

A PT-6-os REPÜLŐGÉP HAJTÓMŰ ÁLLAPOT SZERINTI
ÜZEMELTETÉSENEK LEHETŐSÉGEI HAZÁNKBAN

1. AZ ÜZEMELTETÉS LEHETŐSÉGEI

Hazai repülőgépeink Üzemeltetésénél szinte kivétel nélkül a kötött Üzemidő szerinti karbantartási stratégiát alkalmazzák és várhatóan ez még hosszú ideig így is marad. Ennél az egyébként bevált módszernél problémaként jelentkezik, hogy az adott légijármű esetében nincs meg a közvetlen kapcsolata annak tényleges Üzemállapotával. Így elképzelhető, hogy a ciklusidők végén feleslegesen végzik el a karbantartási munkák egészét, vagy csak egy részét. Ez többlet anyag, energia, munkaerő és munkaidő felhasználást eredményez, ami lényegesen csökkenti az Üzemeltetés gazdaságosságát.

A korszerű repülőeszközök esetében lehetőség nyílik az állapot szerinti karbantartására is, szakaszosan és folyamatosan ellenőrzött műszaki jellemzők alkalmazásával. Ezzel a karbantartási stratégiával azért érdemes foglalkozni, mert a perspektivikusan rendszerbe állítandó új(-abb) katonai és polgári légijárművek Üzemeltetése várhatóan már e szerint történik.

A jelenlegi kevés hazai kivétel egyike az Országos Vízügyi Repülőgépes Szolgálat PC-6 Pilátus Turboportereiben lévő PT-6 A27 hajtómű, melyet a műszaki állapota szerint javítanak, illetve tartanak karban. E kiváló hajtómű azért is érdemel megkülönböztetett figyelmet, mert gyártója a Pratt & Whitney cég a légi és földi Üzemeltetés valamennyi tapasztalatát összegyűjtve kíván kifejleszteni egy új korszerű

PT-6-os családot. Így valószínűnek tűnik, hogy a PT-6-osok az ezredforduló utáni egyik legjobb légcsavaros gázturbinás hajtómű-családot képviselik, amelyek nálunk is további alkalmazásra kerülhetnek.

2. A HAJTÓMŰ ÁLLAPOTÁT MEGFIGYELŐ RENDSZER

A PT-6-os hajtóműveket úgy alakították ki, hogy a vásárló igénye szerint időszakonként ellenőrzött (diagnosztizált) műszaki jellemzők, valamint kötött Üzemidő (hard time) szerint egyaránt üzemeltethető legyen. Az utóbbi módszer a már korábbiakban ismertetett problémák miatt elvétve alkalmazzák. A korszerűbb üzemeltetési eljárás elterjedését az is nehezíti, hogy a hajtóművet a vásárló (Üzemeltető) igényei szerint digitális paraméter rögzítő és elemző berendezésekkel is el kell látni. Ezen rendszer megvásárlása jelentős mértékben növeli a hajtómű beszerzési árát, így az üzemeltetők jelentős része le is mond ezek megvásárlásáról. Szerencsére azok sem szorulnak feltétlenül a kötött üzemidő szerinti eljárás alkalmazására, akik az adatrögzítőket és elemzőket nem vásárolták meg. Ők az ellenőrzött műszaki jellemzők szerint üzemeltethetnek. Ennek lényege, hogy repülés közben a hajtómű paraméterek felvétele manuálisan történik, azaz a pilóta adott időközönként a műszerekről leolvasott paramétereket feljegyzi. Ezen adatok alapján történik a földi kiértékelés, amely történhet az előbbieken említett kiértékelő (számítógépes diagnosztikai) rendszer alkalmazásával, vagy analóg módon, amit a következőkben kívánok bemutatni.

E módszer alkalmazása alig igényel számításokat, viszont igen hosszadalmas, és sok papírmunkát tesz szükségesé. Repülés közben az adatokat óránként egyszer jegyzi fel (a felszállástól számított minden repült óra végén), illetve berepüléseknél az állandósult repülési helyzet elérésekor.

2.1. A hajtómű állapotát megfigyelő rendszer alapjai

A rendszer megbízhatóságának feltétele, hogy az adatfelvétel meghatározott időközönként (vagyis megfelelő sűrűséggel és rendszerességgel) történjen és olyan állandósult hajtómű paramétereket mérjen, amelyek a légi alapjáratú és maximális üzemmód közötti üzemmódokra vonatkoznak.

Az adott repülési üzemmódra a megállapított határok között meghatározhatók a jellemző értékek. Ezeket a számított értékeket összehasonlítva a repülés közben felvett, mért értékekkel - különbségüket képezve - olyan adatot kapunk, amelyek a meghatározott törési sávon belül, illetve azon kívül találhatóak. E törési sávokat (határértékeket) az üzemeltetési tapasztalatok alapján állapították meg. Attól függően, hogy a határértékeket előre meghatározott feltételek mellett hogyan lépi át a különbségi értékek, lehetőség nyílik következtetések levonására az adott gépegységek állapotáról. A határértékek átlépésekor az üzemeltető feladata, hogy megvizsgálja az eltérés okát, vagyis elvégezze a szükséges karbantartási munkát.

2.2. A rendszer működtetése

A hajtómű állapotát megfigyelő rendszer alkalmazását akkor célszerűbb elkezdni, amikor új, vagy nagyjavításon átesett hajtómű áll rendelkezésre. Így biztosítható, hogy az állapotváltozásokról az egész élettartama alatt pontos információink legyenek.

A rendszer üzemeltetését a következő lépésekben kell elvégezni:

1. A hajtómű repülés közbeni paramétereinek összegyűjtése;

2. A hajtómű számított és mért paramétereinek alapértéktől történő eltéréseinek meghatározása;
3. A fenti értékek grafikonba foglalása (az idő függvényében);
4. Az eltérések irányzatának kiértékelése, elemzése.

2.3. A repülés közbeni adatok gyűjtése

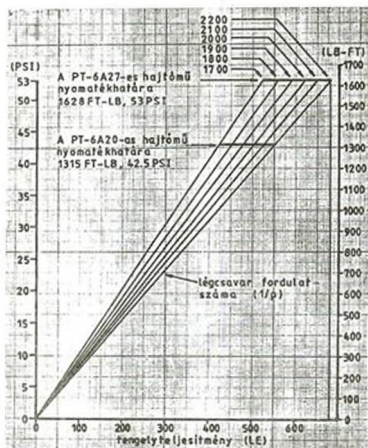
Az adatok műszerről történő leolvasását akkor lehet elkezdni, ha állandósult a repülési sebesség és magasság. Ezt követi az adatok leolvasása és benaplózása. Ezek (az eredeti jelöléseket alkalmazva!):

- ITT; Ng és Wf (gázgenerátor turbina utáni hőmérséklet, gázgenerátor fordulatszáma és az óránkénti fogyasztás);
- M; Np (nyomaték és légcsavar fordulatszám);
- PA; IOAT (tengerszint feletti magasság, levegőhőmérséklet).

2.4. A számított és mért paraméterek közti eltérés meghatározása

A repülés közben mért ITT; Ng és Wf az összehasonlítás alapjául szolgáló mért értékek. Az 1. számú ábra alapján az M és Np értékek felhasználásával meghatározható a teljesítmény (LE-ben). A fordulatszám értéket műszeren százalékos formában adják meg, amit fordulat/percre kell átszámolni (100 % = 2200 f/p). A leolvasás első lépése, hogy a függőleges tengelyen ábrázolt nyomatékot (a két különböző mértékegységgel történő feltüntetés a műszerek esetleges különböző

skálázása miatt történt), a vízszintes tengellyel párhuzamosan az adott fordulatszámhoz tartozó egyenesre vetítjük. A

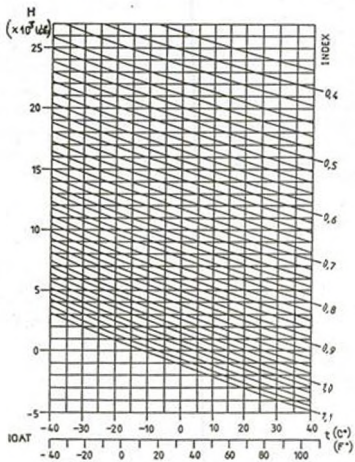


1. ábra

levegő hőmérséklet értékből merőlegest állítunk a vízszintes tengelyre. A két egyenes metszéspontjához tartozó index-görbéhez tartozó index-értéket a függőleges tengelyen lehet leolvasni. Az index és a teljesítmény adatok ismeretében a 3. számú ábra alapján meghatározhatók a számított ITT; Ng; Wf értékek. Az adott index- és teljesítménygörbe metszéspontját vízszintesen levelítve az ITT és Ng tengelyekre kapjuk azok számított értékeit. A metszéspontból a Wf tengelyre -1.57

metszéspontjukból a vízszintes tengelyre merőlegest bocsájtunk, ez a merőleges a vízszintes tengelyen kimetszi az adott M-hez és Np-hez tartozó teljesítmény értékét. A 2. számú ábra alapján a PA és IOAT értékek felhasználásával meghatározható egy úgynevezett index-érték. A leolvasás úgy történik, hogy az adott magasságértékekből párhuzamosan húzunk a vízszintes tengellyel, majd ezt követően az adott

irányvektorral levetítve kapjuk a számított W_f értéket.



2. ábra

TREND MONITORING CHART
PT6A-27 & 28 ENGINES.



2.5. Az eltérések ábrázolása

Az előzőekben meghatározott számított, illetve mért értékek alapján

ITT = ITT mért - ITT számított

Wf = Wf mért - Wf számított

Ng = Ng mért - Ng számított

Az így meghatározott különbségi értékek a 4. és 5. számú ábrán láthatóak az idő függvényében úgy, hogy minden pont egy adott mérési időpontot ábrázoljon.

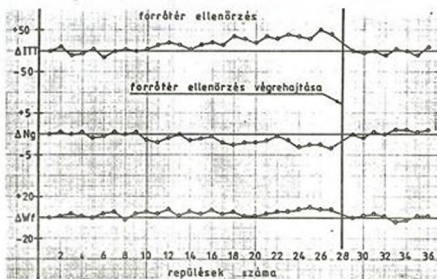
2.6. Kiértékelés, elemzés

A 4. és 5. ábrák segítségével a hajtómű állapota követhető nyomon. Az ábrák új vagy nagyjavított hajtóművekre vonatkoznak, ilyenkor a kezdeti értékek 0-ról vagy 0-t megközelítő értékekről indulnak. A 0-tól való eltérés abból adódhat, hogy a nagyjavítás után olyan minimális mechanikai sérülések maradhatnak meg, amelyek a hajtómű üzemét elhanyagolható mértékben befolyásolják (pl.: 0,25 mm-nél kisebb /bekarcolódás/ a kompresszorlapát belépő élein).

A gázcsatorna változása, károsodása is (pl.: kompresszorlapátokon történő porlerakódás, lapátok sérülései) a mért és a számított értékek közti különbség 0-tól való fokozatos eltéréseit eredményezi. A helyreállító karbantartás után a különbség újra a 0, illetve az előzőekben ismertetett okok miatt a 0-t megközelítő érték lesz. Az elemzés során a hajtómű kompresszorának és úgynevezett forró terének (égőtér és turbina) állapotáról is szerezhetünk információkat.

A 4. számú ábrából a kompresszor-egység károsodási határértékei láthatóak. Beavatkozás akkor válik szükségessé,

amikor a kezdeti értéktől számítva az ITT 30°C -al, az Ng 3,5 %-kal és a Wf 20 font/órával lesz magasabb a kezdeti értéknél. Az értékeknek együttesen kell magasabbnak lenniük a megadott határértékeknel. Ilyen esetet az idézhet elő, hogy a kompresszor-lapátokra por rakódik, ezt a folyamatot fokozhatja kis mennyiségű olajszivárgás, amely a por megtapadását segítheti elő. Erősen szennyezett, poros üzemeltetési környezetben az elkoszolódási folyamat felgyorsulhat, ami gyakoribb beavatkozást igényelhet.

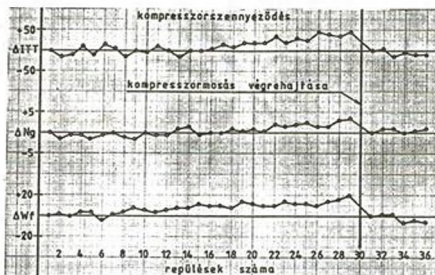


4. ábra

A por lerakódása a lapátok geometriai formáját megváltoztatja, ami a kompresszor hatásfokának csökkenését eredményezi. Az adott légcsvár teljesítmény fenntartása nagyobb gázgenerátor fordulatszámot igényel. A kompresszor szennyeződése kompresszor-mosással szüntethető meg.

Az 5. számú ábra az úgynevezett forróter (turbina és égőtér) megengedett értéket elérő állapotváltozást mutatja be. Abban az esetben, ha az ITT 50°C -kal, a Wf 10 font/órával lesz magasabb, az Ng pedig 3,5 %-kal lesz alacsonyabb a

kezdeti értékeknél, szükségessé válik a magas hőmérsékletű részek ellenőrzése és javítása.



5. ábra

A magas hőmérsékletű részek károsodását a fokozott hő- és mechanikai terhelések okozzák. Az áramlási csatornában a hőterhelések maradó alakváltozásokat, valamint a turbinalapátok felületén repedéseket idézhetnek elő. Ezek hatásfok-csökkenést eredményeznek.

2.7. A hajtómű műszaki jellemzőiben hirtelen bekövetkező nagymértékű értékváltozások

A hajtómű üzemeltetését és kiszolgálását végző személyzet téves következtetéseket is levonhat egyetlen paraméter hirtelen bekövetkező megváltozásakor, pedig ezt egy meghibásodott műszer, téves leolvasás vagy feljegyzés, valamint túlzottan nagy kompresszor levegő elvétel is előidézhetheti. Az ilyen esetekben először a létrejött vagy elküvetett hibát kell megszüntetni, majd hasonló repülési körülmények között újra el kell végezni az adat-gyűjtését.

2.8. A beavatkozás módjai

A hajtómű állapotát megfigyelő rendszerrel kimutatott hibák megszüntetését két csoportba sorolhatjuk:

- mosás;
- forró tér ellenőrzése.

Ez lehetővé teszi a hajtómű két legfontosabb és egyben leg-sérülékenyebb egységének egyszerű és olcsó tisztítását, illetve javítását.

2.9. Kompresszormosás

A kompresszor mosása a sótalánító és a működést helyre-állító módszerrel lehetséges.

2.9.1. Sótalanító mosás

A sóval telített levegőn való folyamatos üzemeltetéskor ajánlatos naponként, de legalább 25 üzemóra vagy 1 hét után a sótalánító mosást végrehajtani. A kettő közül mindig hamarabb bekövetkező a mérvadó. A fenti munkák utemezése il-leszthető az üzemi tapasztalatokhoz. A működést helyreállító mosás ennél ritkábban szükséges, ennek gyakorisága illeszt-hető a hajtómű állapotát megfigyelő rendszer által kimuta-tottakhoz. A sótalánító mosás általában csak a sólerakódás eltávolítására alkalmas, a működést helyreállító mosással viszont az ipari korom és más lerakódások is eltávolíthatók.

A kezelő személyzetnek analizálnia kell az üzemi kör-nyezetében lévő szennyezőanyagokat és döntenie a mosás ked-vezőbb típusának alkalmazásáról. Általános tapasztalat, hogy a hajtóművet nem lehet "túlmosni". A tiszta kompresszorból származó kedvező működés és a meleg szakasz alkatrészeinek

megnövekedett élettartama azt mutatja, hogy a mosást, amilyen gyakran csak lehet be kell ütemezni. Gazdasági szempontból viszont minél ritkábban végzik a tisztítást, annál inkább nő a repüléstől elvett idő, de a drága mosófolyadék fogyasztás is emeli az üzemköltséget. A működést helyreállító mosásokhoz Turco 4217-et használnak tisztítószerként, ami vízzel és petróleummal (kerozin) összekeverve nem korrodáló, nem mérgező hatású emulziót alkot. A mosófolyadékot a járó hajtómű szívótorkába permetezik szórógyűrű vagy mosópálca segítségével. A hajtómű járatását $N_g = 23.000 \frac{\text{fordulat}}{\text{perc}}$ -cel (81,5 %) kell végrehajtani, mivel ennél a fordulatszámnál a folyadék emulzió formájában vonja be a lapátokat. Túlságosan nagy fordulatszámnál és a hőmérséklet növekedésekor gőzzé változhat az emulzió.

2.10. Forróter ellenőrzés

A forróter ellenőrzést a hazánkban használt hajtóművek-nél a svájci Pilatus gyárban végzik, így adatok hiányában ez nem mutatható be.

2.10.1. A kompresszor- és turbinalapátok sérülései

A hajtómű állapotát megfigyelő rendszerrel kimutathatók a kompresszor- és turbinalapát sérülései is. E sérülések nagyságuk, számuk és méretük szerint osztályozhatók.

Az ideális az lenne, ha bármilyen minimális sérülés esetén is kicserélnék a lapátokat. A csere azonban igen nagy költséget jelentene, mivel nemcsak a lapát ára magas, hanem a kompresszor és a turbinaforgórész kiegyensúlyozása, valamint a hajtómű próbapadi járatása is. Ezért a gyártó az üzemeltetőnek olyan minimális kompresszor- és turbinalapát sérüléseket engedélyez, amellyel a hajtómű megbízhatóan működtethető. E sérülések anyagvesztéssel járók vagy anélküliek lehetnek.

Az anyagvesztés nélküli sérülések normái:

A kompresszor-lapátvég olyan elcsavarodása, amikor a lapátvég és belépőél a saroktól 1,27 mm-re távolodott el még elfogadható, amennyiben ez a sérülés maximum 8 db lapátra terjed ki. A kompresszorlapát, kilépőélén 1,02 mm magas és 0,76 mm széles behorpadással még üzemeltethető, ha ez a sérülés maximum 4 db lapátot érint.

Az anyagvesztéssel járó sérülések normái:

A kompresszorlapátokon megengedettek olyan bemetszések, amelyek mélysége nem haladja meg a 0,51 mm-t és fokozatonként nem több mint két lapátot érintenek. A lapátoknál megengedettek olyan bemetszések, amelyek többször előfordulnak, ha ezek mélysége nem haladja meg a 0,25 mm-t. Nem fogadhatók el olyan kopások a kompresszorlapátokban, amelyek a lapátok lekerekítési sugarát 1,27 mm-nél nagyobbá teszik, valamint nem engedhetők meg a kompresszorlapátok belépőélein olyan kopások, amely a lapátot 5,1 mm-nél nagyobb mértékben lekeretik. A kompresszor-turbina állólapátjainak belépőélein megengedettek olyan bemetszések, amelyek anyagvesztése a kopásból származik. Ki kell cserélni azt az álló lapátkoszorút, amelyen külső vagy belső gyűrűn a belépőélektől a kilépőélekig terjedő repedés keletkezett.

Az előbbieken bemutatott hajtómű műszaki állapotát megfigyelő rendszer jelen formában történő működtetése igen hosszadalmas, főleg egy több órás repüléskor. Felmerül a kérdés, lehetséges e ezt a folyamatot az adatbeviteltől a kiértékelésig számítógéppel végezni? A válasz - igen. A Pilatus Turboporter repülőgépek 1971-es megvásárlásakor az eladók felajánlottak egy olyan programot megvásárlásra, amely ezt a feladatot látta volna el. A beszerzés az igen magas ár (10.000 SFr) miatt elmaradt.

Abban az esetben, ha a 3. számú ábrán bemutatott görbésereget sikerülne matematikailag leírni, a feladat már csak számítástechnikai problémát jelentene. A közeljövőben ennek megoldását szeretném elvégezni, remélve, hogy a készülő programom modell értékű lehet más hajtóművek számára is.

FELHASZNALT IRODALOM:

- 1./ Dr. Rohács József - Simon István: Repülőgépek és helikopterek Üzembentartási zsebkönyve. 1969.
- 2./ A PT-6A-20/27/28 állapotát megfigyelő rendszer. 1970.
- 3./ United Aircraft of Canada Limited egyesített karbantartási kézikönyve PT-6A hajtóművekre. 1974.
- 4./ Pilatus Turboporter Service School note. 1970.