

Pokorádi László mk.főhadnagy, főiskolai tanársegéd:

AZ AI-9V HAJTÓMŰ MATEMATIKAI MODELLJE

A gázturbinás hajtóművek különböző körülmények közötti üzemeltetésének vizsgálata nem minden esetben oldható meg anyagi és technikai okok miatt. Így az adott hajtómű jobb megismerése céljából szükségessé és a számítástechnika elterjedésével lehetővé vált, hogy a korábban alkalmazott közelítő termikus elemzéseket felváltsák a termikus matematikai modellek.

A matematikai modell a rendszerben, berendezésben - jelen esetben a hajtóműben - lejátszódó folyamatok matematikai egyenletekkel való leírása, és az egyenletek megoldását jelenti. A matematikai modellek alkalmasak azoknak a jellemzőknek a vizsgálatára is, amelyek mérése a jelenlegi műszerezéssel nem megoldott.

A hajtómű

A matematikai modell adott hajtóműre való felállítását a hajtómű felépítésének megismerésével kezdődik.

Az AI-9V gázturbinás hajtómű feladata a légi jármű főhajtómű indító rendszerének sűrített levegővel való ellátása, illetve a fedélzeti egyenáramú hálózatot tápláló generátor hajtása, ha a fő generátorok meghibásodtak. Így ezen hajtómű esetén beszélhetünk:

- üresjárat,
- generátor,
- levegőelvezetés

üzemről.

Ezért a hajtómű működésének alapvető sajátossága, hogy a rajta áthaladó levegő a kompresszor után két áramra oszlik:

- az egyik áram az égőtérbe jut (primer és szekunder levegőként), ahol tüzelőanyag elégetésével hőt közölnek vele. Ezután a közeg a turbinán leexpandál, így teljesítményt biztosít a kompresszor és a segédberendezés meghajtáshoz;

- a másik levegőáram a nyomáskiegyenlítő térbe kerül, ahonnan a levegőéteresztő szelepen keresztül vagy a szabadba jut, vagy a főhajtóművek indítóturbináihoz vezetik el.

A hajtómű egy egyfokozatú centrifugális kompresszorral rendelkezik. Égőtere gyűrűs típusú, ellenáramú. A turbina egyfokozatú axiális.

A matematikai modell

A hajtóműben lejátszódó folyamatok leírására szolgáló egyenletrendszer állandósult üzemmódok esetén a részegységek közötti anyagáram, illetve teljesítmény egyenlőségek és a szabályozási törvényszerűség alkotja. Ez utóbbi azt írja le, hogy a hajtómű szabályzórendszere milyen feladatot lát el - mit szabályoz. Jelen esetben az egyenletrendszer az alábbi egyenletekből áll:

- az anyagáram egyenlőséget leíró egyenletek:

$$\begin{aligned}\dot{m}_k - \dot{m}_{elv} + \dot{m}_{tüza} - \dot{m}_t &= 0 \\ \dot{m}_t - \dot{m}_{gcs} &= 0\end{aligned}$$

ahol \dot{m}_k , \dot{m}_t , \dot{m}_{gcs} a kompresszor, a turbina, illetve a gázvezető tömegárama; \dot{m}_{elv} az elvezetésre kerülő levegőáram; $\dot{m}_{tüza}$ a betáplált tüzelőanyag mennyisége.

- a teljesítményegyenlőséget leíró egyenletek:

$$P_t \eta_m - P_k - P_{sb} = 0$$

ahol a P_t , P_k , P_{sb} a turbina, a kompresszor, illetve a segédberendezések teljesítménye; η_m a forgórész mechanikai hatásfoka.

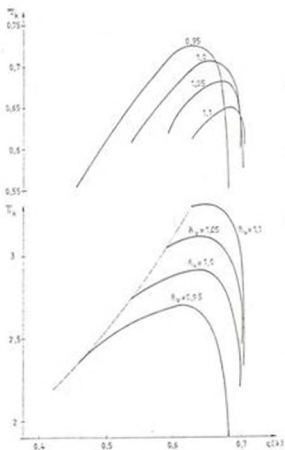
A szabályozási törvényszerűség:

$$n - n_0 = 0$$

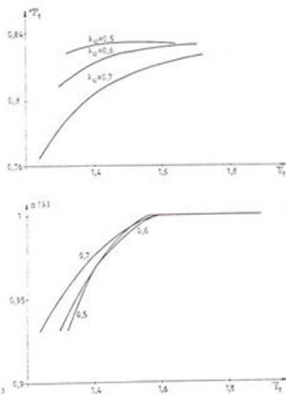
ahol a szabályzórendszer feladata a forgórész fizikai fordulatszámának állandó n_0 értéken tartása.

Az egyenletrendszerben szereplő mennyiségek közvetlenül nem számíthatók, ahhoz, hogy ezeket meg tudjuk határozni, ismernünk kell a hajtómű termikus adatait, valamint a gépegységek jelleggörbéit. A karakterisztikák birtokában, ha a gépegység üzemállapota és a gépegység előtti jellemzők ismertek, a termodinamikai törvényszerűségek felhasználásával a gépegységek utáni jellemzőket, a felvett, illetve leadott teljesítményt és tömegáramot meg tudjuk határozni.

Mivel a kompresszor és a turbina jelleggörbéi nem voltak számomra hozzáférhetőek, a Budapesti Műszaki Egyetem Járműgépészeti Intézetében dr. Sánta Imre által kifejlesztett (Fjodorov, illetve Zsirockij módszerén alapuló) számítógépes program alkalmazásával határoztam meg (1. és 2. ábra).



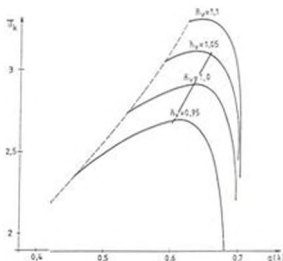
1. ábra



2. ábra

A matematikai modell egyenletrendszere nem lineáris. Megoldását a Newton-Raphson módszerrel végeztem, melynek lényege, hogy a függvénygörbét a gyökénél vett érintő egyenessel helyettesíti.

Az együttműködési görbe meghatározása

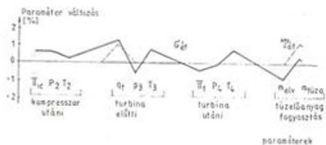


3. ábra

A kompresszor és a turbina együtt működési feltételeit a teljesítmények egyensúlyából határozhatjuk meg. Minden n_v értékhez csak egy együttműködési (vagy munka) pont határozható meg, ahol teljesül a fent leírt egyenletrendszer. A hajtómű munkapontjait összekötve megkapjuk az együttműködési görbét. A matematikai modell alkalmazásával határoztam meg az AI-9V hajtómű együttműködési görbéjét, melyet a kompresszor jelleggörbén szokás ábrázolni (3. ábra).

Érzékenységi vizsgálat

A matematikai modell felhasználható többek között a hajtómű paraméter-érzékenységi vizsgálatának elvégzésére. Ezen vizsgálat lényege, hogy a részegységek jellemzőinek megváltoztatásával szimuláljuk az adott gépegység - például az égőtér - meghibásodását, illetve üzemi elhasználódását, és így lefuttatjuk a modellt működtető programot. Az így kapott eredmények mutatják, hogy a hajtómű hogyan reagál a szimulált meghibásodásra. A paraméter érzékenységet úgy vizsgáltam, hogy a levegőelvezetés üzemmód adatait bázisnak tekintve 1 %-kal rontottam a részegységek hatásfokait, illetve nyomásvesztés tényezőt.



4. ábra

A 4. ábrán az égőtér jellemzők romlásának hatását mutatom be. A hatásfok romlása csak a tüzelőanyag-fogyasztás adataira hat ki, növeli azokat. A nyomásvesztéségi tényező növekedése kiváltja a kompresszor paramétereinek növekedését, valamint növeli a turbina előtti és utáni gázhőmérsékletet, azaz a turbina hőterhelését.

Még egy példa a modell alkalmazására

A modell vizsgálatával kapcsolatos feladataim megoldása során újra eszembe jutott egy korábbi üzemeltetési munkám során felvetődött probléma.

A hajtómű üzemeltetési utasítása tiltja az egyidejűleg a levegőelvezetést és a fedélzeti egyenáramú hálózat táplálását. Ezzel kapcsolatban a modellt működtető program felhasználásával számításokat végeztem. A teljesítmény egyenlőséget leíró egyenletet átalakítottam az alábbi alakra:

$$P_t - P_m - F_k - P_{sb} - P_{gen} = 0$$

Így modellezve, hogy a turbináról a generátor is vesz le teljesítményt.

Az így kapott eredmények alapján a turbina előtti gázhőmérséklet 36, a turbina utáni hőmérséklet 32 fokkal nőtt, sőt az utóbbi túl is lépte egyes esetekben a megengedett értéket. Azaz nagymértékben növekedett a turbina hőterhelése, amely a gázturbinás hajtóművek fő tervezési, üzemeltetési problémája.

Tehát a modell alkalmazásával bizonyítható az említett korlátozás helyessége és vizsgálható, hogy miként veselkedne a hajtómű a tiltott üzemi helyzetben. Természetesen minimális anyagi befektetéssel és úgy, hogy a vizsgált hajtóművet semmilyen károsodás nem érte.

E rövid példa is bizonyítja a matematikai modell alkalmazásának sokrétűségét.

FELHASZNÁLT IRODALOM

- Diagnosztikai elemzések (tanulmány) - BME Járműgépészeti Intézet;
- Dr. Sánta Imre: Kétáramú repülőgép hajtóművek termodinamikai folyamatainak modellezése és a modell alkalmazása a hajtóműdiagnosztikában - Periodica Polytechnika;
- Dr. Pásztor Endre: Gőzturbinás repülőgépek (előadás-vázlatok) - BME;
- Szűcs Ervin: Hasonlóság és modell - Műszaki Könyvkiadó