

Pokorádi László mk.főhadnagy, főiskolai tanársegéd:

REPÜLŐGÉP ENERGIARENDSZEREK MATEMATIKAI MODELLEKRE ÉPÜLŐ
DIAGNOSZTIKÁJA

A repülőtechnika üzemeltetése során a gép s így az energiarendszerei-
nek üzemeltetési jellemzői változnak. A rendszerek megfelelő és biztonságos
működéséhez, a légi alkalmassághoz szükséges, hogy ezek az üzemeltetési pa-
raméterek a megengedett értékhatárok közt maradjanak. A repülőgép üzemelte-
tőinek feladata a keletkező meghibásodások behatárolása és kijavítása, az
üzemeltetési jellemzők szinttartása. E feladat megoldásához - a rendszer
üzemi állapotának pontos meghatározásához - szükséges az üzemeltetési jel-
lemzők mérése, a mért adatok rögzítése, valamint értékelése. A repülőgép
rendszerének különféle feltételek melletti (pl.: meghibásodás, különleges
rep.helyzet) vizsgálata nem minden esetben valósítható meg anyagi és tech-
nikai okok miatt. A számítástechnika fejlődésével a matematikai modellekre
épülő diagnosztikai módszerek kidolgozása, alkalmazása szükséges és gyakor-
lati feladattá vált.

A matematikai modell a készülékben, illetve az adott rendszerben le-
játszódó fizikai folyamatok egyenletekkel való leírását és az egyenletek
megoldását jelenti.

Az üzemeltetés jellemzése

A repülőgép üzemeltetése emberek, gépek, szabályzatok és előírások
együttes működésének összegzése, melynek célja, hogy az üzemállapot-jellem-
zőket tervezett határok között tartva a repülőtechnikat rendeltetésének
megfelelően lehessen felhasználni. A repülőgép az üzemeltetés során külön-
böző állapotokba kerülhet. Az üzemeltetés ezen üzemállapotok egymásutánisá-
ga, vagyis egy folyamat, mely az üzemeltetési objektummal előállítása után
történik. Ezt a folyamatot ún. üzemeltetési láncokkal vagy gráffal szemlélt-
tethetjük. A gráf szögpontjai a különböző állapotokat, irányított élei az

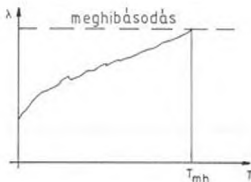
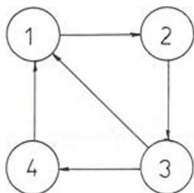
állapotváltozásokat szemlélteti. Az üzemeltetési objektumon magát a repülőgépet vagy annak egy rendszerét, illetve berendezését értjük. Az üzemeltetési rendszer az üzemeltetési objektum, a kiszolgáló gépek és berendezések, a kiszolgálást végző személyek és az irányítás összessége.

Az alkalmazott üzemeltetési stratégiát, illetve a stratégiák fejlődését a lehetőségek és a szükségletek határozzák meg. Mik ezek a feltételek? Először is a leglényegesebb a kor műszaki-technikai szintje. Erre talán a legjobb példa a cikkben később ismertetendő diagnosztikai módszer, melynek előtérbe kerülését a számítástechnika fejlődése és a mérnöki gyakorlatban való elterjedése tette lehetővé. A második ilyen feltétel az üzemeltetési objektum konstrukciós sajátosságainak köre. Ez azt jelenti, hogy a repülőgépet az elképzelt üzemeltetési stratégia követelményeinek megfelelően kell tervezni. Ha diagnosztikai módszereket akarunk alkalmazni üzemeltetési stratégiánkban, biztosítanunk kell a diagnosztizáláshoz szükséges mérési pontok kialakítását. Amennyiben már egy meglévő rendszerhez akarunk diagnosztikai módszert alkalmazni, figyelembe kell vennünk a rendelkezésre álló mérési pontokat, információ-forrásokat. Fontos feltételek az üzemeltető állomány, főleg a vezető gárda felkészültsége, igény szintje, az üzemeltetett géppark nagysága és az érvényben lévő nemzeti, illetve nemzetközi előírások. Igen jelentős feltétel az adott szervezeti keret korszerűsége és kellő rugalmassága, melyben az üzemeltetés történik.

Röviden tekintsük át az üzemeltetési stratégiákat, azok beállt-üzemű típus gráfiáival.

- Meghibásodásig történő üzemeltetés

Ez a legrégebbi és legegyszerűbb üzemeltetési stratégia, melynek lényege, hogy az objektumot annak meghibásodásáig üzemeltetjük. Típusgráfjában négy üzemállapotot szemléltetünk: 1 - hasznosítás; 2 - meghibásodás; 3 - javítás; 4 - várakozás; λ - üzemi jellemző.

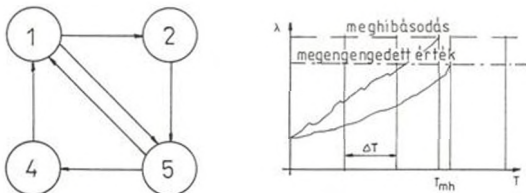


1. ábra

Ezt az üzemeltetési módot még ma is alkalmazzák, de csak a repülés biztonságát nem befolyásoló berendezések esetén.

- Üzemidő szerinti üzemeltetés

Ezt a stratégiát más néven kemény idő szerinti üzemeltetésnek is hívják és lényege, hogy az objektumot meghatározott üzem-, illetve naptári időnként karbantartásoknak, ellenőrzéseknek vetik alá. Így az üzemeltetéshez képest a gráfmodell annyiban tér el, hogy a javítás helyett a 5 - karbantartás, javítás üzemállapot kerül, melybe az objektum közvetlenül a használatból is kerülhet.

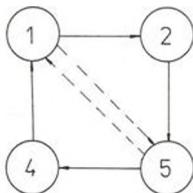


2. ábra

Az ellenőrzések közti ΔT időt úgy kell meghatározni, hogy a paraméter értéke megfelelő valószínűséggel ne tudjon ez idő alatt a megengedett, illetve a meghibásodást jelentő érték közti különbséget változtatni. Itt már felfedezhető némi kölcsönhatás az információ és a visszacsatolás között.

- Megbízhatósági szint szerinti üzemeltetés

Konkrét üzemeltetési objektumra és üzemeltetési rendszerre érvényes módszer. Lényege, hogy a beüzemelési időszak után, ha a szabályozási határt eléri az objektum meghibásodásainak száma, külön ellenőrzést vagy kémiényidő szerinti üzemeltetésre való átállást kell elrendelni. Ellenkező esetben az objektumon ellenőrzést nem kell végrehajtani. Ezt a feltételességet szemlélteti a típusgráf szaggatott éle.



3. ábra

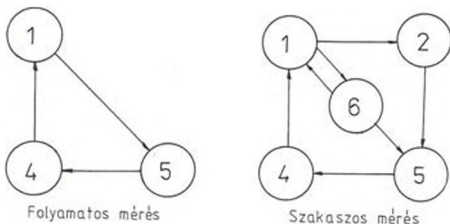
Ennél a stratégiánál természetesen a vezető állomálynak folyamatosan figyelemmel kell kísérni nemcsak az objektum műszaki állapotát, de magát a stratégiát is. Ez megnöveli az irányítók munkáját, felelősségét, de egyben közelebb is kerülnek a közvetlen üzemeltetéshez. Ugyanakkor az üzemeltetési költségeket ugyanolyan rep.biztonság mellett kisebbé teszi.

- Jellemző paraméter szerinti üzemeltetés

Ebben az esetben az üzemeltetési objektum állapotát jellemző paraméterének vagy paramétereinek mérésével és a mért adatok kiértékelésével határozzuk meg. A paraméterek ellenőrzése lehetséges folyamatosan vagy szakaszosan.

Folyamatos ellenőrzés esetén az ellenőrzés állapot kimarad a gráfból, mivel ez a hasznosításkor történik meg. Ekkor fedélzeti adatrögzítő végzi a mért paraméterek rögzítését.

A földi előkészítés során a kinyert adatokat dolgozzák fel. Természetesen, ha valamely paraméter veszélyes értéket ér el, ezt jelzik a gépszemélyzetnek.



4. ábra

Szakaszos paraméter ellenőrzés esetén az ellenőrzés maga a 6 - diagnosztika lesz és természetesen itt fellép a meghibásodás is. A folyamatos vagy szakaszos ellenőrzéssel nyert adatok feldolgozása, azaz az üzemeltetési objektum műszaki állapotának meghatározása az objektum diagnosztikai modelljének ismeretét igényli.

Az energiarendszerek

Az energiarendszerek feladata a vezérelt berendezések előírt mértékű és sebességű működtetéséhez szükséges energia biztosítása. A repülőtechnikán két fajta energiarendszert alkalmazhatnak. Ezek a hidraulika-, illetve a levegőrendszer (az elektromos energiarendszert az EMD szakághoz sorolják).

- Hidraulika-rendszer

A hidraulika-rendszer előnye, hogy nincs késése, könnyen rögzíthető közbenső helyzetben is, illetve szabályozható a mozgatási sebessége. Nagy az egységnyi tömegre jutó átvihető teljesítmény és a mozgó alkatrészek kenését a hiraulika-folyadék el tudja végezni. Hátránya a munkaközeg tűzveszélyessége. Biztosítani kell a felhasználó berendezésektől a hidraulika-folyadék visszaszállítását, valamint a hosszú csővezetékek sérülésveszélyek és jelentős nyomásvesztések lépnek fel bennük. A hidraulikus ütés elkerülése, valamint a hőtágulási problémák miatt a rendszert biztosítani kell túlnyomás ellen, illetve a hidraulikus záruk kialakítását körültekintően kell végezni.

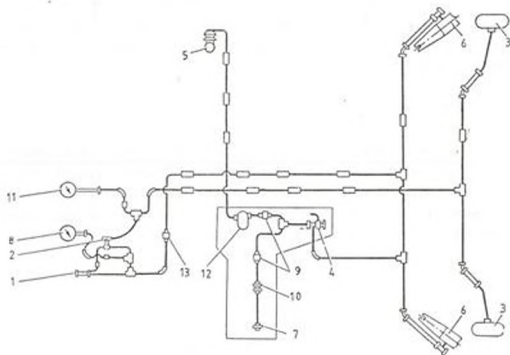
- Levegőrendszer

A levegőrendszer előnye, hogy a munkaközegét nem kell visszavezetni, a nem tökéletes tömítésből származó szivárgási veszteségek könnyen pótolhatók, a fedélzeti sűrítettlevegő-tartályok felhasználhatók tábori üzemeltetés esetén is. Hátrányként jelentkezik, hogy nem biztosítható szabályozható sebességű elmozdulása, illetve tetszőleges helyen való rögzítése, mivel a közeg összenyomhatósága következtében a terheléstől függ az elmozdulási sebesség.

A két rendszer előnyei és hátrányai alapján határozzák meg a tervezők, az adott feladathoz milyen megoldást választanak. Általánosan elfogadott elv, hogy hidraulika-rendszert használnak a kormányvezérlő-rendszerekben alkalmazott kormányerőcsökkentőhöz, a behúzható futóművek mozgatásához. Általában pneumatikus rendszereket alkalmaznak futókerék fékezéséhez meghatározott fékerőkig, a dugattyús motorral rendelkező repülőgépek indító-rendszeréhez, illetve a futóművek vésznyitásához. Mivel működésük, illetve vezérlésük hasonló elven van megvalósítva, ezért matematikai modellezésük, diagnosztikai vizsgálatuk azonos elven oldható meg.

A rendszer vizsgálata

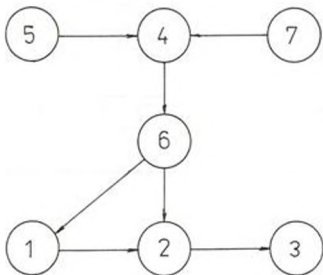
A matematikai modell felállítását az adott rendszer funkcionális egységekre való felbontásával kell kezdeni. Ekkor a rendszer mindegyik részegységét megvizsgáljuk a rendszerben elfoglalt helye, a rendszerben játszott szerepe alapján. Az 5. ábra a vizsgált rendszer elvi rajzát mutatja.



5. ábra

- 1 - nyomáscsökkentő szelep; 2 - reduktós gyorsító; 3 - fékmunkahengerek;
4 - nyomásautomata; 5 - légszűrítő; 6 - tartályok; 7 - földi csatlakozó;
8 - nyomásmérő; 9 - egyirányú szelep; 10 - levegőszűrő; 11 - nyomásmérő;
12 - ülepítősűrő; 13 - levegőszűrő.

A funkcionális egységekre való bontás során ki kell szűrni az összműködésben alapvetően részt nem vevő berendezéseket. Így - mivel a rendszert állandósult állapotában modellezzük - nem vesszük figyelembe a szűrőket (pl. 13). Az egyirányú szelepeket a kapcsolatigráf élleinek irányításánál kell jelezni. A rendszer így kialakított kapcsolatigráfját a 6. ábra, az ezzel egyenértékű kapcsolati mátrixot a 7. ábra szemlélteti (a számozások megegyeznek az előzőekkel).



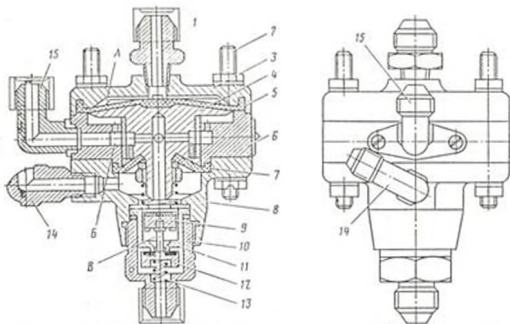
6. ábra

$$\begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 \\ 1 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 \end{bmatrix}$$

7. ábra

A kapcsolt mátrix i, j -edik eleme 1, ha az i -edik elem kimenő jellemzője közvetlenül a j -edik elem bemenő jellemzője, illetve 0, ha nem.

Az így kapott önálló egységeket külön-külön vizsgálat alá kell vetni. Meg kell határozni a be-, illetve kimenő jellemzőket. Feltárni a köztük lévő kapcsolatot és azt leírni matematikailag.



8. ábra

Vegyük például a 2.számú berendezést. Ez a redukciós gyorsító, melynek a feladata, hogy a (1) nyomáscsökkentő szeleptől jövő vezérlő nyomás függvényében állítsa elő a (3) fék munkahengerekben a féklevegő nyomást, illetve kifékezésnél gyorsítsa a kerekek kifékezését. A működéshez szükséges nagy-nomású levegőt a (6) tartály biztosítja, a féknyomást a (11) manométer méri.

A berendezés bemenő jellemzője tehát az (1) nyomáscsökkentő (p_v) és a (6) tartály (p_t) kimenő jellemzője. A kimenő jellemzője pedig a (3) fék munkahenger és a (11) nyomásmérő bemenő jellemzője (p_f). Most vizsgáljuk meg a jellemzők közti kapcsolatot. A redukciós gyorsító állandósult befékezett állapotba akkor kerül, ha a (4) lépcsősdugattyúra ható erők egyensúlyba kerülnek úgy, hogy a (9) kieresztő és a (12) beeresztő szelepek zárva vannak. Írjuk fel erre az esetre az erők egyensúlyát a 8. ábra alapján:

$$A_1 \cdot p_V = A_2 \cdot p_f + A_3 \cdot p_H + F_r \quad (1)$$

ahol:

p_H - a környezeti nyomás

F_r - a rugó ereje

illetve "A"-val jelöltem a megfelelő nyomású térhez tartozó dugattyú felületet.

Az egyenlet p_f -re átrendezve

$$p_f = \frac{p_V A_1 - p_H A_3 - F_r}{A_2} \quad (2)$$

Hasonló módon kell megvizsgálni a rendszer többi berendezését is. Bár az előbb felírt egyenlet ezt nem igazolja, a felírható egyenletrendszer nem lesz lineáris, ezért az egyenleteket linearizálni kell. Jelen esetben célszerű a logaritmikus linearizálást választani.

Ennek a módszernek a lényege, hogy az egyenlet mindkét oldalának a természetes alapú logaritmusát vesszük és differenciáljuk. Az (2) egyenlet a linearizálás után az alábbi formát veszi fel:

$$\delta p_f \cdot \frac{A_1 p_V}{K} \delta p_V - \frac{A_3 p_H}{K} \delta p_H - \frac{F_r}{K} \delta F_r \quad (3)$$

$$K = p_V A_1 - p_H A_3 - F_r \quad (4)$$

Az így kapott egyenletrendszer már lineáris.

A változókat ezután szétválasztjuk független ($\underline{\delta x}$), illetve függő ($\underline{\delta y}$) változókra. Ennek alapján rendezzük át az egyenletrendszer, mely lineáris volta miatt röviden az alábbi formában írható le:

$$\underline{A} \cdot \underline{\delta x} = \underline{B} \cdot \underline{\delta y} \quad (5)$$

Az egyenlet a rendszer lineáris modellje, ahol \underline{A} és \underline{B} a független és függő változók együttható mátrixai. Átrendezve a mátrix egyenlet:

$$\underline{\delta y} = \underline{B}^{-1} \cdot \underline{A} \cdot \underline{\delta x} = \underline{C} \cdot \underline{\delta x} \quad (6)$$

$$\underline{B}^{-1} \cdot \underline{A} = \underline{C} - \text{a rendszer hiba együttható vagy diagnosztikai mátrixa.}$$

A diagnosztikai mátrix alkalmazása

Az előbb leírt módon felállított hiba együttható mátrix felhasználható például a rendszer érzékenységvizsgálatának elvégzésére.

Ezen vizsgálat lényege, hogy független változók értékeinek megváltoztatásával szimuláljuk az adott részegység - például esetünkben a rugó - meghibásodását, illetve üzemi elhasználódását. Az (6) egyenlet alapján meghatározható, hogy miként fog változni a függő változók vektora, azaz a szimulált változásokra mennyire érzékeny az adott függő változó. Ha egyszerre egy független változó értékét változtatjuk egy paraméteres, ha több értéket változtatunk egyszerre több paraméteres érzékenységvizsgálatról beszélünk. Az így kapott eredményeket mátrixba rendezve megkapjuk a rendszer érzékenységét. A vizsgálat során figyelni arra, hogy a független változók értékét csak 1 %, maximum 2 %-kal érdemes megváltoztatni a linearizálási problémák miatt. Mivel az eredeti egyenletrendszer nem lineáris, a mátrixokat csak a munkapont közelében lehet jó pontossággal használni.

Lehet olyan vizsgálatot is végezni, hogy mindegyik független változó értékét véletlenszerűen változtatjuk - természetesen a megengedett értéken belül - és így nyerünk érzékenységi paramétereket.

Az energiarendszer diagnosztikai elemzésének egyik formája az érzékenységvizsgálattal meghatározott jellemzők korrelációs család vizsgálata. A vizsgálat főbb lépései:

- meghatározzuk a vizsgálandó jellemzők (a függő változók) korrelációs együtthatóit. A korrelációs együttható a valószínűségi változók közötti stochasztikus kapcsolat erősségét jellemzi. Az együtthatókat a korrelációs mátrixba rendezzük.

- kiválasztjuk a legnagyobb abszolút értékű együtthatót a mátrixból és a két jellemző paramétert gráfként ábrázoljuk.

- az utolsó kettő ábrázolt paraméter sorában vagy oszlopában megnézzük a legnagyobb abszolút értékű korrelációs együtthatót úgy, hogy a már ábrázolt paramétereket figyelmen kívül hagyjuk, és ábrázoljuk a paramétert gráfban. Ezt addig ismételjük, míg az összes paramétert nem ábrázoltuk. Ezután a meghatározott határértékekkel kijelöljük a korrelációs családokat úgy, hogy egy családon belül a gráfban nem lehet a határértéknél kisebb kapcsolat. Az így kapott családokból pedig kiválasztjuk azt a paramétert, amelyiket a legcélszerűbb mérni - más szempontokat (például a mérhetőséget vagy az információ tartalmát) is figyelembe véve.

A fenti módokon a diagnosztikai mátrix felhasználásával kiválaszthatjuk azokat a paramétereket, melyek a rendszer működésének ellenőrzéséhez, illetve az üzemi állapotának pontos megállapításához szükségesek, és ezáltal alkalmasak lehetnek akár folyamatos, akár szakaszos ellenőrzésekre épülő diagnosztikára.

Felhasznált irodalom:

- Szűcs Ervin: Hasonlóság és modell
- Dr. Szabó Imre: Gépészeti rendszertechnika
- Dr. Rohács József: Üzemeltetés - órai jegyzetek
- Dr. Rácz Tamás: Hajtómű diagnosztika - órai jegyzetek