

Horváth Dezső mk. alezredes, főiskolai docens -

Horváth Dezső mk. hadnagy:

## A REPÜLÉSBIZTONSÁG, REPÜLŐ SZERKEZETEKEN ALKALMAZOTT FEDÉLZETI BIZTONSÁGI ESZKÖZEI

A repülőszervezetek repülés-műszaki jellemzőivel szemben támasztott követelmények állandó fokozódása, az alkalmazási körük egyre nagyobb mértékű kibővülése, a repülésbiztonság megteremtésével kapcsolatos követelmények fokozódása oda vezetett, hogy a navigációs, a repülőgépvezetői, valamint a különböző rendszereket vezérlő feladatok megoldásához komplex automatikai rendszereket kellett kialakítani. Ez indokolta olyan rendszerek megjelenését, amelyek tulajdonképpen a rádió-elektronikai és repülőtechnikai berendezések összehangolt funkcionális rendszereit alkotják. A megvalósított komplex rendszerekben az információ-feldolgozás és a műveletvégrehajtás feladatai automatikusan mennek végbe, központosított digitális és analóg számítóberendezések segítségével.

A repülő szerkezet fedélzeti funkcionális komplexum lényegében olyan funkcionális fedélzeti berendezések összességét jelenti, amelyek egymás közötti kölcsönös kapcsolata révén a legnagyobb műveleti hatás érhető el a repülő szerkezet vezetésével, navigálásával és leszállításával kapcsolatos feladatok megoldásában.

A repülésbiztonság fenntartásához szükséges műszaki berendezések:

- a./ A súlypontkiegyenlítés, stabilizálás és a kormányozhatóság biztosításának berendezései.
- b./ Az egyes manőverekhez szükséges paraméterek betartásának eszközei.
- c./ A biztonságtechnikai automatikák és egységek.
- d./ A repülő szerkezetet vízszintes helyzetben tartó, illetve vízszintes helyzetbe visszatérítő eszközök.

- e./ Az üzemzavarok és veszélyes repülési üzemmódon parirozósának eszközei.
- f./ A hajtóműegységek stabil működését biztosító eszközök.
- g./ A felszálló és leszálló sebesség megfelelő csökkentését biztosító mechanizmusok és berendezések.

Természetesen a felsoroltakon kívül szükségessé vált olyan berendezések bevezetése is a korszerű repülő szerkezeteken, amelyek előre figyelmeztetik a személyzetet, ha a repülő szerkezet eléri vagy megközelíti a repülési üzemmód megengedett veszélyes határértékeit.

A repülésbiztonság fenntartásához szolgáló eszközök szerkezeti kialakítás szempontjából lehetnek a rendszerbe beépített segédszervek, de lehetnek önálló ellenőrző egységek is (biztonsági automaták, ellenőrző automaták, határoló-korlátozó automaták stb.).

A repülésbiztonság fenntartását szolgáló berendezések két fő elemből tevődnek össze:

- a./ az ellenőrzést szolgáló elemből;
- b./ a műveletvégrehajtó elemből.

A működési elv alapján az ellenőrző berendezés három csoportba sorolható.

- a./ Az első csoportba azok tartoznak, amelyek működése egyszerűen a rendszerek paramétereinek mérési módszereire alapul. A kontroll-jel ebben az esetben megegyezik az adott időben egyébként is mérhető paraméterek értékével.
- b./ A második csoportba azok tartoznak, amelyek működése az összehasonlítás elvén alapul. A kontroll-jelet a komparátor (összehasonlító) egységben állítják elő és a jel tulajdonképpen az összehasonlított rendszerekre jellemző jelzések különbségét tartalmazza.
- c./ A harmadik csoport működése a jelmintavétel elvén alapul.

A repülésbiztonság fenntartását szolgáló műszaki eszközöket az információs jel realizálási eljárásától függően feloszthatjuk olyan eszközökre:

- a./ amelyek automatikusan lekapcsolják azt a rendszert, amelyben az üzemzavar fellépett;
- b./ amelyek átkapcsolnak egyik rendszerről a másikra (tartalékra);
- c./ amelyek vagy a repülési paramétereket, vagy a rendszerek és segédberendezések paramétereit korlátozzák.

Az üzemzavarok parirozására és a balesetveszélyes üzemmódok ellensúlyozására szolgáló rendszerek:

- a./ A repülőgépet vízszintes helyzetbe hozó rendszer.
- b./ A robotpilótát üzemzavar esetén automatikusan vagy kézi úton kikapcsoló rendszer.
- c./ Rendszerek, amelyek a repülőgépet kivezetik a veszélyes magasságzónából.
- d./ Az interceptorok üzemzavara esetén azok behúzását biztosító rendszerek.
- e./ Az egyenáramú generátorok meghibásodása esetén a fedélzeti hálózatot akkumulátoros üzemre átkapcsoló rendszer.
- f./ A váltakozóáramú generátorok meghibásodása esetén a fedélzeti váltakozóáramú köröket a vész-áramforrásra átkapcsoló rendszer.
- g./ A fő hidraulikarendszer meghibásodása esetén a tartalék hidraulikarendszerre átkapcsoló rendszer.
- h./ A hajtóművezérlő automatika meghibásodása esetén a tartalék vezérlőrendszert bekapcsoló berendezés.
- i./ A fő navigációs rendszerekről a tartalék rendszerekre átkapcsoló berendezés.

A fokozott repülésbiztonság fenntartása terén a személyzet munkáját nagymértékben megkönnyítő fedélzeti rendszer az automatikus repülőgépvezető-rendszer (SzAU).

A SzAU rendszerek a repülés különböző fokozataiban teljesen automatikus és félautomatikus (a műszerek jelzéseire támaszkodó) vezetési módot biztosítanak. Az automatikus repülőgép-vezetőrendszerek jelentősen leegyszerűsítik a repülőgép vezetésének össz folyamatát. Igen elterjedten használják a SzAU rendszereket a leszállási megközelítés végrehajtásánál.

A korszerű SzAU rendszerek két fő részre tagozódnak: az oldalirányú csatornára (a csűrőkormányok és oldalkormányok vezérlő csatornáit) és a hosszanti csatornára (magassági kormányt vezérlő csatornára). A SzAU rendszer egyes csatornáiban fontos szerep jut olyan alapvető segédberendezésekre, amelyek mindegyike határozott funkcionális feladatot tölt be.

Az automatikus repülőgép-vezetőrendszerekben egyre nagyobb teret hódítanak a digitális számítógységek. A digitális egységekre a repülésbiztonság fokozása és a repülőgépnek a kijelölt útvonalon való vezetése terén számos feladatot bízunk.

A fedélzeti digitális számítógység a repülőgép vezetésében teljesen új eljárások bevezetését teszi lehetővé. (Pl.: a Boeing-2707 típusú repülőgép kettőzött vezetési rendszere, a jelző és ellenőrző tablói tájékoztatják a személyzetet arról, hogy üzemzavar esetén mi a teendő, ugyanakkor lehetővé teszik a személyzet számára, hogy mindenkor az optimális elhatározást hozza meg. A TU-144 hangsebesség feletti repülőgép szintén fel van szerelve digitális számítógységgel.)

A digitális számítógységek biztosítják a repülőgép automatikus vezetését emelkedő és süllyedő repülésben, vízszintes repülésben, a leszállási megközelítést automatikus és direktoros irányításban, a második körre való kirkepülésben és az automatikus leszállásban. Javítják a repülőgép stabilitási és kormányozhatósági karakterisztikáit. Hatékony módon biztosítják az alapvető repülőgépvezető-navigációs berendezések üzemzavarainak azonnali jelzését. Összegezve, a fedélzeti digitális számítógység jelentősen megkönnyíti a személyzet tevékenységét.

### Biztonsági automaták

A biztonsági automaták rendeltetése, hogy megakadályozzák a kritikus repülési paraméter értékek és megengedett határértékek túllépést. Ezenkívül szükség esetén bármilyen helyzetből visszatéríthetik a repülőgépet vízszintes repülésbe.

A biztonsági automatákat kétféle rendszerben használják, úgymint az automatikus repülőgép-vezetőrendszerekben, valamint a megadott útvonalon való vezetés rendszeriben.

A kritikus repülési módozatokat általában:

- a megengedett dőlési szögsebesség ("tehetetlenségi forgásba" kerülés lehetősége);
- a megengedett állásszög érték (átesés vagy túlhúzás);
- túlterhelések (állandó maradandó deformáció jelentkezése) határozzák meg.

Az  $n_y$  függőleges túlterhelés-határoló méri az  $n_y$  értékét, a  $q$  sebességi torlónyomást, a Mach-számot, a repülőgép tömegét, valamint az  $\omega_z$  elfordulás szögsebességét.

A számítógység az adott repülési módozathoz meghatározza azt az  $n_{y,kritikus}$  függőleges túlterhelés értéket, amely adott esetben megengedhető, és ezt az értéket folyamatosan összehasonlítja az  $n_y$  aktuális értékeivel:

$$\Delta n_y = n_{y,krit} - n_y + k \frac{T_p}{T_{p+1}} \cdot \omega_z \quad (1)$$

ahol:

$k \frac{T_p}{T_{p+1}} \cdot \omega_z$  - a túlterhelés növekedési dinamikáját figyelembe vevő komponens;

$T_p$  - a pilóta reakcióideje;

$k$  - együttható.

Amikor a  $\Delta n_y$  eléri a kritikus értéket, bekapcsol a vészjelzés és működni kezd a függőleges túlterhelést csökkentő automata.

A bólintó szögsebesség visszacsatoló körébe kapcsolódó speciális berendezés célja, hogy a manőver alatt (pl. forduló közben) kizárja a szögsebesség hatását és ezzel kibővítsa a repülőgép manőverezési lehetőségét.

A túlterhelési határértéket és az átviteli együtthatót a biztonsági automata helyes működésének érdekében be kell táplálni a repülőgép súlyfüggvényébe és a repülési módozat függvényébe.

A repülő szerkezetek megalkotásánál legfontosabb feladat a stabilitási és kormányozhatósági karakterisztikák biztosítása. Ennek érdekében speciális automatikus berendezéseket használnak, melyek lehetővé teszik a személyzet munkájának megkönnyítését a vezetés leegyszerűsítése által, a légi üzemeltetés bármely szituációjában is.

Az egyre szélesebb lehetőségekkel rendelkező automatizált repülőgép-(helikopter-) vezetőrendszerek javítják a dinamikai tulajdonságokat és kormányozhatóságot. Lehetővé teszik, hogy a repülőgépvezető állandó aktív részvétele nélkül is fenntartható legyen a repülőszerkezetnek a kijelölt útvonalon való repülése és a kívánt térbeli helyzete.

A szabályozást igénylő paraméterek között első helyen kell megemlíteni a gép állásszögét, csúszását, a dőlés szögsebességét és gyorsulását, az oldalirányú lengőmozgásokat, a túlterhelési bólintásiszög-változásokat, valamint azok időbeni sorozatait.

A repülő szerkezet két egymástól függetlenül működő kormányvezérlő rendszerrel dolgozhat:

- a./ a repülőgépvezető rendelkezésére álló kézi és lábvezérlésű általános kormányvezérlő-szervekkel;
- b./ a pilótától független másik vezérlőrendszerrel, mely automatikusan vezérli ugyanazokat a kormányfelületeket.

Mindazokat az automatikus berendezéseket, amelyek a személyzetet a veszélyes üzemmód beálltának közeledésére figyelmezteti, továbbá aktív el-lentevékenységet fejtenek ki minden olyan esetben, amikor a repülőgép ilyen veszélyes üzemmódok felé közeledik, gyűjtőnéven BIZTONSÁGI AUTOMATÁKNAK nevezük.

Az automatikus berendezések közé soroljuk a stabilizáló automatákat, a lengőmozgás-csillapítókat, a sebességhatároló automatákat, a kormányrendszer karakterisztikák szabályozására szolgáló automatákat.

A kormányrendszerek csillapítói meggyorsítják a repülőgép rövid periódusú hosszanti és oldalirányú lengéseinek csillapítását. A lengéscsillapító berendezés érzékelő eleme csak arra reagál, ha azt idő függvényében megváltozik a repülőgép térbeli szöghelyzete a tömegközépponthez viszonyítva. Az érzékelő elem szerepét pörgettyű töltheti be. A műveletvégrehajtó mechanikus elemek szerepét általában változtatható hosszúságú rudazatok látják el.

A hosszirányú, keresztirányú és legyezőmozgás stabilizáló automaták olyan szögértékekkel fordítják el a kormányfelületeket, amelyek nemcsak a szögsebességgel, hanem az állásszöggel és a túlterhelés nagyságával is arányosak. Ezen automatikus rendszerek műveletvégrehajtó mechanizmusai mindenkor az állásszögnek és a csúszásnak megfelelő korrekciós jeleket dolgozzák ki a lengések csillapítására és a repülőgép mozgásának stabilizálására.

A sebesség stabilizáló automata a repülőgép sebességét a leszállási megközelítés időszakában stabilizálja.

A maximálisan megengedett függőleges túlterhelések túllépésének megakadályozása céljából túlterhelés-határoló automatákat alkalmaznak. Az automaták egyrészt figyelmeztetik a repülőgépvezetőt, másrészt kizárják annak lehetőségét, hogy a repülőgép vezetési hibáiból a megengedett túlterhelési értéket túllépjék.

A határoló működése követi az  $n_y$ ,  $\alpha$ ,  $\beta$ ,  $n_z$ ,  $\omega_x$  és  $\delta$  változási törvényszerűségeit:

$$\left| n_y + K_{n_y} \dot{n}_y + K_{\alpha} \dot{\alpha} + K_{\beta} \dot{\beta} + K_{\psi_{stab}} \dot{\psi}_{stab} \right| \leq |n_{y \text{ krit}}|;$$

$$\left| \alpha + K_{\alpha} \dot{\alpha} + K_{\dot{\alpha}} \ddot{\alpha} + K_{\omega_z} \dot{\omega}_z + K_{\dot{\omega}_z} \ddot{\omega}_z + K_{\dot{\psi}_{\text{stab}}} \dot{\psi}_{\text{stab}} \right| \leq \left| \alpha_{\text{krit}} \right|.$$

A repülésbiztonság fenntartásában igen fontos szerepet töltenek be a kormányvezérlő rendszerek műszaki jellemzői és azok kifogástalan üzembiztonsága.

A repülőgép vezetési hibák kiküszöbölése céljából a kormányiszervek kiterését nehezítő és a sebességet korlátozó automatákat építenek be.

A korszerű robotpilóták többségét ma már ellátják a vízszintesbe visszatérítő berendezéssel. Az ilyen rendszereknél a repülőgépnek a dőlésből és bólintásból való kivételéhez, azaz a vízszintes helyzet helyreállításához elegendő megnyomni a "visszatérítés a vízszintesbe" nyomógombot.

A felsoroltakon kívül egyes repülőszerkezeteken a következő biztonsági automatikát használják:

- a./ Automatikarendszer, amely megakadályozza a repülőgép dugóhúzóba esését. A rendszer kellő időben felfedezi a dugóhúzóba esés veszélyének közlekedtét és olyan értelemben hat a kormányfelületre, hogy a repülőgép ne kerülhessen dugóhúzó-helyzetbe, illetve a dugóhúzó felé tendáló evolútív mozgásból kivegye.
- b./ Ide sorolandó még az állásszög-határoló, magassághatároló, valamint a megszakított felszállás és a második körre repülés automatikái is.
- c./ A hidraulikarendszerek kifogástalan üzembiztonságának fenntartása érdekében a repülőgépek többségén kettőzött, sőt esetenként háromszorozott hidraulikarendszert alkalmaznak. Kettőzött hidraulikarendszer esetén a fő hidraulikarendszerben és a szervó- (erősítő /booster/) rendszerben fellépő nyomáscsökkenés esetén - egyes repülő szerkezeteken - olyan hidraulika szivattyú egységet alkalmaznak, amely automatikusan bekapcsolódik és biztosítja a repülő szerkezet leszállását leállt hajtóművek esetén is.
- d./ A vibráció-ellenőrző rendszer: a repülő szerkezet alapvető konstrukciós elemeinek, a hajtómű egység szilárdsági állapotának diagnosztikai ellenőrző rendszere. Működése a vibráció ellenőrzésén alapszik.

e./ Nagy megbízhatóságú fedélzeti tűzoltórendszerek.

f./ Repülő szerkezetek robbanás elleni védelem-biztosítás rendszere.

Robbanásról akkor beszélünk, ha valamilyen korlátozott méretű térben vagy zárt tárolóban olyan intenzitású energiatranszmisszió következik be, amely normál úton nem vezethető el ebből a zónából, tehát kialakulását az említett térben vagy tárolóban a szilárdsági határértékek által meghatározott nyomást jóval meghaladó nyomás kíséri.

A tüzesetek és robbanások keletkezése szempontjából különös veszélyt jelentenek a repülőgép és helikopterek tüzelőanyagtartályai. A robbanáskor felszabaduló energia és az ennek következtében létrejövő roncsolások tönkretelhetnek a repülő szerkezet más konstrukciós elemeit is, vagy a szomszédos rendszereket és segédberendezéseket.

Ha egy repülő szerkezet fedélzete el van látva a repülésbiztonság fenntartását szolgáló eszközökkel, akkor a repülő szerkezet biztonsága saját rendszereinek biztonságán túlmenően ezeknek a fedélzeti biztonsági eszközöknek a kifogástalan üzembiztonságától is függ.

A repülés biztonságának fenntartására szolgáló fedélzeti eszközök jelenléte esetén is bármely pillanatban keletkezhetnek a repülő szerkezet különböző rendszereiben  $Q_a$  üzemzavarok vagy  $P_a$  normálistól eltérő működési periódusok. Ez a kétféle állapot az összeegyeztethetetlen események egész csoportját alakíthatja ki, azaz

$$P_a + Q_a = 1 \quad (2)$$

A fedélzeti rendszerek üzemképes állapotában is előfordulhat, hogy a repülő szerkezet rendszereire ható  $Q_c$  valószínűségű külső zavaró hatások a fedélzeti biztonsági eszközök vagy a fedélzeti biztonsági rendszerek egyáltalán nem működnek (az ilyen események valószínűsége  $P_c$ ). Ez a kétféle állapot szintén az össze nem egyeztethető események teljes csoportját alkotja, azaz

$$P_c + Q_c = 1 \quad (3)$$

A fedélzeti biztonsági eszközök hamis beindulásának eredményeképpen előfordulhatnak  $Q_n$  valószínűségű baleseti következmények. Előfordulhat azonban olyan helyzet is, hogy ilyen következmények nem lépnek fel (az ilyen esemény valószínűsége  $P_n$ ). Ekkor az összegegyeztetetlen események teljes csoportja:

$$P_n + Q_n = 1 \quad (4)$$

Ha a repülő szerkezet kifogástalan állapota mellett a fedélzeti biztonsági eszközök nem léptek működésbe ( $P_c$  valószínűség), úgy számolhatunk baleseti és balesetmentes következményekkel is, amelyek valószínűsége  $Q_n$ , illetve  $P_n$ .

$$P_n + Q_n = 1 \quad (5)$$

Például:

Valós körülmények között ilyen helyzet alakulhat ki olyan esetben, amikor az adott fedélzeti biztonsági eszköz egy olyan élesen határolt küszöb érzékenységgű túlterhelés-határoló, amely nem tud informatív jelet adni valamely veszélyes értékű szellőkésről. Így a robotpilóta a túlterhelés-határolás hiányában nem tudja megakadályozni annak baleseti következményeit, hogy a repülő szerkezet túllépje a megengedett túlterhelési határt.

A repülő szerkezet  $P_c$  valószínűségű üzemzavara esetén várható, hogy a fedélzeti biztonsági eszköz működésbe lép, de az is előfordulhat, hogy nem működik, aminek a valószínűsége  $Q_c$ .

Ekkor:

$$P_c + Q_c = 1 \quad (6)$$

A fedélzeti biztonsági eszközök  $P_n$  valószínűségű működésbe lépése esetén a veszélyes következmények elháríthatók, tehát a fedélzeti biztonsági eszköz ellátja a reábizott funkciót.

Tekintet nélkül azonban arra, hogy a fedélzeti biztonsági eszköz működik-e vagy sem, a repülő szerkezet üzemzavara mégis okozhat baleseti következményeket, amelyek jelentkezési valószínűsége  $Q_n$ .

E kétféle következmény szintén teljes csoportot alkot:

$$P_n + Q_n = 1 \quad (7)$$

A fedélzeti biztonsági eszköz üzemzavarának következtében a repülő szerkezet  $Q_n$  valószínűségű üzemzavara esetén baleseti következményekkel kell számolnunk, de előfordulhat az is, hogy ez nem következik be. A baleseti következmény elmaradásának valószínűsége a repülő szerkezet üzemzavara és a fedélzeti biztonsági eszközök üzemzavara (kettős üzemzavar) esetén  $P_n$ . Ekkor is az összegegyeztetetlen események teljes csoportját kapjuk:

$$P_n + Q_n = 1 \quad (8)$$

A repülő szerkezet és a fedélzeti biztonsági eszközök szituációi egyszerű MARKOV-féle kört alkotnak.

Következésképpen a repülés közbeni baleseti következmény kialakulásának valószínűsége:

$$Q = Q_1 + Q_2 + Q_3 + Q_4 \quad (9)$$

ahol:

- $Q_1$  - a baleseti következmény kialakulásának valószínűsége a fedélzeti biztonsági eszközök hamis beindulása esetén;
- $Q_2$  - a baleseti következmény jelentkezésének valószínűsége a repülő szerkezet és a fedélzeti biztonsági eszköz üzemképessége esetén;
- $Q_3$  - a baleseti következmény jelentkezésének valószínűsége a repülő szerkezet üzemzavara és a fedélzeti baleseti eszköz működésbe lépése esetén;
- $Q_4$  - a baleseti következmény jelentkezésének valószínűsége a repülő szerkezet üzemzavara és a fedélzeti baleseti eszköz üzemzavara (kettős üzemzavar) esetén.

A veszélyes következmény ki nem alakulásának valószínűsége:

$$P = P_1 + P_2 + P_3 + P_4 \quad (10)$$

Ezeknek a valószínűségi komponenseknek mindegyikét meghatározhatjuk a MARKOV-féle körből eredő összefüggések alapján:

$$Q_1 = P_a Q_c Q_n ; \quad Q_2 = P_a P_c Q_n ; \quad (11)$$

$$Q_3 = Q_a P_c Q_n ; \quad Q_4 = Q_a Q_c Q_n ;$$

$$P_1 = P_a Q_c P_n ; \quad P_2 = P_a P_c P_n ; \quad (12)$$

$$P_3 = Q_a P_c P_n ; \quad P_4 = Q_a Q_c P_n ;$$

A Q és P valószínűségek egymás között az összeegyeztethetetlen események teljes csoportját alkotják, mivel:

$$P_1 + Q_1 = P_a Q_c ; \quad P_2 + Q_2 = P_a P_c ; \quad (13)$$

$$P_3 + Q_3 = Q_a P_c ; \quad P_4 + Q_4 = Q_a Q_c ;$$

$$P + Q = 1$$

Ezeknek a valószínűségeknek az összeszámolásához meg kell határozni a  $P_a, P_c, P_n, P_n$  és  $P_n$ , vagy a  $Q_a, Q_c, Q_c, Q_n, Q_n$  és  $Q_n$  kiinduló valószínűségeket.

#### FELHASZNÁLT IRODALOM

1. Bajborodina szerk-ben: Bortovije szisztémi upravlenija poljotom (Moszkva "Transzport", 1975.)
2. T.M. Basti szerk-ben: Nadozsnosztj gidravlicseszkih szisztem vozdušnih szudov (Moszkva "Transzport", 1986.)

3. N.H. Szmiron szerk-ben: Eszkpluatacionnaja nadozsnosztj i rezsimi tehnicseszko go obszluzsivanyija szamoljotov (Moszkva "Transport", 1974.)
4. Sz. Ju. Szkripnyicsenko: Optimizacija pezsimo b poljota (Moszkva "Masinosztroenyije", 1975.)
5. Matematikai statisztika (Budapest, Tankönyvkiadó, 1967.)
6. A.Sz. Satalov szerk-ben: Letatyelni je apparati kak objekti upravlenyija (Moszkva "Masinosztroenyije", 1972.)