

AZ AFTI/F-16 KISÉRLETI REPÜLŐGÉP "ÉRTELMEŠ"  
BOTKORMÁNYA

Fordító: Szabolcsi Róbert mk.főhadnagy

(Az 1983-ban Daytonban megrendezett NAECON repülési  
és űrhajózási elektronikai konferencia  
referátuma alapján)

Az AFTI/F-16 kísérleti repülőgép képes olyan oldalirányú manőver végrehajtására, mely esetén a repülőgépvezetőre jelentős oldalirányú túlterhelés hat. A kísérleti repülőgép nagy túlterhelésekkel végrehajtott oldalirányú manővereit ún. mellő kitérithető vízszintes vezérsíkok alkalmazása teszi lehetővé, melyek megfelelő kitérítéséddigitális automatikus vezérlő rendszerek biztosítják. Mivel a repülőgépvezetés néhány fázisa (légi célok elfogása és követése, célzás) különösen nagy pontosságot igényel, ezért a repülőgép kormányrendszerének tervezése során figyelembe kell venni a fellépő nagy, oldalirányú túlterheléseket is.

A repülőgépvezető és az "értelmes" botkormány EB együttműködését külső zavarok esetén (vibráció, túlterhelések) már régóta tanulmányozzák a szakemberek. Az [1] irodalom három különféle kormányrendszert vizsgál - bennük a botkormány (EB) rögzített, valamint erőhatás adókkal rendelkezik - és hasonlít össze másik három olyan kormányrendszerrel, melyben a botkormány (EB) nincs rögzítve, vezérlő jelei pedig arányosak az EB szög helyzetével. A kísérleteket különböző intenzitású vibráció mellett végezték, míg változtatható paraméterként az EB beépítési helyét és rögzítő rugó állandóját vizsgálták.

A légi célok követésének pontosságát elemző kísérletek

eredményeit a megfelelő matematikai módszerek segítségével feldolgozták és megállapították, hogy a speciális kialakítású botkormányok nagyobb követési pontosságot tesznek lehetővé, mint a hagyományosak. Különösen igaz ez a megállapítás a nagy intenzitású vibrációk esetén.

A [2] irodalom az erőhatás adókkal ellátott rögzített EB-t hasonlítja össze a szög helyzet adókkal ellátott hagyományos (mozgó) EB-al. A kísérletek eredményeinek kiértékelése során azt az észrevételt tették a kutatók, hogy a vizsgált rendszerek mindkét fajtája rendelkezik előnyökkel, de hátrányokkal is, mivel a vibráció miatt előfordulhat egyes paraméterek nem kívánatos interferenciája.

A [3] irodalom szintén a rögzített és a mozgó EB-nyal ellátott kormányrendszert vizsgálja összetett vibráció hatására, a repülő szerkezet hat szabadságfoka szerint. Az összetett vibrációt 2-10 Hz frekvenciájú szinuszos rezgések kombinációja imitálja. Megállapították, hogy az EB dinamikai jellemzői jelentős mértékben kihatnak a célzás pontosságára, valamint a repülőgépvezető kezének mozgására.

A [4] irodalom a rögzített és a mozgó EB-al ellátott kormányrendszert vizsgálja a rendszerre ható vibráció változó spektrumú frekvenciái esetén. A mű foglalkozik továbbá a mechanikus kormányrendszer villamos modellezésével, mely lehetővé teszi olyan zavarások (vibráció, túlterhelés) vizsgálatát is, amelyek a repülőgépvezető testén keresztül kerülnek a botkormányra.

A [5] irodalom olyan botkormányt vizsgál, amely az irányítási csatornában adott előterheléssel, érzéketlenségi sávval, hiszterézissel és nemlineárisan változó, sűrűdésből származó terheléssel rendelkezik.

A [7] irodalom a kormányrendszer dinamikai jellemzői

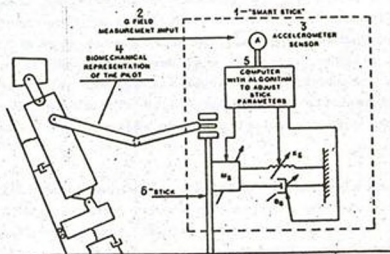
közötti sematikus analógiát adja meg. A fent említett rendszer vizsgálatát lefolytatva lehetőség nyílik kiértékelni, hogy a kormányrendszer jellemzőinek megváltozása hogyan hat ki a célzás pontosságára a botkormányra ható különböző erőhatások esetén.

A [8] irodalom kitűzött feladat megoldását a THEVENIN-féle helyettesítő kép segítségével végzi, mely esetén lehetővé válik a légi célok követéséhez szükséges pontosságot biztosító botkormány dinamikai jellemzőinek kiválasztása.

Es végül a [9] irodalom az elmúlt 25 év, több mint 20 olyan publikációjából ad szemelvényt, melyek más és más szemszögből, a kormányrendszer nemlinearitásával foglalkoznak. A kormányrendszer nemlinearitásai a következők voltak: vibrációból adódó rázás, sűrűdési erők nemlinearitása, üresjárás (kotyogás), érzékenységi küszöb, előterhelés (terhelőmechanizmus). A légi célt követő irányítási rendszer pontosságát ezek a munkák az alábbi mutatókkal jellemezték: szokás, találati pontosság, befogási idő stb. A botkormány nemlinearitásainak vizsgálata azért is fontos, mert a repülőgépvezető keze is jelentős nemlinearitással rendelkezik. Mint az a [10] irodalomból kiderül, a repülőgépvezető a botkormány hasrahúzásakor mintegy 130 %-kal nagyobb erő kifejtésre képes, mint a botkormány ellentétes kitérítése során (Chastól). Az adott munka az EB jellemzőinek megváltoztatását biztosító rendszer idő- vagy túlterhelés szerinti szabályozását megvalósító alapritmus meghatározását tartalmazza, melynek segítségével az "ember-gép" rendszerben a repülőgépvetőre ható túlterhelések esetén is javul az együttműködés hatékonysága. Az AFIT/F-16 kísérleti repülőgép vezetőjére ható túlterhelések jellege jelentős mértékben eltér a vibráció jellegétől - a túlterhelések frekvenciájának spektruma jóval keskenyebb, míg amplitúdója sokkal nagyobb. Így azt lehet mondani, hogy a vibrációk hatását vizsgáló mechanikus kormányrendszer modellek nem alkalmazhatók a kísérleti repü-

lőgépre repülés közben ható túlterhelések következményeinek vizsgálata során.

A vizsgált mechanikus kormányrendszer az 1. ábrán látható. Az 1. ábrán:



1.sz. ábra

- 1 - értelmes botkormány EB;
- 2 - zavarójel (túlterhelés);
- 3 - gyorsulásmérő;
- 4 - a repülőgépvezető biomechanikai modellje;
- 5 - a kormányrendszer paramétereit szabályozó számítógép;
- 6 - erőhatás a botkormányra (bemenőjel);

A repülőgépvezető triomechanikai modellje adott tömegű tagokat, rugókat és csillapító elemeket tartalmaz. Az 1. ábrán az "értelmes" botkormány EB szerkezeti elemei és egységei szaggatott vonallal vannak jelölve. A túlterhelést - mely egyike a lehetséges zavarásoknak - gyorsulásmérővel mérik. A gyorsulásmérő jeleit számítógép dolgozza fel és adott algoritmus szerint megváltoztatja a kormányrendszer jellemzőit [11]. Például a kormányrendszer terhelőmechanizmusának

rugóállandóságát  $X$  a számítógép parancsai szerint úgy lehet megváltoztatni, hogy változik a rugót tartalmazó levegő munkahenger effektív térfogata, míg a  $B$  csillapítási tényezőt hidraulikus berendezés segítségével lehet megváltoztatni. Nehezen oldható meg a botkormány vonatkoztatott tömegének a tehetetlenségi nyomatékának szabályozása. Ezen paraméterek szabályozásának törvényszerűségeit gyakran elméleti megfontolások alapján határozzák meg. Azonban vizsgáltak olyan empirikus módszereket is, amelyek alkalmazása jelentős mértékben csökkentette a repülőgépvezető fiziológiai terhelését is. Ennek érdekében elektromiogram adóinak jeleit használták fel.

A kormányrendszer jellemzői szabályozásának hatékonyságát laboratóriumi körülmények között, szimulátoron vizsgálták. A kísérletek résztvevői minden nap kilenc kísérletet végeztek a négy különféle szerkezetű, "értelmes" botkormánnyon (három közülük mozgó botkormány különböző terhelőmechanizmussal, míg egy botkormány rögzített volt). A kísérleteket álló kabinú, +3 függőleges túlterhelést imitáló mozgó kabinú és változó oldalirányú túlterhelést imitáló szimulátoron végezték.

A három résztvevő kísérleti eredményeit a 2. ábrán láthatjuk. A 2. ábrán:

N<sup>o</sup> 1-3 - a kísérleti résztvevők sorszáma

1 - szórás;

2 - villamos erősítési tényező;

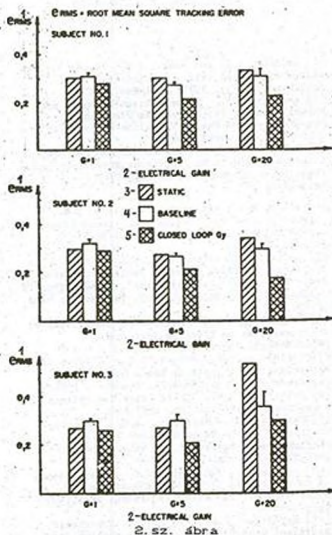
3 - álló kabin;

4 - etalon eredmény;

5 - az oldalirányú mozgás zárt szabályozási körei esetén.

Az etalon mérési eredmények minden egyes résztvevő esetén + 1,4 függőleges túlterhelés mellett végrehajtott kísér-

leteket jelentenek. Az EB zárt oldalirányú szabályozási körökben történő alkalmazását +3 függőleges túlterhelés mellett, az oldalirányú túlterhelés 0,7 szórása esetén vizsgálták.



Mint az a 2. ábrán látható, a kísérletek résztvevői nagyobb pontossággal hajtották végre a légi célok követését az oldalirányú mozgás zárt szabályozási körei esetén, mint statikus vagy etalon körülmények között, ami a szabályozási körökben alkalmazott oldalirányú túlterhelés szerinti

negatív visszacsatolásnak köszönhető. Mindezek eredményeképpen mintegy 40 %-kal javult a légi célok követésének pontossága.

#### FELHASZNÁLT IRODALOM

- [1] Levison, W.N. and Houck, P.D., "Guide For The Design of Control Sticks in Vibration Environment", Feb, 1975, AMRL-TR-74-127
- [2] Levison, W.N., "Biomechanical Response and Manual Tracking Performance in Sinusoidal Sum-of-Sines and Random Vibration Environment", AMRL-TR-75-94, April, 1976.
- [3] Levison, W.N., "Biomechanical and Performance Response of Man in Six Different Directional Axis Vibration Environments", AMRL-TR-77-71, September, 1977.
- [4] Allen, W.R., Jex, H.R., Magdaleno, R.E., "Manual Control Performance and Dynamic Response During Sinusoidal Vibration", AMRL-TR-73-78, October, 1973.
- [5] Weiss, A.E., Allen, R.W., Goddard, C.J., "An Evaluation of Three Types of Hand Controllers Under Random Vertical Vibration", Hughes Aircraft Company, RM-837, October, 1965, reported in NASA SP-128.
- [6] Graham, Dunstan, "Research on The Effects of Nonlinearities on Tracking Performance", AMRL-TR-67-9, July, 1967.
- [7] Magdaleno, R.E., McKuer, D.T., "Effects of Manipulator Restraints on Human Operator Performance", AFFDL-TR-66-72, December, 1966.
- [8] Repperger, D.V., "Smart Stick Controllers", submitted for publication, 1983 JACC.
- [9] Wasicko, R.J., Magdaleno, R.E., "Effects of Nonlinearities on Human Operator Tracking Performance: A Review of The Literature", AMRL-TR-65-158, October, 1965.
- [10] Veights, J., Petrofaky, J.S. - measurements of human lateral force strength inward and outward on a force stick at AFAMRL, June, 1980 (not published).
- [11] Repperger, D.V., "An Anti-G, Biodynamic Resistant Control Stick", Patent applied for.
- [12] Reed, F.E., "Dynamic Vibration Absorbers and Auxiliary Mass Dampers", in Shock and Vibration Handbook, McGraw-Hill, Eds., C.R. Harris and C.E. Crede, 1961.

- [13] McCreevy, S. Ellis, "Projective Three-Dimensional Displays of Air Traffic", presented at the Eighteenth Annual Conference on Manual Control, Dayton, Ohio, June 8-10, 1982.
- [14] Timoshenko, S. and D.N. Young, "Vibration Problems in Engineering", D. Van Nostrand Company, Inc. 1966, Third Edition.
- [15] Jex, H.R., "Measuring Air Crew Workload: Problems, Progress, and Promises", Proceedings of The Workshop on Flight Testing To Identify Pilot Workload and Pilot Dynamics", AFFTC-TR-82-5, May, 1982.
- [16] Johnson, R.A.; "Comparative Analysis of Positive and Negative Lateral Acceleration on Isometric Fatigue in The Forearm", NSEE Thesis, Air Force Institute of Technology,