

WPLYW INTENSYWNOŚCI HAMOWANIA SPADOCHRONU NA RUCH ZASOBNIKA ZRZUCONEGO Z SAMOLOTU

KAZIMIERZ MICHAŁEWICZ

Institut Techniczny Wojsk Lotniczych

1. Wstęp

Celem niniejszej pracy jest analiza wpływu spadochronu hamującego na parametry lotu zasobnika zrzuconego z samolotu (rys.1). Zasobnik traktowano jako układ mechaniczny sztywny z ruchomym spadochronem hamującym. Rozpatrując dynamikę obiektu badano ruchy podłużne, poprzeczne i boczne (U, V, W, θ, ψ) zasobnika oraz ruchy względne spadochronu (α_H, β_H).

Równania ruchu w układzie współrzędnych związanych z zasobnikiem wyprowadzono w quasi-współrzędnych stosując równania Boltzmann-Hamela (3) dla układów mechanicznych o więzach holonomicznych.

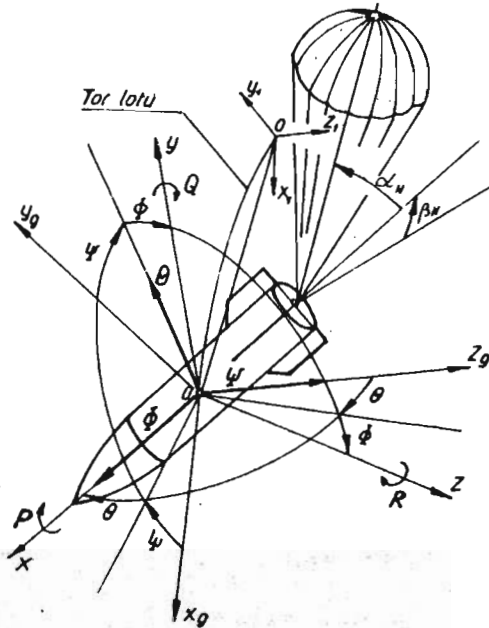
Przeprowadzono przykładowe obliczenia, których wyniki pokazują charakter zmian parametrów ruchu zasobnika po zrzucie z samolotu oraz wpływ spadochronu na wielkość tych zmian. Wyniki badań teoretycznych porównano z danymi uzyskanymi z pomiarów doświadczalnych.

Wykaz ważniejszych oznaczeń

- | | |
|---|---|
| $C_{x_B}, C_{x_H}, C_{y_B}, C_{y_H}, C_{z_B}, C_{z_H}, C_{m_B}, C_{m_H}, C_{n_H}$ | — bezwymiarowe współczynniki aerodynamiczne oporu, siły bocznej i siły nośnej, momentu pochylającego i odchylającego zasobnika i spadochronu, |
| c_1, k_1 | — sztywność i tłumienie zredukowane między zasobnikiem a spadochronem, |
| g | — przyspieszenie ziemskie, |

$I_{y_1}, I_{z_1}, I_{y_2}, I_{z_2}$	— osiowe momenty bezwładności zasobnika i spadochronu,
$I_{IH}, I_{IH_s}, I_{IH_v}, I_{IH_r}, I_{xyH}, I_{yzH}, I_{zxH}$	— momenty główne i dewiacyjne,
l_s	— odległość między SM zasobnika a węzłem mocowania spadochronu,
l_H	— odległość między SM spadochronu a węzłem,
m_1, m_2	— masa zasobnika i spadochronu,
M_B, M_H, N_B, N_H	— aerodynamiczne momenty pochylające i odchylające zasobnika i spadochronu,
M_q, M_{qH}	— pochodne aerodynamiczne momentu pochylającego względem zmian prędkości kątowych zasobnika i spadochronu,
$M_{\alpha_H}, N_{\beta_H}$	— momenty sprężystości i tłumienia,
P, Q, R	— prędkość kątowa przechylenia, pochylenia i odchylenia zasobnika,
S	— powierzchnia przekroju poprzecznego zasobnika,
S_b, S_{bH}	— powierzchnia boczna zasobnika i spadochronu,
Sl_H, Sx_2, Sy_2, Sz_2	— momenty statyczne spadochronu,
V_c, U, V, W	— prędkości SM zasobnika,
x_1, y_1, z_1	— współrzędne nieruchomego układu grawitacyjnego $Ox_1y_1z_1$,
X_B, X_H	— opór zasobnika i spadochronu w układzie $Oxyz$,
X_q, X_{qH}, X_r, X_{rH}	— pochodne aerodynamiczne oporu względem zmian prędkości kątowych zasobnika i spadochronu,
Y_B, Y_H	— aerodynamiczna siła boczna zasobnika i spadochronu w układzie $Oxyz$,
Y_q, Y_{qH}, Y_r, Y_{rH}	— pochodne aerodynamiczne siły bocznej względem zmian prędkości kątowych zasobnika i spadochronu,
Z_B, Z_H	— aerodynamiczne siły nośne zasobnika i spadochronu w układzie $Oxyz$,
α, α_v	— kąt natarcia zasobnika i spadochronu,

- α_H — kąt wychylenia spadochronu względem zasobnika,
 β, β_v — kąt ślizgu zasobnika i spadochronu,
 β_H — kąt odchylenia spadochronu względem zasobnika,
 ϕ, θ, ψ — kąty przechylenia, pochylenia i odchylenia zasobnika,
 ρ — gęstość powietrza.



Rys. 1. Rozpatrywany obiekt oraz przyjęte układy odniesienia

2. Model fizyczny i przyjęte układy współrzędnych

Do opisu dynamiki obiektu swobodnego przyjęto cztery układy odniesienia:

- układ $Oxyz$ sztywno związany z poruszającym się zasobnikiem,
- układ prędkościowy $Ox_a y_a z_a$ związany z kierunkiem przepływu ośrodka,
- układ grawitacyjny $Ox_g y_g z_g$ związany z poruszającym się obiektem, równoległy do układu $Ox_1 y_1 z_1$,

— nieruchomy układ grawitacyjny $0x_1y_1z_1$ związany z ziemią.

Ruch zasobnika został opisany w centralnym układzie współrzędnych $0xyz$ sztywno związanych z obiektem (rys. 1). chwilowe położenie zasobnika jako ciała sztywnego wyznaczono przez:

— położenie środka masy $r_1(x_1y_1z_1)$ mierzone względem nieruchomego układu współrzędnych $0x_1y_1z_1$,

— quasi-eulerowskimi kątami obrotu ładunku Φ, Θ, Ψ określającymi położenie układu związanego z bryłą $0xyz$ względem grawitacyjnego układu związanego ze środkiem masy poruszającego się obiektu $0x_gy_gz_g$.

Rozpatrywanym obiektem jest zasobnik lotniczy zrzucany z nosiciela, hamowany przy pomocy spadochronu.

Zasobnik traktowano jako układ sztywny osiowosymetryczny. Rozwinięty z napełnioną czaszą spadochron traktowano również jako układ mechaniczny sztywny o określonej masie wychyłany w stosunku do ładunku o kąty α_H i β_H .

3. Dynamiczne równania ruchu obiektu

Równania ruchu obiektu otrzymano z równań Boltzmanna-Hamela:

$$\frac{d}{dt} \frac{\partial T^*}{\partial \omega_\mu} - \frac{\partial T^*}{\partial \pi_\mu} + \sum_{\tau=1}^K \sum_{\alpha=1}^K \gamma_{\alpha\mu}^r \frac{\partial T^*}{\partial \omega_\mu} \omega_\alpha = Q_\mu^* \quad (3.1)$$

gdzie:

$\mu = 1, 2, \dots, k$ — ilość stopni swobody,

ω_μ — quasi-prędkości,

π_μ — quasi-współrzędne,

T^* — energia kinetyczna w quasi-prędkościach,

Q_μ^* — siły uogólnione,

$\gamma_{\mu\alpha}^r$ — trójwskaźnikowe mnożniki Boltzmanna.

Równania ruchu dla przyjętego modelu mają następującą postać:

$$\begin{aligned} \frac{d}{dt} \left(\frac{\partial T^*}{\partial U} \right) - \frac{\partial T^*}{\partial V} R + \frac{\partial T^*}{\partial W} Q &= Q_u^*, \\ \frac{d}{dt} \left(\frac{\partial T^*}{\partial V} \right) + \frac{\partial T^*}{\partial U} R &= Q_v^*, \\ \frac{d}{dt} \left(\frac{\partial T^*}{\partial W} \right) - \frac{\partial T^*}{\partial U} Q &= Q_w^*, \end{aligned} \quad (3.2)$$

$$\frac{d}{dt} \left(\frac{\partial T^*}{\partial Q} \right) + \frac{\partial T^*}{\partial U} W - \frac{\partial T^*}{\partial W} U + \frac{\partial T^*}{\partial P} R = Q_Q^* \quad (3.3)$$

$$\frac{d}{dt} \left(\frac{\partial T^*}{\partial R} \right) - \frac{\partial T^*}{\partial U} V + \frac{\partial T^*}{\partial V} U - \frac{\partial T^*}{\partial P} Q = Q_R^*$$

Ponadto dochodzą równania opisujące wychylenia elementów konstrukcji:

$$\frac{d}{dt} \left(\frac{\partial T^*}{\partial \dot{\alpha}_H} \right) - \frac{\partial T^*}{\partial \alpha_H} = Q_{\alpha_H}^* \quad (3.4)$$

$$\frac{d}{dt} \left(\frac{\partial T^*}{\partial \dot{\beta}_H} \right) - \frac{\partial T^*}{\partial \beta_H} = Q_{\beta_H}^*$$

Energię kinetyczną zasobnika wraz ze spadochronem wyznaczono z ogólnej zależności:

$$T = \frac{1}{2} \int_D \mathbf{V}\mathbf{V} dm = \frac{1}{2} \left(\int_{D_1} \mathbf{V}\mathbf{V} dm + \int_{D_2} \mathbf{V}\mathbf{V} dm \right) \quad (3.5)$$

Przy założeniu, że masy poszczególnych obszarów są stałe i $P = \Phi = L = 0$ energia kinetyczna ma postać:

$$\begin{aligned} T = & \frac{1}{2} \left[(m_1 + m_2)(U^2 + V^2 + W^2) + Q^2(I_{y_1} + I_{y_2}) + R^2(I_{x_1} + I_{x_2}) \right] + \\ & - QR I_{yzH} - Sx_2(VR - WQ) + Sy_2UR - Sz_2UQ + \\ & + \dot{\alpha}_H \left[Sx_2W - Sz_2U + Iy_2(Q + \frac{1}{2}\dot{\alpha}_H) - IyzH(R + \dot{\beta}_H) \right] + \\ & + \dot{\beta}_H \left[USy_2 - VSx_2 + IyzH(Q + \dot{\alpha}_H) - Iz_2(R + \frac{1}{2}\dot{\beta}_H) \right]. \end{aligned} \quad (3.6)$$

Prawe strony równań ruchu obiektu stanowią siły uogólnione Q_i^* . Pochodzą one od sił aerodynamicznych, grawitacyjnych oraz sprężystości i tłumienia, przedstawiają się one następująco:

$$Q_u^* = -m_c g \sin \theta + X_B + X_H + X_q Q + X_r R + X_{qH}(Q + \dot{\alpha}_H) + X_{rH}(R + \dot{\beta}_H), \quad (3.7)$$

$$Q_v^* = Y_B + Y_H + RY_r + Y_{rH}(R + \dot{\beta}_H),$$

$$Q_w^* = m_c g \cos \theta + Z_B + Z_H + Q(Z_{qH} + Z_q) + Z_{qH}(Q + \dot{\alpha}_H),$$

$$Q_Q^* = gS_{IH} \cos \alpha_H \cos \theta + M_B + M_{HB} + M_{\alpha_H} + QM_q,$$

$$Q_R^* = N_B + N_{HB} + RN_r + N_{\beta_H}, \quad (3.8)$$

$$Q_{\alpha_H}^* = -gS_{IH}(Q \sin \alpha_H \cos \Theta \alpha_H + \cos \alpha_H \sin \Theta) + M_H + M_{HB} + \\ - M_{\alpha_{HS}} + M_{qH}(Q + \dot{\alpha}_H), \quad (3.9)$$

$$Q_{\beta_H}^* = -N_H + N_{BH} - N_{\beta_{HS}} + N_{rH}(R + \beta_H).$$

Sily i momenty aerodynamiczne, pomierzone w układzie prędkościowym $0x_a y_a z_a$ transformowane są do układu związanego $0xyz$ i mają postać:

— sily od zasobnika:

$$X_B = \frac{1}{2} \rho S V_C^2 [-C_{X_B}(\alpha, \beta) \cos \alpha \cos \beta + C_{Y_B}(\beta) \sin \beta \cos \alpha + \\ - C_{Z_B}(\alpha) \sin \alpha], \\ Y_B = \frac{1}{2} \rho S V_C^2 [-C_{X_B}(\alpha, \beta) \sin \beta - C_{Y_B}(\beta) \cos \beta], \quad (3.10) \\ Z_B = \frac{1}{2} \rho S V_C^2 [-C_{X_B}(\alpha, \beta) \cos \beta \sin \alpha + C_{Y_B}(\beta) \sin \beta \sin \alpha + \\ - C_{Z_B}(\alpha) \cos \alpha],$$

— sily od spadochronu:

$$X_H = \frac{1}{2} \rho S V_C^2 [-C_{X_H}(\alpha_v, \beta_v) \cos \alpha \cos \beta + C_{Y_H}(\beta_v) \sin \beta \cos \alpha + \\ + C_{Z_H}(\alpha_v) \sin \alpha], \\ Y_H = \frac{1}{2} \rho S V_C^2 [-C_{X_H}(\alpha_v, \beta_v) \sin \beta - C_{Y_H}(\beta_v) \cos \beta], \quad (3.11) \\ Z_H = \frac{1}{2} \rho S V_C^2 [-C_{X_H}(\alpha_v, \beta_v) \cos \beta \sin \alpha + C_{Y_H}(\beta_v) \sin \beta \sin \alpha + \\ - C_{Z_H}(\alpha_v) \cos \alpha],$$

— momenty od zasobnika:

$$M_B = \frac{1}{2} \rho S L_H V_C^2 C m_B(\alpha) \cos \beta, \\ N_B = \frac{1}{2} \rho S L_H V_C^2 [-C m_B a(\alpha) \cos \beta \sin \alpha + C n_B(\beta_v) \cos \alpha], \quad (3.12)$$

— momenty od spadochronu:

$$M_H = \frac{1}{2} \rho S L_H V_C^2 C m_H(\alpha_v) \cos \beta, \\ N_H = \frac{1}{2} \rho S L_H V_C^2 [-C m_H a(\alpha_v) \cos \beta \sin \alpha + C n_B(\beta_v) \cos \alpha], \quad (3.13)$$

Momenty powstałe na skutek oddziaływania spadochronu na zasobnik:

$$\begin{aligned} M_{HB} &= (Z_H + Z_B)ls, \\ N_{HB} &= -(Y_H + Y_B)ls. \end{aligned} \quad (3.14)$$

Momenty powstałe na skutek oddziaływania zasobnika na spadochron:

$$\begin{aligned} M_{BH} &= -(Z_B + Z_H)l_H + (X_H - X_B)l_H \sin \alpha_H, \\ N_{BH} &= (Y_B + Y_H)l_H - (X_H - X_B)l_H \sin \beta_H. \end{aligned} \quad (3.15)$$

Momenty powstałe na skutek działania sił sprężystości i tłumienia w węźle wynoszą; działające na zasobnik:

$$\begin{aligned} M_{\alpha_H} &= c_1 \alpha_H + k_1 \dot{\alpha}_H, \\ N_{\beta_H} &= c_1 \beta_H + k_1 \dot{\beta}_H, \end{aligned} \quad (3.16)$$

oraz działające na spadochron:

$$\begin{aligned} M_{\alpha_{HS}} &= -c_1 \alpha_H - k_1 \dot{\alpha}_H, \\ N_{\beta_{HS}} &= -c_1 \beta_H - k_1 \dot{\beta}_H. \end{aligned} \quad (3.17)$$

Pochodne aerodynamiczne zasobnika i spadochronu wyznaczono z zależności [3, 4].

Po wyznaczeniu pochodnych energii kinetycznej całego obiektu tj. zasobnika i spadochronu oraz sił uogólnionych, równania ruchu dla przyjętego modelu przedstawiają się następująco:

Równanie sił na oś 0x:

$$\begin{aligned} (m_1 + m_2)(\dot{U} - VR + WQ) + Sx_2(R^2 + Q^2) + Sy_2R - Sz_2Q + \\ + Sx_2(\dot{\alpha}_H Q + \dot{\beta}_H R) + Sy_2\dot{\beta}_H - Sz_2\dot{\alpha}_H = Q_u^* \end{aligned} \quad (3.18)$$

Równanie sił na oś 0y:

$$\begin{aligned} (m_1 + m_2)(\dot{V} - UR) - Sx_2\dot{R} + Sy_2R^2 - Sz_2QR - Sx_2\dot{\beta}_H + \\ + Sy_2\dot{\beta}_HR - Sz_2\dot{\alpha}_HR = Q_v^*. \end{aligned} \quad (3.19)$$

Równanie sił na oś 0z:

$$\begin{aligned} (m_1 + m_2)(\dot{W} - QU) + Sx_2\dot{Q} - Sy_2QR + Sz_2Q^2 - Sx_2\dot{\alpha}_H + \\ - Sy_2\dot{\beta}_HQ + Sz_2\dot{\alpha}_HQ = Q_w^*. \end{aligned} \quad (3.20)$$

Równanie momentów pochylających zasobnika:

$$\begin{aligned} Sx_2(\dot{W} - QU) - Sz_2(\dot{U} + WQ - VR) + \dot{Q}(Iy_1 + Iy_2) + \\ - Ixy_HQR - Iyz_H\dot{R} - Ixz_HR^2 + \dot{\alpha}_HIy_2 - \dot{\beta}_HIyz_H + \\ - \dot{\alpha}_H(USx_2 + WSz_2 + RIxy_H) + \\ + \dot{\beta}_H(WSy_2 - RIxz_H) = Q_\alpha^*. \end{aligned} \quad (3.21)$$

Równanie momentów odchyłających zasobnika:

$$\begin{aligned} & -Sx_2(\dot{V} - RU) + Sy_2(\dot{U} - VR - QW) + \dot{R}(Iz_1 + Iz_2) + \\ & + Ixz_H QR - Iyz_H \dot{Q} + Ixy_H Q^2 - Iyz_H \ddot{\alpha}_H + Iz_2 \ddot{\beta}_H + \dot{\alpha}_H(VSz_2 + \\ & + Ixy_H) - \dot{\beta}_H(USx_2 + VSy_2 - QIxz_H) = Q_R^*. \end{aligned} \quad (3.22)$$

Równanie momentów pochyłających spadochronu:

$$\begin{aligned} & -\dot{U}Sz_2 + \dot{W}Sx_2 + \dot{Q}Iy_2 - \dot{R}Iyz_H + \ddot{\alpha}_H Iy_2 - \ddot{\beta}_H Iyz_H + \\ & + \dot{\alpha}_H \{ \cos \alpha_H \cos \beta_H (Q + \dot{\alpha}) [USl_H + Il_{H_v} (R + \dot{\beta}) + \\ & - Il_{H_s} (Q + \dot{\alpha}_H)] + [Sl_H V - Il_{H_s} (R + \dot{\beta}_H)] \cos \beta_H \sin \alpha_H (R + \beta_H) + \\ & - \cos \beta_H \sin \alpha_H (Q + \dot{\alpha}_H) [WSl_H + Il_{H_s} (Q + \dot{\alpha}_H)] \} = Q_{\alpha_H}^*. \end{aligned} \quad (3.23)$$

Równanie momentów odchyłających spadochronu:

$$\begin{aligned} & \dot{U}Sy_2 - \dot{V}Sx_2 - \dot{Q}Iyz_H + \dot{R}Iz_2 - \ddot{\alpha}_H Iyz_H + \ddot{\beta}_H Iz_2 + \\ & - \dot{\beta}_H [\dot{U}Sl_H + Il_{H_v} (R + \dot{\beta}_H) - Il_{H_s} (Q + \dot{\alpha}_H)] [\cos \beta_H (R + \dot{\beta}_H) + \\ & + \sin \alpha_H \sin \beta_H (Q + \dot{\alpha}_H)] + \\ & - [VSl_H - Il_{H_s} (R + \dot{\beta}_H)] \cos \alpha_H \sin \beta_H (R + \dot{\beta}_H) + \\ & + [WSl_H + Il_{H_s} (Q + \dot{\alpha}_H)] \cos \alpha_H \sin \beta_H (Q + \dot{\alpha}_H) = Q_{\beta_H}^*. \end{aligned} \quad (3.24)$$

Układ równań uzupełniono równaniami związków kinematycznych:

$$\begin{aligned} \dot{\theta} &= Q, \\ \dot{\psi} &= R \sec \theta, \end{aligned} \quad (3.25)$$

$$\begin{aligned} \dot{z}_1 &= U \cos \theta \cos \psi - V \sin \psi + W \sin \theta \cos \psi, \\ \dot{y}_1 &= U \cos \theta \sin \psi + V \cos \psi + W \sin \theta \sin \psi, \\ \dot{z}_1 &= U \sin \theta + W \cos \theta. \end{aligned} \quad (3.26)$$

Kierunek opływu ośrodka z prędkością V_c określono względem układu związanego $Oxyz$ kątami natarcia α i ślizgu β (rys.2):

$$\alpha = \arcsin \frac{W}{\sqrt{U^2 + W^2}}, \quad (3.27)$$

$$\beta = \arcsin \frac{V}{V_c}. \quad (3.28)$$

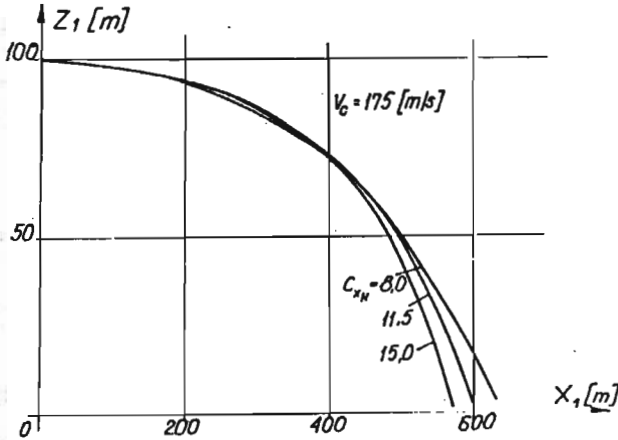
Prędkość całkowitą zasobnika obliczono z zależności:

$$V_c^2 = U^2 + V^2 + W^2, \quad (3.29)$$

Kąty natarcia α_v i ślizgu β_v spadochronu określono jako:

$$\alpha_v = \alpha + \alpha_H, \quad (3.30)$$

$$\beta_v = \beta + \beta_H. \quad (3.31)$$



Rys. 2. Tory lotu środka masy zasobnika hamowanego spadochronem

4. Wyniki analizy numerycznej i uwagi końcowe

Równania opisujące ruch zasobnika ze spadochronem zrzuconego z nosiciela są silnie nieliniowymi równaniami różniczkowymi, zwyczajnymi drugiego rzędu. Rozwiązanie równań wykonano na EMC, wykorzystując zmodyfikowaną metodę Mersona.

Charakterystyczne wyniki analizy numerycznej badanego modelu zasobnika przedstawiono w formie wykresów na rys. 2 ÷ 6. Z analizy uzyskanych rezultatów obliczeń numerycznych wynika, że profil toru lotu środka masy zasobnika $z_1 = z_1(x_1)$ w istotny sposób zależy od parametrów nosiciela w momencie zrzutu i efektywności hamowania spadochronu (rys.2).

Zmiana prędkości całkowitej V_c uzależniana jest od prędkości zrzutu V_0 oraz od efektywności hamowania spadochronu (rys.3).

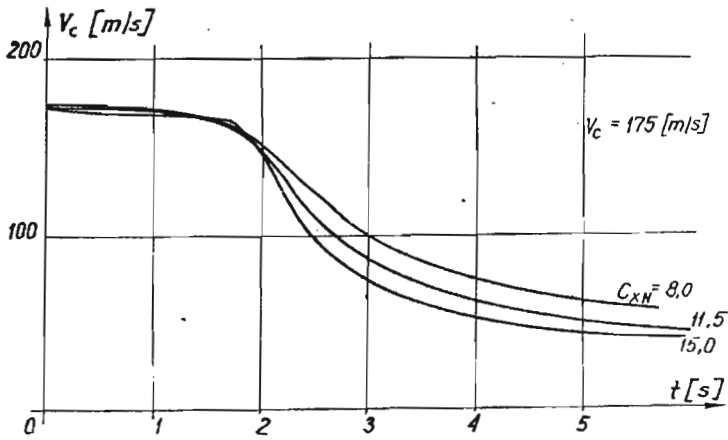
Wpływ współczynnika oporu C_{xH} na kąt pochylenia zasobnika przedstawia rys.4.

Zmiany przyspieszeń A_z środka masy zasobnika wzdłuż osi Oz pokazano na rys. 5.

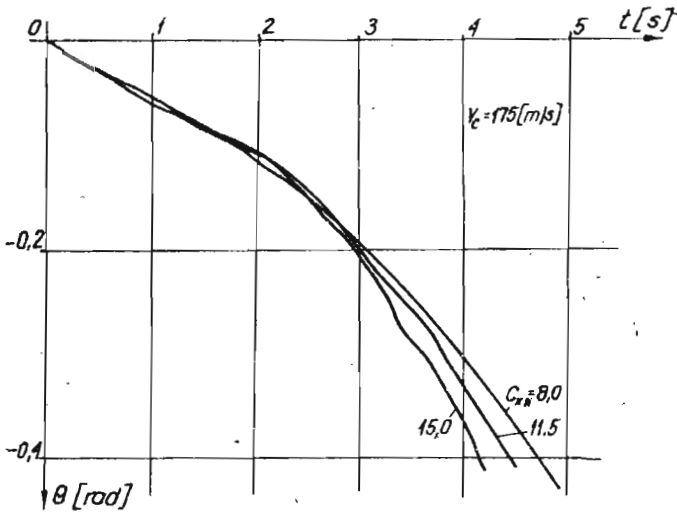
Zasobnik i spadochron w czasie lotu wykonują względny ruch kulisty, którego charakter uzależniony jest od prędkości zrzutu i intensywności hamowania spadochronu (rys.6).

Zmiany przyspieszenia A_z zasobnika w funkcji czasu t uzyskane w wyniku analizy numerycznej oraz badań doświadczalnych przedstawiono na rys.7.

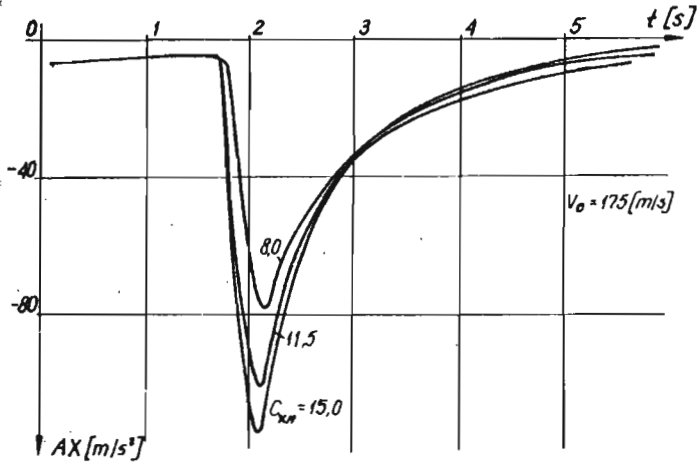
Przedstawiona metoda badania własności dynamicznych obiektu umożliwia analizę ruchu układu zasobnik-spadochron, dając przy tym ciągłą informację o



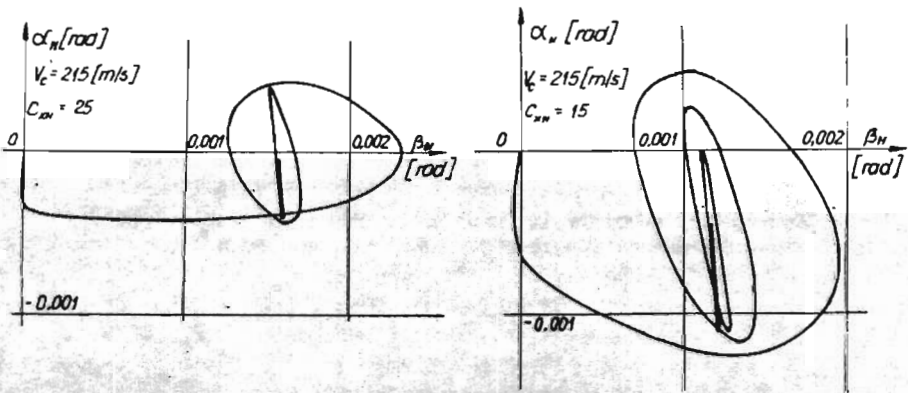
Rys. 3. Zmiany prędkości całkowitej V_c zasobnika dla różnych intensywności hamowania spadochronu



Rys. 4. Zmiany kąta pochylenia θ zasobnika dla różnych współczynników C_{xH} spadochronu



Rys. 5. Przebiegi przyspieszenia Az środka masy zasobnika wzdłuż osi Oz

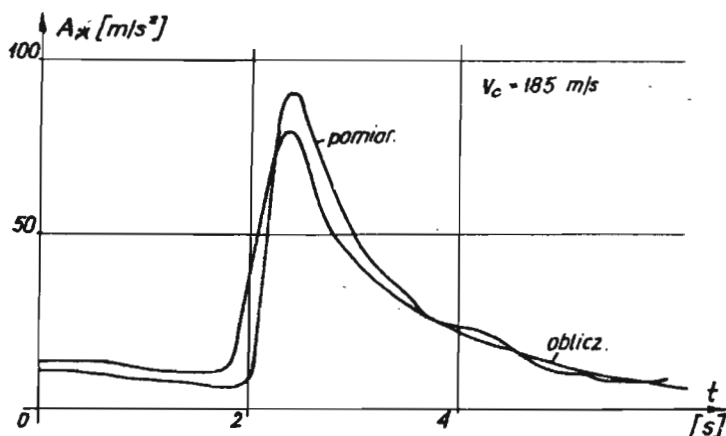


Rys. 6. Przebieg zmian kąta pochylenia α_H w funkcji kąta odchylenia β_H spadochronu względem zasobnika

zmianie parametrów lotu na torze.

W niniejszej pracy zbadano, jakie występują zaburzenia parametrów ruchu zasobnika po zrzucie z samolotu i otwarciu spadochronu.

Wyniki analizy numerycznej zostały potwierdzone podczas badań modeli rzeczywistych w locie, w trakcie których dokonano pomiarów ich parametrów kinematycznych ruchu.



Rys. 7. Zmiany przyspieszenia A_z zasobnika uzyskane z pomiarów i obliczeń

Literatura

1. R.M.AYRES, *The aerodynamic behaviour of fully inflated parachutes*, Aeronautical Journal, January 1978
2. Z.DŹYGADŁO, A.KRZYŻANOWSKI, E.PIOTROWSKI, *Dynamika lotu osiowosymetrycznego ciała z wiotkim urządzeniem hamującym zrzuconego z samolotu*, Biuletyn WAT nr 1 (257), Warszawa 1974
3. J.MARYNIAK, *Dynamiczna teoria obiektów ruchomych*, Prace naukowe PW, Mechanika nr 32, WPW, Warszawa 1975

4. J. MARYNIAK, K. MICHALEWICZ, Z. WINCZURA, *Wpływ spadochronu na ruch zasobnika osiowosymetrycznego zrzuconego z samolotu*, *Mechanika Teoretyczna i Stosowana*, z.1, t.16, PWN Warszawa 1978
5. D.F. McVEY, D.F. WOLF, *Analysis of Deployment and Inflation on Large Ribbon Parachutes*, *Journal of Aircraft*, Vol. 11, No 2, 1974

Summary

The influence of parachute braking rate on movement of a store dropped from an aircraft

The paper presents discussion of the influence of a brake parachute on flight parameters of a store dropped from an aircraft.

The store has been assumed to behave like a rigid body with a moving parachute.

The system dynamics has been analysed considering lateral, longitudinal and sideslip movements of the store as well as the relative movements of a parachute.

Резюме

Настоящая работа охватывает проблему влияния тормозного парашюта на параметры полёта контейнера, сбрасываемого из самолёта.

Контейнер рассматривается как искусственный объект с подвижным парашютом.

Исследуя динамику системы, были обслыжены проблемы продольного, поперечного и бокового движения контейнера, а также относительного движения парашюта.

Praca wpłynęła do Redakcji dnia 12 października 1988 roku