

# Simulace pohybu vztlakového tělesa NASA HL-20 pomocí systému MATLAB (2)

## Stručný popis

### Aerospace Blockset

#### - nástroje pro simulaci letadel

Bylo již uvedeno, že model sestavený z bloků Aerospace Blocksetu (AB) vyžaduje Simulink a jeho prostředí společně s MATLABem, který celou simulaci zajišťuje. Doporučen je také Control System Toolbox, Stateflow a Virtual Reality Toolbox.

AB obsahuje několik knihoven s různými typy bloků. Jsou to bloky s pohybovými rovnicemi letounu, pohonné jednotky, posilovačů řízení, bloky pro výpočty aerodynamických sil a momentů, bloky několika modelů atmosféry, bloky hmotových charakteristik letounu, bloky pro převod souřadných systémů nebo bloky pro animaci navrženého systému.

Při výpočtu aerodynamických sil a momentů působících na letoun se využívá blok obsahující geometrické charakteristiky jako je plocha a rozpětí nebo aerodynamická těživa křídla. Vstupy do bloku jsou aerodynamické koeficienty v letadlové souřadné soustavě, dynamický tlak, poloha těžiště letounu a působíště tlaku. Výstupem z bloku jsou aerodynamické síly a momenty v těžišti letounu.



#### Aerospace Blockset - zobrazení knihoven

Pro simulaci pohybu letounu lze využít pohybové rovnice s 3 stupni (pro podélný pohyb letounu) nebo s 6 stupni volnosti. Souřadnicová soustava je americká, kde svislá osa „Z“ směřuje dolů a kladná osa pro boční sílu „Y“ směřuje vpravo ve směru letu. Poloha letounu – jako je např. výška a natočení vzhledem k Zemi – se počítá v zemské souřadnicové soustavě v Eulerových úhlech nebo kvaternionech. Jednotky rychlosti a zrychlení jsou volitelné buď jako metrické nebo anglické (feety nebo knoty)

Za zmínku stojí, že v obou případech můžeme létající těleso definovat se stálou nebo proměnnou hmotností a je tedy třeba znát také odpovídající hmotové momenty setrvačnosti včetně deviačních. To umožňuje simulovat letové situace například letounu s odhozem podvěšených břemen nebo u raket s úbytkem paliva v čase. Vstupy do bloku se automaticky nastaví podle zvoleného způsobu změny hmotnosti letounu.

Pohybové rovnice propisující pohyb letounu jako tuhého tělesa mají v případě konstantní hmotnosti a Eulerových polohových úhlů následující vektorový tvar:

Translační pohyb určují rovnice pro rovnováhu aerodynamických sil:

$$\begin{bmatrix} F_x \\ F_y \\ F_z \end{bmatrix} = m(\dot{V}_b + \omega \times V_b)$$

$$\text{kde } V_b = \begin{bmatrix} u_b \\ v_b \\ w_b \end{bmatrix}, \quad \omega = \begin{bmatrix} p \\ q \\ r \end{bmatrix}$$

kde  $m$  je hmotnost tělesa.

Rotační pohyb popisují rovnice pro momentovou rovnováhu

$$\begin{bmatrix} L \\ M \\ N \end{bmatrix} = I\dot{\omega} + \omega \times (I\omega)$$

kde  $I$  jsou hmotové momenty setrvačnosti

$$I = \begin{bmatrix} I_{xx} & -I_{xy} & -I_{xz} \\ -I_{yx} & I_{yy} & -I_{yz} \\ -I_{zx} & -I_{zy} & I_{zz} \end{bmatrix}$$

Vztah mezi úhlovými rychlostmi  $p$ ,  $q$  a  $r$  a polohovými (Eulerovými) úhly  $\phi$ ,  $\theta$ ,  $\psi$  v osách  $x$ ,  $y$  a  $z$  popisuje vztah:

$$\begin{bmatrix} \phi \\ \theta \\ \psi \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 1 & (\sin \phi \tan \theta) & (\cos \phi \tan \theta) \\ 0 & \cos \phi & -\sin \phi \\ 0 & \frac{\sin \phi}{\cos \phi} & \frac{\cos \phi}{\cos \phi} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} p \\ q \\ r \end{bmatrix}$$

Parametry letového prostředí určují bloky v další knihovně nazvané jako „Environment“. V podknihovně „Atmosphere“, „Gravity“ a „Wind“ jsou umístěny bloky počítající parametry prostředí pro letadla i kosmická tělesa. V knihovně „Atmosphere“ počítá Blok pro Mezinárodní Standardní Atmosféru (0 – 20 km) tlak, teplotu, měrnou hustotu a rychlost zvuku podle vstupního parametru – letové výšky. Další

bloky určují stejné parametry podle normy 1976 COESA (Committee on Extension to the Standard Atmosphere) nebo podle vojenských předpisů MIL. V knihovně „Gravity“ nalezneme blok pro výpočet tíhového zrychlení v zemské atmosféře počítaného z letové výšky a zeměpisné šířky podle modelu World Geodetic System of 1984 (WGS 84). V dalším bloku se počítá magnetické pole země v zadané výšce specifikované zeměpisnou šířkou a délkou v určité roční dobu. Využívá se k tomu Magnetický model Země (WMM) platný pro léta 2000 až 2005. V knihovně „Wind“ je k dispozici několik bloků pro výpočet porывů v atmosféře (Dryden) a podle von Karmanova modelu.

V knihovně „Propulsion“ je umístěn blok pro modelování turbodmychadlového motoru, jehož tah a spotřebu paliva určuje poloha plynové páky a letová výška. V knihovně „Flight parameters“ najdeme užitečné bloky pro výpočet korekce skutečné rychlosti nebo výpočet dynamického tlaku.

Kromě bloků lineárních a nelineárních posilovačů druhého řádu používaných v okruhu řízení letadla zde najdeme bloky pro výpočet vzdálenosti dvou letících těles. V oblasti řídicích zákonů a regulace obsahuje knihovna řadu bloků s kontrolery ze zpětnou vazbou od stavu, které mohou být užitečné při návrhu řídicího systému letounu nebo při automatickém navádění letadla.

Model vztlakového tělesa HL-20 lze stáhnout z webovské stránky The MathWorks: <http://www.mathworks.com/matlabcentral/> nebo je distribuován na CD s MATLABem R13 (verze 6.5.1) kde je v novější verzi.



**Humusoft, s. r. o.**

**Distributor produktů společnosti  
The MathWorks v ČR a SR  
Novákových 6  
180 00 Praha 8, ČR  
Tel.: +420/284 011 730  
Fax: +420/284 011 740  
e-mail: info@humusoft.cz  
<http://www.humusoft.cz>**

31

