радио, 1978. – 400 с.
5. Справочник по инфракрасной технике./Под ред. У. Волфа и Г. Цисиса. В 4-х тт. Т.1. Физика ИК-излучения: Пер. с англ. – М.: Мир, 1995. – 606с.

*Надійшла до редакції 31.10.2016*

*Рецензент: ДТН Черняк С.І.*