

БЕЗОПАСНОСТ НА ПОЛЕТА НА ХЕЛИКОПТЕР С ВЪНШНО ПОЖАРОГАСИТЕЛНО УСТРОЙСТВО И ВЛИЯНИЕ НА ПАРАМЕТРИТЕ НА УСТРОЙСТВОТО НА ОБЩАТА СЪПКА НА НОСЕЩИЯ ВИНТ

Николай Загорски

*Институт за космически изследвания и технологии – Българска академия на науките
e-mail: nzagorski@space.bas.bg*

Ключови думи: аеродинамични характеристики, динамика на полета, безопасност на полета

***Резюме:** Хеликоптерите с външни пожарогасители все по-често се използват в случай на разпространение на мащабни горски пожари в планинските райони. За осигуряване на безопасност при такива полети е необходимо да се определят зависимостите на балансиращите характеристики на хеликоптера като функция от параметрите на устройството и други параметри на системата за окачване на хеликоптера.*

SAFETY OF FLIGHT OF A HELICOPTER WITH EXTERNAL FIRE EXTINGUISHING DEVICE AND INFLUENCE OF THE PARAMETERS OF THE DEVICE OF THE GENERAL STEP OF THE CARRIER

Nikolay Zagorski

*Space Research and Technology Institute – Bulgarian Academy of Sciences
e-mail: nzagorski@space.bas.bg*

***Keywords:** aerodynamic characteristics, flight dynamics, flight safety*

***Abstract:** Helicopters with external fire extinguishers are increasingly used in the event of the spread and spread of large-scale forest fires in mountainous areas. To ensure safety in such flights, it is necessary to determine the dependences of the balancing characteristics of the helicopter as a function of the parameters of the device and other parameters of the suspension system to the helicopter.*

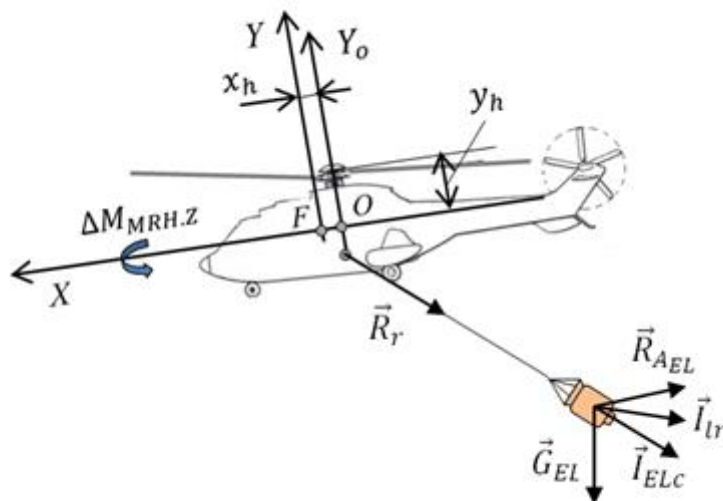
Въведение

Горските пожари в планинските местности, достъпът до които е затруднен по обективни причини за сухопътна техника за пожарогасене, обикновено се обработва ръчно от специалисти на Главна дирекция „Пожарна безопасност и защита на населението“ и от доброволци от околните населени места. В такива случаи районите се обработват от въздуха с хеликоптери с пожарогасителни устройства от типа „*bambi bucket*“. В Република България за тази задача се използват следните типове въздухоплавателни средства: Ми-17 се използва с пожарогасително устройство „*BB5566*“, а AS 532 AL Cougar – с „*BB4453*“. В този случай на използване на окачен съд с вода, силно влияние върху динамиката на полета на хеликоптера и неговата управляемост оказва външния товар.

Изпълнението на посочените по-горе задачи за полети на хеликоптер с външно пожарогасително устройство изисква да бъде изследвано влиянието на параметрите на това устройство на всички етапи от полета: при излитане, при установен хоризонтален праволинеен полет, при кацане и при освобождаване на водата по време на полета (например, при изсипване на водата над района на пожара). За осигуряване на безопасност при такива полети е необходимо да бъдат установени и да се познават зависимостите на балансиращите характеристики на хеликоптера, като функция от параметрите на устройството и от другите параметри на системата за окачване към хеликоптера.

Система „хеликоптер-външно пожарогасително устройство“

Външният товар оказва влияние върху динамиката на полета на хеликоптера чрез силата на опън в меката връзка (масата на външния товар), която действа върху хеликоптера, и чрез момента, който се създава спрямо центъра на масата на хеликоптера. Тази сила възниква като резултат на действие на силата на тежестта на външния товар и на аеродинамическата сила. В полет също така действат и силите на инерция, възникващи при ускорението на външния товар (ако същият бъде представен като „материална точка“). На Фиг. 1 е показано разпределението на силите и моментите, действащи в полет върху хеликоптера и външния товар [5].



Фиг. 1. Схема на влиянието на външен товар (от типа "bambi bucket") върху динамиката на полета на хеликоптер

При установен (с постоянна скорост) хоризонтален праволинеен полет към параметрите на балансировъчните характеристики на хеликоптера се отнасят следните отношения: на ъгъла на отклонение на колелото на автомат-наклонителя k във функция от скоростта на полета и на ъгъла на тангажа на хеликоптера ϑ [5,6]. Освен това, трябва да бъде отчетена зависимостта от общата стъпка φ_0 на носещия винт във функция на скоростта на полета. За да бъдат изследвани зависимости на балансировъчните характеристики на хеликоптера от параметрите на външното пожарогасително устройство е разработен математически апарат. За определяне на зависимостите от всеки отделен параметър и в тяхната съвкупност върху балансировъчните характеристики е използван математически модел за движение на системата „хеликоптер-ВПГУ“.

Проведеният анализ показва, че силата на опън R_r на меката връзка (въже, сапани) и създаваният от нея момент зависят от редица параметри (масови, геометрични, аеродинамични и т.н.) на външния товар и неговата позиция спрямо хеликоптера. Такива, например, са балистичният коефициент c_a , аеродинамичното качество K_{EL} , относителната маса \bar{m}_{EL} , координатите на точката за закрепване на меката връзка към хеликоптера по нормалната ос на свързаната координатна система $(r_{tr.y_h} - y_h)$; надлъжната центровка на хеликоптера x_h .

Влияние на параметрите на външното устройство върху общата стъпка на носещия винт

Да разгледаме общата стъпка φ_0 на носещия винт във функция от параметрите на външното пожарогасително устройство „BB4453“ [9,10]. Общата стъпка φ_0 и теглителната сила T на носещия винт са свързани помежду си. За да установим зависимостта между тези два параметъра, както и връзката им с параметрите на полета на хеликоптера, ще използваме известната формула [1]:

$$(1) \quad T = \frac{1}{4} \rho c_{y_a}^{\alpha} \sigma F_B (\omega_{MRB} R_{MRB})^2 \left[\frac{2}{3} \varphi_0 \left(1 + \frac{3}{2} \mu^2 \right) + \lambda \right],$$

където: ρ – плътност на въздуха;

$c_{y_a}^{\alpha}$ – производната на коефициента на подъемна сила на лопатите на разстояние 70% от радиуса на носещия винт;

$\sigma = \frac{k_B F_1}{F_B}$ – коефициент на запълване на носещия винт;
 F_B – площта (на кръга), която описват лопатите на носещия винт;
 k_B – брой на лопатите на носещия винт;
 F_1 – площ на всяка една от лопатите;
 ω_{MRB} – ъглова скорост на въртене на носещия винт;
 R_{MRB} – радиус на носещия винт;
 $\mu = \frac{V_{hf} \cos \alpha_1}{\omega_{MRB} R_{MRB}}$ – характеристика на режима на работа на носещия винт;
 α_1 – ъгъл на атака на носещия винт;
 V_{hf} – скорост на хоризонтален полет на хеликоптера;
 $\lambda = \frac{V_{hf} \cos \alpha_1 - v_i}{\omega_{MRB} R_{MRB}}$ – коефициент на протичане на въздуха;
 $v_i = \sqrt{\frac{T_0 + \Delta T}{2\rho F_B}}$ – индуктивна скорост;
 T_0 – тяга на носещия винт без „BB4453“;
 ΔT – увеличението на тягата поради наличието на „BB4453“.
 В този случай, ако се въведе следният израз

$$A = \frac{1}{4} \rho c_{ya} \sigma F_B (\omega_{MRB} R_{MRB})^2,$$

то за общата стъпка на носещия винт ще получим:

$$(2) \quad \varphi_0 = \frac{T - \lambda A}{\frac{2}{3} A \left(1 + \frac{3}{2} \mu^2\right)}.$$

Оттук може да бъде получена [8] формула за увеличаването на общата стъпка на носещия винт в полет поради наличието на външното пожарогасително устройство „BB4453“:

$$(3) \quad \Delta\varphi_0 = \frac{T_0 + \Delta T - \lambda_1 A}{\frac{2}{3} A \left(1 + \frac{3}{2} \mu_1^2\right)} - \frac{T_0 - \lambda_0 A}{\frac{2}{3} A \left(1 + \frac{3}{2} \mu_0^2\right)},$$

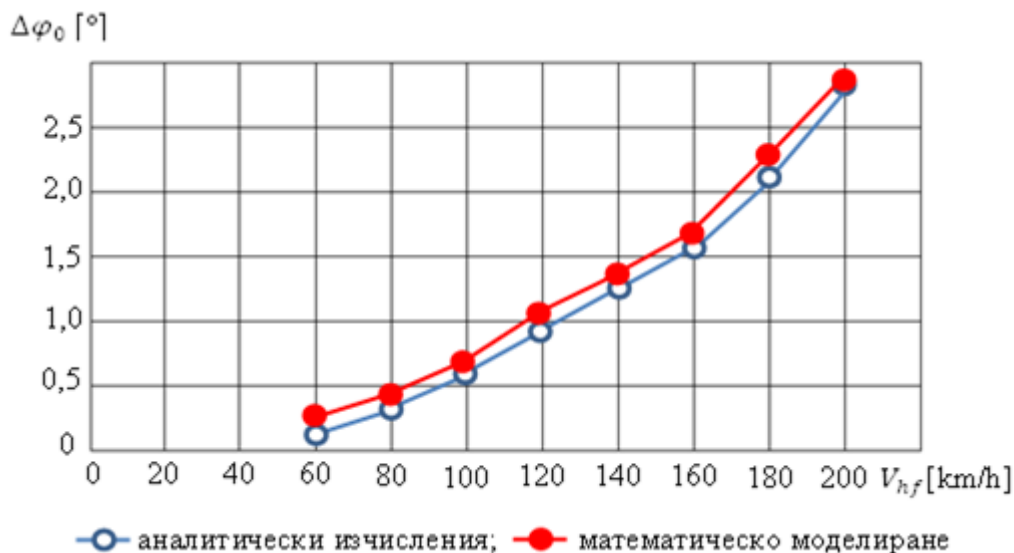
където: λ_0 – коефициент на протичане на въздуха при полет без „BB4453“;

λ_1 – коефициент на протичане на въздуха при полет с „BB4453“;

μ_0 – характеристики на режима на работа на носещия винт в полет без „BB4453“;

μ_1 – характеристики на режима на работа на носещия винт в полет с „BB4453“;

Ако извършим някои преобразувания в дробите в дясната част на (4), като ги разделим на тягата на системата „хеликоптер-„BB4453““, т.е. $m_0 g$, и като съобразим [5], че $\vartheta_0 \approx 0$, $T_0 \approx m_0 g$ и $\Delta T \approx m_{BB4453} g \Delta \bar{T}$, ще получим:

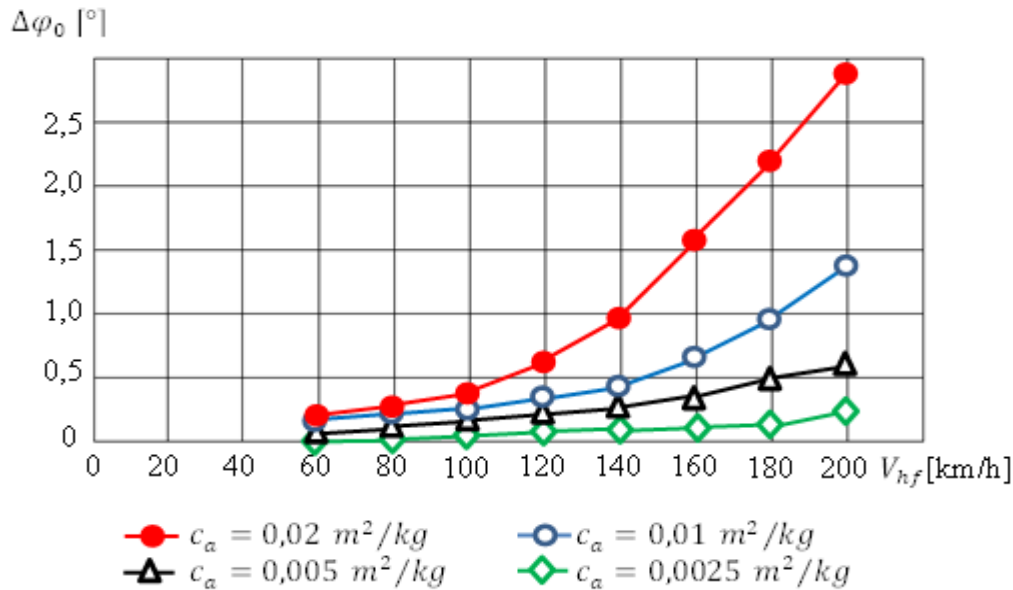


Фиг. 2. Увеличаване на общата стъпка на носещия винт в полет на хеликоптер с празно пожарогасително устройство „BB4453“

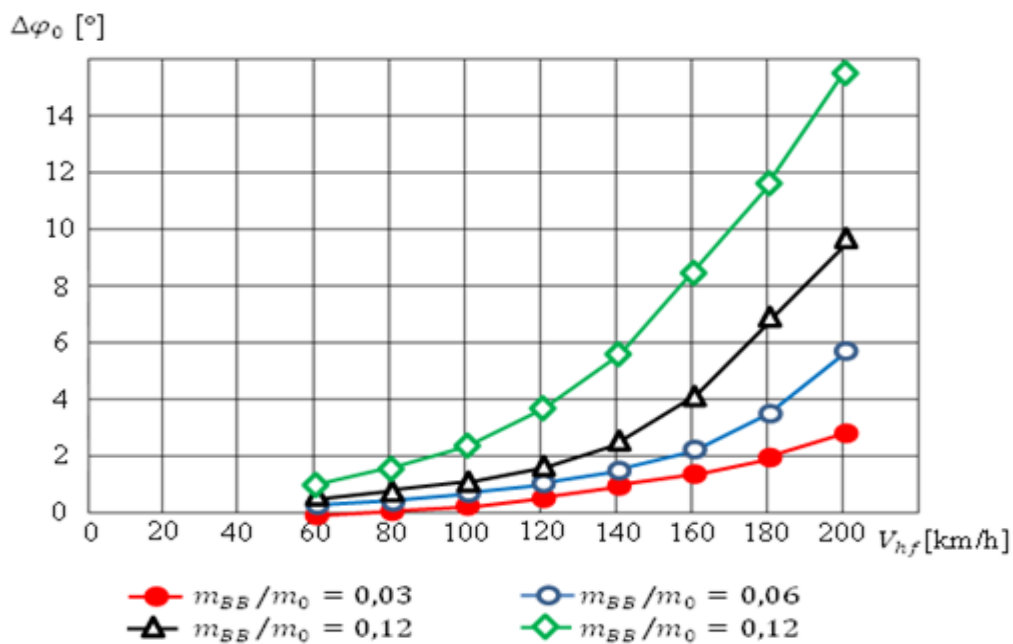
$$(4) \quad \Delta\varphi_0 = \frac{1 + \bar{m}_{BB4453} \Delta \bar{T} - \lambda_1 A^*}{\frac{2}{3} A^* \left(1 + \frac{3}{2} \mu_1^2\right)} - \frac{1 - \lambda_0 A^*}{\frac{2}{3} A^* \left(1 + \frac{3}{2} \mu_0^2\right)},$$

където: $\Delta\bar{T} = -1 + \cos \left[\Delta\vartheta + \arctg \left(\frac{1}{\frac{2g}{c_a \rho V_{hf}^2} - K_{BB}} \right) \right] \sqrt{\left(\frac{K_{BB} c_a \rho V_{hf}^2}{2g} - 1 \right)^2 + \left(\frac{c_a \rho V_{hf}^2}{2g} \right)^2}$;
 $p = \frac{m_0 g}{F_B}$ – натоварване на площта, образувана от носещия винт в полет;
 $A^* = \frac{1}{4p} \rho c_{ya}^\alpha \sigma F_B (\omega_{MRB} R_{MRB})^2$.

На Фиг. 2 е показана графика за случай на полет на хеликоптер AS 532 AL Cougar с празно пожарогасително устройство „BB4453“ и изменение на общата стъпка на носещия винт във функция на скоростта на полета. Резултатите са получени с помощта на формула (4) и чрез математическо моделиране. Сравнението на резултатите на Фиг. 2 показват, че изчисленията по формула (5) се съгласуват в много добра степен с резултатите от математическото моделиране в целия изследван диапазон.



Фиг. 3. Зависимост на увеличаването на общата стъпка на носещия винт от скоростта в установен хоризонтален полет на хеликоптер и от балистичния коефициент на „BB4453“



Фиг. 4. Зависимост на увеличаването на общата стъпка на носещия винт от скоростта в установен хоризонтален полет на хеликоптер и от относителната маса на „BB4453“

На Фиг. 3 е показан прирастът на общата стъпка на носещият винт като функция от скоростта на установен хоризонтален полет на хеликоптера и от балистичния коефициент на външното пожарогасително устройство „BB4453“.

На Фиг. 4 е представена зависимостта за нарастване на общата стъпка на носещия винт от скоростта на установен хоризонтален полет на хеликоптера и от относителната маса на външното пожарогасително устройство „BB4453“.

Заклучение

Анализът на влиянието на параметрите на външното пожарогасително устройство „BB4453“ върху нарастването на общата стъпка на носещия винт показва, че в дадения случай най-силно влияние оказват стойностите на балистичния коефициент c_a на „BB4453“ и относителната маса \bar{m}_{BB} , както това е показано, съответно, на Фиг. 3 и Фиг. 4.

От тези графики се вижда, че при увеличаване на балистичния коефициент на външното пожарогасително устройство и неговата относителна маса се увеличава и нарастването на общата стъпка на носещия винт. Това е свързано, от една страна, с обстоятелството, че се увеличава прирастът на тягата ΔT на носещия винт, но от друга страна, с намаляване на ъгъла на атака поради намаляването на ъгъла на тангаж [4, 5] на хеликоптера. За да се компенсира намаляването на ъгъла на атака на носещия винт е необходимо да се увеличи общата стъпка. Както вече беше посочено, ъгълът на атака на носещия винт зависи от коефициента на протичане на въздуха λ_1 и от характеристиката μ_1 на режима на работа на винта, които влизат в получената по-горе формула (5) за определяне на нарастването на общата стъпка на носещия винт.

Литература:

1. Абрамович, Г. Н. Прикладная газовая динамика. В 2 ч. Учеб. руководство: Для вузов. – 5е изд., перераб. и доп. – М.: Наука. Гл. ред. Физ.-мат. лит., 1991. – 304 стр. ISBN 5-02-014962-4.
2. Володко, А. М. Основы аэродинамики и динамики полета вертолетов. М.: Транспорт. 1988. 342 стр.
3. Лебедев, А. Н. Моделирование в научно-технических исследованиях. – М.: Радио связь. 1989. 224 стр.
4. Загорски, Н. Изследване на влиянието на параметрите на външния товар на условията за равновесието му в полет. XI Международна научна конференция Хемус 01-04.06.2022 г. гр. Пловдив. 8 стр.
5. Загорски, Н. Изследване на колебанията на физично махало с подвижна точка на окачване. XI Международна научна конференция Хемус 01-04.06.2022 г. гр. Пловдив. 8 стр.
6. Загорски, Н. Математически модел на полет на хеликоптер с външно пожарогасително устройство „BB 4453“. XI Международна научна конференция Хемус 01-04.06.2022 г. гр. Пловдив. 7 стр.
7. Загорски, Н. Безопасност на полети на хеликоптер с външно пожарогасително устройство от типа Vambi Bucket. Годишна научна конференция на Националния военен университет „Васил Левски“ 30.06-01.07.2022 г. гр. Велико Търново. Сборник с доклади. стр. 1299–1307.
8. Загорски, Н. Повишаване на безопасността на полета с отчитане на влиянието на външен товар върху управляемостта на хеликоптера. Годишна научна конференция на Националния военен университет „Васил Левски“ 30.06-01.07.2022 г. гр. Велико Търново. Сборник с доклади. стр. 1277–1286.
9. Cicolani, L. S. and Kanning G. Equations of Motion of Slung-Load Systems, Including Multilift Systems, NASA, 1992, NASA-TP-3280, 132 p.
10. Stuckey, R. A. Mathematical Modelling of Helicopter Slung-Load Systems, Air Operations Division Aeronautical and Maritime Research Laboratory, DSTO-TR-1257, 2001, 95 p.