ZESZYTY NAUKOWE POLITECHNIKI ŚLĄSKIEJ 1990

Seria: MECHANIKA z.103 Nr kol. 1112

Jerzy Maryniak, Piotr Konopka

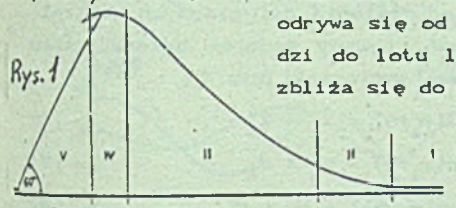
Instytut Techniki Lotniczej i Mechaniki Stosowanej
Politechnika Warszawska

MODELOWANIE I ANALIZA STARTU SZYBOWCA ZA POMOCĄ WYCIĄGARKI

Streszczenie. W pracy przedstawiono modelowanie fizyczne i matematyczne startu szybowca za pomocą wyciągarki. Na przykładzie szybowca SZD-42-2 Jantar 2B, otrzymany model matematyczny sprawdzono na drodze symulacji numerycznej.

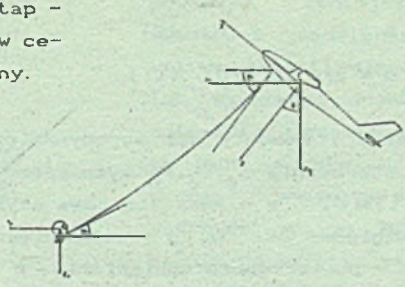
1. WSTĘP

Wzlot szybowca za wyciągarką [1,2,3,4,9] można podzielić na pięć etapów (rys.1): I etap - to ruszanie i rozpędzanie, podczas którego szybowiec odrywa się od ziemi; II etap - szybowiec przechodzi do lotu lekko wznoszącego, prędkość szybowca zbliża się do prędkości optymalnej; III etap - nabieranie wysokości, po bardzo stromym torze z prędkością dochodzącą do maksymalnej prędkości dopuszczalnej startu. Trzecia faza trwa do czasu, gdy kąt zawarty pomiędzy kierunkiem liny a poziomem przekroczy wartość $\rho_1=80°$ (rys.2); IV etap - szybowiec przechodzi do lotu poziomego, co stanowi przygotowanie do wyczepienia liny; V etap - następuje lekkie rozpędzanie szybowca w celu odciążenia zaczepu i wyczepienia liny.



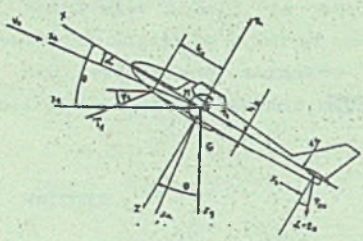
Rys.1. Fig.1.

Założono, że start szybowca odbywa się przy pogodzie bezwietrznej z płaskiego terenu. Szybowiec traktowano jako sterowany obiekt nieodkształcalny. Lina startowa wyciągarki jest ciężka, wiotka, niesprężysta nawijana na bęben wyciągarki.



Rys.2. Fig.2.

2. WARUNKI RÓWNOWAGI W CZASIE STARTU



Rys. 3. Fig. 3.

We wszystkich fazach startu szybowca muszą być spełnione warunki równowagi momentów pochylających na szybowiec: naciągu liny T_1; sił aerodynamicznych nośnej P_z, oporu P_x i momentu pochylającego M_a; wychyleń steru wysokości P_{ZH} oraz ciężkości G (rys. 3).

Równania równowagi w układzie odniesienia i zgodnie z oznaczeniami (rys. 3) mają postać:

$$-\frac{1}{2}\rho S V_0^2 (C_z\cos\alpha + C_x\sin\alpha) + G\cos\Theta + T_1\sin(\varphi_1+\Theta) + P_{ZH}\cos(\alpha+\varepsilon_H) = 0 \quad (1)$$

$$-\frac{1}{2}\rho S V_0^2 (C_x\cos\alpha - C_z\sin\alpha) - G\sin\Theta + T_1\cos(\varphi_1+\Theta) - P_{ZH}\sin(\alpha+\varepsilon_H) = 0 \quad (2)$$

$$-\frac{1}{2}\rho S V_0^2 c\, C_m + P_{ZH}[z_H\sin(\alpha+\varepsilon_H) + x_H\cos(\alpha+\varepsilon_H)] - T_1[k_z\sin(\varphi_1+\Theta) - h_z\cos(\varphi_1+\Theta)] = 0 \quad (3)$$

3. MODEL MATEMATYCZNY DYNAMIKI STARTU SZYBOWCA

Dla przyjętego modelu fizycznego szybowca [4,5,6,7,8], po uwzględnieniu związków kinematycznych w układzie odniesienia osi głównych centralnych, otrzymano następujący układ równań, będący modelem matematycznym dynamiki szybowca startującego za pomocą wyciągarki (rys. 3):

$$m(\dot{U}+QW) = -mg\sin\Theta + T_1\cos(\varphi_1+\Theta) + X_a + X_\delta \quad (4)$$

$$m(\dot{W}+QU) = mg\cos\Theta + T_1\sin(\varphi_1+\Theta) + Z_a + Z_\delta \quad (5)$$

$$J_y\dot{Q} = T_1[z_z\cos(\varphi_1+\Theta) - x_z\sin(\varphi_1+\Theta)] + M_a + M_\delta \quad (6)$$

$$\dot{x}_1 = U\cos\Theta + W\sin\Theta \quad (7)$$

$$\dot{z}_1 = -U\sin\Theta + W\cos\Theta \quad (8)$$

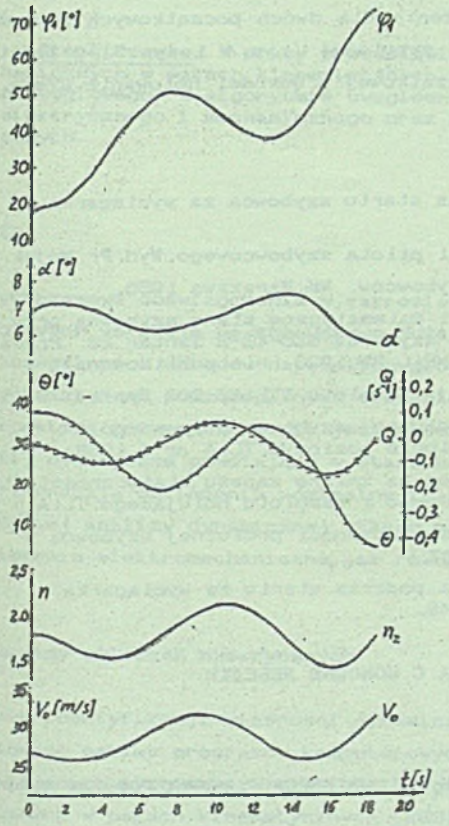
$$\dot{\Theta} = Q \quad (9) \qquad V_0^2 = U^2 + W^2 \quad (10)$$

$$\alpha = \mathrm{arc\,tg}(W/U) \quad (11) \qquad -h = z_1 \quad (12)$$

gdzie siły i momenty sił aerodynamicznych X_a, Z_a, M_a oraz siły i momenty sił od sterowania $X_\delta, Z_\delta, M_\delta$ wyznaczono w [4,5,6,7,8]. Przy czym w równaniach (1)÷(6): m - masa startowa szybowca, J_y - moment bezwładności szybowca względem osi Oy, g - przyspieszenie ziemskie, ρ - gęstość powietrza, S - powierzchnia odniesienia, c - średnia cięciwa aerodynamiczna, C_x, C_z, C_m - bezwymiarowe współczynniki aerodynamiczne, α - kąt natarcia, ε_H - kąt odchylenia strug na usterzeniu poziomym.

4. SYMULACJA NUMERYCZNA STARTU SZYBOWCA

W celu sprawdzenia modelu matematycznego wykonano symulację numeryczną na przykładzie startu szybowca SZD-42-2 Jantar 2B.

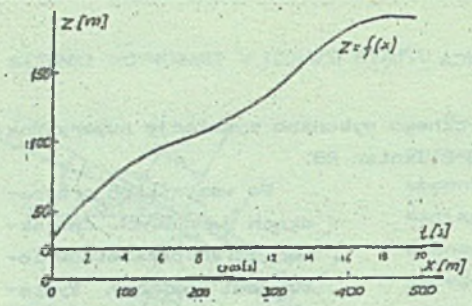


Rys. 4. Fig. 4.

We wszystkich przypadkach testowych charakter zmian parametrów lotu jest podobny. Występują oscylacje: kąta natarcia α, kąta pochylenia Θ, prędkości lotu V_0, prędkości kątowej pochylania Q, kąta pochylenia liny na zaczepie holowniczym szybowca φ_1 i współczynnika obciążenia n_z przedstawiającego sobą stosunek siły nośnej P_z do ciężaru szybowca G.

Zmiana długości liny nie wpływa w istotny sposób na zmianę charakteru lotu, a jedynie na uzyskiwaną wysokość lotu po wyholowaniu (rys. 5).

Natomiast wzrost prędkości holowania do prędkości bliskiej dopuszczalnej prędkości startu za pomocą wyciągarki, powoduje zmniejszenie częstości oscylacji i wpływa stabilizująco na lot szybowca. Prędkość holowania w czasie startu jest jedynie ograniczona wytrzymałością szybowca, wpływa bardzo silnie na wzrost współczynnika obciążenia szybowca. W żadnym z bada-



Rys. 5. Fig. 5.

nych przypadków nie został przekroczony dopuszczalny współczynnik obciążenia n_z (rys. 4). Wzrost prędkości wpływa również na osiąganą wysokość wyholowania.

Symulację numeryczną przeprowadzono dla 3 prędkości początkowych holowania 23m/s, 27m/s i 33m/s przy dopuszczalnej prędkości holowania przy użyciu wyciągarki dla rozważanego szybowca 38m/s. Dla wyżej przyjętych prędkości przeprowadzono obliczenia dla dwóch początkowych długości lin 800m i 900m. Przykładowe wyniki symulacji (rys. 4 i rys. 5) przedstawiono dla liny o długości 800m i początkowej prędkości holowania 27m/s.

LITERATURA

[1] Gedeon J.: Pomiar obciążeń podczas startu szybowca za wyciągarką. Technika Lotnicza nr 2, 1959.

[2] Humen W.: Podręcznik instruktora i pilota szybowcowego. Wyd. Pr. Wojsk.

[3] Janica W., Mańkowski A.: Starty szybowców. WK, Warszawa 1956.

[4] Konopka P.: Modelowanie fizyczne i matematyczne staru szybowca przy pomocy wyciągarki na przykładzie szybowca SZD-42-2 Jantar 2B. Praca dyplomowa (promotor J. Maryniak) MEiL PW 1990 (nie publikowana).

[5] Maryniak J.: Ogólny model symulacji samolotu. ITLiMS DOR Spr. 141/85.

[6] Maryniak J.: Warunki równowagi podłużnej szybowca holowanego i samolotu holującego w ustalonym locie poziomym. TLiA nr 4, 1968.

[7] Maryniak J.: Wpływ liny holowniczej na zmianę zapasu stateczności statycznej podłużnej szybowca holowanego i samolotu holującego. TLiA 8/68

[8] Maryniak J.: Uproszczona analiza stateczności podłużnej szybowca w locie holowanym. MTiS nr 1, 5. 1967.

[9] Nowakowski W.: Obciążenia szybowca podczas startu za wyciągarką. Skrzydlata Polska nr 5, 6, 7, 8, 1948.

МОДЕЛИРОВАНИЕ И АНАЛИЗ СТАРТА ПЛАНЕРА С ПОМОЩЬЮ ЛЕБЕДКИ

Р е з ю м е

В статье представлено физическое и математическое моделирсвание старта планера с помощью лебедки.

MODELLING AND ANLISES OF WINCH LAUNCHING GLIDER

S u m m a r y

In article presenting to physical and mathematical modeling of a winch launching glider.