

PROBLEMY MECHATRONIKI
UZBROJENIE, LOTNICTWO, INŻYNIERIA BEZPIECZEŃSTWA

ISSN 2081-5891



8, 2 (28), 2017, 107-114

PROBLEMS OF MECHATRONICS
ARMAMENT, AVIATION, SAFETY ENGINEERING

Wykorzystanie pakietu MATLAB do symulowania lotu środków napadu powietrznego

Marcin WARCHULSKI*, Jacek WARCHULSKI

*Wojskowa Akademia Techniczna,
Wydział Mechatroniki i Lotnictwa,
ul. Gen. S. Kaliskiego 2, 00-908 Warszawa*

**autor korespondencyjny, e-mail: marcin.warchulski@wat.edu.pl*

Artykuł wpłynął do redakcji 10.04.2017 r.

Zweryfikowaną wersję po recenzji otrzymano 22.06.2017 r.

DOI 10.5604/01.3001.0010.1574

Streszczenie. W artykule zaprezentowano możliwość wykorzystania pakietu MathWorks™ MATLAB® do symulowania lotu środków napadu powietrznego. Zaimplementowano model ruchu statku powietrznego oraz przeprowadzono badania symulacyjne.

Słowa kluczowe: mechanika, środki napadu powietrznego, symulacja komputerowa, MATLAB

1. WPROWADZENIE

Zagrożenia z powietrza są nieodłącznym elementem współczesnych działań bojowych [1]. Gwałtownie rozwijające się środki napadu powietrznego cechują się precyzją i dużą siłą rażenia. Walka z nimi to zadanie spoczywające na wojskach obrony przeciwlotniczej, których użycie przewiduje się m.in. do zwalczania: załogowych statków powietrznych (samolotów i śmigłowców bojowych), bezzałogowych statków powietrznych, rakiet manewrujących (skrzydlatych) oraz taktycznych rakiet balistycznych.

Samoloty bojowe stanowią największą grupę zagrożeń konwencjonalnych. Mogą prowadzić operacje w każdych warunkach pogodowych i o każdej porze dnia i nocy. Współczesne samoloty bojowe wyposażane są w różnego rodzaju broń precyzyjnego rażenia, w tym rakiety skrzydlate, rakiety przeciwradiolokacyjne, taktyczne rakiety powietrze-ziemia oraz powietrze-powietrze. Ponadto na ich pokładzie mogą znajdować się odbiorniki ostrzegania o opromieniowaniu radarowym, systemy zakłócające oraz flary i race.

Śmigłowce bojowe stanowią kolejną grupę konwencjonalnych zagrożeń powietrznych. Cechują się zdolnością do pionowego startu i lądowania oraz możliwością zawisania w powietrzu. Obecnie śmigłowce można zaklasyfikować do pięciu głównych grup: uderzeniowe, rozpoznawcze, walki elektronicznej, transportowe i uniwersalne. Współczesne śmigłowce wyposażone są w precyzyjne systemy naprowadzania ognia i mogą razić cele z dużych odległości.

Bezzałogowe statki powietrzne charakteryzują się możliwością wykonywania lotów po wcześniej zaprogramowanych trasach lub też mogą być zdalnie pilotowane z ziemi. Wykonują różnego rodzaju misje, w tym rozpoznawcze, walki elektronicznej, komunikacyjne czy też ogniowe. Są trudne do wykrycia i obezwładnienia, ze względu na małe skuteczne powierzchnie odbicia i niskie sygnatyry termiczne. Ich wyposażenie pokładowe mogą stanowić m.in. kamery światła dziennego i podczerwieni, radary, systemy łączności i urządzenia zakłócające. Co istotne, mogą one również przenosić i odpalać rakiety typu powietrze-ziemia.

Charakterystyczną cechą rakiet manewrujących (skrzydlatych) jest lot zaprogramowany. Mogą one być odpalane z samolotów bombowych, okrętów nawodnych i podwodnych oraz z wyrzutni naziemnych i przenosić ładunki bojowe na znaczne odległości. Ponadto cechuje je bardzo mała skuteczna powierzchnia odbicia i duża precyzja rażenia.

Taktyczne rakiety balistyczne pozwalają na osiągnięcie stosunkowo dużego zasięgu w stosunku do masy głowicy bojowej. Mają w tym aspekcie przewagę nad artylerią klasyczną. Najnowsze rozwiązania konstrukcyjne rakiet balistycznych wykorzystują silniki raketowe na paliwo stałe. Dzięki wysokiemu poziomowi automatyzacji pracy wyrzutni możliwe jest skrócenie czasu przygotowania rakiet do startu.

Równoległe z tymi rozwiązaniami rozwijane są także systemy naprowadzania, w których możliwe jest sterowanie lotem rakiety z wykorzystaniem samonaprowadzających głowic optycznych i radiolokacyjnych.

2. MODEL RUCHU STATKU POWIETRZNEGO

Do opisu przestrzennego ruchu statku powietrznego wykorzystano prostokątne i prawoskrętne układy współrzędnych zgodne z PN-ISO 1151-1 i PN-ISO 1151-2 [2, 3]. Równania dynamiczne ruchu postępowego statku powietrznego (ruchu środka masy) w układzie związanym z torem lotu $Ox_k y_k z_k$ mają postać [4, 5]:

$$m \frac{dV}{dt} = F \cos \alpha \cos \beta - P_x - G \sin \gamma$$

$$mV \cos \gamma \frac{d\chi}{dt} = F(\sin \alpha \sin \mu_a + \cos \alpha \sin \beta \cos \mu_a) + P_y \cos \mu_a + P_z \sin \mu_a \quad (1)$$

$$-mV \frac{d\gamma}{dt} = -F(\cos \alpha \sin \beta \sin \mu_a + \sin \alpha \cos \mu_a) + P_y \sin \mu_a - P_z \cos \mu_a + G \cos \gamma$$

Przy założeniu, że kąt natarcia (α), kąt ślizgu (β) i kąt przechylenia układu przepływu (μ_a) są niewielkie, równania (1) modyfikują się do postaci:

$$m \frac{dV}{dt} = F - P_x - G \sin \gamma$$

$$mV \cos \gamma \frac{d\chi}{dt} = P_y \quad (2)$$

$$-mV \frac{d\gamma}{dt} = -P_z + G \cos \gamma$$

Po podzieleniu obu stron równań przez ciężar mg oraz wprowadzając przeciążenia, które są zdefiniowane jako:

$$n_x = \frac{F - P_x}{G}$$

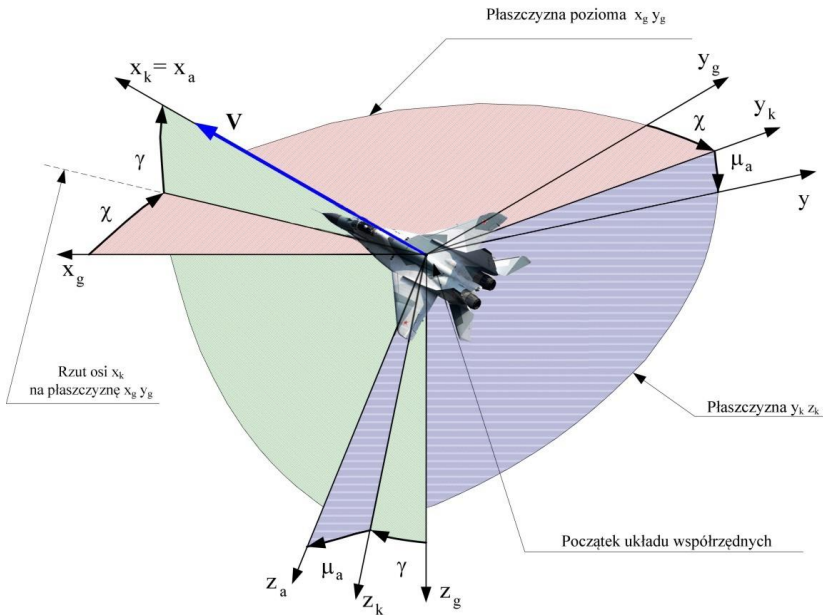
$$n_y = \frac{P_y}{G}$$

$$n_z = \frac{P_z - G}{G} \quad (3)$$

otrzymujemy układ równań w postaci:

$$\begin{aligned}\frac{dV}{dt} &= g(n_x - \sin \gamma) \\ \frac{d\chi}{dt} &= \frac{g}{V \cos \gamma} n_y \\ \frac{d\gamma}{dt} &= -\frac{g}{V} (-n_z + \cos \gamma - 1)\end{aligned}\quad (4)$$

Kinematyczne równania ruchu postępowego statku powietrznego otrzymujemy, transformując współrzędne wektora V z układu związanego z torem lotu do normalnego układu współrzędnych związanego z Ziemią $Ox_g y_g z_g$. Na rysunku 1 przedstawiono orientację normalnego układu współrzędnych związanego z Ziemią o początku ustalonym na statku powietrznym $Ox_g y_g z_g$ względem układu związanego z przepływem $Ox_a y_a z_a$.



Rys. 1. Orientacja układu współrzędnych $Ox_g y_g z_g$ względem układu $Ox_a y_a z_a$

Fig. 1. The orientation of the $Ox_g y_g z_g$ coordinate system relative to the $Ox_a y_a z_a$ system

Rzuty prędkości rakiety na osie układu $Ox_gy_gz_g$ mają postać:

$$\begin{aligned}\frac{dx_g}{dt} &= V \cos \gamma \cos \chi \\ \frac{dy_g}{dt} &= V \cos \gamma \sin \chi \\ \frac{dz_g}{dt} &= -V \sin \gamma\end{aligned}\quad (5)$$

Układy równań (4) i (5) stanowią matematyczny opis ruchu statku powietrznego, w których funkcjami wymuszającymi są przeciążenia.

3. PRZYKŁADOWE WYNIKI BADAŃ SYMULACYJNYCH

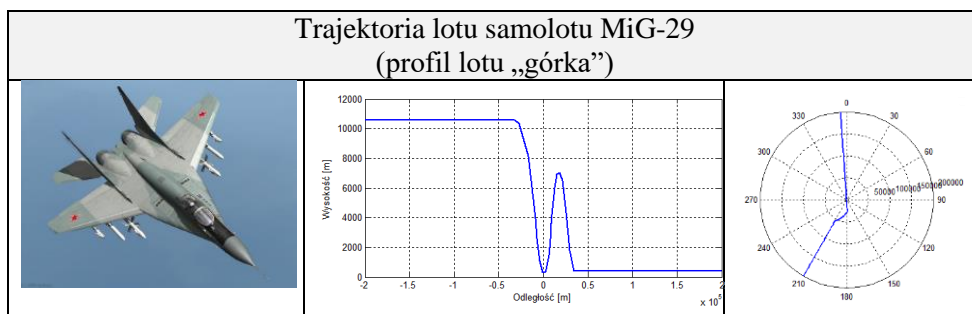
Za pomocą pakietu MathWorks™ MATLAB® opracowano model symulacyjny, który zapewnia generowanie przestrzennych trajektorii lotu środków napadu powietrznego. Badania symulacyjne przeprowadzono dla podstawowych profili lotu statków powietrznych [6]:

- profil lotu „górką”,
- profil lotu „nisko – nisko – nisko”,
- profil lotu „wysoko – nisko – wysoko”,
- profil lotu „wysoko – nisko – nisko – wysoko”,
- atak z lotu wznoszącego,
- atak z lotu poziomego na bardzo małej wysokości,
- atak z zawisu,
- profil balistyczny,
- profil lotu pocisku manewrującego.

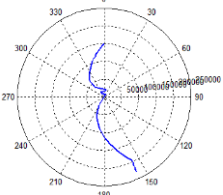
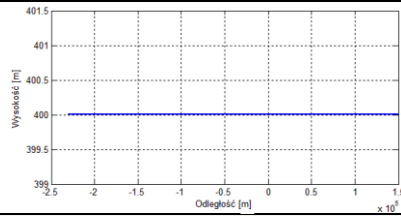
Wybrane wyniki badań w postaci przykładowych trajektorii lotu środków napadu powietrznego zestawiono w tabeli 1.

Tabela 1. Trajektorie lotu środków napadu powietrznego

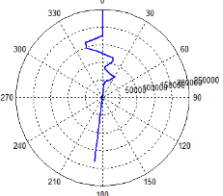
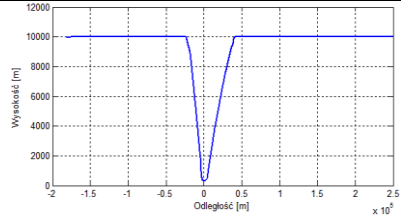
Table 1. Trajectories of air threats



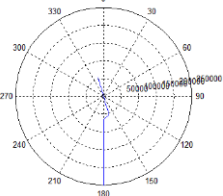
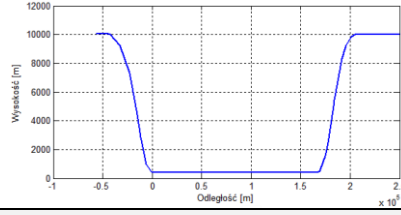
**Trajektoria lotu samolotu Su-35
(profil lotu „nisko – nisko – nisko”)**



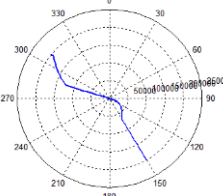
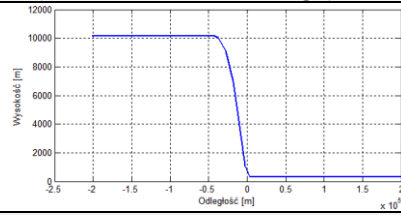
**Trajektoria lotu samolotu F-15
(profil lotu „wysoko – nisko – wysoko”)**



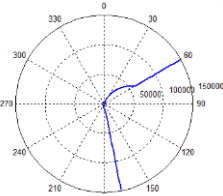
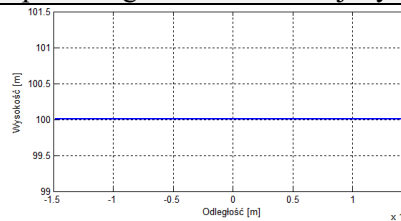
**Trajektoria lotu samolotu Tu-160
(profil lotu „wysoko – nisko – nisko – wysoko”)**

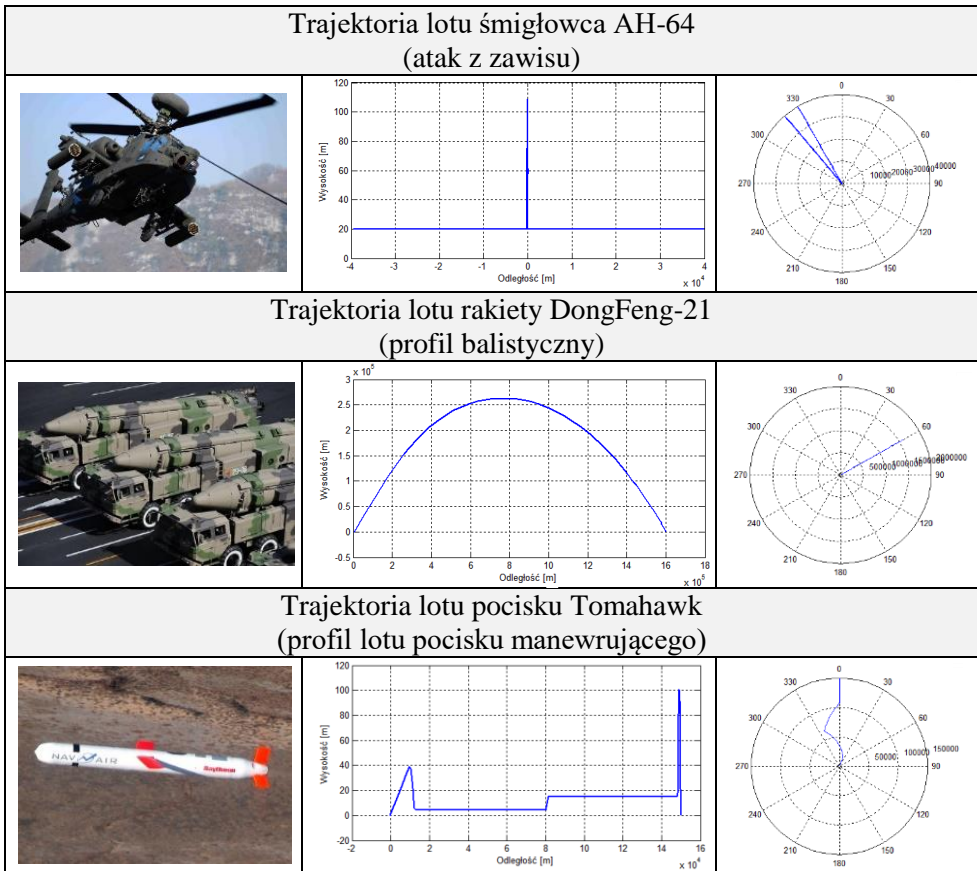


**Trajektoria lotu samolotu Tornado
(atak z lotu wznoszącego)**



**Trajektoria lotu BSP X-47B
(atak z lotu poziomego na bardzo małej wysokości)**





4. PODSUMOWANIE

Głównym celem pracy było opracowanie narzędzia do generowania przestrzennych trajektorii lotu środków napadu powietrznego.

Możliwe jest rozszerzenie funkcjonalności programu m.in. o takie elementy, jak:

- generowanie w jednym polu graficznym tras kilku środków napadu powietrznego, co pozwoli na symulację nalołów z różnych kierunków i w różnorodnych szykach bojowych;
- wykreślanie parametrów środków napadu powietrznego jako obiektów obserwacji (w postaci prędkości kątowych linii obserwacji celu w azymucie i elewacji);
- poszerzenie wyboru statków powietrznych oraz ich możliwych trajektorii lotu.

Niezależne parametry ruchu środków napadu powietrznego mogą być także wykorzystane jako podstawa do opracowania „sygnatur kinematycznych” dla systemów klasyfikacji celów powietrznych.

LITERATURA

- [1] Dobija Konrad. 2014. „Współczesne militarne zagrożenia powietrzne i metody ich oceny”, *Zeszyty Naukowe AON 2* : 81-116.
- [2] PN-ISO 1151-1. 2004. *Dynamika lotu. Pojęcia wielkości i symbole. Część 1: Ruch statku powietrznego względem powietrza*. Warszawa: Polski Komitet Normalizacyjny.
- [3] PN-ISO 1151-2. 2004. *Dynamika lotu. Pojęcia wielkości i symbole. Część 2: Ruch statku powietrznego i atmosfery względem Ziemi*. Warszawa: Polski Komitet Normalizacyjny.
- [4] Sienicki Konrad, Marcin Warchulski, Jacek Warchulski. 2002. Model symulacyjny imitatora celów powietrznych dla przeciwlotniczych zestawów raketowych. W *Kierowanie Ogniem Systemów Obrony Powietrznej (Przeciwlotniczej)*, 279-290. Gdynia: Wydawnictwo AMW.
- [5] Warchulski Marcin, Jacek Warchulski. 2006. Modele symulacyjne imitatorów celów powietrznych dla przeciwlotniczych zestawów raketowych. W *Materiały X Szkoły Komputerowego Wspomagania Projektowania, Wytwarzania i Eksploatacji*, 263-272. Warszawa: Wydawnictwo WAT.
- [6] Bis Bogusław, Andrzej Janicki. 2000. *Taktyka wojsk lotniczych. Działania bojowe wojsk lotniczych sił powietrznych*. Warszawa: Wojskowa Akademia Techniczna.

Using MATLAB Environment for Flight Simulation of Air Threats

Marcin WARCHULSKI, Jacek WARCHULSKI

*Military University of Technology, Faculty of Mechatronics and Aerospace,
2 gen. S. Kaliskiego Street, Warsaw, Poland,*

Abstract. The paper presents the possibility of using MathWorks™ MATLAB® software to simulate the flight of air threats. Basic equations of motion are implemented and the results of numerical simulations are discussed.

Keywords: mechanics, air threats, computer simulation, MATLAB