



**PREDIKTÍVNA ÚDRŽBA NA BÁZE MONITORINGU A DIAGNOSTIKY
LIETADIEL A VRTUĽNÍKOV
PREDICTIVE MAINTENANCE BASED ON AIRPLANE AND HELICOPTER
MONITORING AND DIAGNOSTIC**

Ján PÍĽA – Aurel SLOBODA
Technická univerzita v Košiciach
Zuzana HAJDUOVÁ

Podnikovo hospodárska fakulta v Košiciach Ekonomickej univerzity

Summary: In this paper, we focus on the fault detection and diagnosis in the main, rotor gearbox of helicopter. The main rotor transmission is one of the most critical of all the helicopter components since it links the engine to the rotor head and tail rotor and therefore is subject to high load stresses. For this reason, undetected faults in main rotor transmissions can result in catastrophic failures. A survey of the helicopter gearbox diagnostic literature shows that many gearbox approaches use fault detection and diagnosis indicators that are obtained from statistical processing of sensor data.

Key words: vibrodiagnostics, helicopter transmission, frequency spectra, RMS

ÚVOD

Zvýšenie bezpečnosti a spoľahlivosti prevádzky leteckej techniky bolo vždy najdôležitejším technickým problémom. Na základe normatívnych dokumentov je nutné stanoviť a periodicky kontrolovať hlavné ukazovatele spoľahlivosti a bezpečnosti. Pri dosiahnutí medzného stavu objektov (pri ktorom je ich prevádzka neprípustná) sa tieto odosielajú do opravy. Predĺženie technického života lietadlových uzlov, zamedzenie vzniku neplánovaných porúch, zvýšenie ich bezpečnosti a zníženie nákladov na ich údržbu je jednou z najdôležitejších úloh prevádzky leteckej techniky. Pre riešenie tejto otázky sa využívajú rôzne cesty. Prediktívna údržba na báze monitorovania a diagnostiky je jednou z nich.

Prediktívna údržba využívajúca informácie o vibráciách pre zníženie prevádzkových nákladov a zvýšenie spoľahlivosti lietadlových mechanizmov je najakceptovanejšou filozofiou v ich údržbe. Pretože väčšina prediktívnych programov je zameraná na mechanické zariadenia, je nutné pochopiť monitorovanie a diagnostiku ozubených prevodov a ložísk.

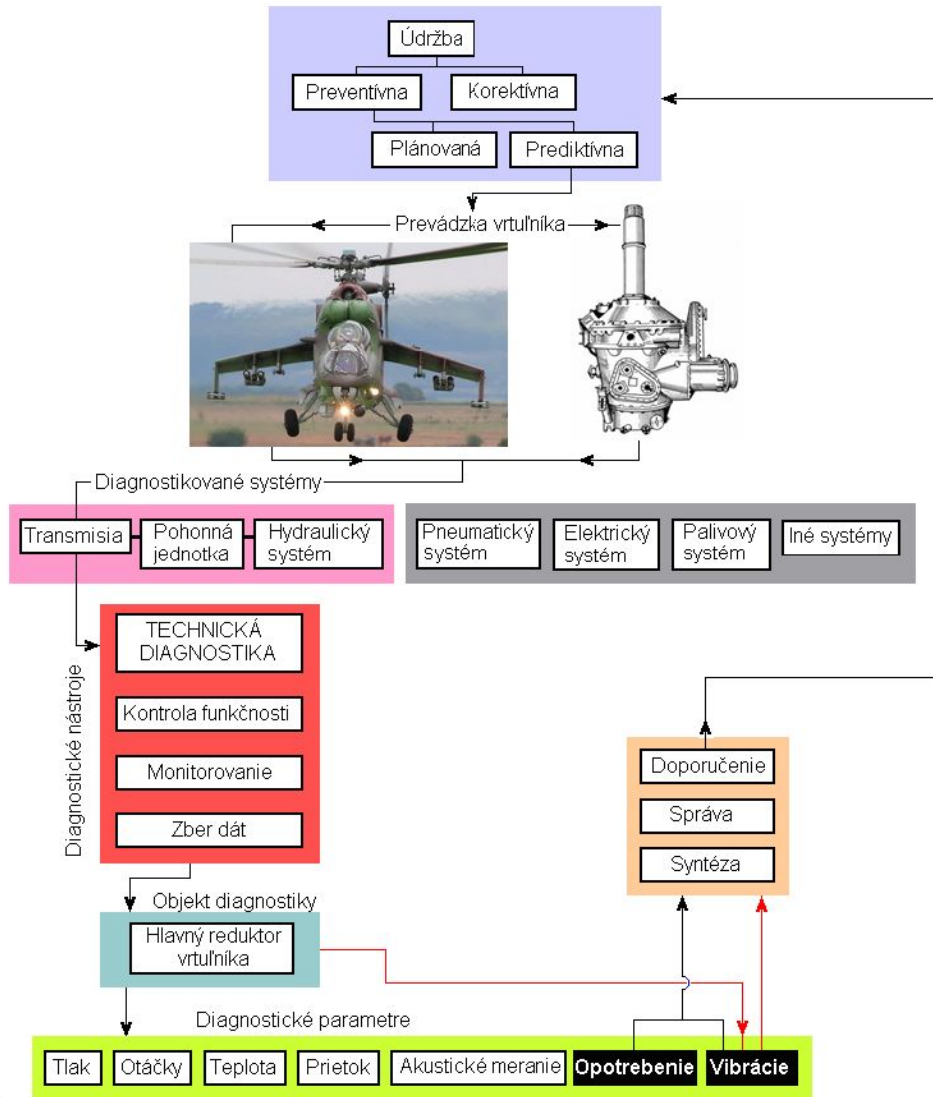
Monitoring je činnosť zameraná na sledovanie konkrétnych zmien diagnostických parametrov a analýzu príčin týchto zmien a tým aj technického stavu stroja. Musí zabezpečiť adekvátnu výstrahu aby nedošlo ku katastrofickej poruche.

TECHNICKÁ DIAGNOSTIKA LIETADIEL A VRTUĽNÍKOV

V diagnostike lietadiel a vrtuľníkov sa používajú metódy založené na známych fyzikálnych princípoch, ktoré sú schopné bez demontáže odhaliť určité typy porúch. Medzi ne patria akustické, ultrazvukové, vibračné, tepelné, defektoskopické a tribologické metódy. Ak je diagnostickým parametrom napr. zmena tvaru hustoty funkcie výkonného spektra, ktorú už nie je možné vyjadriť jedinou hodnotou, potom hovoríme o metódach rozpoznávania obrazov. Vonkajšími prejavmi lietadiel a vrtuľníkov, alebo ich častí sú zvýšené vibrácie, hluk, teplota alebo tiež mechanické napätia, deformácie, opotrebenie a pod. Pretože tieto poruchy sú typické i u iných strojov a zariadení, boli postupom času prepracované samostatné

diagnostické metódy, ktoré sa opierajú o známe spôsoby merania fyzikálnych veličín. Z uvedených metód sa najčastejšie používa vibračný monitoring a vibračná diagnostika.

Prevádzkovú vibrodiagnostiku umožnili až analyzátory vibrácií pracujúce na baze rýchlej Fourierovej transformácie (FFT), t.j. v reálnom čase a odpovedajúci softvér s výpočtovou technikou. Na obr. 1 je znázornený uzatvorený okruh manažmentu prediktívnej údržby konkrétneho diagnostického objektu – vrtuľníkového reduktora.



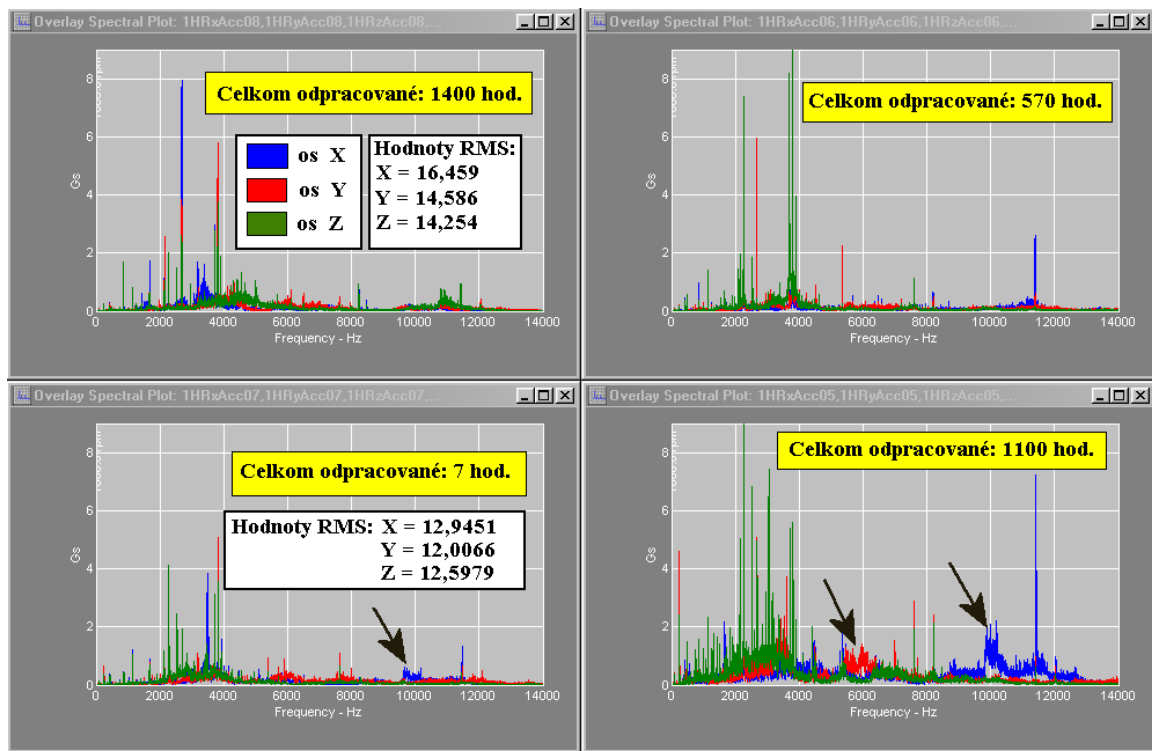
Obr. 1: Manažment prediktívnej údržby lietadlových agregátov.

Tradičné metódy technickej obsluhy lietadiel a vrtuľníkov založené na preventívnej údržbe nespĺňajú súčasné kritéria hodnotenia ich technického stavu, zvýšenia bezpečnosti a ekonomickosti prevádzky. Periodické kontroly a opravy vykonávané podľa odpracovaných hodín mnohokrát vytvárajú problémy namiesto toho aby ich riešili. Napríklad pri poruchách spôsobených montážou (nesprávne nasadenie ložísk, nepresné nastavenie vôľí v kinematických dvojiciach a pod.) sa porucha objaví podstatne skôr.

ANALÝZA VIBRAČNÉHO SPEKTRA VRTUĽNÍKOVÉHO REDUKTORA

Vrtuľníkové reduktory sú súčasťou transmisie vrtuľníka. Primárnym určením vrtuľníkových reduktorov je zvýšenie a prenos krútiaceho momentu od pohonnej jednotky na hlavný a vyrovnávajúci rotor pri vysokej spoľahlivosti ich činnosti, malej hmotnosti, rozmeroch a malých trecích stratách.

Hlavný reduktor vrtuľníka má veľmi zložitú kinematickú schému obsahujúcu mnoho párov spoluzaberajúcich ozubených kolies a veľký počet ložísk s rôznymi geometrickými parametrami. Šírenie vibrácií emitovaných jednotlivými zdrojmi má rôzne cesty s rôznym stupňom tlmenia ich intenzity. Použitie jedného snímača orientovaného v ktoromkoľvek smere by nedávalo dostatok diagnostických informácií. Pri realizácii meraní vibrácií hlavného reduktora sme preto použili tri akcelerometre, ktorých aplikácia potvrdila správnosť tejto úvahy.



Obr.2: Porovnanie vibračných spektrier a hodnôt RMS v troch osiach vzhľadom k odpracovaným hodinám

Pri vzniku porúch záberu zubov dochádza nielen k rastu amplitúd harmonických násobkov, ale aj k vzniku postranných pásiem z jednej aj druhej strany GMF (Gear Mesh Frequency).

Prvotným ukazovateľom technického stavu každého rotačného stroja sú jeho celkové hodnoty vibrácií – RMS hodnoty (obr. 2). Vibračný monitoring založený na trendovaní hodnôt RMS je dôležitý nástroj diagnostiky hlavného reduktora. Umožňuje sledovať jeho postupnú degradáciu. Z merania reduktora vrtuľníka 07, ktorý je úplne nový, boli namerané nasledujúce hodnoty zrýchlenia RMS: os X = 12,9451 Gs, Y = 12,0066 Gs, Z = 12,595 Gs. Hodnoty RMS pre reduktor vrtuľníka 06 (odpracovaných 570 hod.) sú: X = 10,2255 Gs, Y = 12,984 Gs, Z = 21,7523 Gs. Z uvedených hodnôt vyplýva, že reduktor 07 (po GO) má vyrovnané hodnoty RMS vo všetkých troch osiach. Reduktor vrtuľníka 06 má nižšiu hodnotu



RMS v osi X, ale vyššiu hodnotu v osi Z. Z uvedených meraní je možné predbežne usúdiť, že správne hodnoty RMS vo všetkých osiach by sa mali byť medzi 10 až 12. Z porovnania FFT spektier oboch reduktorov vyplýva, že ich spektra sú približne rovnaké aj napriek pomerne veľkému rozdielu hodnôt RMS v osi Z. Túto skutočnosť by bolo možné vysvetliť tým, že niektoré amplitúdové špičky v osi Z reduktora vrtuľníka 06 dosahujú 2 až 3 krát vyššie hodnoty ako v rovnakej osi u vrtuľníka 07. Sú to hlavné špičky na frekvencii $f = 2298$ Hz, $f = 3687$ Hz, $f = 3783$ Hz.

Najväčšie špičky sú generované v osi Z – 16,5 Gs na frekvencii $f = 2293$ Hz (zelená farba) u vrtuľníka 05 a najmenšie v osi Y (červená farba). Veľmi zaujímavá je oblasť signálu medzi 8800 – 12 500 Hz generovaná od snímača v osi X (modrá farba), ktorá je prítomná takmer v každom spektre okrem vrtuľníka 04. V tomto frekvenčnom pásme dominuje výrazná špička s frekvenciou $f = 11\,400$ Hz, čo je frekvencia 2. stupňa planétového reduktora a svedčí o jeho extrémnom zaťažení. Táto špička je výrazná aj na úplne novom reduktore a naopak chýba v spektre reduktora vrtuľníka 04, ktorý má odpracované 1190 hod.

ZÁVER

Vibrodiagnostika vrtuľníkových reduktorov a celej transmisnej sústavy je efektívnym nástrojom v ich údržbe za predpokladu, že bola vykonaná dôsledná analýza vibračných spektier a stanovené prahové hodnoty pre jednotlivé kinematické uzly. Skutočná diagnostika si vyžaduje vibračný monitoring založený na cieľavedomých meraniach. Pre objektívne hodnotenie technického stavu reduktorov je najvhodnejšie realizovať merania, ktoré by monitorovali ich technický stav od výroby, alebo od GO, t.j. vykonávať pravidelné merania v presne stanovených intervaloch počas celého cyklu ich prevádzky. Pre získanie väčšieho množstva informácií o jednotlivých spektrách je možné vibrodiagnostické merania doplniť o merania pri iných režimoch činnosti reduktorov, napr. letových.

LITERATÚRA

1. DAVIES, A.: Handbook of condition monitoring. Cornwall, 1998.
2. GIURGIUTIU, V.: Helicopter health monitoring and failure prevention through vibration management enhancement program. International journal of condition monitoring and diagnostics engineering management, 2001.
3. PÍLA, J.: Diagnostika vrtuľníkových reduktorov. Zborník referátov, VLA Košice, 2002.
4. TUMER, Y.I. - HUFF E.M.: Using triaxial accelerometer data for vibration monitoring of helicopter gearboxes, ASME Design engineering technical conferences, Pittsburgh 2001.