

Horváth Dezső

repülést gyakorló állomásparancsnok  
59. Szentgyörgyi Dezső Harcászati Repülőezred

#### A REPÜLŐGÉP STABILITÁSA ÉS KORMÁNYOZHATÓSÁGA.

A cikk a repülőgépek stabilitásával és kormányozhatóságával foglalkozik. Megadja a statikus és dinamikus stabilitás jellemzőit. Elvégzi a hosszirányú statikus stabilitás és kormányozhatóság elemzését. Tárgyalja a kicsi és a nagy hosszirányú mozgás fejlődését. Röviden foglalkozik az oldalirányú stabilitással és kormányozhatósággal. [1,2,3,4,5,6]

#### Bevezetés

A korszerű repülőgépek repülési sebesség és magasság tartományának jelentős működését stabilitásuk és kormányozhatóságuk jellemzik.

A magasság növekedésével csökkenek a csillapító nyomatékok, ami az egyensúly megbomlásakor úgy a hossz- mint a keresztirányú mozgások gyengén csillapodó ingadozásával jár együtt. Nagy magasságokon az egyik repülési üzemmódról a másikra való áttérés a mozgás paramétereinek erős ugrásaival jár együtt. Ez megnehezíti a repülőgép pontos kormányzását, valamint néhány esetben veszélyes is lehet (a hullámozgás, vagy a megengedett üzemmódok elérésének lehetősége miatt). Néhány repülési üzemmódon a repülőgép instabillá válhat (pl. az  $M = 1$ -hez közel eső  $M$ -szám<sup>1</sup> tartományban történő repüléskor a repülőgép sebesség szerinti stabilitással nem rendelkezik, némelykor még a keresztstabilitását is elveszítheti).

---

<sup>1</sup> Mach, Ernst (1838-1916): osztrák fizikus és szubjektív idealista filozófus; akusztikával, optikával és mechanikával foglalkozott. Mach-szám: áramlási jelenségekre jellemző viszony-szám.



Nagy hangsebesség feletti sebességeken lényegesen csökken az útirány szerinti stabilitás, ami a repülőgép aerodinamikai különlegességeivel párosulva a hossz- és keresztirányú mozgás kedvezőtlen összefüggéseinek korábbi és erős megjelenését, tehát a repülőgép dinamikus tulajdonságainak romlását segíti elő.

Hangsebesség feletti sebességről hangsebesség alattira történő áttéréskor hirtelen csökken a túlterhelés szerinti stabilitás (ez a jelenség némely repülőgépnél nagy állásszögek létrehozásakor is megfigyelhető).

A repülőgép stabilitási és kormányozhatósági jellemzőinek repülés közbeni változása azt követeli, hogy a repülőgépvezető pontosan ismerje a változás jellegét és azokat figyelembe tudja venni a kormányzás megvalósításában.

### 1. Egyensúly, stabilitás, kormányozhatóság.

[1, 2, 3, 4]

Az egyenesvonalú, egyenletes repülés végrehajtásának első és alapfeltétele a repülőgép egyensúlyának vagy kiegyensúlyozatlanságának biztosítása, amit a repülőgépvezető a kormánysszervek segítségével valósít meg. A repülési üzemmódot a sebesség ( $v$ ), a magasság ( $H$ ), az állásszög ( $\alpha$ ), a csúszási szög ( $\beta$ ), a bedöntési szög ( $\gamma$ ), a bólintási szög ( $\theta$ ), stb. jellemzi.

Hosszantartó repülések esetén kevés csak a repülőgép egyensúlyát létrehozni, a stabilitást is biztosítani kell (pl. a légkör nyugtalanságának hatására a repülőgépvezető által létrehozott egyensúly megbomolhat).

*A repülőgép stabilitása.* [4, 5, 6]

A repülőgépnek azt a tulajdonságát, amikor valamilyen külső ok hatására megbomlott egyensúlyát kiinduló helyzetbe való visszatéréssel korrigálja - a repülőgép stabilitásának nevezzük.



A stabilitás vizsgálatához a következőket kell megállapítani; a repülőgépre ható erők és nyomatékok változását a külső behatásokra. A repülőgép stabil, ha ezek az erők és nyomatékok úgy változnak, hogy a repülőgép a repülőgépvezető által beállított üzemmódra tér vissza. A stabilitást a stabilitási jelleggörbékkel jellemezzük. A repülőgép annál jobb stabilitás jelleggörbékkel rendelkezik, minél kevéssé tér el a megadott pályától és minél gyorsabban tér vissza ahhoz, külső zavarás hatására (a repülőgépvezetők mondják - "a repülőgép jobban fekszik a levegőben").

A stabilitás vizsgálatokor a következőket feltételezzük: először létre kell hozni az egyensúlyt (a stabilitás jellemzője az egyensúly); másodsor számolni kell a repülőgépvezető tevékenységével. Általában feltételezzük, hogy a repülőgépvezető az egyensúly megbomlásakor nem avatkozik be a kormányzásba (reális repülésben ez a feltétel nincs betartva, mivel a repülőgépvezető időnként beavatkozik a kormányzásba és helyesbítéseket alkalmaz, így gyorsabban visszatér a kiindulási helyzetbe).

Az instabil repülőgépeken a repülőgépvezetőnek állandóan be kell avatkoznia a kormányzásba, korrekciókat végrehajtani.

#### *Kormányozhatóság. [2, 3, 4]*

A repülőgép reagálási képességét a kormányszervek mozgására a repülőgép kormányozhatóságának nevezzük.

A kormányozhatóság a repülőgép repülésének lehetőségét meghatározó legfontosabb jellemző. Kormányozhatatlan repülőgéppel repülni lehetetlen. A jól kormányozható repülőgépről a repülőgépvezetők azt mondják, hogy "jól megy a bot után".

A repülőgépvezetőnek egyszerű kormányozdulatokat kell végrehajtani a szükséges manőverek elvégzéséhez. A kormány-



szervekre nem nagy, de pontosan érezhető erőket kell kifejteni. Ezekre a repülőgép térbeli helyzetének felesleges késedelem nélküli változtatásával felel.

Következtetés. A repülőgép stabilitása és kormányozhatósága egymással ismert mértékben ellentétesek. A stabilitás a repülőgép azon tulajdonsága, hogy megtartja a megadott repülési üzemmódot, a kormányozhatóság pedig igyekszik megváltoztatni azt. Ezzel együtt a két jellemző között a legszorosabb kapcsolat van.

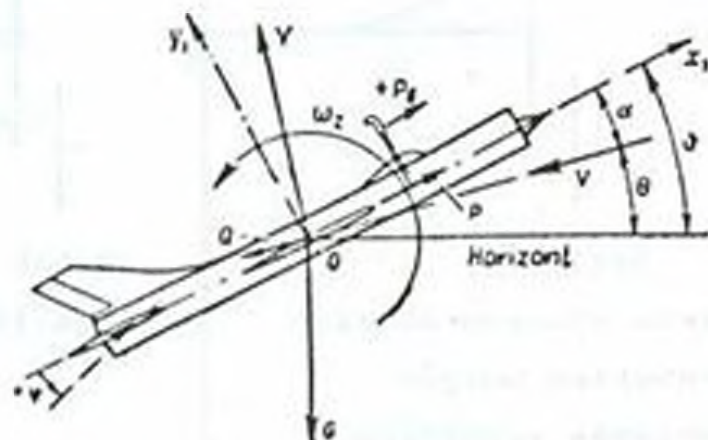
A stabilitás és kormányozhatóság közötti szoros kapcsolat a következőkben nyilvánul meg: a repülőgép stabilitásának növelésével, egyéb változatlan feltételek mellett a repülési üzemmód megváltoztatásához szükséges kormánykitérítési szögek nőnek. Így a kormányzókat nagyobb mértékben kell elmozdítani és nagyobb erőt kell kifejteni rájuk.

Ha ezek az erők nagyok, akkor a repülőgépvezető hamar kifárad, az ilyen repülőgépekre azt mondják, hogy "nehéz a vezetése". Akkor is nehéz kormányozni ha a kormánykitéréshez szükséges erők túl kicsik, az ilyen repülőgépről mondják, hogy "szigorú a kormányzásban".

A kis stabilitású, különösen az instabil repülőgépeken a repülési üzemmódot kettős kormányozdulatokkal kell változtatni (a botkormányt először a kívánt üzemmód változtatás irányába, majd a kis stabilitású repülőgépeken kissé visszafelé mozgatják az új üzemmód rögzítés céljából, az instabil repülőgépeken pedig még a kezdeti helyzeten túlra is elmozdítják).

A repülőgép stabilitásának csökkenését egyik oldalról a szükséges kormánykitérés és az ehhez szükséges erők csökkenése, másfelől a repülőgépvezetés bonyolódása kíséri.

A repülőgép stabilitásának és kormányozhatóságának vizsgálatakor célszerű az  $Ox_1y_1z_1$  szárnyhúrral (1.sz. ábra) kapcsolatos koordináta rendszert alkalmazni.



1.sz. ábra

## 2.A repülőgép stabilitásának elemzése.

A stabilitás lényegében a repülőgép egyenetlen<sup>2</sup> (perturbált) mozgásának jellegében mutatkozik meg.

A stabil repülőgépeknél az egyenetlen mozgásnak csillapodónak (aperiódikusnak vagy periódikusnak) kell lennie.

Az erőhatásokra közömbös repülőgépek jellemző vonása, hogy nem reagálnak a csillapodásra vagy a zavarok időbeni növekedésére való törekvés a jellemző.

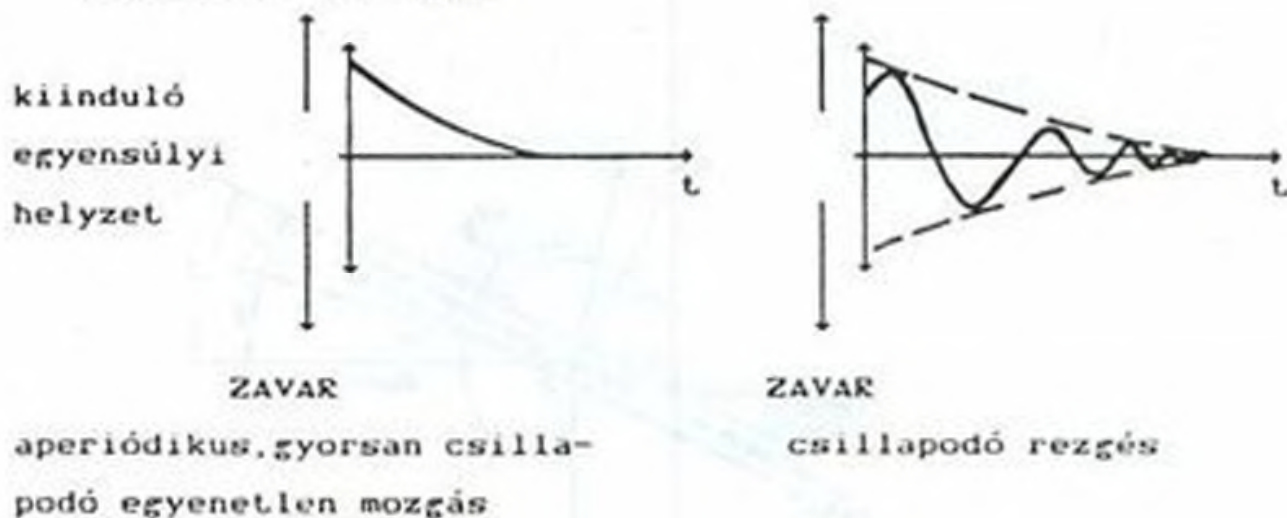
---

<sup>2</sup>Az egyenetlen mozgás, mind a repülőgépvezető tevékenységével (kormány szervek kitérítése, gázkar kezelése, törzsféklapok alkalmazása, lovészet, rakéta indítás, stb), mind pedig a légkör állapotával (turbulenciájával) magyarázható.

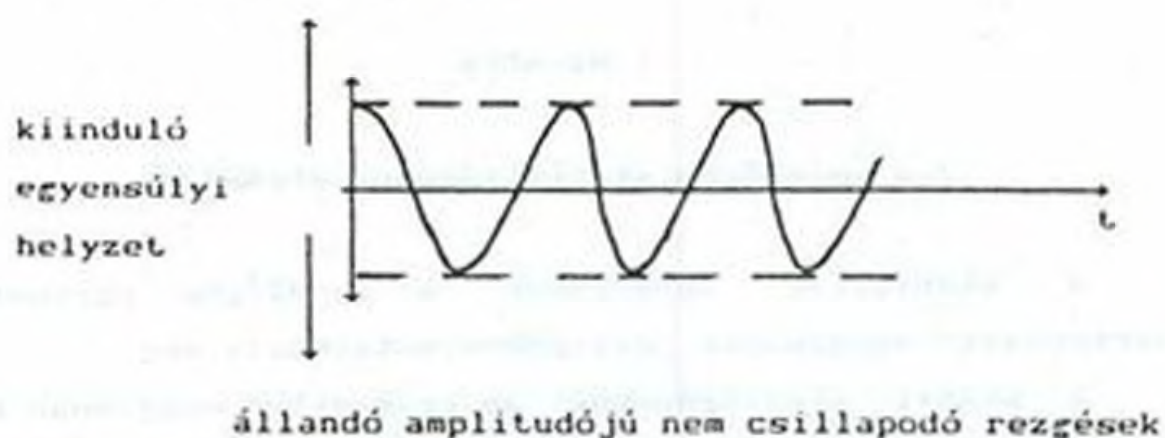


A különböző stabilitási fokú repülőgép egyenetlen mozgásának lehetséges változatai a 2.sz. ábrán látható.

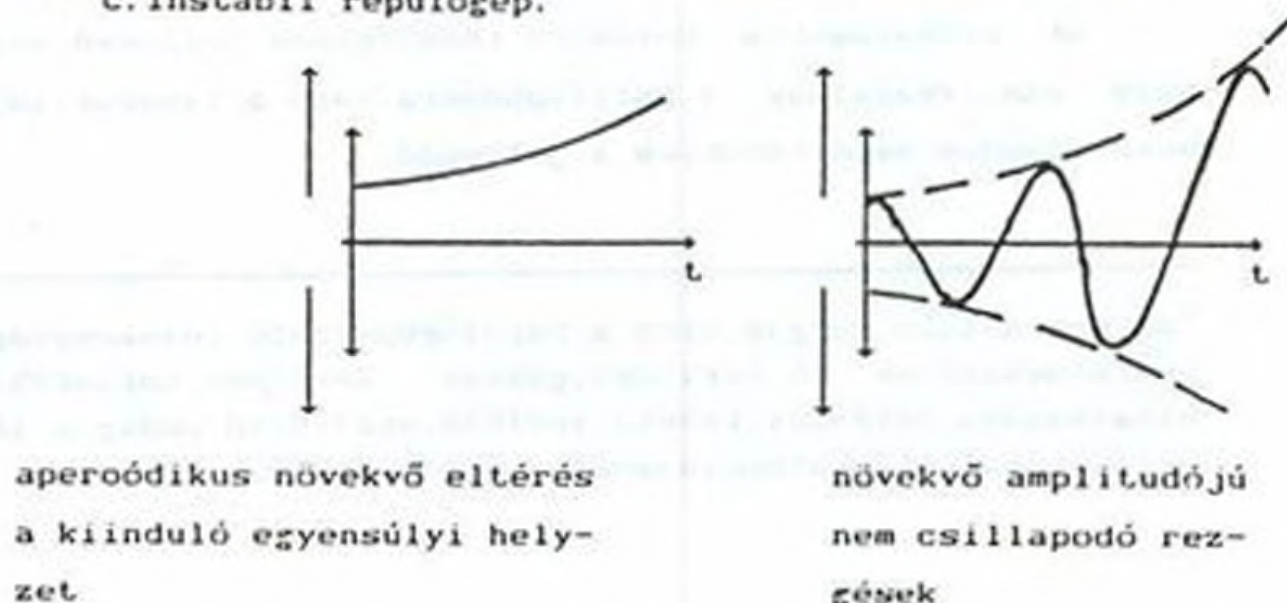
a. Stabil repülőgép.



b. Semleges repülőgép.



c. Instabil repülőgép.



2. sz. ábra



A repülőgép stabilitásának foka határozza meg a repülőgép egyenetlen mozgásának dinamikáját és a kiegyensúlyozási alapüzemmódra való visszatérés jellegét. Ezért a repülőgép stabilitását néha dinamikai stabilitásnak is nevezik. A repülőgép stabilitása attól függően változik, hogy az egyenetlen mozgás folyamán rögzített vagy szabad helyzetben lesznek-e a repülőgép kormányzervei. A kormányok felengedésekor<sup>3</sup> általában kissé csökken a repülőgépek stabilitása.

A stabilitás elméleti elemzésekor rendszerint a repülőgépvezető és a kormányzás között két lehetséges kapcsolati formát vizsgálnak: a kormány rögzített és felengedett helyzetben való esetét. Így beszélünk a repülőgép stabilitásáról rögzített és felengedett kormányhelyzetben<sup>4</sup>.

A repülőgép stabilitását hossz- és oldalirányú stabilitásra oszthatjuk fel. Hasonlóan, beszélhetünk a repülőgép hossz- és oldalirányú kormányozhatóságáról is. A felosztás alapját a repülőgép szimmetrikus formája képezi, annak függőleges síkjához (a szimmetriasíkhöz) viszonyítva.

A repülőgépnek mindhárom tengelyéhez viszonyítva stabilnak kell lennie.

A stabilitás a repülőgép jobb kormányozhatóságához szükséges, ami a repülőgépvezetés folyamán leegyszerűsíti a

---

<sup>3</sup>A kormányzervekre ható aerodinamikai erők és nyomatékok rendszerint arra törekcszenek, hogy megváltoztassák a kiegyensúlyozási alapszöget a kormányzervek kitérésekor és negatív irányban befolyásolják a repülőgép aerodinamikai visszaállító nyomatékát.

<sup>4</sup>Reális repülési viszonyok között a repülőgépvezető természetesen nem rögzíti a kormányokat állandóan, azonban rendszerint teljesen sem engedi el azokat, hanem valamilyen közbenső kapcsolati forma van a repülőgépvezető és a kormányzervek között.



bot és lábkormány mozgatósi jellegét.

A repülőgép stabilitása és kormányozhatósága biztosítja: a repülőgép manőverezési lehetőségeinek jobb kihasználását; a repülőgép vezetésének pontosságát és egyszerűségét.

A stabilitás és kormányozhatóság a biztonságos repülés növelésének legfontosabb feltétele.

### 3. Statikus stabilitás. (1, 2, 3)

A statikus stabilitás, nem jellemzi teljes egészében a tényleges stabilitást, mégis elengedhetetlen feltétele annak, mivel meghatározza a repülőgép kiegyensúlyozási alaphelyzetétől való eltérésekkel keletkező aerodinamikai helyreállító nyomatékok előjelét és nagyságát.

A statikus stabilitás biztosítja a repülőgép érzéketlenségét a kis zavarokkal szemben és gyorsan visszatér a repülés alaphelyzetére. A statikus stabilitás rögtön a repülőgépre ható zavarás pillanatában lép fel (széllökés pillanatában), így megakadályozza a repülőgép önkényes eltérését a számára beállított sebességi, túlterhelési és szögkiegyensúlyozási alaphelyzettől már a repülőgép egyenetlen mozgásának kezdeti fázisában, amikor a csillapító és tehetetlenségi erők még nem nagyok.

A repülőgép statikus stabilitására azért van szükség, mert ez elengedhetetlen, bár nem mindig elegendő feltétele a tényleges stabilitásnak.

A statikus stabilitás vizsgálatánál rendszerint külön vizsgálják a hossz- és oldalstabilitást. Az oldalstabilitást kereszt- és útirányú stabilitásra lehet felosztani.

A statikus stabilitás jellemzőinek ninőségében: a statikus stabilitási tényezőket alkalmazzuk.



A statikus stabilitás mértéke (a stabilitási tényező értéke) a következő feltételekkel van megadva:

- a repülőgép szükséges "repülési stabilitásából";
- a kormányok elfogadott hatásosságából;
- a repülés biztonságából.

#### 4. Dinamikai stabilitás. [3,4]

A dinamikai stabilitást általában a repülőgép egyenetlen mozgásának jellege alapján ítélik meg. A dinamikai stabilitás elengedhetetlen feltétele a repülőgép egyenetlen mozgásának gyors csillapodása, amely leggyakrabban rezgőmozgás lehet.

A dinamikai mozgás jellemzőiként a repülőgép egyenetlen mozgásának csillapodási fokát és e mozgásperiódusát veszik. Az alábbi viszonytal jellemezzük:

$$m_{csill} = \frac{A_t}{A_{t+T}} \quad (1)$$

ahol:  $A_t$  és  $A_{t+T}$  - rezgésamplitudók az egy periódusra eltért időpillanatokban.

A rezgések gyenge csillapodása és túlságosan nagy periódusa a repülőgép rossz stabilitásának jellemzője. A periódus növekedésével, a repülőgép kormányának kitérése által előidézett egyenetlen mozgás időben mintha "megnyúlna", nagyságát tekintve nagyobb időközig tart. Rosszabodik a repülőgép "kormánykövetési képessége". A repülőgépvezető nehezebben tudja meghatározni az egyenetlen mozgás jellegét és értékelni annak csillapodását.



### B.A hosszirányú statikus stabilitás és kormányozhatóság. [1,2,3]

A repülőgépre ható aerodinamikai erők és nyomatékok tényezőikkel és a torlónyomással arányosak (például a  $c_y$  tényezővel arányos a  $Y = c_y S \cdot \rho v^2 / 2$  torlónyomás). E tényező nagyságát alapvetően az állásszög ( $\alpha$ ) határozza meg. A  $\rho v^2 / 2$  torlónyomás nagysága ugyanakkor adott magasságon csak a repülés sebességétől ( $v$ ) függ. Ezért a repülőgép egyensúlyának megbomlásakor létrejövő aerodinamikai erő és nyomaték változások értékeléséhez tudni kell, hogyan változik az  $\alpha$  és a  $v$ .

A repülőgép azzal a sajátossággal rendelkezik, hogy viszonylag gyorsan képes változtatni az állásszöget ( $\alpha$ ) és lassan a sebességet ( $v$ ). A repülőgép ezen tulajdonsága a hosszirányú stabilitás két fajtájára osztásához vezetett: stabilitás állandó sebességen, melyet túllerhelés szerinti stabilitásnak és stabilitás változó sebességen, melyet sebesség szerinti stabilitásnak nevezünk.

A repülőgép hosszirányú vagy bólintási nyomatéka ( $M_z$ ): a repülőgép súlypontján áthaladó kereszt tengelyhez viszonyított  $M_z$  aerodinamikai erők nyomatéka.

A hosszirányú nyomaték az állásszög, a repülési sebesség és a Mach-szám változásakor változik meg.

A repülőgép hosszirányú nyomatékára hatást gyakorol:

- a hajtómű üzemmódja;
- a repülőgép kormányszervek rögzítése és felengedése;
- a fékszárnyak és a törzsféklapok kiengedése;
- a futómű kiengedése;
- a külső tüzelőanyagtartály felfüggesztése, stb.



Hosszirányú szempontból statikusan stabil repülőgépek nevezzük, azt a repülőgépet, amelynél az állásszög vagy a repülési sebesség és a Mach-szám megváltozásakor a hosszirányú nyomaték a kiinduló repülési üzemmódhoz való visszatérés irányában változik meg.

A hosszirányú nyomaték tényező (dimenzió nélküli mennyiség):

$$m_z = \frac{M_y}{q S b_A} \quad (2)$$

ahol:  $S$  - a szárny felülete;

$b_A$  - a szárny aerodinamikai közép húrja;

$q = \rho v^2 / 2$  - torlónyomás.

A repülőgép hosszirányú statikus stabilitásának fokát ekkor a hosszirányú nyomaték tényező változási értéke alapján értékelik, amely a felhajtóerő tényező változási egységére esik, azaz az  $m_z = f(c_y)$  görbe dőlése alapján lehet értékelni.

#### Túlterhelés szerinti stabilitás.

A repülőgépet akkor nevezzük túlterhelés szerinti stabilnak, ha önállóan, a repülőgépvezető beavatkozása nélkül, igyekszik megtartani a kiindulás repülés üzemmód terhelését. Azért adták ezt a megnevezést mert állandó sebességen az állásszög növelése vagy csökkenése, a felhajtóerő, következőképpen az  $n_y = Y/G$  túlterhelés változása kíséri.

Túlterhelési stabilitásról akkor beszélünk, ha egy görbe vonalon olyan túlterheléssel repülünk, amely állandó sebesség és megadott Mach-szám mellett lép fel.

#### Sebesség szerinti stabilitás.

A repülőgépet akkor tekintjük sebesség szerint stabilnak, ha önállóan, a repülőgépvezető beavatkozása nélkül igyek-



szik megtartani a kiindulási üzemmód sebességét.

A sebességi stabilitás a repülőgép hosszirányú stabilitását jellemzi állandó túlterhelés, de változó repülési sebesség vagy Mach-szám érték mellett. (Általában az  $n_y > 1$  esetet, a megadott magasságon történő vízszintes repülést vizsgálják.)

Az  $m_x = f(c_y)$  függvényt nem lehet egy görbének elképzelni, mivel a repülőgép hosszirányú kiegyensúlyozását és a hosszirányú nyomaték tényezőjét lényegesen befolyásolja:

- a levegő összenyomhatósága;
- a szerkezet rugalmas deformálódása;
- a hajtóművek üzemmódja;
- fékszárnyak és törzsféklapok helyzete, stb.

A hosszirányú statikus stabilitás tényező:

$$m_x^{c_y} = \frac{\Delta m_x}{\Delta c_y} = \operatorname{tg} \zeta \quad (3)$$

- általában a repülőgép statikus stabilitási fokát az  $m_x = 0$  pontban az  $m_x = f(c_y)$  görbe érintője dőlésszöge tangensének értéke alapján határozzák meg;
- stabil repülőgépeknél ez a tényező negatív;
- az  $m_x^{c_y}$  túlterhelés szerinti stabilitás növekedésével nő a visszaállító nyomaték, melynek eredményeként ugyanekkora állásszög változásával nagyobb szöggyorsulás jön létre. Eközben nő a forgás szögsebessége és ennek megfelelően a  $T_p$  lengésperiódus csökken.

Túlterhelés szerinti stabilitási tényező: állandó repülési sebesség és Mach-szám érték esetén történő görbevonaltú repülés közben kialakult összstatikus stabilitási fok:

$$\sigma_n = m_x^{c_y} + \frac{m_x \omega_z}{\mu} \quad (4)$$



ahol:  $m_z^C$  - a hosszirányú statikus stabilitás tényezője;

$m_z^{\omega_x}$  - a repülőgép hosszirányú csillapodás tényezője;

$$\mu = \frac{2m}{\rho S b_A}$$
 - a repülőgép viszonylagos tömegsűrűség tényezője, amely a repülési magasságtól függ;

$\rho$  - a levegő sűrűsége;

$m = G / g$  - a repülőgép tömege;

$S$  - a szárny felülete;

$b_A$  - a szárny aerodinamikai középhúrja.

A viszonylag nagy tömegsűrűségű repülőgépnél a valóságos csillapítás a túlterhelés szerinti stabilitásra gyakorolt hatása jelentéktelen, különösen nagy magasságokon, ahol megfoghatatlanul kicsivé válik. A túlterhelés szerinti stabilitást tehát alapvetően a súlypont és a fókuszpont kölcsönös helyzete határozza meg. A fókuszpont és a súlypont közötti távolságot stabilitási tartaléknak nevezik. A túlterhelés szerinti stabilitás a repülőgép súlypontja vagy fókuszpontja helyzetének változásakor változhat.

A túlterhelés szerinti stabilitás jellemzi a repülőgép hosszirányú stabilitását az állásszög megváltozásával kapcsolatos manőver végrehajtásakor. A repülés biztonsága szempontjából igen fontos feltétel a repülőgép túlterhelés szerinti stabilitása.

A sebesség szerinti stabilitási tényezővel vannak kapcsolatban a repülőgép hosszirányú kormányozhatóságának jellemzői egyenesvonalú repülés közben. A sebesség szerinti stabil repülőgép megkönnyíti a repülőgépvezető számára a repülőgép pontos kormányzási feltételeit, valamint a megadott repülési sebesség betartását. A sebesség szerint stabil re-



pülőgép nem törekszik önkényesen eltérni a repülőgépvezető által beállított, megadott sebesség szerinti kiegyensúlyozási értéktől.

A sebesség szerinti stabilitási tényező:

$$\sigma_v = m_z^{c_y} + m_z^M \frac{\Delta M}{\Delta c_y} \quad \text{vagy} \quad (5)$$
$$\sigma_v = m_z^{c_y} + m_z^v \frac{\Delta v}{\Delta c_y}$$

ahol:  $m_z^{c_y}$  - hosszirányú statikus stabilitási tényező;

$m_z^M$  - a hosszirányú nyomaték tényező változási foka a Mach-szám függvényében jellemző tényező;

$m_z^v$  - a hosszirányú nyomaték tényező változási foka a sebesség függvényében jellemző tényező.

#### KÖVETKEZTETÉS.

Ha a repülőgép sebesség szerint stabil, akkor a repülőgépre ható erők és nyomatékok a sebesség változásakor úgy fognak alakulni, hogy a repülőgépet a kiindulási helyzetbe térítik vissza, akadályozzák az attól való eltérést. Tehát a repülési sebesség megváltozásához a repülőgépvezetőnek a kormányservek segítségével le kell győznie a repülőgép sebességtartó tulajdonságát. Ekkor a sebesség növelésére ( $\Delta v > 0$ ) és ezen a megnőtt sebességen a repülőgép kiegyensúlyozására a botkormányt (rajta nyomóerőt kifejtve  $\Delta P_m > 0$ ) előre kell mozgatni ( $\Delta \delta_m > 0$ ); a sebesség csökkentésére húzóerő létrehozásával ( $\Delta P_m < 0$ ) a botkormányt magunk felé kell húzni ( $\Delta \delta_m < 0$ ).

A repülőgép sebesség szerinti stabilitásának biztosítására a következő két feltétel közül az egyiknek feltétlen



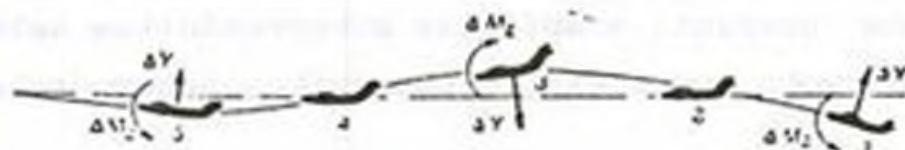
érvényesülnie kell:

$$\frac{\Delta \delta_m}{\Delta v} > 0 \quad \text{vagy} \quad \frac{\Delta P_m}{\Delta v} > 0 \quad (6)$$

Sebesség szerint minél stabilabb a repülőgép, annál nagyobb szögre kell a magassági kormányt kitéríteni és nagyobb erőt kifejteni a botkormányra a repülési üzemmód megváltoztatásához. Ha a repülőgép sebesség szerint nem stabil az egyik üzemmódról a másikra történő áttéréshez a repülőgépvezetőnek a botkormánnyal kettős mozgást kell végeznie (az első mozgás az egyensúly megbontásához szükséges, a másik mozdulat a repülőgép kiegyensúlyozására). A sebesség szerinti stabilitás szorosan összefügg a kormánykitérítési és egyensúlyi diagrammokkal.

### 5.1. A kicsi (rövidperiódusú) hosszirányú mozgás fejlődése.

A 3.sz. ábrán vizsgált esetben valamilyen zavaró ok miatti állásszög növekedés esetén (1.pont) a repülőgép pályáját felfelé hajlítva, lefogja engedni orrát és az állásszöget csökkenteni fogja.



3.sz. ábra

A 2.pontban a kiindulási állásszöghöz ( $\Delta\alpha=0$ ) tér vissza, kö-



vetkezésképpen, a  $\Delta Y$  felhajtóerő növekedés is nulla lesz. Ebben a pontban még bizonyos függőleges sebességgel és forgási szögsebességgel rendelkezik, felfelé fog mozogni és forogni, csökkentve az állásszöget, aminek következtében a  $\Delta Y$  felhajtóerő növekedés ellenkező irányban (lefelé) jön létre. Ez először a szögsebesség csökkenését fogja elősegíteni (3. pont) majd a repülőgép másik irányba történő forgását okozza, stb. A forgást akadályozó csillapítónyomatékok megléte teszi lehetővé kis magasságokon a fellépő lengések viszonylagos gyors gyengülését.

A hosszirányú nyomaték változás az  $\alpha$  állásszög  $1^\circ$ -kkal történő növelésekor (csökkenésekor):

$$M_z^\alpha = m_z^\alpha \frac{\rho v^2}{2} \quad b = m_z^{c_y} c_y^\alpha \frac{\rho v^2}{2} \quad S B \quad (7)$$

A (7) képletből látható, hogy a sebesség növekedésével, a magasság csökkenésével és a fókuszpont-súlypont közötti távolság ( $m_x^{c_y}$ ) növekedésével a lengések periódusa csökken. A korszerű repülőgépeknél a lengések periódusa viszonylag nem nagy és közepes értéke  $T_p \approx 1-5$  s. Ezért ezt a mozgásformát rövidperiódusú (rövid idejű) vagy kicsi hosszirányú mozgásnak nevezzük.

A repülőgép fókuszpontjának helyzete alapvetően a repülési üzemmódtól függ. Hangsebesség átlépésekor a repülőgép fókuszpontja nagymértékben hátravándorol. Ebből kifolyólag a túlterhelés szerinti stabilitás szuperszónikus sebességeken 4-6-szor nagyobb lehet, mint szubszónikus sebességeken.

## 5.2. A nagy hosszirányú mozgás fejlődése.

Tételezzük fel, hogy a repülőgép sebessége  $\Delta v$  értékkel



nőtt (1.pont) valamilyen zavaró ok hatásaként. A sebesség változásakor az erők egyensúlya a röppályához érintőlegesen és normálisan is megbomlik. Ezen kívül felbomolhat a hosszirányú nyomatékok egyensúlya is, ami az állásszög viszonylag gyors változásához vezet.



4. sz. ábra

Tételezzük fel, hogy a sebesség növekedésekor és a vele kapcsolatos állásszög változásakor a homlokellenállás nagyobb lesz a hajtómű tolóerejénél, a felhajtóerő pedig a repülőgép súlyánál. Ekkor a repülőgép sebessége mind a homlokellenállás növekedése, mind pedig a felhajtóerő többlet által kiváltott röppálya elhajlás és a repülőgép emelkedésbe történő átállása következtében csökkenni fog. Bizonyos repülési magasságokon (2.pont) a repülőgép eléri a kiindulási sebességet, és a felhajtóerő többlet, valamint a homlokellenállás nulla lesz, a függőleges sebesség meglétének következtében azonban tovább fog emelkedni ebben a pontban, sebessége pedig csökkenni fog. A sebesség csökkenése lehetővé teszi egyrészt a negatív felhajtóerő növekedést (3.pont), másrészt a hajtómű tolóerő többlet létrejöttét. A felhajtóerő csökkenés a röppályát lefelé kezdi hajlítani, a tolóerő többlet pedig akadályozni fogja a sebesség csökke-



nését. Mind a két hatás a kiindulási repülési üzemmód sebességét igyekszik visszaállítani. A repülőgép kiindulási üzemmódhoz történő visszatérését a repülőgép lengő mozgása fogja kísérni, melynek periódusa a repülési sebességgel arányos  $T_p \approx (0,2-0,4) v$ . (Pl.  $v=900$  km/ó sebesség esetén a lengés periódusa 60-100 s lehet). Ezt a mozgási formát hosszúperiódusú vagy hosszirányú mozgásnak nevezik.

Következtetés, a sebesség szerinti stabilitás az erők röppályához érintőleges  $\Delta X=P-Q$  és a normál  $\Delta Y=Y-G\cos\theta$  változásának jellegétől függ.

#### 6. Az oldalirányú stabilitás és kormányozhatóság.

[3,4,5,6]

A repülőgép súlypontján áthaladó függőleges tengelyhez viszonyított  $M_y$  aerodinamikai erők nyomatékát legyező nyomatéknak nevezzük. A legyező nyomaték a repülőgép csúszásakor lép fel a törzs és a függőleges vezérsík asszimmetrikus oldalirányú körüláramlása következtében és vagy csökkenteni, vagy növelni igyekszik a csúszási szöget.

a.) Azokat a repülőgépeket, amelyeknél a csúszási szög csökkentésére irányuló legyező nyomaték lép fel útirányú stabilitású, statikusan stabil repülőgépnek nevezzük. A repülőgép útirányú stabilitása és legyező nyomatéka annál nagyobb lesz, minél nagyobb a függőleges vezérsík felülete és minél nagyobb az erő karja a repülőgép súlypontjáig.

Legyező nyomaték tényező:

$$m_y = \frac{M_y}{S q l} \quad (8)$$

ahol:  $S$  - szárnyfelület;



$q = \rho v^2 / 2$  - torlónyomás;

$l$  - a szárnyfesztáv.

A repülőgép útirányú stabilitásának fokát a  $\beta=0$  pontban az  $m_y = f(\beta)$  görbe érintő dőlésszög tangens értékével határozzuk meg:

$$m_y^{\beta} = \frac{\Delta m_y}{\Delta \beta} = \operatorname{tg} \xi \quad (9)$$

Az  $m_y$  értékét statikus útirányú stabilitás tényezőnek vagy vitorlázó stabilitás tényezőnek nevezzük. Az útirányú stabilitású repülőgépeknél ez a tényező negatív.

**Bedöntési nyomaték:** a repülőgép hossz tengelyéhez viszonyítva a repülőgépre ható  $M_x$  aerodinamikai erők nyomatéka. A bedöntési nyomaték a repülőgép csúszásakor keletkezik, a szárny és a függőleges vezérsík ferde körüláramlása következtében. Ez a repülőgépet oly módon igyekszik bedönteni, hogy csökkenjen a keletkezett csúszás vagy fordítva, még jobban növelje azt.

b.) **Keresztirányban statikusan stabil repülőgép:** azt a repülőgépet, amelynél csúszás alatt a repülőgépet a csúszással ellentétes irányba bedönteni törekvő bedöntési nyomaték keletkezik.

A bedöntési és a csúszási szögek között teljes egészében meghatározott azonos előjelű kapcsolat van. Kis csúszás és bedőlés esetén ezt a kapcsolatot kifejezhetjük a következő képlettel:

$$\beta \approx \frac{c_y}{c_x} \gamma \quad (10)$$

ahol:  $c_y$  -- a repülőgép felhajtóerő tényezője;



$c_x^\beta$  - a csúszási szög változás egy fokára eső oldali-rányú tényező változása (ez a tényező csak a hangsebesség körüli és a hangsebesség feletti repülési sebesség tartományban változtatja meg észrevehetően értékét).

A bedöntés növekedésének függvényében növekszik a csúszás, következésképpen a bedöntési nyomaték is.

Bedöntési nyomaték tényező:

$$m_x = \frac{M_x}{S q l} \quad (11)$$

Az  $m_x = f(\beta)$  görbe dőlése jellemzi a repülőgép keresztirányú statikus stabilitásának fokát. A keresztirányú statikus stabilitás fokát a  $\beta=0$  pontban az  $m_x = f(\beta)$  görbe érintője dőlésszögének tangensével értékeljük:

$$m_x^\beta = \frac{\Delta m_x}{\Delta \beta} = \operatorname{tg} \eta \quad (12)$$

ahol:  $m_x^\beta$  - keresztirányú statikus stabilitás tényező.

Korszerű repülőgép keresztirányú statikus stabilitása észrevehetően változik mind az állásszög, mind a repülési sebesség függvényében. A leglényegesebb változások nagy állásszögeken, valamint hangsebesség körüli és hangsebesség feletti repülési sebességeken figyelhető meg.

A repülőgép oldalirányú mozgásának dinamikáját a külső zavarok hatására és a repülőgép viselkedését a repülőgép vezetés nemcsak az  $m_y^\beta$  és  $m_x^\beta$  tényezők előjele és nagysága, hanem ezek között meglévő meghatározott arány is meghatározza:

$$\frac{m_x^\beta}{m_y^\beta} = \chi \quad (13)$$



- ezzel a paraméterrel megfelelően jellemezhető a repülőgép oldalirányú egyenetlen mozgása, értéke könnyen meghatározható a berepülés alatt vagy szélcsatornában.

A repülőgép keresztirányú és útirányú kormányozhatóságának elemzésekor rendszerint a repülőgép kétféle kormányozható mozgását vizsgálják: a harmonikus csúszás és beállított forgás a hossz- és függőleges tengely körül, a megfelelő kormány kitérése következtében.

A keresztirányú kormányozhatóság jellemzői:

$$P_{cs}^{\omega} = \frac{\Delta P_{cs}}{\Delta \omega_x} \quad (14)$$

$$P_{cs}^{\gamma} = \frac{\Delta P_{cs}}{\Delta \gamma} \quad \text{vagy} \quad P_{cs}^{\beta} = \frac{\Delta P_{cs}}{\Delta \beta} \quad (15)$$

$$X_{cs}^{\omega} = \frac{\Delta X}{\Delta \gamma} \quad (16)$$

$$X_{cs}^{\gamma} = \frac{\Delta X_{cs}}{\Delta \gamma} \quad \text{vagy} \quad X_{cs}^{\beta} = \frac{\Delta X_{cs}}{\Delta \beta} \quad (17)$$

Az útirányú kormányozhatóság jellemzői:

$$P_{ok}^{\omega} = \frac{\Delta P_{ok}}{\Delta \omega_y} \quad (18)$$

$$P_{ok}^{\gamma} = \frac{\Delta P_{ok}}{\Delta \gamma} \quad \text{vagy} \quad P_{ok}^{\beta} = \frac{\Delta P_{ok}}{\Delta \beta} \quad (19)$$



$$X_{ok}^{\omega} = \frac{\Delta X_{ok}}{\Delta \omega_y} \quad (20)$$

$$X_{ok}^{\gamma} = \frac{\Delta X_{ok}}{\Delta \gamma} \quad \text{vagy} \quad X_{ok}^{\beta} = \frac{\Delta X_{ok}}{\Delta \beta} \quad (21)$$

A repülőgép keresztirányú és útirányú kormányozhatóságának jellemzői magukban foglalják:

- a botkormányon és a láb kormányon lévő erőket és a kitérítésükhöz szükséges mozdulatokat a repülőgép olyan paramétereivel együtt, mint a  $\beta$  csúszási szög, az  $\omega_x$  bedöntési és  $\omega_y$  legyezési szögsebesség.

#### Felhasznált irodalom.

- [1] - J. A. Mihajlov és mások: Szisztyémi avtomaticheszkoivo i direktivnovo upravlenijá szamaljotom. Masinosztroenyije, 1971. Moszkva.
- [2] - J. A. Mihajlov és mások: Szisztyémi avtomaticheszkoivo upravlenijá szamaljotom. Masinosztroenyije, 1971. Moszkva.
- [3] - Под ред. д-ра техн. наук. проф. А. М. Мхитаряна: Динамика попéта. Издательство "Машиностроение", Москва. 1971
- [4] - Под общей редакцией профессора: Н. Ф. Краснова: Прикладная аэродинамика, Москва "Высшая школа" 1974
- [5] - Dr. Csáki Frigyes-Bars Ruth: Automatika Tankönyvkiadó, Budapest, 1969



- [6] - А. С. Шаталов, Д. И. Топчеев, В. С. Кондратъев: Летательные аппараты как объекты управления, Машиностроение, Москва, 1972

**IFJ. HORVÁTH DEZSŐ**

1988-ban végeztem a Kijevi Repülőmérnöki Főiskolán, 1993-ban a BME mérnök-tanári szakán. A főiskolai oktatásban 1988-tól 1995-ig vettem részt. 1995 augusztus 1-től az 59. Szentgyörgyi Dezső Harcászati Repülőezred repülést gyakorló állomásparancsnoka vagyok. A főiskolai hallgatók szakdolgozatainak kidolgozását irányítottam. Főiskolai jegyzet társszerzője, cikkek szerzője illetve társszerzője vagyok.



