

A DUGÓHÚZÓ

Kovács István alezredes Semsei László alezredes
egyetemi adjunktus egyetemi tanársegéd
Zrínyi Miklós Nemzetvédelmi Egyetem
Hadtudományi Kar
Repülő tanszék

A dugóhúzó a repülőgép mozgásának egyik legbonyolultabb formája. Ezért a cikkben igyekeztünk röviden ismertetni a repülőgép viselkedését ebben a repülési helyzetben. Vázoltuk a repülőgép mozgásparamétereinek változásait, valamint ismertettük a dugóhúzó-ból történő kivétel szabvány módszerét.

BEVEZETÉS

A dugóhúzó általában nem tartozik a gyakran végrehajtott műrepülő figurák közé. Eltekintve a bemutatókon vagy gyakorlás céljából végrehajtott esetektől, ilyen repülési helyzetbe a repülőgép (pilóta) véletlenül kerül. A dugóhúzó a repülőgép legbonyolultabb mozgásformáinak egyike. A dugóhúzóba kerülés okai hosszú időn keresztül ismeretlenek voltak [1]. A repülés kezdeti időszakában a pilóták számára ez a jelenség jelentette a legnagyobb veszélyt. Ebben az időben még nem voltak ismertek a mozgást leíró fizikai törvényszerűségek, sem a dugóhúzóba való kivétel hatékony módszerei. Az első szándékos és sikeres dugóhúzót az I. világháború közepén hajtották végre. Ezt követően a kísérleti kutatások nagy lendületet kaptak.

A statisztikai felmérések azt mutatják, hogy napjainkban a repülőbalesetek és katasztrófák 15–20%-a az áteséssel és az azt követő dugóhúzóval kapcsolatosak [1]. Éppen ezért a repülőgépvezetők számára elengedhetetlenül szükséges a kritikus állásszögeken valamint, a dugóhúzóban lezajló fizikai folyamatok átfogó ismerete.

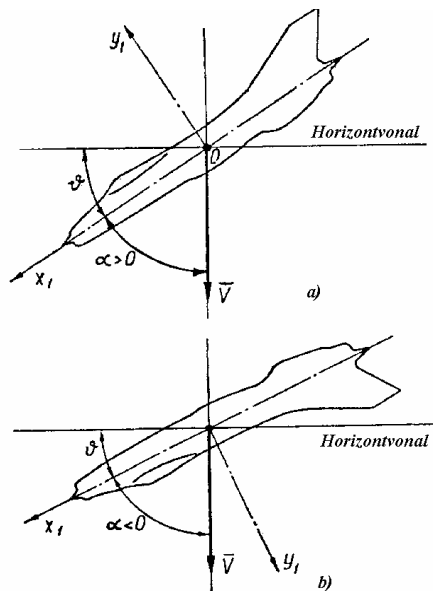
DUGÓHÚZÓ

Dugóhúzónak nevezzük a repülőgép kis sugarú spirális pályán történő mozgását kritikus értéken túli állásszögeken, mindhárom (X_1 , Y_1 , Z_1) tengelye körül törté-

nő egyidejű forgással, amelyet a kormányozhatóság teljes vagy részleges elvesztése kísér [2].

A szárny központi metszeti (α) állásszögének előjele és értéke meghatározza a dugóhúzó típusát. Ha az $\alpha > 0$, akkor normális dugóhúzóról beszélünk (1. ábra). Az ilyen repülési helyzetben a repülőgépvezető normális, azaz fejjel felfelé helyzetben van. Ha $\alpha < 0$, akkor hátondugóhúzóról beszélünk, és ebben az esetben a repülőgépvezető fejjel lefelé ül a kabinban, a repülőgép pedig háton helyzetben pörög.

A repülőgép hossz tengelyének a horizont vonalához viszonyított helyzetétől (ϑ) függően megkülönböztetünk lapos és meredek dugóhúzót. Abban az esetben, ha a bólintási szög $\vartheta > 50^\circ$ (általában $50^\circ - 70^\circ$) és a szárny központi metszeti állásszöge $\alpha = 30^\circ - 40^\circ$, meredek dugóhúzóról, ha a $\vartheta < 50^\circ$ és az $\alpha = 30^\circ - 60^\circ$ (egyes esetekben meg is haladhatja ezt az értéket), lapos dugóhúzóról beszélünk. [3]



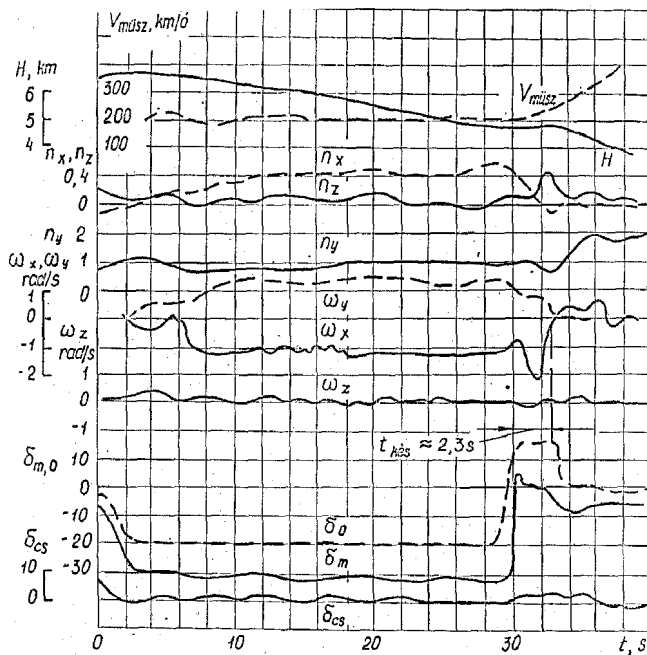
1. ábra

A repülőgép helyzete normális és fordított dugóhúzóban

A repülőgép tömegközéppontjához viszonyított mozgásának jellege szerint az összes dugóhúzót két csoportba lehet sorolni, az INSTABIL és a STABIL DUGÓHÚZÓK csoportjába.

STABIL DUGÓHÚZÓNAK nevezzük azt a dugóhúzót, amelyben a repülőgép nem változtatja forgási irányát. A forgás során a fő mozgásparaméterek megváltozhatnak, de nem olyan mértékben, mint a instabil dugóhúzónál (2. ábra).

A DUGÓHÚZÓ



2. ábra

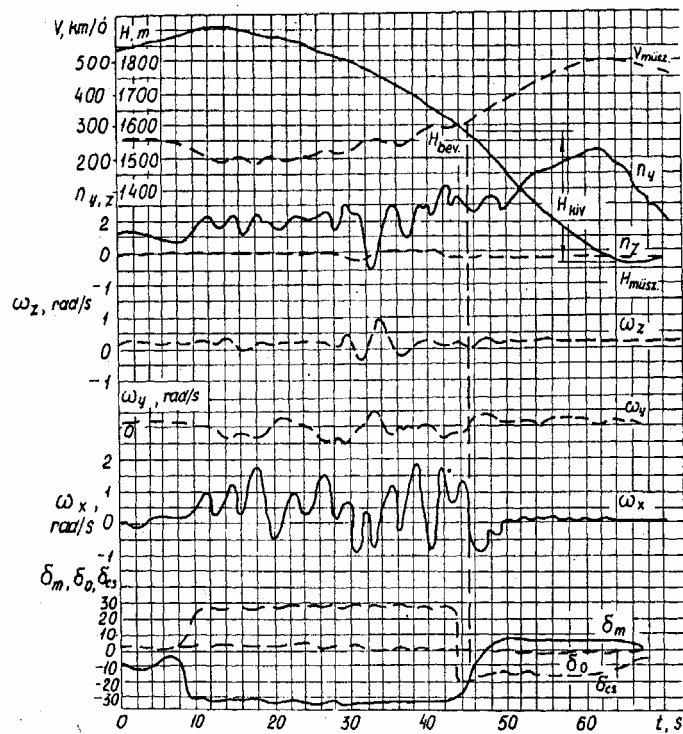
A repülőgép mozgásparamétereinek változása a normális stabil dugóhúzó folyamán

INSTABIL DUGÓHÚZÓNAK nevezzük azt a dugóhúzót, amelyben a forgás periodikusan és önkényesen változik (3. ábra). Ilyen dugóhúzóban a repülőgép orra hol a horizont vonala alatt van, hol pedig felette. A hajtómű (motor) giroszkópikus nyomatékként a jobb forgású dugóhúzó eltérhet a bal forgású dugóhúzótól, különösen a bevitelt követő néhány másodpercben. Instabil dugóhúzóban a viszonylag gyors szögsebesség-változás következtében a repülőgépvezetőre jelentős oldalirányú túlterhelések hatnak [3].

Vizsgáljuk meg a repülőgép tömegközéppontjának mozgását, valamint a dugóhúzó fő mozgásparamétereit.

Dugóhúzóban a repülőgép energikusan forog a sebességvektorhoz közel eső tengelye körül, és a géppel együtt forog az „R” teljes aerodinamikai erő vektora is. A teljes aerodinamikai erő pályagörbületre gyakorolt hatása nem jelentős, ezért az átesést követően a dugóhúzóban a repülőgép tömegközéppontja egy meghatározott spirál mentén mozog (4. ábra).

A repülőgép tömegközéppontjának mozgáspályáját képező spirális pályát a dugóhúzó tengelyének nevezzük [1].



3. ábra

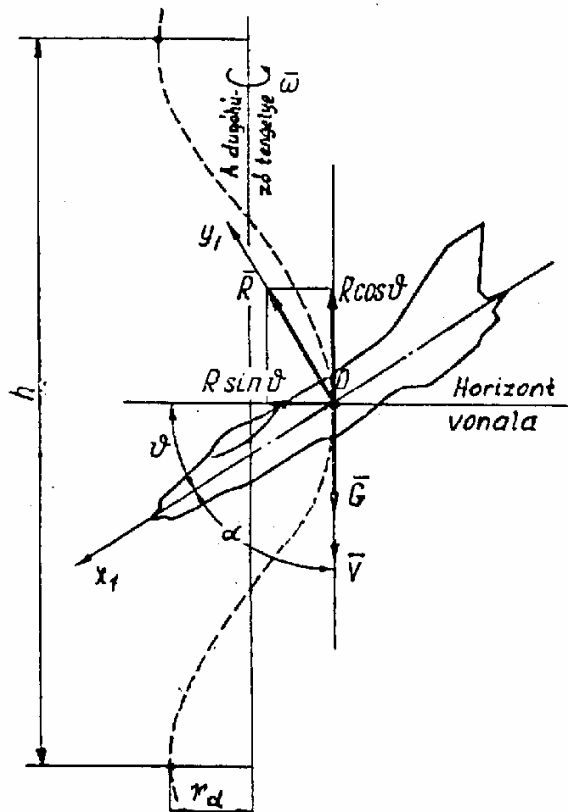
A repülőgép mozgásparamétereinek változása az instabil normális dugóhúzó folyamán

A dugóhúzó fő mozgásparamétereinek vizsgálatakor általában stabil forgású és viszonylag függőleges tengelyű mozgást szoktak feltételezni. Mivel természetes körülmények között a dugóhúzó mozgásparamétereinek csak feltételesen tekinthetők állandósultnak, így a vizsgált jelenséget csak igen rövid szakasz viszonylatában lehet elfogadni.

A dugóhúzó fő mozgásparamétereinek:

- A dugóhúzó sebessége: v
- Pörgés sugara: r_d
- Egy pörgés ideje: t_{dr}
- Egy pörgés alatti magasságvesztés: h
- A dugóhúzóban fellépő túlterhelés: n_d

A dugóhúzó sugarának (r_d) a spirál vízszintes vetületének sugarát vesszük.



4. ábra

A repülőgépre ható erők dugóhúzó közben

Feltételezzük, hogy a dugóhúzóban a teljes aerodinamikai erő a szárny felületének szimmetriasíkjába esik, és a hosszirányú, valamint a keresztirányú erők jelentősen kisebbek a normális értéknél. Állandósult dugóhúzóban $v = \text{constans}$ a repülőgép súlyereje a teljes aerodinamikai erő függőleges összetevőjével tart egyensúlyt (nem működő vagy fojtott hajtómű/motor esetén), a vízszintes összetevője pedig a centripetális erővel tart egyensúlyt.

$$mg = R \sin \alpha = c_R \frac{\rho v_d^2}{2} A \sin \alpha \quad (1)$$

és

$$m \omega^2 r_d = R \cos \alpha \quad (2)$$

(A teljes aerodinamikai erő R tényezője $c_R = \text{constans}$)

Ezen egyenletek felhasználásával meghatározhatjuk a dugóhúzó fő mozgásparamétereit.

A dugóhúzó sebessége:

$$v_d = \sqrt{\frac{2mg}{\rho A c_R \sin \alpha}} \quad (3)$$

A dugóhúzó sugara:

$$r_d = \frac{g}{\omega^2 \operatorname{tg} \alpha} \quad (4)$$

Egy fordulat végrehajtási ideje:

$$t_{df} = \frac{2\pi}{\omega} \quad (5)$$

Egy fordulat alatti magasságvesztés:

$$h = v t_{df} = 2\pi \frac{v}{\omega} \quad (6)$$

A dugóhúzóban fellépő túlterhelés értékét a következő képletből határozhatjuk meg:

$$n_d = \frac{R}{gm} = \frac{1}{\sin \alpha} \quad (7)$$

A dugóhúzóban fellépő túlterhelés önmagában nem jelent sem nagy megterhelést, sem veszélyt, mivel értéke nem nagy. Jelentős túlterhelés növekedés csak a meredek zuhanásból történő kivétel közben jön létre.

KIVÉTEL DUGÓHÚZÓBÓL

A dugóhúzó fő okának tekinthetjük azt, hogy a repülés során a repülőgép a kritikus értéket meghaladó állásszög értékre kerül. Ezért a dugóhúzóból történő kijutáshoz a repülőgépet olyan helyzetbe kell hozni, hogy az állásszög értéke kisebb legyen a kritikus értéknél. Ehhez a manőverhez meg kell bontani a beállt nyomatéki egyensúlyt [1].

Az állandósult forgásban az M_{ZA} aerodinamikai, bólintási nyomaték az $M_{Z\text{ teh}}$ tehetetlenségi nyomatékkal tart egyensúlyt.

$$M_{ZA} + M_{Z\text{ teh.}} = 0$$

és

$$M_{Z\text{ teh.}} = |J_Y - J_X| \omega_Y \omega_X$$

$$M_{ZA} + |J_Y - J_X| \omega_Y \omega_X = 0$$

Így állandósult forgás esetén az ω_X dőlési és a ω_Y legyező szögsebesség a dugóhúzó ω szögsebességén keresztül kerül kifejezésre:

$$\omega_X = \omega \cos \alpha$$

$$\omega_Y = \omega \sin \alpha$$

Ezért a $M_{Z\text{ teh}}$ hosszirányú tehetetlenségi nyomatékot a következőképpen is meghatározhatjuk:

$$M_{Z\text{ teh.}} = |J_Y - J_X| \frac{\omega^2}{2} \sin 2\alpha$$

Ismerve az önpörgés jellemzőit és a $J_{Y,X}$ értékeit, megszerkeszthetünk egy diagramot (5. ábra), amely kifejezi az aerodinamikai M_{ZA} és a tehetetlenségi $M_{Z\text{ teh.}}$ nyomatékok változását az állásszög α függvényében.

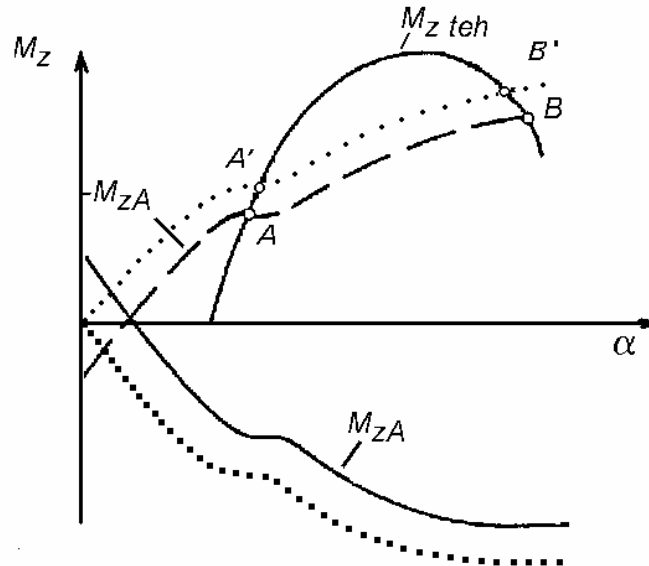
Mivel állandósult mozgás dugóhúzóban csak akkor valósul meg, ha az aerodinamikai M_Z és a tehetetlenségi nyomaték $M_{Z\text{ teh}}$ egyenlő. Az állandósult dugóhúzó üzemmódjainak meghatározásához célszerű felrajzolni az M_{ZA} aerodinamikai nyomaték tükörképét is (az ábrán szaggatott vonallal van ábrázolva), így a két görbe metszéspontjában a következő üzemmódokat határozhatjuk meg:

- „A” pontban az állandósult meredek, instabil dugóhúzó;
- „B” pontban a lapos, stabil dugóhúzó üzemmódjai találhatók.

A KIVÉTEL TECHNIKÁJA

Ha a magassági kormányt előre nyomjuk ($\Delta\phi > 0$), akkor a repülőgépen olyan nyomaték keletkezik, melynek hatására az aerodinamikai nyomaték M_{ZA} lefele mozdul el, vagyis értéke nő. $M_{ZA\phi^2}$ (5. ábra pontozott görbe) és ezáltal a tükörgörbéje a tehetetlenségi nyomaték $M_{Z\text{ teh}}$ görbét nem metszi, ami azt jelenti,

hogyan ebben az esetben elégséges zuhanási nyomaték keletkezik, vagyis a repülőgépet ki lehet venni a dugóhúzóból.



5. ábra

Az aerodinamikai és a tehetetlenségi nyomaték az állásszög függvényében

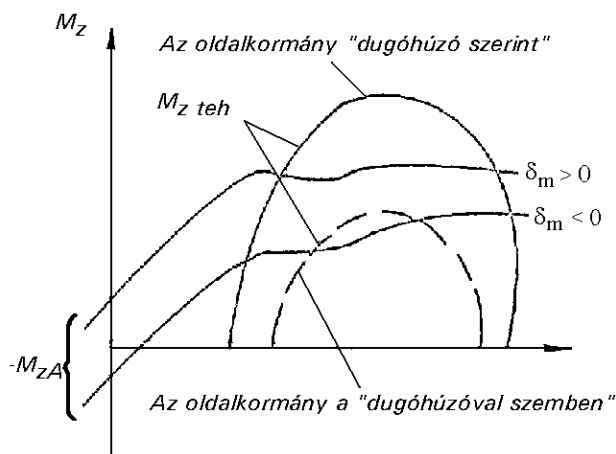
Egyes szélsőséges esetekben (nagy hátsó súlyponti helyzet) előfordulhat, hogy egyedül a magassági kormány kitérítése nem elégséges ahhoz, hogy a repülőgép kijöjjön a dugóhúzóból. Ezért ennél a módszernél hatásosabb módszert dolgoztak ki. A módszer lényege az, hogy először a repülőgép forgási szögsebességét (ω_x ω_y) csökkentik és ezáltal csökken a tehetetlenségi nyomaték $M_{Z\text{ teh}}$ értéke is. Ahhoz, hogy a szögsebességet (ω) le lehessen csökkenteni, az oldal-kormányt (pedált) a dugóhúzó forgási irányával szembe kell kitéríteni. A kitérítés eredményeként a belső félszárnyon csúszás keletkezik, és e csúszás eredményeként olyan erők keletkeznek, melyek fékezik a repülőgép forgását. (6. ábra) Ezen tényezők figyelembevételével a repülőgépek dugóhúzóból történő kivételére szabvány módszereket dolgoztak ki.

A szabvány módszer lépései a következők

- meg kell állapítani a repülőgép forgási irányát (nem szándékos bevitel esetén);

- a forgási szögsebesség, valamint a tehetetlenségi nyomaték csökkentése céljából az oldalkormányt (pedált) a dugóhúzó forgási irányával szembe térítjük ki;
- 2–4 másodperc múlva a magassági kormányt a zuhanás irányába térítjük ki (botkormányt előre nyomjuk);
- a forgás megszűnése után a kitérített kormányokat semleges helyzetbe állítjuk;
- a repülőgépet a dugóhúzóban elvesztett magasság figyelembevételével kivezetjük a zuhanásból.

A kormányszervek kitérésének mértékét és a kitérés közti intervallumot, általában kísérleti úton, a repülőgép berepülései során határozzák meg. A kidolgozott módszereknek egyszerűen végrehajthatóknak kell lenni, és biztosítani kell a dugóhúzóból való kivételt minimális késéssel.

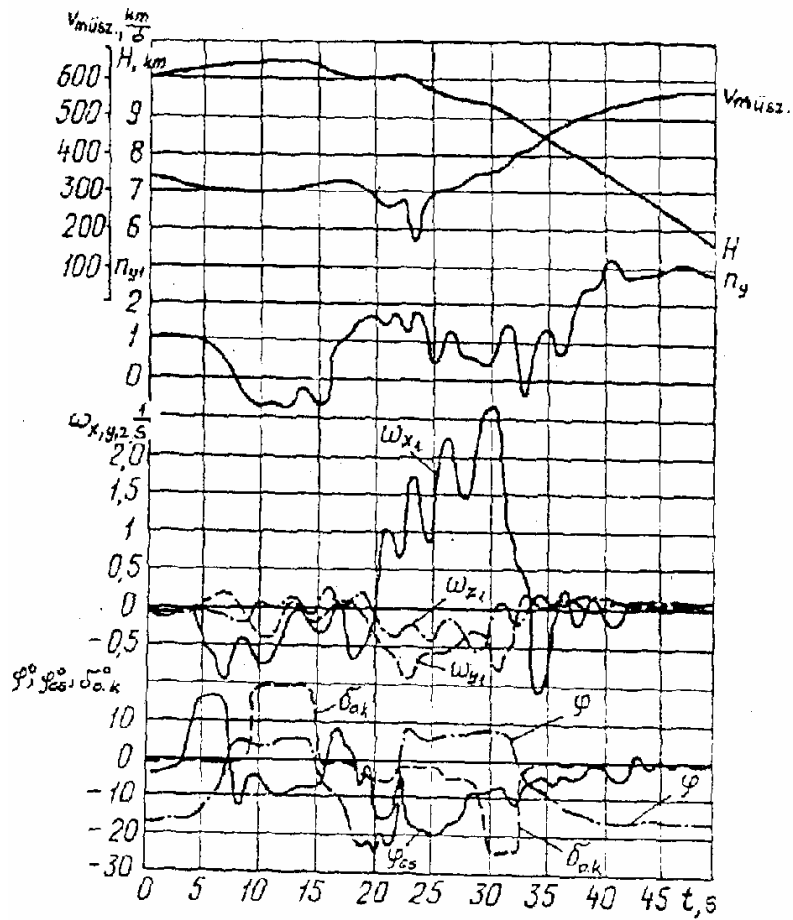


6. ábra

Az oldalkormány kitérésének hatása a tehetetlenségi nyomatéokra

A (7. ábra) a repülőgép mozgásparamétereinek változását szemlélteti egy stabil, meredek dugóhúzóból történő kivétel során. A kivételt a fent említett szabvány kivételi módszerrel hajtották végre. A kormányok kitérésének az irányát és a mértékét a (8. ábra) szemlélteti.

A dugóhúzóból történő kivételt a repülőgép-vezető a 22. másodpercben kezdte meg. A csűrőkormányt jobbra, vagyis a repülőgép forgási irányával megegyező irányba térítette ki (φ_{cs}). Ezáltal stabilizálta a forgást, majd a 29. másodpercben az oldalkormányt (pedált) a forgási iránnyal szembe térítette ki a szögsebesség csökkentése céljából.



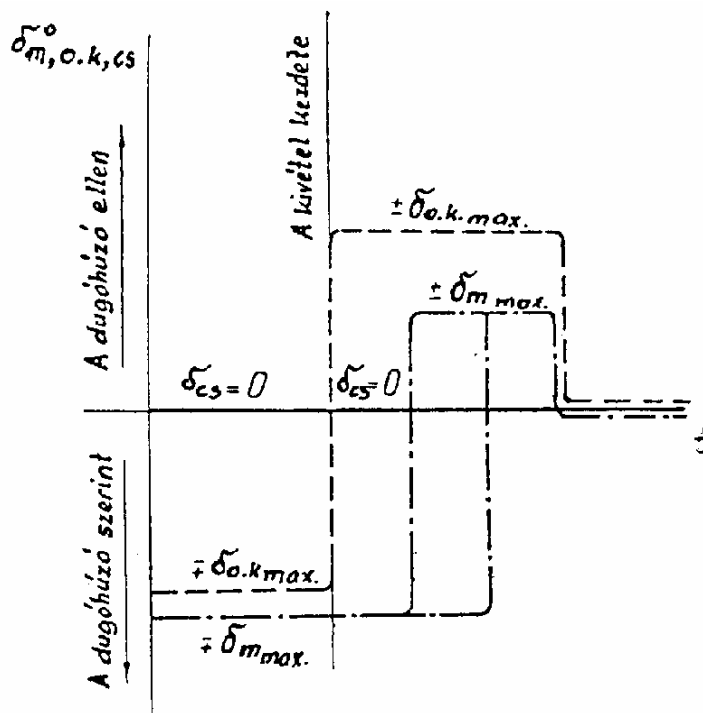
7.ábra

A repülőgép mozgásparamétereinek változása stabil, meredek dugóhúzóból történő kivételkor

A repülőgép forgása a 32–33. másodpercben megállt, és ebben a pillanatban a pilóta a magassági kormányt (φ) a zuhanás irányába térítette ki (a botkormányt intenzíven előre nyomta a semleges helyzet mögé). Ezzel egyidőben a kitérített oldalkormányt (δ_{ok}) intenzíven a semleges helyzetbe állította. A csűrőkormány finom mozgatásával megakadályozta a nem szándékolt keresztirányú bedőlést. Az egész manőver mintegy tíz másodperc alatt zajlott le.

A dugóhúzóban lezajló gyors mozgásparaméter változások, valamint a rendelkezésre álló rövid idő szükségessé teszik azt, hogy a repülőgépvezetők megfelelő szinten ismerjék repülőgépük viselkedését dugóhúzóban, és kellő jártas-

ságra tegyenek szert a dugóhúzóból történő kivétel szabvány módszereinek elsajátításában.



8.ábra

A kormányok kitérítése stabil, meredek dugóhúzóból történő kivételkor

Korszerű repülőgépek viselkedése dugóhúzóban szinte típusonként más és más. Egy adott repülőgép viselkedését dugóhúzóban a repülőgép aerodinamikai kézikönyve, a kivétel szabvány módszerét pedig a légiüzemeltetési utasítás tartalmazza.

Az újonnan kialakításra került repülőgépeken számos technikai újítás segíti a pilótát abban, hogy ne kerüljenek spontán dugóhúzó helyzetbe. A legismertebb ilyen berendezés fény és hangjelzéssel figyelmeztet, ha a repülőgép manőverezés közben eléri a kritikus állásszöget. Vannak olyan berendezések, amelyek megakadályozzák a pilótát abban, hogy a kritikus állásszögnél nagyobb állásszög értéket tudjon beállítani (blokkolják a magassági kormány kitérítését).

ÖSSZEFOGLALÁS

A cikk bemutatta a dugóhúzót mint repülési figurát. Megismerteti az olvasót a dugóhúzó fajtáival, kialakulásának fizikai magyarázatával és a repülőgép viselkedésével dugóhúzóban.

Megvizsgálja a dugóhúzó fontosabb mozgásparamétereinek változásait. Végezetül pedig a dugóhúzóból történő kivétel szabvány módszerét ismerteti. A cikk szerzői a téma feldolgozásával segítséget kívántak nyújtani a záró, valamint a TDK- dolgozatok elkészítéséhez.

FELHASZNÁLT IRODALOM

- [1] A. M. TARASZENKOV, V. G. BRAGA, V. T. TARANENKO: Dinamika poljota i bojevogo manevrirovanija letatelnih apparatov, Moszkva, 1984.
- [2] Prakticseszkaja aerodinamika manyevrennih szamoljotov, Moszkva, 1997.
- [3] A. E. KOROVIN, J. F. NOVIKOV: Prakticseszkaja aerodinamika poljota szamoljotov JAK-52, Moszkva, DOSZAAF, 1989.

Spin is to be one of the most sophisticated forms of aircraft's moving. That is why in this article we have tried to describe briefly the attitude of the aircraft during such circumstances of flying. We outlined the changes of aircraft movement's parameters and characterized the standard way of taking the aircraft out of spin.