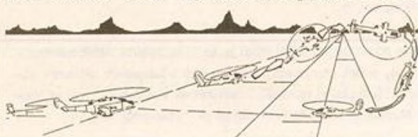


Óvári Gyula nk.őrnagy, főiskolai docens:

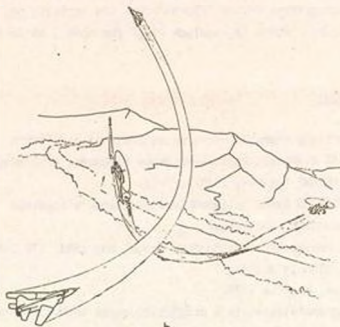
MANŐVEREZŐ HELIKOPTEREK
IDŐLEGES KORMÁNYOZHATÓSÁG VESZTÉSE

Napjaink legkorszerűbb harci helikopterei alkalmassá váltak valamennyi - merevszárnyú repülőgépekkel is megvalósítható - műrepülő manőver végrehajtására. Ennek gyakorlati jelentősége főként abban mutatkozik, hogy így lehetővé vált a forgószárnyas légi járművek hagyományos katonai szerepkörének (felderítés, szállítás, tűzvezetés stb.) számottevő kiszélesítése. Megjelentek a szárazföldi csapatok tűztámogatására, bombázásra, harckocsik és ellenséges helikopterek elleni légi harcra is alkalmas, sőt adott korlátok között még vadászrepülőgépekkel is eredményesen megküzdő

harci helikopterek (1. ábra).



a,



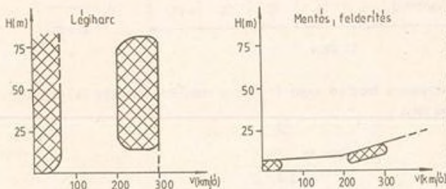
b,

1. ábra

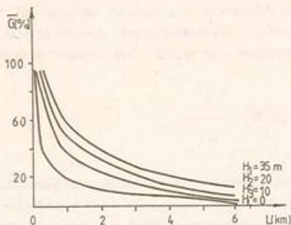
Elméleti és gyakorlati kutatások nyomán megállapítható, hogy harctevékenység során a helikopterek hatékony, intenzíven manőverezésére a földközeli repülési magasság ($H = 0-100$ m), ill. függés és a maximális körüli repülési sebesség ($v_{\max} = 250-350$ km/d) a legalkalmasabb (2. ábra).

Természetesen a "hagyományos" műrepülő feladatok (ugrás, bukfenc, harcforduló stb.) végrehajtása csak nagy sebességgel történhet. A kis repülési magasság alacsony felderíthetőségi szintet (\bar{G}_g) (3. ábra), valamint magas harci túlélési valószínűséget biztosít (4. ábra). Ez utóbbi azonban nagy repülési sebességet is szükségessé tesz. Pl. számítógépes modellezés alapján $v = 30$ m/s repülési sebességet feltételezve a harci túlélés valószínűsége 55 %-ra adódik, míg $v = 60$ m/s esetén ez már 86 %-ra növekszik.

INTENZIV MANÓVEREZÉS



2. ábra



3. ábra

Földközeli, nagysebességű repülés során - különösen harci- vagy veszélyhelyzetben (pl. terep-akadály hirtelen feltűnésekor) - döntően a függőleges síkban felfelé, ritkábban az oldalirányba végrehajtott intenzív kitérő manőverre nyílik lehetőség. Ilyen esetekben akár melyik mozgásformát választja is a helikopter-vezető,

várható eredményessége alapvetően a létrehozott túlterhelés nagyságával lesz arányos.

A helikopter túlélésének valószínűsége

Repülési magasság	5 m	50 m	100 m	500 m	1000 m
Megsemmítő eszköz	Túlélési valószínűség (%)				
Föld - levegő ^o légvédelmi rakéta	≈100	90	80	40	10
Kézi légvédelmi rakéta	≈100	95	90	85	90
Többcsőű légvédelmi gépágyú	≈100	90	85	75	60
Légvédelmi géppuska	≈100	90	75	85	95
Gyalogsági fegyverek ösztüze	80	70	60	80	≈100

4. ábra

Normál vízszintes forduló esetén a (függőleges-) túlterhelés (n_y) csak a bedöntés szögétől (γ) függ

$$n_y = \frac{1}{\cos \gamma}$$

A γ értékét viszont a forduló sugar (r_v) és a repülési sebesség (v) együttesen határozza meg:

$$\gamma = \arctg \frac{v^2}{g \cdot r_v}$$

A függőleges síkban, görbevonaltú pályán végrehajtott emelkedő manőver során létrejövő pillanatnyi túlterhelés - a repülési sebesség (v), a pálya sugár (r_f), a gép pillanatnyi helyzetéhez húzott érintő és a vízszintes közti hajlásszög (Θ) ismeretében - az alábbi összefüggéssel számítható:

$$n_y = \cos \Theta + \frac{v^2}{g \cdot r_f}$$

Ezek az összefüggések azonban csak a helikopter súlypontjában ható túlterhelés nagyságáról tájékoztatnak. Amennyiben a gép a manőver során kereszt- (hossz-, függőleges-) tengelye körül ϵ_z (ϵ_x, ϵ_y) szöggyorsulással el is fordul (és rendszerint elfordul!), úgy a súlypontjától x_i ($y_i; z_i$) távolságra elhelyezett i -edik berendezés túlterhelése ($n_{y,i}$) jelentősen módosul:

$$n_{y,i} = n_y \pm \frac{\epsilon_z}{g} x_i$$

A helikopterrel elérhető legnagyobb túlterhelést azonban - a merevszárnyú repülőgépektől eltérően - nem szilárdsági vagy fiziológiai megfontolások alapján, hanem aerodinamikai okok miatt szükséges korlátozni. (Tapasztalatok szerint meglehetősen alacsony $n_{y,max} = 1,5 - 3$ értéken.) A forgószárny-lapátokon ugyanis már ilyen kis túlterheléssel járó manőverek során is megjelenik és kiszélesedik egy áramlásleszakadásos zóna, mely a helikopter önbédőlését és állásszög szerinti, instabillá válását eredményezi. Esetenként mindez - több kedvezőtlen körülmény együttes előfordulása esetén - időleges kormányozhatóság-vesztéssel is kiegészülhet. Az instabilitás főként v_{max} körüli sebességgel, hirtelen botkormány-kitérítéssel, ugrásba történő bevitel vagy zuhanásból való kivétel közben jelentkezik. Amennyiben ilyenkor egyidejűleg a forgószárnylapátok közös beállítási szögét is növelik, vagy a helikopter súlypontja hátsó szélső helyzetben van, esetleg magas a környező levegő hőmérséklete, úgy a jelenség bekövetkezésének még nagyobb a valószínűsége.

A manőver végrehajtása előtt az egyenesvonalú vízszintes vagy süllyedő pályán csúszás-, dőlésmentesen, egyenletes sebességgel haladó helikopterre ható erők és nyomatékok egyensúlyba vannak:

$$\begin{aligned} \Sigma F_y &= 0 & \Sigma F_x &= 0 & \Sigma F_z &= 0 \\ \Sigma M_y &= 0 & \Sigma M_x &= 0 & \Sigma M_z &= 0 \end{aligned}$$

Függőleges síkban a nyomatéki egyensúlyt a helikopter sárkány fő funkcionális egységein (forgószárny, törzs, stabilizátor, szárny) létrejövő erők nyomatéki biztosítják:

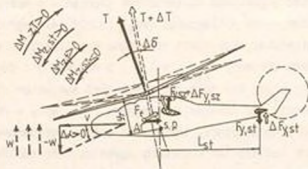
$$\Sigma M_z = M_{z,T} + M_{z,t} + M_{z,st} + M_{z,sz}$$

A görbevonalú pályán emelkedő helikopter állásszöge (α), hosszdőlési- (bólintási-) szöge (ψ), valamint pályájának hajlásszöge közötti kapcsolat az

$$\alpha \approx \psi - \ominus$$

közelítő összefüggéssel jellemezhető. A repülési utasításokban megengedett intenzitású emelkedéskor ($\dot{\Theta} = \omega_z = 3 - 5$ fok/s) ψ és \ominus közel azonos mértékben növekszik, így különbségük (α) is alig változik. Amennyiben

$\omega_z > \omega_{z,meg}$ a hosszdőlés (ψ) növekedését a pálya hajlásszögének



5. ábra

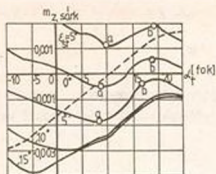
A forgószárny vonderő vektorának (T) nagysága ΔT értékkel megnő az állásszögnövekedés ($\Delta\alpha$) következtében, valamint $\Delta\delta$ szöggel hátrafelé meg is dől (5. ábra). Mindez fokozza az emelkedési hajlamot, mivel

$$\Delta M_{z,T} \approx T \cdot y_T \cdot \Delta\delta,$$

illetve $\Delta M_{z,T} > 0$, vagyis a forgószárny az állásszög szerint statikusan instabil.

A törzs (vízszintes stabilizátor nélkül!) a teljes állásszögtartományban az instabilitást növeli, mivel növekedésével az AC pont előre mozdul. Az itt ható felhajtó- és légellenállási erők, illetve eredőjük (F_y) növekszik, ami ugyancsak pozitív $\Delta M_{z,t} > 0$ nyomatékot eredményez.

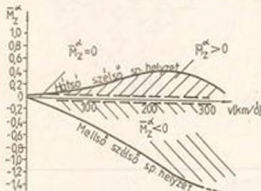
A vízszintes stabilizátoron ható függőleges légerő összetevő ($F_{y,st}$) repülés közben lefelé mutat, így az állásszög növekedés ($\Delta\alpha > 0$) hatására nagysága $\Delta F_{y,st}$ értékkel csökken. Ez stabilizáló nyomaték $\Delta M_{y,st} < 0$ megjelenését eredményezi. A stabilizátor AC tengelyének a gép súlypontjától (sp) mért távolsága (L_{st}), állásszöge (állásszögváltozása) körültekintő megválasztása az egész helikopter stabilitása szempontjából alapvető fontosságú. A stabilizátor effektív állásszögétől (ϵ_{st}) függően egyes állásszögtartományban (a-b) az egész sárkány instabillá válhat, $m_{z,sárc} > 0$ (6. ábra). A vízszintes vezérsík stabilitásra gyakorolt hatásának pontos meghatározása ezért nehézkes, mert a repülési üzemmódtól függően a forgószárny, merevszárny, függesztmények stb. együttes vagy külön-külön zavarásában is üzemelhet..



6. ábra

A rendszerint súlypont (sp) mögött elhelyezett szárnyon az állásszög-növekedés növeli a felhajtóerőt ($\Delta F_{y,sz}$), amely a gépet eredeti állásszögére igyekszik visszatéríteni. Ennek megfelelően a szárny is növeli az állásszög szerinti statikus stabilitást ($M_{z,sz} < 0$).

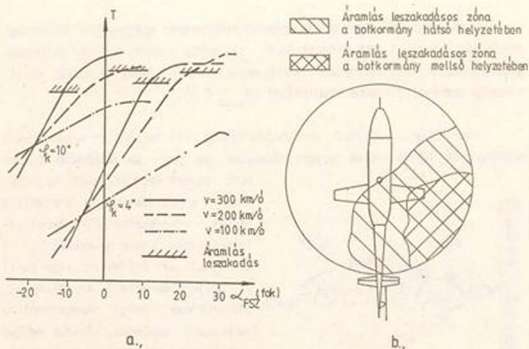
Amennyiben az intenzív emelkedőmanőverbe vitt helikopter súlypontja a megengedett hátsó szélső helyzet közelében van, úgy - az előzőekben felsorolt légerő változásokkal együttesen - a gép statikusan instabillá válhat, a kereszttengetely körüli elfordulásának üteme növekszik $\epsilon_z > 0$ (7. ábra). Ezt érzékelve (vagy sem!) a helikopter-vezető az állásszög (hosszdőlési szög) növekedését a botkormány semleges, illetve mellső szélső helyzetbe állításával igyekszik megszüntetni. Ennek a kormányvezérlési tevékenységnek (-kísérletnek) tapasztalatok szerint két kimenetele lehetséges:



7. ábra

- szélsőséges esetben a forgószárny és törzs destabilizáló hatása annyival meghaladja a szárny és a vízszintes vezérsík stabilizáló erejét (nyomatékát), hogy a hidraulikus kormányerő-csökkentők teljesítménye nem elégséges a vezérlő automata elmozdításához. A hajózó a bot "beékelődését", a hosszdőlés (ψ) további növekedését tapasztalja;
- a hidraulikus kormányerő-csökkentők teljesítménye éppen elég a vezérlő automata (botkormány) elmozdítására, ez azonban csak a kívánatosnál lassabban megy végbe. A bot mellső szélső helyzetig történő elmozdítását követően tovább növekszik a helikopter hosszdőlési szöge.

Az utóbbi jelenségnek az a magyarázata, hogy az egyébként szabályos és hatékony kormánymozdulat nagy állásszögön és repülési sebességen a hátrafelé haladó, lecsapó lapátok állásszögét az egyébként is alacsony kritikus érték felé növeli (8.a. ábra). Ennek eredményeként a lapátvégi áramlásleszakadási zóna fokozatosan kiterjed a lapátó irányába (8.b. ábra).



B. ábra

A nagymérvű áramlásleszakadás következtében a $\Psi = 270^\circ - 330^\circ$ -os azimutnál lévő lapátok hordképessége lecsökken, ami - csuklós lapátbekötés esetén - a vonóerő-vektor (T) további hátra- és oldalradőrlését okozza.

A függőleges síkban manőverező helikopter stabilitás- és kormányozhatóság-vesztésének megakadályozási lehetőségeit vezetéstechnikai és konstrukciós szempontból egyaránt célszerű megvizsgálni.

A helikopter-vezető a repülési utasításokban előírt korlátozások betartásával előzheti meg leghatékonyabban gépe instabillá válását. Ezen szabályok közül a legfontosabbak:

- $v > v_{\text{utazó}}$ sebességeken tilos a botkormány hátrafelé történő elmozdításával egyidőben a közös beállítási szöget növelni;
- $v_{\text{utazó}} \div v_{\text{max}}$ sebességtartományban nem engedhető meg a botkormány hirtelen hátrahúzása ($\omega_z \leq 2-5 \text{ fok/s}$);
- zuhanásból való kivételnél nem növekedhet a repülési sebesség v_{max} felé;

- manőverező repülés során, ha áramlás-leszakadásra utaló rázás jelentkezik, azonnal csökkenteni kell a forgószárny-lapátok közös beállítási szögét.

Amennyiben a helikopter függőleges síkban történő emelkedése közben mégis bekövetkezik az állásszög szerinti instabilitás, úgy a helikopter-vezető az alábbiak szerint tevékenykedhet:

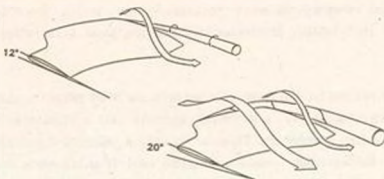
- azonnal csökkenti 2^0-3^0 -kal a forgószárny-lapátok közös beállítási szögét. Ennél nagyobb érték azért nem engedhető meg, mert a forgószárny (szabadturbina) fordulatszáma a megengedett maximális érték fölé növekedhet. Ezt a hajtómű-automatika teljesítmény-csökkentéssel, szélsőséges esetben kikapcsolással próbálja megszüntetni;
- a kisebb lapátbeállítási szög megszünteti az áramlás leszakadásos zónát, ezután a forgószárny forgatásához ugrásszerű teljesítmény-többlet válik szükségessé. A hajtómű korlátozott gyorsulékonyága következtében nem képes követni ennek ütemét, a forgószárny fordulatszáma lecsökken. E nemkívánatos hatás csökkenthető a faroklépcsavartól történő teljesítmény-elvonással, illetve átadással, ami a lapátok beállítási szögének csökkentésével biztosítható. (Jobb forgású forgószárnyal felszerelt helikoptereken (MI-2/8/17/24) a láb kormány balra történő kitérítésével.) Ilyenkor is ügyelni kell azonban arra, hogy a pedálkitérítés folytonos, viszonylag lassú ütemű legyen, mert a helikopter 140^0-180^0 -kal bepördülve, csúszva vagy háttal repülhet tovább;
- az áramlásleszakadásos zóna kiterjedése csökkenthető a (MI-típusú) helikopter (balra történő) bedöntésével;
- a repülési sebesség-csökkenés hatására kisebb lesz a $\Psi = 270^0-330^0$ -os azimutnál levő lapátok áramlásleszakadásos zónájának kiterjedése (v.ö. 8. ábra);
- miután a helikopter teljesen visszanyerte emelkedő pályán a stabilitását és kormányozhatóságát, a hajózónak ügyelnie kell a vízszintes repülésre történő áttérés ütemére is. Ilyenkor ugyanis a csökkenő forgószárnyfordulatszám következtében csökken a lapátok centrifugális ereje (hajlítómerevsége), nő rugalmas alakváltozásuk mértéke. Amennyiben a törzs keresztengely körüli elfordulási szöge meghaladja a forgószárny forgási síkját, a lapátvég(-ek) a faroktartóhoz ütközhet(-nek).

- a helikopter-vezetőnek célszerű azt is figyelembe venni, hogy a környezeti levegő hőmérsékletének, a repülési magasságnak és súlynak a növekedésével nagyobb lesz egyazon repülési helyzet létrehozásához, illetve fenntartásához szükséges közös beállítási szög értéke is. Ez szükségszerűen csökkenti a rendelkezésre álló manővertartalékokat. Bár a fenti lehetőségeket figyelembe veszik úgy a gép tervezésénél, mint a repülési korlátozások meghatározásánál, a felsorolt jellemzők névleges értéktől való extrém eltérése vagy halmozott előfordulásuk, előírásos helikoptervezetői technika esetén is áramlásleszakadás megjelenéséhez vezethet a forgószárnyon.

A felsorolt rendszabályok betartása csak a repülés biztonságát növelik, de nem teszik lehetővé (MI-17; MI-24 esetében) $n_y = 0,5 \pm 1,5$ (1,8) túlterhelési határok kiterjesztését. A fokozott manőverezőképeséget biztosító $n_y = (-0,5) \div 3(3,5)$ értékek eléréséhez mindenképp a forgószárnyon kellett lényeges konstrukciós átalakításokat megvalósítani (AH-64; MI-28; Augusta-Mangusta). Ezek közül a legfontosabbak:

- csuklónélküli lapátbekötés alkalmazása, amely csökkenti csapkodás közben lapátkitérés nagyságát és a vezérlés tehetetlenségét;
- magas α_{kr} értékkel rendelkező forgószárny lapátprofilok (dinamikus karakterisztika szerint is!) kimunkálása, illetve speciális lapátvégek alkalmazása.

Utóbbinál leghatékonyabb a nyilazott negatív „V”-beállítású lapátvég (AH-64), illetve nagy reményekre jogosít az angol BERP (British Experimental Rotor Program) lapátvég-sorozat (9. ábra).



9. ábra

A winglet és a nyílazott szárnyvég előnyeit egyesítő speciális formáció növeli a lapátvég felhajtóerejét (akár 35 %-kal is!), az M_{kr} -t és α_{kr} -t. Mindezeket akár forgószárny-átmérő, akár közös beállítási szög csökkentésére hasznosítják, kevésbé deformálódó (csapkodó, csavarodó) lapátok alkalmazását teszi lehetővé. Ennek eredményeként v_{max} és $n_{y,max}$ egyidejűleg növelhető!

- fontos szerepe van a helikopter hossz-stabilitás megőrzésében a vízszintes vezérsíknak is. Ennek érdekében több gépen felületét növelték, a végtartóra kihelyezve igyekeztek kivonni a többi sárkányelem zavarási zónájából, illetve optimalizálták az EVK-val történő állásszög-vezérlési programjukat.

Felhasznált irodalom:

1. Graham Pay:
The EH-101-capabilities and operational aspects from a launch customer's viewpoint
VERTIFLITE 1987 N^o 6, p.50-56
2. Novickij P. - Volodko A.:
Szblizszenie lopasztej sz hvosztovoj balkoj
AVIACIA I KOSZMONAVTIKA 1980 N^o 9-10,
3. Óvári Gyula:
Helikopter szerkezettan I.
KGYRMF - 1986.
4. Pruynt Richard R. - Windolph George W.:
Survivability trade off consideration for future military observation helicopters
JOURNAL OF THE AMERICAN HELICOPTER SOCIETY 1979 N^o 2, p.4-9,
5. Romaszevics V.F. - Szamajlov G.A.:
Prakticseszkaja aerodinamika vertoletov
VOENNOE IZDATELSZTVO MO SzSzSzR 1980.
6. Volodko A.M.: Vertolet v rezsime "podhvat"
AVIACIA I KOSZMONAVTIKA 1985 N^o 7, p.32-33,