

Békési László mk. ezredes  
Főiskola parancsnok I. helyettes

## A TÚLTERHELÉS SZERINTI KIS STABILITÁSSAL RENDELKEZŐ MEREVSZÁRNYÚ REPÜLŐGÉPEK NÉHÁNY JELLEMZŐ TULAJDONSÁGA

### Bevezetés

A repülőgép tervezőket az utóbbi években egyre jobban foglalkoztatja a túlterhelés szerinti kis stabilitási tartalékkal rendelkező esetleg instabil gépek tervezése. Tekintet nélkül az ilyen repülőgépek egy sor repülési tulajdonságára és kormányozhatóságára sok országban ma is foglalkoznak a tervezésükkel. A fő ok, amely e tekintetben a tervezőket foglalkoztatja, a kis stabilitással rendelkező gépek létrehozásában az a törekvés, hogy a lehető legjobb repülési jellemzőkkel és főleg nagyon jó manőverező képességgel rendelkezzen a repülőgép.

### 1. A túlterhelés szerinti stabilitás vizsgálata

Számos kísérlet bizonyítja, hogy a túlterhelés szerinti stabilitás és a bevezetőben említett tulajdonságok között meghatározott kapcsolat van. A lényeg megértéséhez vegyük a következő modellt.

A repülőgép hosszirányú kiegyensúlyozása olyan, hogy az a túlterhelés szerint stabil, vagyis az aerodinamikai centrum (AC) vagy másképpen a fókuszpont a súlypont mögött helyezkedik el. A vizsgálat további egyszerűsítéseként tételezzük fel, hogy a hajtómű tolóerő vektorának hatásvonala átmegy a repülőgép súlypontján, a szárnymetszet és annak aerodinamikai kialakítása úgy van megválasztva, hogy a nyomásközéppont egybeesik a fókusz (AC) ponttal.

Ebben az esetben, ha a stabilizátor semleges helyzetben van a repülőgép felhajtóerő  $\vec{F}_n$  vektorának hatásvonala (1. ábra) a fókuszponton megy át és a súlypont körül egy olyan nyomatékot hoz létre, amely a repülőgépnek az állásszögét csökkenti.



E nyomaték kiegyensúlyozása céljából a stabilizátort úgy kell kitéríteni, hogy a rajta keletkező felhajtóerő növekmény  $\overline{\Delta F_{y_{\text{a}}}}$  által létrehozott nyomaték nagysága megegyezzen az  $\overline{F_{y_0}}$  erő nyomatékával, iránya pedig ellentétes legyen.[3.,7.]

A stabilizátoron létrehozandó szükséges felhajtóerő növekményt  $\overline{\Delta F_{y_{\text{a}}}}$  nagyságát a következő egyensúlyi feltételből állapíthatjuk meg (lásd 1.ábrát):

$$\overline{\Delta F_{y_{\text{a}}}} \cdot L = -F_{y_0} (x_F - x_{sp}) \quad (1)$$

ahonnan

$$\overline{\Delta F_{y_{\text{a}}}} = \frac{F_{y_0}}{L} (x_{sp} - x_F) \quad (2)$$

Ez utóbbi egyenlet jobb oldalát megszorozva és elosztva a közepes aerodinamikai húrral  $h$ , kapjuk

$$\overline{\Delta F_{y_{\text{a}}}} = F_{y_0} \frac{h}{L} (\bar{x}_{sp} - \bar{x}_F) \quad (3)$$

ahol:

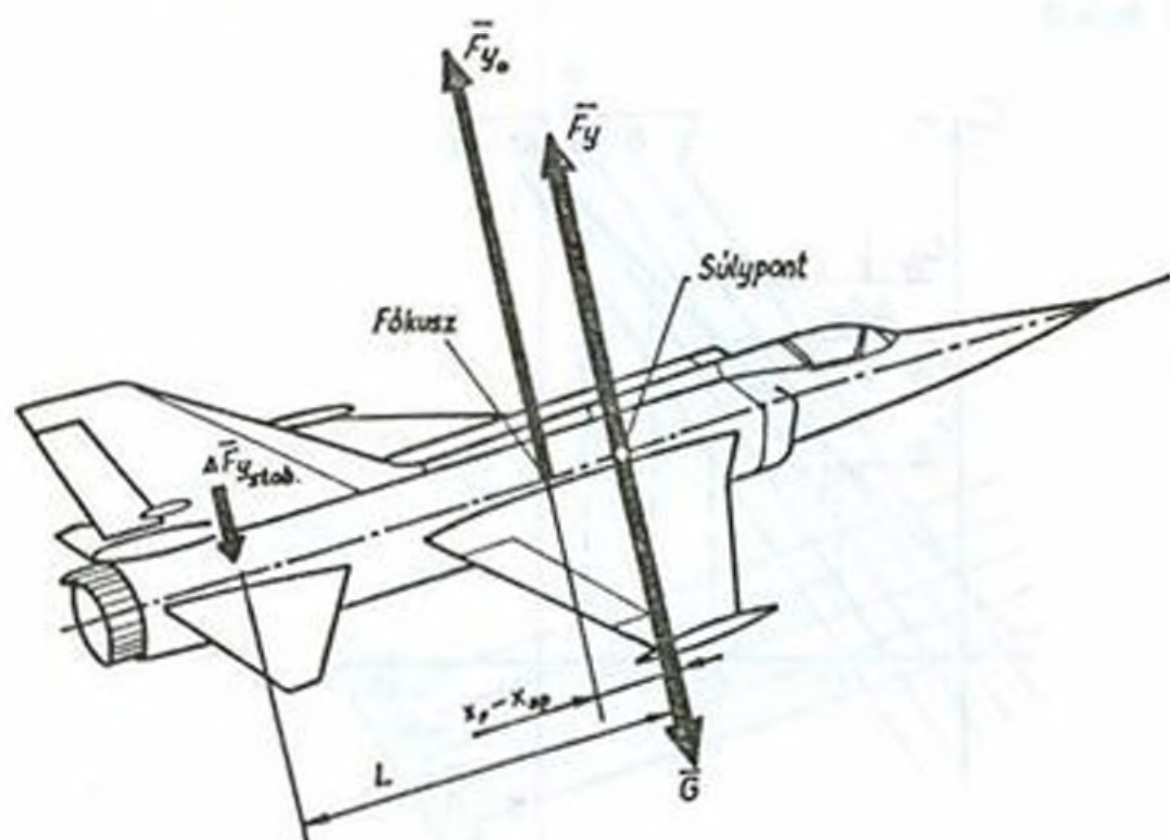
$$\bar{x}_{sp} - \bar{x}_F = \frac{x_{sp}}{h} - \frac{x_F}{h} \quad - \text{ a súlypont és a fókuszpont közötti}$$

viszonyított távolság, amely egyúttal a túlterhelés szerinti statikus stabilitást jellemzi.

Mivel a túlterhelés szerint stabil repülőgépnél az  $\overline{F_{y_0}}$  és  $\overline{\Delta F_{y_{\text{a}}}}$  erők irányai ellentétesek az eredőjük nagysága  $F_y$ , a különbségükből adódik

$$F_y = F_{y_0} - \overline{\Delta F_{y_{\text{a}}}} \quad (4)$$

Kiegyensúlyozottság esetén az  $\overline{F_y}$  hatásvonala (kielégítve a (3) egyenlettel leírt feltételt) átmegy a repülőgép súlypontján (lásd 1.ábrát). Ilyenképpen a túlterhelés szerint stabil repülőgép hosszirányú kiegyensúlyozottsága a létrejövő eredő felhajtóerő nagyságának csökkenését eredményezi.



1. ábra  
A repülőgépre ható erők

A gép súlyerejével egyensúlyt tartó felhajtóerő  $\vec{F}_y$  nagyságának létrehozása céljából tehát növelni kell a repülőgép állásszögét, mely a stabilizátor további kitérítésével érhető el.[1.,4.]

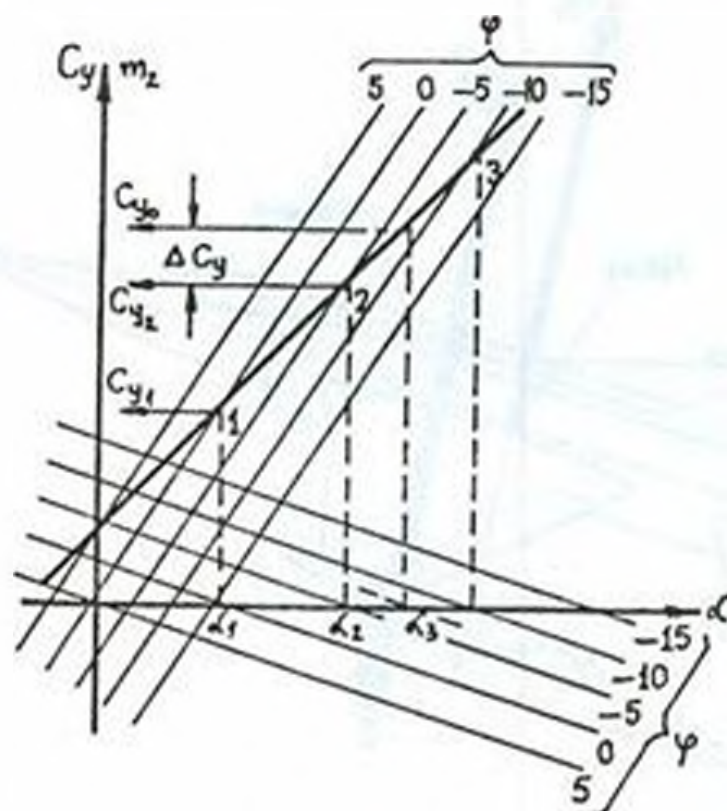
Ez utóbbiakból következik, hogy a repülőgép hosszirányú kiegyensúlyozottságát két jelenség kíséri. Egyrészt csökken az erő felhajtóerő  $\vec{F}_y$ , másrészt a stabilizátor kitérítésének szükséges mértéke növekszik. Mindez a 2. ábrából egyértelműen kiolvasható.

A 2. ábrán a stabilizátor különböző  $\varphi$  szöggel való kitérítésekor a repülőgép felhajtóerő tényezőjének  $C_L$  változása és a hosszirányú nyomatéki tényező  $m_x$  változása látható az állásszög  $\alpha$  függvényében.

Ha a repülőgép a keresztengely körüli (hosszirányú) nyomatékok tekintetében kiegyensúlyozott akkor  $m_x = 0$  kell, hogy legyen.[2]



A 2.ábrából leolvasható a stabilizátor különböző kitéritési szögeihez  $\varphi$  tartozó repülőgép állásszög és az ehhez tartozó felhajtóerő tényezők, melyeknél  $m_x = 0$ .



2.ábra  
A felhajtóerő tényező és a nyomatéki tényező változása az állásszög függvényében

Igy, ha a stabilizátor nincs kitérítve ( $\varphi = 0$ ) az ehhez tartozó és a kiegyensúlyozást biztosító állásszög  $\alpha_1$  ez utóbbihoz tartozó felhajtóerő tényező pedig  $C_{y_1}$ . Hasonlóképpen a  $\varphi = -5^\circ$  (emelkedés) esetén, a hozzátartozó állásszög és felhajtóerő tényező legyen  $\alpha_2$  illetve  $C_{y_2}$ . Az így megkeresett  $C_y$  értéket jelöljük 1, illetve 2 ponttal.

E két ponton átmenő egyenes ábrázolja a felhajtóerő tényező változását az állásszög függvényében, figyelembe véve a hosszirányú kiegyensúlyozottságot. Mint a 2.ábrából látható a repülőgép hosszirányú kiegyensúlyozottságának feltételei a  $C_y = f(\alpha)$  egyenes iránytangensének csökkenését vonja maga után. Ez utóbbi azt jelenti, hogy a repülőgép keresztengely körüli kiegyensúlyozottságát a felhajtóerő csökkenése követi, amely a manőverező képesség jellemzőit rontja. A felhajtóerő tényező  $C_y$  annál jobban csökken minél nagyobb a repülés állásszöge.



Adott túlterheléssel történő manőver végrehajtásakor a  $C_y = C_{y_0}$  egyenlőség megtartásához a stabilizátort  $\varphi = -5^\circ$  - ról  $\varphi = -7^\circ$  - ig ki kell téríteni, az állásszöget pedig  $\alpha_2$  - ról  $\alpha_1$  - ra kell növelni.

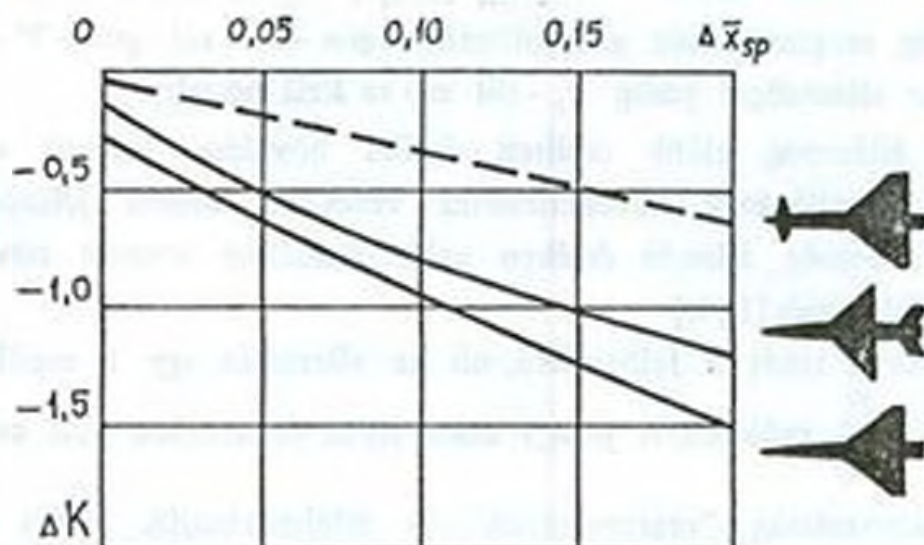
Az állásszög előbb említett értékű növelése viszont a repülőgép homlok ellenállásának növekedéséhez vezet. Ez utóbbi jelenség miatt a repülési sebesség állandó értéken való tartásához viszont növelni kell a hajtómű tolóerejét.[1.,4.]

Csökken tehát a felhajtóerő, nő az ellenállás így a repülőgép jósági száma  $K = \frac{F_y}{F_x}$  csökken. A jósági szám ilyen értelemben vett csökkenését a kiegyensúlyozottság "veszteségének" is értelmezhetjük. Minél nagyobb a túlterhelés szerinti stabilitás, azaz minél nagyobb a távolság a fókuszpont és a súlypont között annál nagyobb negatív irányú felhajtóerőt kell létrehozni a stabilizátoron a hosszirányú kiegyensúlyozottság létrehozása érdekében. E folyamat oda vezet, hogy romlanak a repülőgép olyan fontos repülési jellemzői, mint a manőverező képesség, a repülési távolság és a repülési időtartam. Különösen nagyok a kiegyensúlyozottság "veszteségei" a csúszárny repülőgépeknél, melyeknél a hosszirányú kormányzást a csűrőkormányok segítségével valósítják meg, melyek viszonylag kicsi  $\frac{L}{h}$  viszonyal (1) rendelkeznek.

Példaként a különböző kialakítású repülőgépek esetében a 3. ábrán látható a túlterhelés szerinti stabilitás növekedése, hogyan hat a kiegyensúlyozottság "veszteségeire"  $\Delta K$ .

Azonos feltételek mellett a  $\Delta K$  legnagyobb értékei a hangsebesség feletti repülési sebességek esetén várhatók, ahol is a hangsebesség alatti repülési sebesség hangsebesség felettivé válik. A szárny körüláramlása átrendeződik, az aerodinamikai centrum (fókusz) hátrábbra helyeződik és a túlterhelés szerinti stabilitás megnő. A  $\Delta K$  értékét a szerkezeti kialakítás kedvezőbb megválasztásával (a szárny felülnézeti alakjának helyes kiválasztásával, úgynevezett destabilizátor alkalmazásával, a tüzelőanyag kifogyasztás sorrendjének szabályozásával) csökkenteni lehet. Így a hangsebesség alatti és a hangsebesség feletti repülési sebességek esetén lehetséges körülbelül állandó, azonban viszonylag nem nagy értékű túlterhelés szerinti stabilitási tartalékot létrehozni. [5]





3.ábra

Aerodinamika jósági tényező változása  
a hosszirányú kiegyensúlyozottság függvényében  
különböző repülőgép kialakításoknál

Ugyanakkor a gyakorlati megvalósítás során számos nehézség adódhat, melyeket megoldani nem mindig lehet sikeresen.

Ilyenkor a tervezők a megoldáshoz az egyszerűbb utat választják, vagyis nagyobb stabilitási tartalékokat terveznek a fókuszpont hátrább helyezésével a hangsebesség feletti repülési sebességeken, ami persze maga után vonhatja a nem megfelelő túlterhelés szerinti stabilitást a transzszónikus zónában és természetesen a kormányzásban is egy sor sajátosság figyelembe vételét eredményezheti.

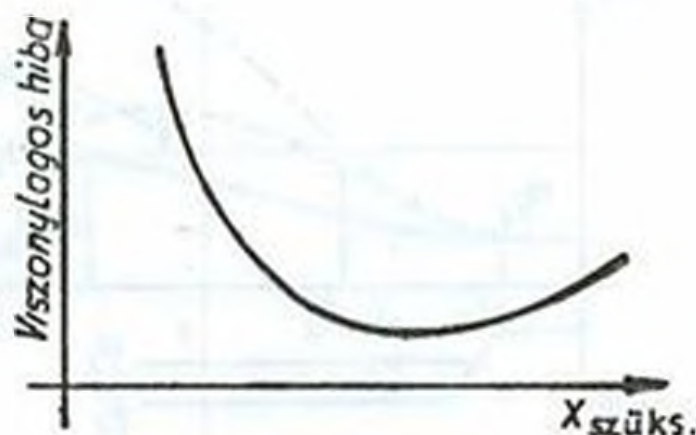
Mivel a kormányzás érzékenysége megnő, a stabilizátor kitérítése nagyobb figyelmet követel a repülőgépvezetőtől.

A 4.ábrán az látható, hogy a repülőgépvezető által a viszonylagosan megengedhető hiba  $\frac{x - x_{stb.}}{x_{stb.}}$  hogyan függ a szükséges  $x_{stb.}$  botkormány elmozdítás függvényében.

Kis  $x_{stb.}$  botkormány kitérítések esetén a viszonylagos hiba meredeken növekszik. Vagyis a stabilizátor viszonylag kis kitérítéseit a repülőgépvezető nehezen tudja megbecsülni, összehasonlítani a szükséges mértékkel, azaz arra kényszerül hogy többször egymás után mozgassa a



botkormányt kis mértékben egyik majd a másik irányba. Ez pedig a repülőgép lengését eredményezheti.



4.ábra

A repülőgépvezető viszonylagos hibájának a szükséges botkormány kitérítés függvényében

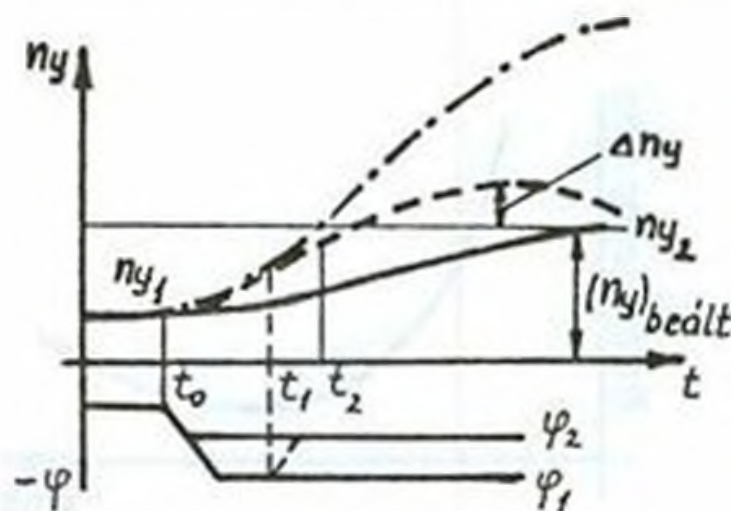
Természetesen a stabilizátor kitérítésére - amely egy másik repülési üzemmódra való áttéréshez szükséges - a repülőgép nem azonnal reagál, hanem csak egy meghatározott idő elteltével. A késés annál nagyobb, minél kisebb a hosszirányú túlterhelés szerinti stabilitás.[5.,6.]

Tételezzük fel, hogy repülés közben a gép hosszirányú kiegyensúlyozásához  $n_1$  túlterhelés esetén a stabilizátort  $\varphi_1$  szöggel való kitérített helyzetben kell tartani. Egy másik  $n_2$  túlterhelésre való áttéréshez a  $t_0$  időpillanatban a repülőgépvezető kitéríti a stabilizátort  $\varphi_2$  helyzetbe (5.ábra).

Kis stabilitással rendelkező gép esetében az idő függvényében a túlterhelés az 5.ábrán a folyamatos vonallal ábrázolt módon fog változni. Az  $n_1$  -ről  $n_2$  -re való áttérés gyorsítása érdekében a repülőgépvezető  $\varphi_2$  helyzetben kell, hogy kitérítse a stabilizátort ( $\varphi_2 > \varphi_1$ ). Ekkor a túlterhelés a pont - vonal szerint változik. Látható, hogy a  $t_2$  időpillanatban a túlterhelés eléri a kívánt  $n_2$  értéket. Ahhoz, hogy ez ne növekedjen tovább a repülőgépvezetőnek pontosan a  $t_1$  időpillanatban a stabilizátort vissza kell állítania  $\varphi_2$  helyzetbe. Ekkor a túlterhelés a szaggatott vonallal ábrázolt módon változna. Látható tehát, hogy az átmeneti folyamatban túllendülés jön



létre. E túllendülés elkerülése érdekében a botkormányt újból ki kell téríteni majd legvégül a  $\varphi_2$  helyzetbe állítani a stabilizátort.



5. ábra

A túlterhelés változása a stabilizátor kitérítésének függvényében kis stabilitású gépnél

Az elmondottakból következik, hogy a túlterhelés szerinti kis stabilitási tartalékkal rendelkező repülőgépeknél nehéz a botkormány kis kitérítéseit és a repülőgép erre való gyors reagálását nem is olyan könnyű megvalósítani, ráadásul hol az egyik, hol a másik irányba kénytelen a repülőgépvezető a botkormányt mozgatni.

Sőt a repülőgép véletlenszerű túllendülésének feltételei is bekövetkeznek, amely a kis stabilitással rendelkező repülőgépek egyik jellemzője. Így a szuperszónikus repülőgépeknél a hangsebesség alatti repülési sebességek esetén, különböző függesztmények felhelyezésekor a túlterhelés szerinti stabilitás csökkenhet, sőt adott esetben indifferenssé válhat.

## 2. Túlterhelés szerinti instabilitás

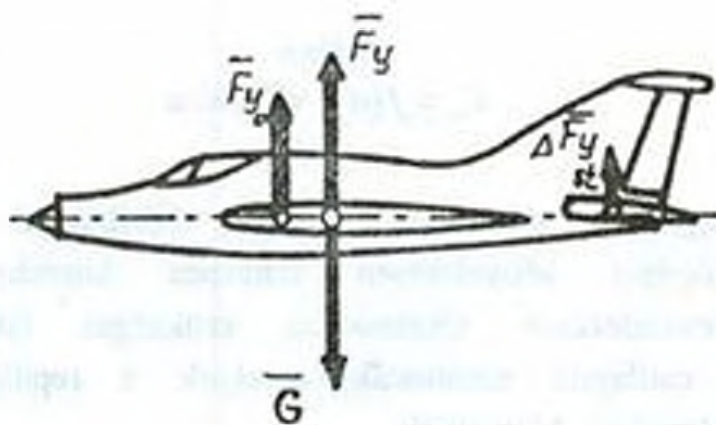
A túlterhelés szerint stabil repülőgépeknél az állásszög növekedésével a felhajtóerő és ezzel a stabilizáló nyomaték is növekszik, amely az állásszögnövekedés ellen hat. Ennek következtében a stabilizátor kitérítésekor a repülőgép szinte saját maga megtalálja a



kiegyensúlyozottsághoz szükséges állásszöget, amely a korábbi stabilizátor kitérítéséhez tartozik.

Teljesen másképp viselkedik a túlterhelés szerint instabil repülőgép, amelynél a súlypont a fókuszpont mögött helyezkedik el. Ilyen esetben állásszögnövekedés esetén a megnövekedett felhajtóerő nyomatéka a kereszt tengely körül úgy fordítja el a repülőgépet, hogy az állásszög tovább nő. [5., 7.]

Ezért a túlterhelés szerint instabil repülőgépek kormányzásánál a repülőgép vezetőnek kettős mozgást kell elvégeznie a botkormányval. Először elmozdítja az állásszögváltozásnak megfelelően (maga felé állásszög növeléshez, előre pedig állásszög csökkenéshez), ezután ahogy az állásszög közeledik a kívánt értékhez nem csak az eredeti (kiindulási) helyzetbe kell állítania a botkormányt, hanem a kiegyensúlyozottsági helyzet eléréséhez az ellentétes irányba kell elmozdítania.



6. ábra

Az instabil repülőgépre ható erők

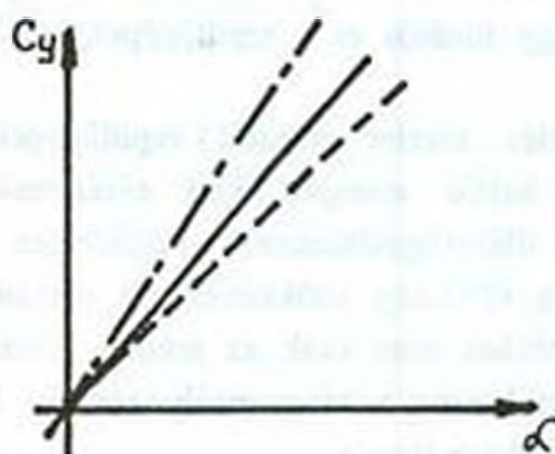
A kormányzás bonyolultságától eltekintve az ilyen instabil repülőgépnek van azonban egy fontos előnye a stabil géphez viszonyítva. A kiegyensúlyozás elérése érdekében a stabilizátoron létrehozott  $\Delta F_{y_{st}}$  felhajtóerő vektorának iránya megegyezik a szárny felhajtóerejének irányával (6. ábra).

Ennek köszönhetően a hosszirányú kiegyensúlyozottság a repülőgép felhajtóerejének növekedéséhez vezet.

$$F_y = F_{y_0} + \Delta F_{y_{st}} \quad (5)$$



Amennyiben a felhajtóerő tényező az állásszögváltozás függvényében kitérítetlen stabilizátor esetén a folyamatos vonallal ábrázolt módon változik (7.ábra), akkor a hosszirányú kiegyensúlyozottság figyelembe vételével stabil gép esetén a szaggatott vonallal, az instabil gép esetén pedig a pontvonallal ábrázolt törvényszerűség szerint változik.



7.ábra  
 $C_y = f(\alpha)$  változása

Ahhoz, hogy kis túlterhelés szerinti stabilitással rendelkező vagy instabil repülőgépet kényelmesen lehessen kormányozni különböző automatikus berendezések alkalmazása szükséges (stabilitást biztosító automaták és csillapító automaták), amelyek a repülőgépek megkívánt dinamikai tulajdonságát biztosítják.

Ekkor kézi kormányzás esetén bekapcsolódnak az automatikus vezérlési rendszer elemei, amelyek javítják a repülőgép dinamikai tulajdonságait.

#### Felhasznált irodalom

- [1] - Pricker D. M., Szaharov G. I., Aerodinamika, Masinosztrójnyie, Moszkva, 1968.
- [2] - Dr. Rác Elemér, Repülőgépek, Tankönyvkiadó, Budapest, 1968.
- [3] - Tudkov A. I., Lesakov P. Sz., Vnyesnyije nagruzki i procsnoszty letatyelnih apparatov, Masinosztrójnyie, Moszkva, 1968.



- [4] - Liszenko N. M., Praktyicseszskaja aerodinamika manyovrennih szamoljotov, Voennoe izdatyelysztvo, Moszkva, 1977.
- [5] - Kotik M. G., Krityicseszskije rezsimi szverhzvukovovo szamoljota, Masinosztrojenyije, Moszkva, 1967.
- [6] - Mihaljov I. A., Okoemov B. I., Pavlina I. G., Csikulajev M. Sz., Kisziljov J. F., Sziszyemi avtomatyicseszskovo i direktornovo upravlenyija szamoljotom, Masinosztrojenyije, Moszkva, 1974.
- [7] - Liszenko N. M., Eszli szamoljot malousztojcsiv, Aviacija i koszmonavtyika, Voenizdat, Moszkva, 1975. N<sup>o</sup>.1.



