

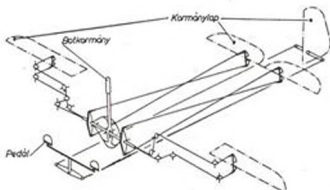
Óvári Gyula mk.őrnagy, főiskolai adjunktus:

A MANŰVEREZŐKÉPESSÉG MINŐSÉGI JAVÍTÁSÁNAK NÉHÁNY LEHETŐSÉGE

AZ EZREDFORDULÓ HARCÍ REPÜLŐGÉPEIN

A térben 6-szabadságfokú mozgásra képes repülőgépek napjainkig szinte kivétel nélkül 4-szabadságfokú kormányvezérlő-rendszerekkel épültek. Így a légi járművek többsége bizonyos izolált mozgásformák megvalósítására (függőleges és oldalirányú haladó mozgás) nem képes, csak két másik mozgás eredőjeként. E nyilvánvaló hiányosság alapvető oka a repülőgépvezető fiziológiai sajátosságaiban - végtagjai és érzékszervei korlátozott számában és lehetőségeiben - keresendők.

A történetileg legkorábban létrehozott, de ma is nagyszámban alkalmazott hagyományos kormányvezérlő-rendszereknél a külső- (kormánylapok) és



1. ábra

belső- (botkormány, pedál) kormányszervek között közvetlen kapcsolat van. (1. ábra). Elvi különbséget a tolattyúkkal vezérelt, hidraulikus kormányerősítők beépítése sem eredményez, mivel adott mértékű és

intenzitású külső kormány szerv kitérés, ezekkel is csak a belső kormány szerv arányos mértékű és intenzitású elmozdítását követően hozható létre.

Az így felépülő közvetlen vagy passzív kormányvezérlő-rendszerek egyszerűségük mellett rendelkeznek néhány olyan kedvezőtlen tulajdonsággal, amelyek nem teszik lehetővé harmadik, negyedik generációs gépeken történő alkalmazásukat, megakadályozzák a kormányvezérlés minőségi fejlesztését. Ezek közül a fontosabbak:

- a kormányzás minősége, gyorsasága nagymértékben függ a repülőgépvezető gyakorlottságától, fizikai és pszichikai kondíciójától, a külső körülményektől (időjárás, napszak stb.) és a repülőgép stabilitási és kormányozhatósági tulajdonságaitól;
- nem, vagy alig egyenlíthető ki $M=0,9-1,4$ tartományban az AC pont elmozdulása következtében létrejövő stabilitásváltozás, külön célmechanizmus beépítése nélkül;
- esetenként létrehozható olyan nagyságú túlterhelés, határüzemmódot meghaladó repülési helyzet, ami a repülőgépvezető fiziológiai károsodását vagy a gép sérülését okozhatja;
- ismétlődő külső zavaróhatás csak a kormánysszervek folyamatos mozgásával kompenzálható, ami szellemileg és fizikailag egyaránt fárasztó a repülőgépvezető számára.

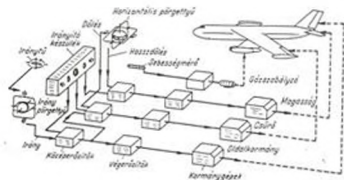
E hiányosságok többsége a repülőgépvezető - már előzőekben is említett - fiziológiai sajátosságaiból adódó korlátokra vezethető vissza, melyek közül a leglényegesebbek:

- az emberi érzékszervek és végrehajtószervek, ezáltal az általuk feldolgozható információk és kiadható parancsjelek száma korlátozott. Bár az idegrendszer több, egyidőben, különböző csatornán beérkező jelzést képes szintetizálni, majd integrált, differenciált parancsjelet kiadni, ezek bizonyos mennyiségű hibát is tartalmazhatnak;
- külső hatásra bekövetkező emberi válaszreakciók késnek (átlagos repülőgépvezetőnél ez 0,2-0,3 másodpercre tehető);
- az emberi szabályozó tevékenység tehetetlenséggel bír, azaz csak fokozatosan csökkenő amplitudójú alul- és túlszabályozásokon keresztül képes beállítani a kívánt szabályozási értéket;
- csökken a szabályozási folyamat megbízhatósága, ha az érzékszerveket érő jelek túlzottan gyengék, erősek vagy gyorsak ($f > 2,5-3$ Hz);

- az érzékszervek érzéketlenségi zónákkal rendelkezhetnek, ezenkívül a beérkező jelek egy részét kiszűrjük (nem feltétlenül a kevésbé fontosakat!);
- az érzékszervek érzékenysége, megbízhatósága, működés közben (azaz kifáradás hatására!) csökken.

A felsorolt hiányosságok többségét a technika fejlődésével összhangban fokozatosan sikerült megszüntetni. A 40-es évektől megjelenő robotpilóták eleinte csak irány

és magasság stabilizálására, később sebesség és tolderő szabályozására, a legfejlettebbek útvonal programozott végigrepülésére, esetleg le- és felszállásra is alkalmasakká váltak (2. ábra). Az így kialakított automatikus és fél-automatikus vezérlőrendszerek hatékonyan képesek hangsebesség alatti, korlátozottan manőverező repülőgépek repülési jellemzőit optimalizálni.



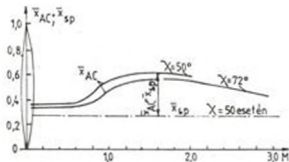
2. ábra

seks hangsebesség alatti, korlátozottan manőverező repülőgépek repülési jellemzőit optimalizálni.

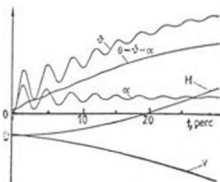
A hangsebesség feletti, 20-30 km-es magasságban is fokozottan manőverező repülőgép automatizált kormányvezérlése azonban minőségileg új rendszerek megalkotását igényli, mivel:

- $M > 0,9$ elérését követően ugrásszerűen megváltoznak a repülőgép (főként hossz-) stabilitási jellemzői (3. ábra), melyet a szárnynyílzási szög (χ), felülnézeti alaprajz, stb. is befolyásolnak;
- $H=18-20$ km-es repülési magasságtól, a levegősűrűség csökkenése következtében lényegesen romlanak a repülőgép-mozgás csillapítási jellemzői;

- összehasonlíthatatlanul bonyolultabb feladat széles magasság ($H=0,1-25$ km) és sebesség ($v=400-2000$ km/ó) tartományban a sokféle manőverpálya optimalizálása, mint a $H=const.$, $v_{szám}=const.$ feltételek mellett legkedvezőbb útvonalrepülési, valamint le- és fel szállási jellemzők biztosítása;



3. ábra



4. ábra

A 4. ábrán egy, a számított repülési magasságán (11 km) megfelelő statikus és dinamikus stabilitású, szuperszónikus repülőgép csillapítási jellemzői tanulmányozhatók $H_{rep} = 20$ km-en, 1^0 -os vízszintes irányfelület kitérítés megszűnését követően. A kedvezőtlen állásszög (α) és hosszoldás (β) szerinti stabilitás(-lengések) megszüntetésére dempfereket kell alkalmazni. Ez azt jelenti, hogy a robotpilóta hagyományos módon, a stabilizátor kellő gyorsaságú, irányú és frekvenciájú, késleltetésmentes, kismérvű kitéréseivel megszünteti a hosszlengéseket, mesterségesen stabilizálja a repülőgépet. A repülési magasság (H) és sebesség (v) folyamatosan növekvő eltérései azonban már nem szüntethetők meg a kormánylapok kitérítésével, vagy a gép célszerű aerodinamikai kialakításával. Például a sebesség szerinti csillapítás jellemzésére szolgáló kifejezés

$$\frac{F_{x,\alpha}^V}{m_{rg}} = \text{const} - \frac{F_{p,r}^V}{m_{rg}}$$

elemzéséből megállapítható, hogy csak a tolóerő változtatásával lehet rá hatást gyakorolni.

Itt a

$$F_{x,\alpha}^V = \text{const} = \frac{d F_{x,\alpha} = \text{const}}{dv}$$

- az egységnyi sebességváltozás során, állandó állásszög (α) mellett létrejövő légellenállási erő változás;

$$F_{p,r}^V = \frac{d F_{p,r}}{dv}$$

- az egységnyi sebességváltozás során létrejövő, rendelkezésre álló tolóerő ($F_{p,r}$) változás;

m_{rg}

- a repülőgép tömege.

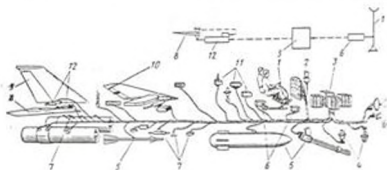
A további elemzésekből az is kiderül, hogy megfelelő hatékonyságú sebesség (magasság) szerinti csillapítás csak a robotpilóta bólintási csatornájával összekapcsolt tolóerő-szabályozó automata alkalmazásával biztosítható. Ennek hatékony működtetése az adott repülési üzemmódokon 20-30 %-os tolóerőtartalékot igényel. Amennyiben a tolóerő vektor nem a súlyponton, hanem például jóval alatta halad át, a tolóerő-automatát a szögsebesség szerinti csillapítás csatornájával is össze kell kapcsolni (V.8. 2. ábra!). Hasonlóan bonyolult a keresztoldás, valamint az útirányú stabilitás és kormányozhatóság összehangjának biztosítása is, a teljes magasság és sebesség tartományban.

További minőségi előrelépés a kormányvezérlés területén, mint például:

- 6-szabadságfokú kormányzás (felhajtó- és oldalerő folyamatos szabályozása);
- a manőverezőképesség javítása a hajtómű tolóerővektor repülés közben történő elfordításával;
- instabil repülőgép mesterséges (kvázi) stabilizálása;

- a turbulens légkör és manőverező repülés okozta terhelések csökkentése, a flatter és divergencia kritikus sebességének növelése, határüzemmódokat meghaladó repülési helyzetek kialakulásának megelőzése

csak aktív kormányvezérlő rendszerek kialakításával lehetséges. (Ezt - a legtöbb idegen nyelvű szakirodalomban az angol control configured vehicle elnevezés alapján - C C V - e l v n e k is nevezik.) Az ilyen megoldásnál már nincs közvetlen kapcsolat a külső és belső kormányzervek között. A repülőgépvezető parancsjele(-i) (1) alapján a fedélzeti számítógép(-ek) (3) - nagyszámú külső (2;11) és belső (4;6;7) jel visszacsatolását is figyelembe vevő belső programja(-ik) segítségével optimalizált, késleltetés- és tehetetlenségmentes, szükség szerint egyidejű kormánylap- (8;9;10) és repülőgép-mechanizáció, valamint lokátor, illetve fegyverzet (5) működtetését valósít(-anak) meg (5. ábra). Tapasztalatok szerint az ilyen rendszereknél a külső kormányzervek és a mechanizációk mű-

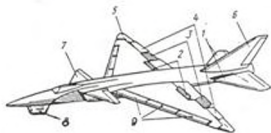


5. ábra

ködtetésére elektromos kormánygépeket (12) célszerű alkalmazni. A magas fokú automatizáltság következtében, külső zavarás esetén, a robot a külső kormányzervekkel a szükséges korrekciót végrehajtja anélkül, hogy ezt a repülőgépvezető érzékelné, vagy a belső kormányzervek elmozdulnának.

Kormányzáskor a belső kormány szerv kitérítésével a repülőgépvezető csak a mozgás tendenciájára, a változás bekövetkezésének intenzitására és szélső értékére ad utasítást. A fedélzeti számítógép belső programja és a külső információk alapján - a repülőgépvezető által már korábban kiválasztott és megjelölt prioritásnak (pl. gazdaságosság, légi harc, stb.) megfelelően - optimális kormánylap (repülőgép) mozgatót hajt végre. Szükség szerint - felülbírlva a parancsjelet - megakadályozza a korlátozásokat meghaladó üzemmódok létrejöttét.

Az így módon leegyszerűsített és biztonságossá vált kormányvezérlési tevékenység lehetővé teszi a 6 - s z a b a d s á g f o k ú k o r m á n y - z á s kialakítását. Ez az ismert 4-szabadságfokú kormányzás kiegészítését jelenti folyamatos felhajtó- és oldalero szabályozással, azaz izolált függőleges- (y) és kereszttengety (z) irányú kormányzással. Ennek érdekében a repülőgépet a súlypontja előtt is felszerelik vezérelhető vízszintes (7) és



6. ábra

és függőleges (8) irányfelületekkel (6. ábra). Az így elrendezett külső kormánysszervek páronkénti (8-6; 7-1), számítógépen keresztül történő, azonos értelmű kitérítésével olyan függőleges és oldalero hozhatók létre, amelyek nem bontják meg a gép függőleges- és kereszttengety körüli nyomatéki egyensúlyát.



a.



b.



c.



d.

7. ábra

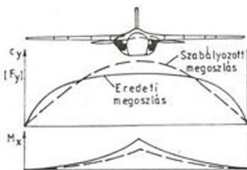
Ennek eredményeként nemcsak a hagyományos térbeli mozgásokra (7.a. és b. ábra) van lehetőség, hanem olyanokra is, amelyek során a gép hossztengetyével az egész manőver során kiinduló helyzetével párhuzamos marad (7.c. és d. ábra).

Függőleges emelkedéskor (7.c. ábra) például a 6. ábrán látható repülőgép mellső irányfelületeit (7), féklapjait és flaperonjait (=kombinált fékszárny és csűrő) (3) azonos irányba térítik ki. Így a hátsó stabilizátor (1) teljes kormányzási tartaléka megmarad e helyzet stabilizálására, az állásszög módosítására, illetve kereszttengetely körüli hagyományos kormányzásra.

Az oldalirányú elmozdulás (7.d. ábra) a hátsó oldalkormány (6) és a mellső függőleges irányfelület (8) azonos értelmű kitérítésével hozható létre. A járulékos "x"-tengely körüli bedőlést a függőleges vezérsíkok alsó és felső elhelyezése, valamint a flaperonok automatikus, csűrő-üzemű mozgatása akadályozza meg.

A szokásos "x"-tengely körüli bedöntés az interceptorok (2) és flaperonok működtetésével lehetséges.

Le- és felszállás alkalmával az orrsegédszárnyak (9), fékszárnyak és flaperonok (3) működtetése a hagyományosnak megfelelő, de a



8. ábra

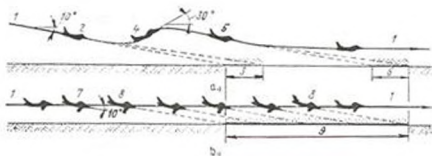
számítógép folyamatos optimalizálási korrekciót hajt végre. Manőverező repülés közben ugyanezen kormányzervek (3; 9), valamint az elfordítható szárnyvégek (5) mozgatásával a számítógép automatikusan átrendezi a szárny terjedtség menti légerőmegoszlását (c_y , F_y) csökkentve ezzel a szárnyto hajlító igénybevételét (M_x) (8. ábra). Hasonló módon növelhető a flutter vagy divergencia kritikus sebessége is.

Az elvégzett kísérletek szerint a légi célok hatékonyabb elfogásának a 6-szabadságfokú kormányzással történő új lehetőségei (7.c. és d. ábra)



9. ábra

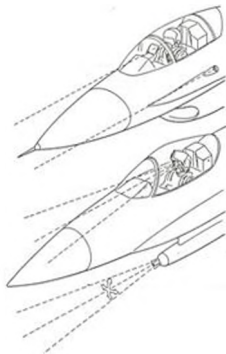
továbbiakkal is bővíthetők. Bebizonyosodott, hogy a mellő kormánysszervekkel ellátott, aktívan vezérelt repülőgép képes megőrizni egyenes vonalú, egyenletes sebességű, változatlan magasságú repülését, irány- vagy hosszoldalsi szögének $\pm 10^\circ$ -os, tartós kitérítése esetén is (9. ábra). Az előbbi (9.a. ábra) a vízszintes síkban manőverező légi cél megsemmisítésénél, az utóbbi különösen mozgó földi, vagy a terepen nagy távolságon telepített ellenséges objektumok leküzdésénél bizonyulhat hatékonynak (9.b. ábra).



10. ábra

Míg a hagyományos kormányvezérlésű repülőgép (10.a. ábra) csak időlegesen kerülhet olyan repülési helyzetekbe (2; 5), amelyekből képes rövid földi terepszakaszokra (3; 6) tüzelni, addig a mellő és hátsó kormánysszervekkel

felszerelt, aktívan vezérelt gép negatív hosszúdőlését (8) stabilizálva hosszú terepszakaszt (9) is egyenletesen tűz alatt tarthat.



11. ábra

E módszerrel párhuzamosan folyik a repülőgépvezető sisakjára épített célzókészülék segítségével, a fej (szem) mozdítással vezérelt fegyverzet fejlesztése is (11. ábra). Ez alkalmazásra kerülhet akár az előbbi módszerrel kombinálva is.

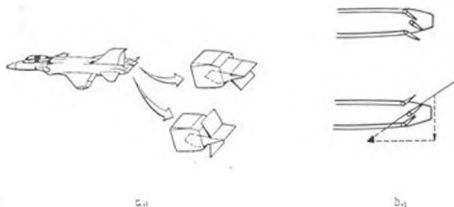
A 6. ábrán bemutatott mellő, függőleges és vízszintes irányfelületek kiválthatók a törzs alsó részén elhelyezett "pillangó" vagy "V" vezérsík segítségével, mint az a 12. ábrán látható YF-16CCV kísérleti repülőgépeknél már meg is valósult. Az ilyen vezérsík-elrendezés előnyei és hátrányai, működési sajátosságai megegyeznek a hátul elhelyezett "V"-vezérsíkokéval.



12. ábra

Számottevően javítja a repülőgép manőverjellemzőit (fordulékony-ság, gyorsulás-lassulás) a tolóerő repülés közben történő elfordítása. Ennek egy lehetséges szerkezeti megoldása a 13. ábrán látható, ahol a síkfűvőcső kilépő keresztmetszetében helyezett, aszimmetrikusan és szimmetrikusan, tetszőleges mértékben nyitható központi áramlásterelő test fordítja el a gázáramot.

Hasonló bonyolultságú szerkezetet, közel azonos kormányzási lehetőségeket eredményeznek a síkfűvócső végén elhelyezett mozgatható zsaluk is (13. b.).



13. ábra

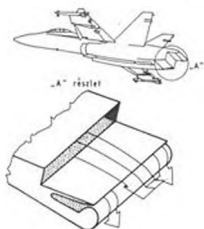
Elvében nem különbözik ettől a megoldástól a helyből felszálló (VTOL) repülőgépek fűvócsőveinek - általában 100° -os intervallumban történő -



14. ábra

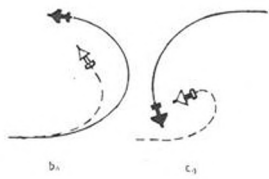
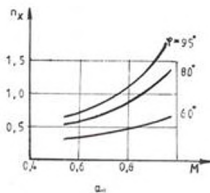
elforgatásával létrehozott tolóerő irányváltása sem (14. ábra). E repülőgépen térbeli mozgási lehetőségeinél azonban feltétlen minőségi többlet a haladási sebességtől független (!) emelkedési-süllyedési, függési ($\Psi_{\text{fűvócső}} = 90^{\circ}$), hátrafelé történő repülési ($\Psi_{\text{fűvócső}} > 90^{\circ}$) lehetőség és a gázdinamikai kormányzervekkel, $v_{\text{rep}} = 0$ esetén is megvalósítható y, x, z tengely körüli forgómozgás.

A mechanikusan mozgatható szerkezeti elemek kiküszöbölését teszi lehetővé a síkfúvócsövek egy vagy több oldalán kialakított Coanda - felület segítségével történő gázsugár (tolóerő) elfordítás (15. ábra).



15. ábra

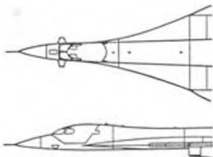
A lefelé irányuló tolóerő (-összetevő), magasságvesztés nélküli intenzív lassításra nyújt lehetőséget (16.a. ábra), szélsőséges esetben akár $v=0$ sebességig is (pl.: 14. ábrán látható repülőgép!). Ennek következtében a tolóerő irányváltoztatására alkalmas repülőgépekkel jóval kisebb sugarú fordulók hajthatók végre, mint a hagyományos kialakításúakkal (16.b.,c. ábra), ami a légi harcban fontos, vízszintes manőver-jellemzőket kedvezően befolyásolja.



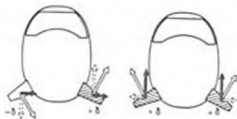
16. ábra

A fordulópálya sugarának csökkenése (16. ábrán szaggatott vonal) a hagyományos repülőgépekhez képest (folyamatos vonal) a tolóerő vektor elfordításának szögével ($\dot{\gamma}$) arányos.

A hagyományos kormányvezérlésű, instabil repülőgéppel nem lehet biztonságos repülést végrehajtani. Különösen élesen jelentkezik ez a hosszvezérlés csatornájában, ahol a megkívánt $m_z^{Cy} = -(0,03-0,08)$ érték $M = 0,9-1,4$ tartományban $-(0,2-0,35)$ -re is növekedhet (ld. 3. ábra!). Az ebből adódó túlstabilizálódás megelőzésének egyik perspektivikus megoldása $M < 0,9$ esetén, $m_z^{Cy} > 0$ érték biztosítása lehet.



Az ilyen repülőgép azonban csak aktív kormányvezérlő-rendszer segítségével irányítható, mivel lát-szögletes (kvázi) stabilitása fenntartásához külső kormány szervei állandó, kismértékű, automatikus kitérítése szükséges.



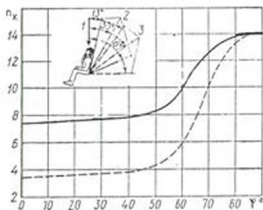
17. ábra

Az instabil repülőgép kormányzásához viszont jóval kevésbé kell a kormánylapokat kitéríteni, a vezérsíkok felülete pedig 30-50 %-kal csökkenthető. Az ebből adódó légellenállás-csökkenés 5-10 %-os jószágisám (K) növekedést eredményez. A hossz- és keresztlengek csillapítására eredményesen alkalmazhatók a kisméretű, légellenállást alig növelő, mellő, elevon-rendszerű stabilizáló felületek (17. ábra).

Az instabil repülőgép kormányzásához viszont jóval kevésbé kell a kormánylapokat kitéríteni, a vezérsíkok felülete pedig 30-50 %-kal csökkenthető. Az ebből adódó légellenállás-csökkenés 5-10 %-os jószágisám (K) növekedést eredményez. A hossz- és keresztlengek csillapítására eredményesen alkalmazhatók a kisméretű, légellenállást alig növelő, mellő, elevon-rendszerű stabilizáló felületek (17. ábra).

Az aktív vezérlésű repülőgép vezetőjét az automatika ugyan megdöjva a megengedettnél nagyobb túlterhelésektől, de intenzív manőverező repülés (pl. légi harc) közben - éppen a gép lehetőségeiből adódóan (ld. 16. ábra) - a legtöbb helyzetváltoztatásra a maximálisan megengedett túlterheléssel kerül sor. Bár a kormányvezérlő-rendszer szerkezeti kialakítását ez közvetlenül alig befolyásolja, még is figyelembe kell venni, mivel a repülőgép-vezető teljesítőképességére alapvető hatást gyakorol. Az ilyenkor ismétlődően fellépő $n_y = 6-8$ túlterhelések csökkentésére bevált módszer lehet a hagyományos védőruha mellett, a katapultülés automatikus hátradöntése (18.a. ábra). Az n_y növekedésével arányos mértékben hátradöntött ülésben a fiziológiailag nehezebben elviselhető fej-medence, vagy medence-fej irányú túl-

terhelés (1) helyett a kevésbé kellemetlen mell-hát, hát-mell túlterhelésnek van kitéve a repülőgépvezető (2,3. pozíció).

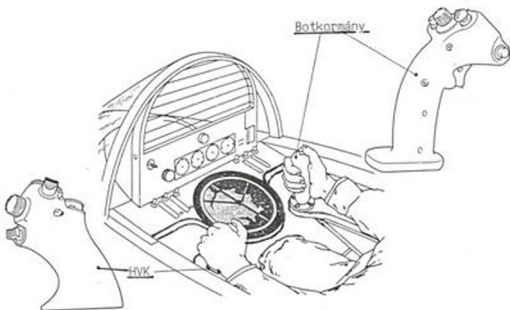


18. ábra

Az ilyen gépeken az ülés karfáin kis méret és néhány mm-es kitéríthetőségű, elektromos vezérlést biztosító botkormánycsok és gázkar kerül elhelyezésre (pl. 19. ábra).

Ez a megoldás annál is inkább indokolt, mert például 6-szabadságfokú kormányzásnál sem növelhető az irányító szervek száma. Ennek megfelelően csak

Az ilyen katapultülések kialakításánál az alapvető nehézséget nem a háttámla automatikus mozgatása okozza, hanem veszély esetén a kilövéshez szükséges közel függőleges (13°) helyzetbe történő gyors visszaállítás biztosítása, a benne ülő károsodása nélkül. Ugyancsak elképzelhetetlen biztonságos repülőgépvezetés az ülés megdöntött helyzeteiben (2; 3) hagyományos, fülkepadlóhoz rögzített botkormány segítségével.



19. ábra

a botkormánycsok alkalmazható az oldalerők vagy felhajtóerő szabályozására is (pl. elcsavarásával, függőleges lenyomásával vagy felhúzásával!).

Az aktív kormányvezérlés módszerét feltehetően igyekeznek egyesíteni a szárny profilgeometria és nyílzási szög együttes vezérlésével. A kísérletek teljes sikere esetén is további érdekes kérdésnek ígérkezik, hogy az elért eredmények arányban állnak-e a magas fokú automatizáltság következtében megnövekedett gyártási és kiszolgálási költségekkel, a teljesen mechanizált szárny lecsökkent tüzelőanyag-tároló és külső függesztmény-szállító kapacitását pótolja-e a fokozott manőverezőképesség?

FELHASZNÁLT IRODALOM

- Bill Gunston - Mike Spick:
Modern air combat
SALAMANDER BOOKS, LONDON 1983.
- Cichosz, Edmund:
Rozwój samolotów naddźwiękowych
WARSZAWA 1980.
- Gilbert W.W.:
Development of a mission adaptive wing system
for tactical aircraft
AIAA Paper N^o 80-1886
- Gorosenko B.T. - Djacsenko A.A. - Fadejev N.N.:
Eszkiznoje proektirovanie szamoleta
MASINOSZTROENIE 1970.
- Jeger Sz.M., i drugiye:
Proektirovanie szamoletov
MASINOSZTROENIE 1983.

- Jefimov E. - Neljubov A. - Pavlenko V.:
Sz odkloneniem vektora tjagi
AVIACIA I KOSZMONAVTIKA 1981/7.

- Klumov A.Sz.:
Prodolnaja usztójcsivoszty i upravljajemoszty
manevrenova szamoleta
MASINOSZTROENIE 1988.

- Lambert M.:
Fighter for the 1990's
INTERAVIA 1981/1. p.1-11.

- Mc Geer Tad - Kroo Ilan:
A fundamental comparison of canard and
conventional configurations
JOURNAL AIRCRAFT 1983. 20 N^o 11 p.983-992.

- Ponomarjev A.N.:
Aviacia nasztójasevo i budusevo
VOENOJE IZDATELSZTVO 1984.