

Willson James R. - Wright Vaughn A.

AZ SR-71 TÍPUSÚ HANGSEBESSEG FELETTI REPÜLŐGÉP
BEÖMLŐCSATORNÁJA ES HAJTÓMŰVE EGYÜTTES ÜZEMENEK
BIZTOSÍTÁSA A HAJTÓMŰ FORDULATSZÁM SZABÁLYOZÁSÁVAL

A fordítás az AIAA PAPER 1987. évi N^o 1848-as számának
1-7. oldalán megjelent cikk orosz nyelvű változata
alapján készült

Fordító: Körmendi Géza mk. alezredes

Az SR-71 repülőgépen végrehajtottak bizonyos módosításokat, amelyekkel sikerült a repülőgép jellemzőit megjavítani. Az előzetes számítások alapján javasolt módosítások hatását repülési kísérletek során ellenőrizték.

Az SR-71 repülőgép deltaszárnyú, két hajtóműgondolája a szárnyban van kiképezve, aerodinamikai formáját nagymagasságon, $M = 3$ -mal végrehajtott repülésre optimalizálták.

A hajtómű előtt helyezkedik el a tengelyesen szimmetrikus, mozgatható központi testtel (küppal) ellátott vegyes sűrítésű beömlőcsatorna. Ez után található a J-58 típusú gázturbinás sugárhajtómű, amelyet kör keresztmetszetű, speciális nyílásokkal ellátott ejektoros gázkiáramlássebesség-fokozóval (GSF) szereltek fel.

A folyamatosan működethető utánégető J-58-as hajtóművet csak az USA légierő alkalmazza.

A beömlőcsatorna egy sor konstrukciós sajátossága biztosítja a felszálló üzemmód szükséges jellemzőit. A benne

elhelyezett központi kúp kis repülési sebességeken mellősi helyzetből hátrafelé mozdul. A csatornát ellátták levegőátteresztő redőnyökkel, amelyek a levegőfogyasztás növelésével biztosítják a csatorna előtti optimális sebességmező kialakítását.

Normál üzemi körülmények között a hátsó levegőátteresztő nyílások nyitott helyzetűek, mert rajtuk keresztül történik az ejektoros GSF külső csatornájának levegővel való ellátása. E megoldás biztosítja a hajtóműgondola hátsó rész ellenállásának minimális értéken tartását. Nyitott mellősi átteresztő nyílások mellett a repülőgép ellenállása jelentősen megnő. Ugyanakkor az átteresztő nyílások alkalmazása elkerülhetetlen, mivel ezzel biztosítható a hajtómű hatásos szabályozása.

A központi testen és a gondola borításán kialakított réseken keresztül a levegő egy részét elvezetik, ezzel a lökéshullámok elhelyezkedése befolyásolható. A csatornában lévő átteresztő redőnyök szabályozásával minimálisra csökken a csatorna nyomásvesztése.

A beömlőcsatorna szabályozását elektronikus rendszer (DAFICS = Digital Aircraft and Inlet Control System) végzi, amely folyamatosan összeveti a központi test helyzetét, valamint a levegőátteresztő nyílások nyitási értékét a szabályozási programban meghatározottakkal. A központi test pozíciójának és a levegőátteresztő nyílások nyitási értékének szabályozása a lökéshullámok helyzetének szabályozását eredményezi.

A szabályozás érdekében - az orrgyűrű alsó részére rögzített Pitot-cső segítségével - folyamatosan méri a csatornába lépő levegő teljes nyomását, valamint a torok mögötti keresztmetszetben a levegőáram statikus nyomását. A két mért nyomásérték viszonyából megállapítható, hogy a lökéshullám-

-rendszert lezáró merőleges hullám a csatornában vagy a csatorna előtt helyezkedik-e el. A két mért nyomás hányadosának az M -szám és egyéb paraméterek függvényében megvalósított szabályozása biztosítja a beömlőcsatorna normális működését.

Ismert, hogy minden olyan vegyes sűrítésű beömlőcsatorna hajlamos az "elzáródásra", amelyben a sűrítés túlnyomórészt a csatorna belső terében valósul meg. A csatorna elzáródása akkor következik be, ha a merőleges záróhullám az orrgyűrű elé tolódik ki, és a hullámrendszer lerombolódása miatt a csatorna ugyanolyan jellemzőkkel bír, mintha a hullámrendszer csak egy merőleges hullámból állna. A repülési kísérletek kezdetén több vizsgálatot végeztek annak érdekében, hogy csökkentsék az "elzáródás" üzemmód kialakulását, illetve a repülés közben esetlegesen kialakuló elzáródás hatását.

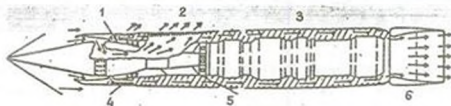
A központi test mozgásával úgy változtatják a levegőáramlás eltérítési szögét, hogy számított repülési körülmények mellett a lökéshullám az orrgyűrűn legyen.

A beömlőcsatorna keresztmetszetének területét olyan törvény szerint változtatják, amely biztosítja a hajtómű levegőszükségletének és a beömlőcsatorna levegőáteresztő képességének azonosságát. Ennek érdekében gyorsításkor a beömlőcsatorna központi kúpja hátrafelé mozdul el. A kúp mozgását a kúp belső terében lévő végrehajtó mechanizmus (munkahenger) biztosítja. A kúp helyzetét azok a görgők rögzítik, amelyeken el tud mozdulni.

A levegőáteresztő-képesség szintén a csatorna geometriai szabályozásával befolyásolható. A mellső áteresztő nyílásokon keresztül történik a hajtómű számára felesleges levegő kiengedése a csatornából.

A beömlőcsatorna hajtóműrendszer együttes működését

számítottól eltérő üzemmódon az 1. számú ábra szemlélteti.



1 - a hajtómű hűtésre szolgáló levegő elvezetése; 2 - levegőkiengedés a központi testtől; 3 - levegő beszívó nyílások bezárva; 4 - a levegőkiengedő nyílások a lökéshullám helyzetének megfelelő nyitási helyzetben; 5 - a hátsó levegőkiengedő nyílások a szabályozási programnak megfelelő nyitási helyzetben; 6 - a harmadlagos átteresztő nyílások zárva, az ejektor-nyílások nyitott helyzetben.

1. ábra

A fenti körülmények mellett a lökéshullám ugyan eltávolodik az orrgyűrűtől, de a belső hullámrendszer stabil és így a beömlőcsatorna is stabilan működik. Mivel a hátsó kiengedő redőnyök nyitva vannak és annyi levegőt engednek át az ejektorhoz, amennyit a második levegőcsatorna átteresztőképessége lehetővé tesz.

Az átteresztő-rendszer harmadik elemét az oldalfalakon lévő elszívó-rendszer alkotja. Az elszívás az orrgyűrű belső felületéről történik, az elszívott levegő hátravezetve keveredik a hátsó átteresztőnyíláson keresztül távozó levegővel, majd az ejektorhoz áramlik.

A központi test legnagyobb átmérőjű része porózus felületű, rajta keresztül is levegőelvezetés történik. Az itt elvezetett levegő a test belső terén és a központi testet támasztó áramvonalazott tartó belsején keresztül áramlik ki. A központi testen keresztül való elvezetés a hangsebesség

alatti diffúzorban megakadályozza a határréteg túlzott vastagodását és így az áramlás leválását.

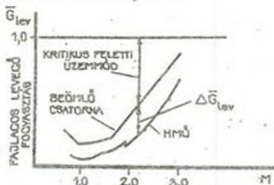
A J-58 típusú hajtómű a Pratt & Whitney cég West Palm Beech-i gyárának terméke. A hajtómű levegőfogyasztását pontosan egyeztetették a beömlőcsatorna levegő átocsájtó képességével, azonban olyan hajtómű gyakorlatilag nem készíthető, amelynél minden repülési üzemmódon biztosított a levegőfogyasztások egyeztetése.

A hajtómű sűrítési viszonya viszonylag alacsony, ezáltal a kompresszor utáni nem túl magas levegőhőmérséklet nagy utazósebesség mellett is biztosítható.

Amennyiben a kompresszor előtti levegő hőmérséklete 700K, akkor a kompresszor után 1033K. A turbina előtti 1386K, az utánégetőterben 2033K, a GSF kilépő keresztmetszerében 922K a gázhőmérsékletet eredményez.

Az alacsony sűrítési viszony miatt a kompresszor kilenc fokozatú, meghajtását a kétfokozatú, levegővel hűtött turbínától kapja.

A hajtómű folyamatos üzemi, szabályozható utánégetőterrel van felszerelve. A tüzelőanyag-adagolást hidromechanikus rendszer szabályozza.



2. ábra

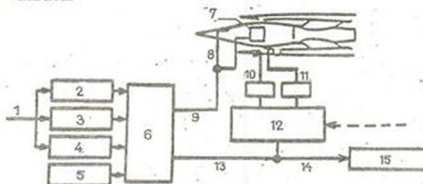
A 2. ábrán a beömlőcsatorna és a hajtómű levegőfogyasztásának változása látható, szabványos légköri viszonyok mellett.

A beömlőcsatorna tervezésekor nemcsak arra törekedtek, hogy közelítsék

egymáshoz a csatorna és a hajtómű levegőfogyasztási jelleg-görbéit, hanem biztosítani kellett a levegőfogyasztások egyeztetését a teljes repülési üzemmódtartományban is.

A beömlőcsatorna szabályozó rendszere eredetileg hidromechanikus felépítésű volt. A hidromechanikus szabályozó rendszert az elektronikus rendszer analóg részeként alkalmazták, és ennek felhasználásával dolgozták ki a központi test helyzetének vezérlési programját. Ugyanúgy készült a mellő levegőáteresztő nyílások vezérlési programja is a vezérlési törvényszerűségeknek megfelelően.

A 3. ábrán látható a beömlőcsatorna vezérlő rendszer blokk vázlatja.



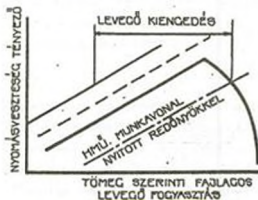
1 - bemenő információk az adóktól; 2 - M -szám; 3 - állásszög α ; 4 - csúszásszög β ; 5 - normális irányú gyorsulás; 6 - fedélzeti digitális számítógép a beömlőcsatorna vezérléséhez; 7 - központi test mozgató mechanizmusa; 8 - központi testhelyzet eltérése a parancsolt értéktől; 9 - vezérlőjel a központi test mozgatására; 10 - a meg nem zavart áramlás teljes nyomása; 11 - torok mögötti levegőáram statikus nyomása; 12 - nyomásviszony a beömlőcsatornában; 13 - vezérlőjel a mellő áteresztő nyílások nyitására; 14 - mellő áteresztő redőny-helyzet eltérése a parancsolt értéktől; 15 - mellő áteresztő redőnyök működő mechanizmusa.

3. ábra

Ez a rendszer több éven keresztül megfelelően látta el feladatát, ennek ellenére a '70-es évek végén elhatározták, hogy felváltják egy digitális rendszerrel. A beömlőcsatorna digitális vezérlőrendszere szerves részét képezi a repülőgép vezérlő rendszerének és a DAFICS elnevezést kapta. Fő feladata a központi test helyzetének vezérlése, melynek pontosan meg kell felelnie a már korábban elkészített vezérlési program által meghatározott értékeknek. A vezérlési program a központi test helyzetét, és ezzel a beömlőcsatorna átbocsájtó képességét, a repülési M-szám és magasság függvényében adja meg.

Ugyanez a rendszer vezérli az áteresztő nyílások redőnyeinek helyzetét, amivel beállítható a csatorna szükséges levegő átbocsájtó képessége. A hátsó áteresztő nyílások redőnyeinek helyzetét a repülőgépvezető állítja be a fülkében lévő kapcsoló segítségével.

A J-58 típusú hajtóműnél olyan szabályozási programot alkalmaznak, amely szerint a forgórész fordulatszáma a kompresszor előtti levegő hőmérsékletének függvénye. Ezt a szabályozási programot nem ellenőrizték a belépő keresztmetszetben lévő M-szám szerint.



4. ábra

A fentiek miatt a beömlőcsatorna és a hajtómű közös üzeme soha sem volt jobb a 4. számú ábrán láthatónál. Ennek az az oka, hogy a szabványos körülmények a tipikus repülési programok csak igen rövid szakaszán voltak biztosíthatók.

A 4. számú ábrán látható a beömlőcsatorna tipikus jelleggörbéje $M = 2,75$ és $\alpha = 3^\circ$ mellett (vastag vonal). Ugyanerre az ábrára van berajzolva a hajtómű munkavonala is (vékony vonal).

A repülőgépvezető a hátsó levegőkiengedő nyílások redőnyeinek vezérlésével a hajtómű munkavonalának jobbra történő elmozdulását éri el. Ezzel egyidőben a levegő egy részét a szabályozó rendszer a mellső átteresztő nyílásokon keresztül kiengedi.

Mindaz együttesen azt eredményezi, hogy a hajtómű munkavonala a pontvonallal jelzett helyzetet foglalja el, ami a csatorna és a hajtómű megfelelő együttműködését mutatja.

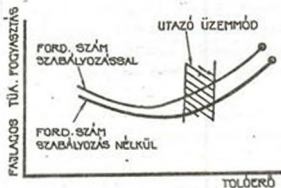
A meglévő rendszerben a fent leírt módszert a beömlőcsatorna normális működésének biztosítására használják. A csatorna és a hajtómű együttműködési feltételei javíthatók, ha a leírt módszert kiegészíti a hajtómű-forgórész fordulatszámának szabályozása.

A 4. ábrán szaggatott vonal jelzi a hajtómű munkavonalát abban az esetben, ha kiegészítőleg fordulatszám-szabályozást is alkalmaznak. Ekkor a hajtómű munkavonala jobbra mozdul, a fordulatszám-szabályozás miatt kevesebb levegőt kell a csatornából kiengedni, és ezzel javul a csatorna és a hajtómű együttes üzeme.

A csatorna és a hajtómű közös üzem eltérésének nagyobb hányadát meg lehet szüntetni fordulatszám-szabályozással és a hátsó kiengedő nyíláson keresztül történő levegőkivezetéssel. A fordulatszám-szabályozás alapvető célja a mellső kiengedő nyílásokon keresztül távozó levegő mennyiségének minimalizálása hangsebességnél nagyobb utazósebességen. A kiengedett levegőmennyiség csökkentése a gondola ellenállásának

csökkentését eredményezi.

A fordulatszám-szabályozás hatásosságának biztosítására a szabályozó-rendszeren kívül e módszernek van prioritása a levegőkiengedés szabályozásával szemben. A prioritás bevezetése biztosítja, hogy a szabályozó-rendszer bármilyen repülési sebesség és környezeti viszonyok mellett is képes legyen a lehető legkedvezőbb csatornaszabályozást megvalósítani.



5. ábra

Az előrejelzett fajlagos tüzelőanyag-fogyasztás csökkenés az 5. ábrán látható. A fajlagos tüzelőanyag-fogyasztás változása $M = 2,75$ utazó üzemmódon, szabványos légköri viszonyok mellett került felvétele.

A fajlagos tüzelőanyag-fogyasztás csökkenését a beömlőcsatorna külső ellenállásának csökkentése és az ennek megfelelő effektív tolóerő-növekedés eredményezi (effektív tolóerő: a hajtómű belső paraméterei által meghatározott tolóerő és a gondola ellenállásának különbsége. - a ford.megjegyzése.!).

Ez a hatás főleg a környezeti hőmérséklet növekedésekor figyelhető meg. Bár a hideg és meleg napok száma egy évben elég magas, a tapasztalatok azt mutatják, hogy a meleg napok száma több.

A környezeti hőmérséklet 10°C -os növekedése a szabványos értékhez képest, $M = 2,75$ mellett, a beömlőcsatorna és a hajtómű együttes üzemének jelentős eltérését okozza. Az együttes üzem visszaillesztése érdekében a mellő nyílásokon

keresztül jelentős mennyiségű levegőt kell a csatornából kiengedni, mivel a hajtómű munkavonala számottevően eltér a csatorna munkavonalától.

A kiengedett levegő mennyiségének növelése a gondola ellenállás növekedését eredményezi, miközben a belépő levegő-hőmérséklet nagyobb értéke miatt csökken a hajtómű toldereje.

A fent leírt szabályozó-rendszer lehetővé teszi, hogy a forgórész fordulatszámának maximális értékre való növelése a kösős üzem eltéréseinek nagy részét kompenzálja, miközben a csatornából kiengedett levegő mennyisége csökken.

A kiengedett levegő által kiváltott ellenállás-csökkenés igen jelentős a repülőgép összellenállásához viszonyítva.

$M = 2,75$ M-számú repüléskor a hajtómű fizikai fordulatszámának 100 %-os értéke mellett szabványos légköri viszonyokat feltételezve, az átszámított fordulatszám 71,8 % nagyságú. A környezeti hőmérséklet 10°C -kal való emelkedése az átszámított fordulatszám 70 %-ra történő csökkentését eredményezi.

A hajtómű munkapontja a kompresszor jelleggörbén a maximális hatásfoknak megfelelő tartományban helyezkedik el és valamivel a teljes hajtómű Üresjáratú Üzem módja felett van. Így a forgórész fordulatszámának növelése az átszámított fordulatszám növekedését és ezzel a hajtómű jellemzőinek jelentős javulását eredményezi.

A leírt fordulatszám-növelő-rendszer egy SR-71 A típusú repülőgépre építették fel. A repülőgép jellemzőit a Lockheed cég repülő laboratóriumában hangsebesség feletti utazó üzemmódon vették fel, meghatározott sebességtartományban.

A kísérleteket több hónapon keresztül folytatták lényeg-

gesen eltérő környezeti hőmérsékleti viszonyok mellett. A tapasztalatok igazolták a feltételezett hatások megjelenését, valamint a környezeti viszonyok befolyását a hajtómű működésére.

A hajtómű jellemzőinek javulását hangsebesség feletti oda-vissza, illetve háromszög útvonal repüléseken állapították meg a fordulatszám túlszabályozás különböző mértékei mellett.

A repülési útvonal hangsebesség feletti szakaszán az átlagos tüzelőanyag-fogyasztás csökkenés 7 %-ot tett ki a valamennyi környezeti körülmény mellett, ami semmiképpen nem elhanyagolható.

Ugyanakkor tapasztalhatók negatív hatások is. A leírt rendszer alkalmazása miatti hajtómű fordulatszám-növelés a hajtómű Üzemidő csökkenését okozza. A hajtómű paraméterek beállítása a GSF szabályozásával történik. (A GSF keresztmetszet növelésével is növelhető a fordulatszám! - A ford. megj.!), ennek ellenére hangsebesség feletti repüléskor a magas gázhőmérséklet melletti forgórész felpörgetés miatt a turbinatárcsák és forgólapátok anyagának tartós szilárdsága csökken. Ugyanakkor ezen anyagok kiválthatók jobb mechanikai jellemzőkkel bíró, más, magasabb Üzemi hőmérsékletű turbinánál alkalmazott szerkezeti anyagokkal.

A jobb anyagminőség biztosítja a megnövelt fordulatszám mellett is a műszaki Üzemidő megtartását, illetve bizonyos mértékű növelését is.

Az USA légierő a J-58 típusú hajtóművek korszerűsítésekor figyelembe veszi a leírt változtatási lehetőségeket is.

A hajtómű korszerűsítésével egyidőben lehetséges, sőt szükséges a beömlőcsatorna jellemzőinek javítása is.

A kísérleti repülések során a repülőgépvezetők kisebb mértékű vibrációt érzékeltek, mint azt a tervezők a hajtómű-fejlesztés során várták. Előfordulhat, hogy a kísérletek alkalmával kevésbé volt érzékelhető a csatorna elzáródásra való hajlama, mivel az igen ritkán fordult elő. Ezzel együtt nem kizárt, hogy a további kísérletek során olyan másodlagos hatások is kiderülnek, amelyekkel befolyást gyakorolhatunk a javasolt rendszer hatásosságára.

A leírt kísérletek eredményei azt mutatják, hogy a beömlőcsatorna-hajtóműegység tervezését és vizsgálatát egyszerre kell végezni, hogy biztosított legyen a legkisebb ráfordítások mellett a leghatékonyabb együttműködés.

A hajtómű próbapadi jellemzőinek külön történő javítása a csatorna és hajtómű együttműködését ronthatja, sőt végeredményében káros is lehet.

Az optimális hajtóműegység kialakításához tehát végsősoron a beömlőcsatorna és a hozzákapcsolódó "gépegység" legkedvezőbb próbapadi jellemzőinek és tömegadatainak kialakítása szükséges.