

**SZABOLCSI Róbert**  
[szabolcsi.robort@bgk.uni-obuda.hu](mailto:szabolcsi.robort@bgk.uni-obuda.hu)

## **UAV AUTOMATIKUS REPÜLÉSSZABÁLYOZÓ RENDSZER TÍPUS- ÉS LÉGIKALMASSÁGI TANÚSÍTÁSÁNAK MEGFELELÉSI KRITÉRIUMAI – HOSSZIRÁNYÚ MOZGÁS**

### *Absztrakt*

A szerző célja, hogy az UAV<sup>1</sup>/UAS<sup>2</sup> automatikus repülésszabályozó rendszerek hosszirányú irányítási csatornájában megvalósuló mozgások minőségi jellemzőiről átfogó képet adjon, és a minőségi jellemzőket olyan módon írja le, hogy e jellemzők alapjául szolgálhassanak egy adott UAV típus- és légiakalmassági vizsgálatainak. Tekintettel a hazai- és a nemzetközi szabályozás hiányára, vagy hiányosságaira, a cikkben közölt eredmények hiánypótlóak, és a hatósági tanúsításban résztvevő szakemberek számára megfontolásra ajánlott.

The purpose of the author is to derive a new set of dynamic performances of the longitudinal motion of the UAV spatial motion that could be applied directly during measure and test of the type- and airworthiness compliance of the UAV. Due to missing or not properly defined flying qualities of UAV the importance of this article is undoubted. The article will fill the gap in regulations, and its results are recommended for application for experts and authority staff during measure of the compliance of the UAV flying characteristics.

**Kulcsszavak:** UAV, UAS, hosszirányú mozgás, UAV robotpilóta, UAV automatikus repülésszabályozás, UAV hatósági tanúsítás ~ UAV, UAS, longitudinal motion, UAV autopilot, UAV automatic flight control system, UAV certification

---

<sup>1</sup> Unmanned Aerial Vehicle – pilóta nélküli légi jármű

<sup>2</sup> Unmanned Aerial System – pilóta nélküli légi jármű rendszer

## BEVEZETÉS

Tekintettel a modern UAVk sokszínűségére, e cikk csak a hagyományos tervezésű, hagyományos aerodinamikai elrendezésű, kisméretű UAV (SUAV<sup>3</sup>) automatikus repülésszabályozási kérdéseivel foglalkozik. Az UAV térbeli irányítása során annak háromdimenziós mozgása több irányítási csatornával bír. Az UAV térbeli mozgásában alapvetően kétféle mozgásfajtát különböztetünk meg. Az egyik a hosszirányú-, a másik az oldalirányú mozgás. A szerző célja, hogy összefoglalja a tanúsítási folyamatok eljárásrendjére vonatkozó és jelenleg is rendelkezésre álló szabályokat. Az UAV/UAS rendszerek légi-, és földi üzemeltetési jellemzői közül a szerző a fedélzeti automatikus repülésszabályozó rendszerre fektet különös hangsúlyt. Tekintettel a hiányos szabályozásra, a szerző bemutat, és alkalmazásra javasol egy merőben új követelményrendszert, amely alkalmas lehet a kisméretű pilóta nélküli légi járművek fedélzeti automatikus repülésszabályozó rendszer típus-, és légi alkalmassági megfelelési vizsgálata során.

## ELŐZMÉNYEK, MOTIVÁCIÓ, PROBLÉMAFELVETÉS

A szerző a [4] cikkében azt vizsgálta, hogy a légügyi hatósági tanúsítás eljárási folyamatai „barát, vagy ellenség”-ként kezelhetőek-e?! A cikkében a szerző igazolta, hogy a hatósági eljárásnak gyakorlatilag nincs hátránya, míg előnye számos mutatkozik.

A szerző az [5] cikkében részletekbe menően foglalkozik az UAV/UAS rendszerek légi alkalmassági tanúsítási sajátosságaival. A szerző bemutatta, hogy a hazai tanúsítási rendszer számos eleme egyelőre nem teljes részletességgel kidolgozott, számos terület vár szabályozásra, vagy éppen a meglévő szabályok módosítására.

A szerző a [6] cikkében ismertette a hazai fejlesztésű METEOR-3MA pilóta nélküli célrepülőgépet, és a részére kifejlesztett C4S-HMEI OSD fedélzeti robotpilóta típus- és légi alkalmassági tanúsításának eredményeivel. A szerző, mint szakértő vett részt, és vesz részt mind a mai napig a Nemzeti Közlekedési Hatóság Légügyi Hivatala által vezetett hatósági tanúsítási folyamatban, amely ez év során sikerrel kecsegtet.

A szerző [3] szakkönyvében már foglalkozott a légi járművek automatikus repülésszabályozó rendszerei minőségi jellemzőivel. A szerző rámutatott, hogy a jelenleg ismert minőségi jellemzőket alapvetően az utasok, vagy a személyzet komfort érzetét szem előtt tartva határozták meg. Könnyű belátni, hogy az emberközpontú minőségi jellemzők, amelyekről [1] is számot ad, az UAVk esetében közvetlenül, újragondolás és esetleges módosítás nélkül nem használhatóak.

A nemzetközi gyakorlatban rendelkezésre álló szabályozók közül a NATO STANAG 4671 katonai szabvány az egyedüli, amely pilóta nélküli légi jármű rendszer légi alkalmassági tanúsításával foglalkozik [2]. A szabvány a több mint 150 kg és legfeljebb 20.000 kg maximális felszálló tömegű, és nem elkülönített légtérben közlekedő UAV-kra vonatkozik.

A NATO STANAG 4671 szabvány hatálya tehát közepes-, és nagy felszálló tömegű UAV-kra terjed ki. Ez a NATO-szabvány tehát nem alkalmazható a kisméretű UAV-kra. Mindezeket túl, az UAV repülésszabályozása szempontjából fontos dinamikus minőségi jellemzőket a szabvány „Flight Characteristics”, „Controllability and Manoeuvrability” fejezet, „145 Longitudinal control”, és a „147 Directional and lateral control” alfejezetei „Not applicable” („Nem alkalmazandó”) megjegyzéssel jelöli. Más szóval, a vizuális látótávolságon túl repülő

---

<sup>3</sup> Small Unmanned Aerial Vehicle – kisméretű pilóta nélküli légi jármű

pilóta nélküli légi járművek, amelyek nem elkülönített légtérben repülnek, sokszor automatizált üzemmódokon, a NATO STANAG 4671 szabvány hatálya szerint nem rendelkeznek a zárt automatikus repülésszabályozó rendszerekre vonatkozó minőségi előírásokkal.

## A HAZAI ÉS A NEMZETKÖZI SZABÁLYOZÁSI KÖRNYEZET BEMUTATÁSA

Az állami célú repülésben használt légi járművek típus-, és légi alkalmassági követelményeit a 21/1998. (XII. 21.) HM rendelet taglalja. E joghely még az UAV, vagy az UAS kifejezést sem tartalmazza. Megemlíteni szükséges azonban, hogy a jogszabály inkább a légi alkalmassági tanúsítás rendjét adja meg, mint az eljárás módszertanát, vagy éppen műszaki előírásait, követelményeit. Könnyű belátni, hogy az UAV/UAS típus-, és légi alkalmassági tanúsítási rendszerében a hazai jog meglehetősen hiányos.

A NATO STANAG 4671 katonai szabvány kifejezetten az UAS rendszerek légi alkalmassági tanúsítási követelményeiről szól [2]. A szabvány 1. változata 2007-ben készült el, 2008-ban hazánk is ratifikálta, de a hazai jogrendbe nem vezette be. A STANAG 4671 katonai szabvány 3. változatát a NATO 2009-ben léptette hatályba.

Új ösztönzést adhat az Európai Bizottság 2014. április 8.-i keltezésű, COM(2014)207 közleménye, amely 2016-tól előírja az UAV/UAS/RPAS rendszerek fokozatos és folyamatos integrációját a légiközlekedésbe a nem elkülönített légtérekben végrehajtott repülések során is. A megfogalmazott új irányok és ezen irányokban sikeresen megoldott feladatok felszabadítják az utat az UAV/UAS-technológiák elterjedése előtt: kitörési pont lehet ez úgy az európai-, mint a világpiacon az UAV-tervezők, a fejlesztők-, a gyártók-, és az üzemeltetők részére is.

## UAV TÉRBELI, HOSSZIRÁNYÚ MOZGÁSÁNAK DINAMIKUS REPÜLÉSI JELLEMZŐI

A cikkben a hagyományos tervezésű és gyártású UAVk-ra korlátozzuk vizsgálatainkat. A vizsgált UAV térbeli, hosszirányú mozgásának többváltozós, állapotterres modelljét zavarásmentes esetben, az alábbi egyenlettel írjuk le [1, 3]:

$$\dot{\mathbf{x}} = \mathbf{A}\mathbf{x} + \mathbf{B}\mathbf{u}, \quad (3.1)$$

ahol:  $\mathbf{x}$  – állapotvektor,  $\mathbf{u}$  – bemeneti vektor;  $\mathbf{A}$  – állapotmátrix;  $\mathbf{B}$  – bemeneti mátrix.

A továbbiakban feltételezzük, hogy az  $\mathbf{x}$  állapotvektor rendezői, más szóval, a hosszirányú mozgás repülési paraméterei az alábbiak [1, 3]:

$u$  – hosszirányú repülési sebesség [m/s];

$w$  – függőleges repülési sebesség [m/s];

$q$  – bólintó szögsebesség [rad/s], vagy [°/s];

$\vartheta$  – bólintó szög [rad], vagy [°].

Az UAV bemeneti vektorának rendezői, más szóval, a kormányzás/irányításhoz használt bemeneti jellemzői legyenek az alábbiak [1, 3]:

$\delta_E$  – magassági kormány szöghelyzet-változása;

$\delta_{TH}$  – hajtómű vezérlő kar (gázkar) helyzetváltozása.

A (3.1) egyenlettel megadott többváltozós, dinamikus modell bemenetei közül az UAVk helyzetszabályozásában a gázkar helyzete, vagyis a hajtómű üzemállapota ritkán változik: egy-

egy repülési fázisban állandó toló-, vagy vonóerőt állítanak elő a megfelelő értékű repülési sebesség biztosítása érdekében. A hosszirányú irányítási csatornában tehát az UAV tekinthető egy bemenettel rendelkező légi járműnek: a repülési paraméterek megváltoztatására a magassági kormányt használjuk.

Felmerül a kérdés, hogy az UAV irányítása során, a magassági kormányt kitérítve, az UAV milyen módon változtatja meg a hosszirányú mozgásának repülési paramétereit?! A gyakorlatban azt figyelhetjük meg, hogy az UAV kereszt tengely körüli hosszirányú mozgása két mozgásfajtára, a rövidperiodikus, és a hosszúperiodikus (fugoid mozgás, pályalengés) mozgásra bontható fel. Előbb a rövidperiodikus mozgás cseng le, majd ebből fejlődik ki a pályalengés, amikor a sebességvektor térbeli helyzetet is változik.

Az UAV hosszirányú mozgásának dinamikus viselkedését az alábbi reprezentatív átviteli függvényekkel is megadhatjuk [1, 3]:

$$\frac{q(s)}{\delta_E(s)} = \frac{sK_0(s+1/T_{\Theta 1})(s+1/T_{\Theta 2})e^{-\tau_E s}}{(s^2+2\xi_{ph}\omega_{ph}s+\omega_{ph}^2)(s^2+2\xi_{sp}\omega_{sp}s+\omega_{sp}^2)}, \quad (3.2)$$

vagy

$$\frac{\vartheta(s)}{\delta_E(s)} = \frac{K_0(s+1/T_{\Theta 1})(s+1/T_{\Theta 2})e^{-\tau_E s}}{(s^2+2\xi_{ph}\omega_{ph}s+\omega_{ph}^2)(s^2+2\xi_{sp}\omega_{sp}s+\omega_{sp}^2)}, \quad (3.3)$$

ahol:

- $\delta_E(s)$  – a magassági kormány szög helyzet változásának Laplace-transzformáltja;
- $q(s)$  – bólintó szögsebesség változásának Laplace-transzformáltja;
- $\vartheta(s)$  – bólintó szög változásának Laplace-transzformáltja;
- $K_0$  – az UAV erősítési tényezője;
- $s$  – Laplace-operátor (komplex frekvencia);
- $1/T_{\Theta 1}$  – hosszúperiodikus, kisfrekvenciás mozgás zérusa;
- $1/T_{\Theta 2}$  – rövidperiodikus, nagyfrekvenciás mozgás zérusa;
- $\omega_{ph}$  – az UAV csillapítatlan hosszúperiodikus (fugoid) lengésének sajátfrekvenciája;
- $\omega_{sp}$  – az UAV csillapítatlan rövidperiodikus lengésének sajátfrekvenciája;
- $\xi_{ph}$  – az UAV csillapítatlan hosszúperiodikus (fugoid) lengésének csillapítási tényezője;
- $\xi_{sp}$  – az UAV csillapítatlan rövidperiodikus lengésének csillapítási tényezője;
- $\tau_E$  – holtidő.

A (3.2) és a (3.3) átviteli függvények alapján könnyen belátható, hogy dinamikus rendszer modellje negyedrendű, holtidős dinamikus rendszer. A lehetséges bemeneti jelektől függetlenül, az UAV válaszjele lengő lesz, tekintettel a gyakori gyenge öncsillapításokra. Megemlítjük, hogy ellentétben a személyzet által a fedélzetről irányított légi járművekkel, ahol a fugoid pályalengésekkel nem számolnak, mert annak kialakulását csillapító automata megelőzi; az UAVk esetén, véleményem szerint e mozgásfajtaival számolni kell a repülésszabályozás által esetlegesen nem kezelt folyamatok miatt.

Ha az UAV repülési paramétereit automatikus repülésszabályozó rendszer stabilizálja, vagy változtatja előre megadott algoritmus szerint, akkor a zárt repülésszabályozó rendszer minőségi jellemzőire megfogalmazhatunk elvárásokat, amelyeket a zárt repülésszabályozó rendszernek teljesítenie kell. Ebben az esetben csak az UAV rövidperiodikus mozgásának holtidős modelljét vesszük figyelembe, melynek átviteli függvényei az alábbiak [1, 3]:

$$\frac{q(s)}{\delta_E(s)} = \frac{sK_0(s+1/T_{\Theta_2})e^{-\tau_E s}}{(s^2+2\xi_{sp}\omega_{sp}s+\omega_{sp}^2)}, \quad (3.4)$$

vagy

$$\frac{\vartheta(s)}{\delta_E(s)} = \frac{K_0(s+1/T_{\Theta_2})e^{-\tau_E s}}{(s^2+2\xi_{sp}\omega_{sp}s+\omega_{sp}^2)}. \quad (3.5)$$

A (3.2)–(3.5) modellek rögzítése lényeges, mert az UAV identifikációja során meg kell adnunk, hogy egyváltozós (átviteli függvény), vagy többváltozós (állapotterez modell) modellben gondolkodunk, az lineáris, vagy nemlineáris, tartalmaz-e holtidőt az identifikálandó modell, vagy sem?!

A hosszirányú mozgást irányító zárt automatikus repülésszabályozó rendszer tranziens válaszfüggvényein számos minőségi jellemzőt definiálhatunk. Általában többhurkú repülésszabályozó rendszert építenek az UAV-k fedélzetére. Az első visszacsatolás a bőlintó szögsebesség szerint valósul meg, és ezt a hurkot bőlintó csillapító automatának szokás nevezni [1, 3].

Az UAV zárt repülésszabályozó rendszereinek tervezésekor a hosszirányú mozgás átmeneti függvényein értelmezett, és figyelembe veendő minőségi jellemzőkre javaslatom a következő:

- $\xi_{cl}$  – az UAV zárt automatikus repülésszabályozó rendszere csillapított lengéseinek csillapítási tényezője;
- $\sigma_{cl}$  – az UAV zárt automatikus repülésszabályozó rendszere csillapított lengéseinek túlszabályozása;
- $t_p$  – az UAV zárt automatikus repülésszabályozó rendszere csillapított lengéseinek csúcsideje;
- $t_s$  – az UAV zárt automatikus repülésszabályozó rendszere csillapított lengéseinek tranziens ideje;
- $\Delta$  – az UAV zárt automatikus repülésszabályozó rendszere csillapított lengéseinek dinamikus pontossága.

Az UAV zárt repülésszabályozó rendszereinek tervezésekor tervezési kritérium lehet a zárt repülésszabályozó rendszer pólusainak és zérusainak értéke, illetve helye a komplex síkon. E minőségi előírások szolgálnak alapul domináns póluspárra történő tervezés során is [1, 3]:

- $p_i$  – az UAV zárt automatikus repülésszabályozó rendszer pólusai;
- $z_i$  – az UAV zárt automatikus repülésszabályozó rendszer zérusai.

Az UAV zárt repülésszabályozó rendszereinek tervezésekor a hosszirányú mozgás felnyitott szabályozási körének frekvenciafüggvényein (Bode-diagram, Nyquist-diagram) értelmezett, és figyelembe veendő minőségi jellemzőkre javaslatom a következő:

- $G_m$  – az UAV felnyitott automatikus repülésszabályozó rendszerének erősítési tartaléka;
- $\varphi_m$  – az UAV felnyitott automatikus repülésszabályozó rendszerének fázistartaléka.

A fent megadott minőségi jellemzők megfelelőek, és elégségesek a zárt szabályozási rendszerek tervezéséhez, a megtervezett rendszere stabilitás-, és minőségvizsgálatához. A hatósági tanúsítások során a fenti paraméterek és jellemzők messzemenően elegendők az UAV repülésszabályozó rendszer előírásoknak megfelelése megítéléséhez.

A (3.5) egyenlettel megadott átviteli függvényt sokszor további egyszerűsítésnek vetik alá, melyek az alábbiak [1, 3]:

- a zérustól eltekintenek;
- az UAV-t holtidőmentes rendszernek tekintik.

Az UAV zárt, hosszirányú csillapító automata rendszerének referencia bemeneti jelre vonatkoztatott eredő átviteli függvénye legyen a következő alakú:

$$\frac{q(s)}{q_{ref}(s)} \cong \frac{\omega_{cl}^2}{(s^2 + 2\xi_{scl}\omega_{cl}s + \omega_{cl}^2)} \quad (3.6)$$

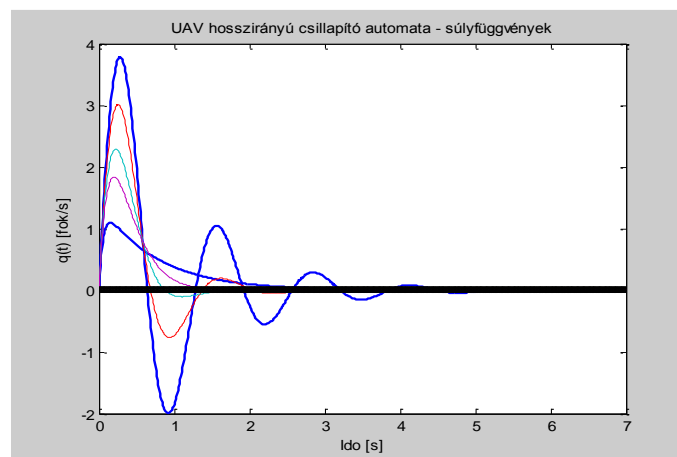
ahol  $\omega_{cl}$  és  $\xi_{cl}$  implicit módon fejezi ki a nemirányított UAV, és a repülésszabályozó rendszer paramétereinek kapcsolatát.

A (3.6) átviteli függvény nevezője a zárt automatikus repülésszabályozó rendszer egy domináns póluspárjának modellje. Feltételezzük, hogy tetszőleges bonyolultságú UAV repülésszabályozó rendszer esetén is tudunk olyan szabályozót tervezni, ami a zárt szabályozó rendszer karakterisztikus egyenletének gyökeit úgy helyezi el a komplex síkon, hogy a függőleges tengelyhez legközelebb egy komplex konjugált, más néven, domináns póluspár helyezkedik el. A zárt repülésszabályozó rendszer karakterisztikus egyenletének többi gyöke ettől a póluspártól nagy távolságra, balra helyezkedik el. Ennek megfelelően, a zárt UAV-repülésszabályozó rendszer dinamikáját a domináns póluspár határozza meg, a többi gyök érdemben nem befolyásolja a zárt szabályozás dinamikáját. E szabályozótervezés megvalósítását a MATLAB Control System Toolbox programjának *acker.m*, és a *place.m* segédfüggvényei támogatják [3].

A továbbiakban vizsgáljuk meg egy hipotetikus UAV tranziens viselkedését, az alábbi paraméterek mellett:

$$\omega_{cl} = 5 \text{ rad/s}, \xi_{cl} = (0,2 \div 2). \quad (3.7)$$

Az 1. ábrán jól látható, hogy az UAV keresztengely körüli bólintó mozgása az erősen lengőtől az aperiodikus viselkedésig terjed, mindeközben, a minőségi jellemzők is széles határok között változnak. A vizsgálatok során bemenetnek tekintett egységimpulzus bólintó szögsebesség inkább matematikai, mint fizikai jellegű: a gyakorlatban ilyen jelet előállítani nem lehetséges, csak közelíteni tudjuk a bemeneti jel idősorát. A válaszfüggvényt viszont nagyon jól használhatjuk a zárt automatikus repülésszabályozó rendszer stabilitásának vizsgálata során.



1. ábra. UAV hosszirányú csillapító automata súlyfüggvényei

$$\xi_{clmax} = 2; \xi_{clmin} = 0,2; \xi_{cl} = 0,4; \xi_{cl} = 0,7; \xi_{clkrit} = 1$$

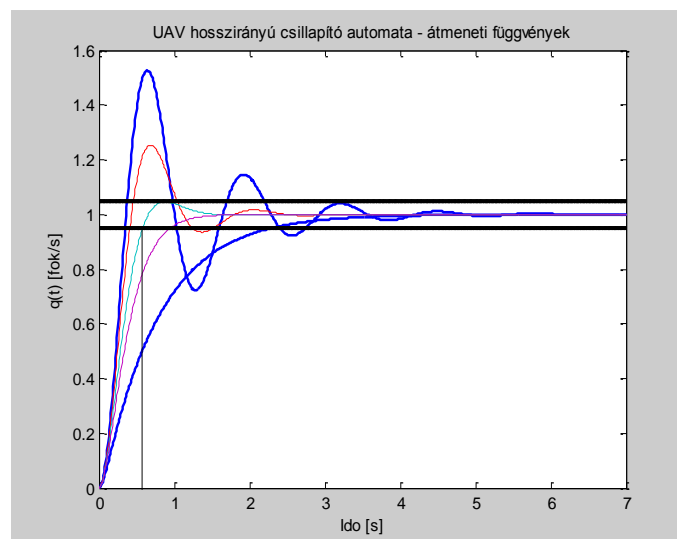
Vegyük górcső alá a korábban szignifikánsnak nevezett minőségi jellemzőket, és határozzuk meg azok értékeit.

1.  $\xi_{cl}$ : célszerű definiálni annak minimális, maximális, és nominális értékeit. A csillapító automata minimális csillapítási tényezője legyen  $\xi_{clmin} = 0,2$ , ami biztosítja a rendszer súlyfüggvényének korlátos jellegét. A csillapítási tényező maximális értéke

legyen  $\xi_{clmax} = 2$ , ami túcsillapított, aperiodikus viselkedést jelent, viszont e csillapítás növeli a tranziens időt. És végül, a nominális csillapítási tényező essen a következő értékek közé:  $\xi_{clnom} = 0,6 \div 0,8$ . A csillapítási tényező elfogadott értéktartománya tehát legyen a következő:  $\xi_{cl} = 0,2 \div 2$ .

2.  $\sigma_{cl}$ : ha a csillapító automata csillapítási tényezője kisebb, mint 1, akkor értelmezett a túlszabályozás (túllövés) is, melynek százalékban kifejezett értéke  $\sigma_{cl} = \frac{q_{max} - q(\infty)}{q(\infty)}$ . 100%. A leginkább lengő jelleggel bíró tranziensek során a csillapítás maximális értéke legyen  $\sigma_{clmax} \leq 60\%$ .
3.  $\Delta$ : dinamikus pontosság azt a dinamikus állapotot reprezentálja, amikor a csillapító automata válaszfüggvénye belép a válaszfüggvény stationer értékéhez képest felvett  $\pm\Delta$  csatornába, és onnan többé már nem lép ki. Könnyű belátni, hogy a dinamikus pontosság növelése mindig információvesztéssel jár, hiszen abban az időpillanatban, amikor egy válaszfüggvény belép a  $\pm\Delta$  csatornába, a tranziens folyamat befejezettnek tekintjük, függetlenül a valós viszonyoktól és folyamatoktól. Az UAV-k hosszirányú csillapító automatájára alkalmazzuk a  $\pm 10\% \leq \Delta \leq \pm 20\%$  dinamikus pontosságot. Bár irányítástechnikában az ilyen értékkel bíró szabályozásokat *kevésbé igényesnek* szokás nevezni, nem szabad szem elől téveszteni, hogy maga az UAV repülésszabályozás teljesen új keletű a klasszikus szabályozástechnikai elvek lefektetésének idejéhez képest.
4.  $t_s$ : a tranziens idő az az időpillanat, amikor egy válaszfüggvény belép a  $\pm\Delta$  dinamikus pontosság csatornába, és onnan többé már nem lép ki. Természetesen, az egyes UAV kategóriákban más és más dinamikák fordulhatnak elő, ezért legyen a tranziens idő felülről korlátos értékű:  $t_s \leq 5$  s.

A 2. ábrán a (3.6) egyenlettel megadott UAV zárt szabályozó rendszerének átmeneti függvénye látható. A tranziens viselkedések alapján megállapítható, hogy a minimális és a maximális értékű csillapítási tényezők között futó válaszfüggvények megfelelőek, és ezek a minőségi jellemzők alkalmasak lehetnek egy adott UAV típus alkalmassági megfelelésének mérésére.

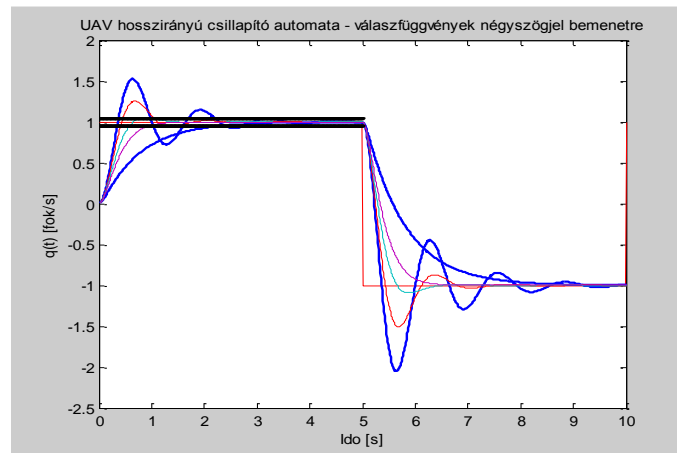


2. ábra. UAV hosszirányú csillapító automata átmeneti függvényei

$$\xi_{clmax} = 2; \xi_{clmin} = 0,2; \xi_{cl} = 0,4; \xi_{cl} = 0,7; \xi_{clkrit} = 1$$

A 2. ábrán jól látható, hogy a  $\Delta$  dinamikus pontosság leginkább elfogadott  $\pm 5\%$  értéke mellett a leggyorsabb lefolyású tranziens folyamattal a  $\xi_{cl} = 0,7$  csillapítási tényezőjű zárt UAV repülésszabályozó rendszer bír. Az átmeneti idő értéke  $t_s \cong 0,5$  s.

A 3. ábrán a (3.6) egyenlettel megadott UAV zárt repülésszabályozó rendszer válaszfüggvényét láthatjuk előjelváltó négyszögjel bemenetre. Ez a bemeneti négyszög jel tipikusnak mondható UAVk automatikus repülésszabályozása során.



**3. ábra.** UAV hosszirányú csillapító automata válaszjele az előjelváltó négyszögjelre

$$\xi_{clmax} = 2; \xi_{clmin} = 0,2; \xi_{cl} = 0,4; \xi_{cl} = 0,7; \xi_{clkrit} = 1$$

Az 1. 2. és a 3. ábrák alapján az UAV időtartománybeli viselkedését már könnyen meg tudjuk ítélni. Könnyű belátni, hogy a klasszikus repülésszabályozásban kialakult írott, és íratlan szabályrendszert UAV-ra közvetlenül alkalmazni nem célszerű a szigorú normák miatt. Mivel az UAV fedélzetén ember nem tartózkodik, ezért a minőségi jellemzőkben jóval megengedőbbek lehetünk, mint egyébként ez lehetséges lenne. A minőségi jellemzők degradálása, fokának romlása csak és kizárólag oly módon engedhető meg, hogy:

- a zárt automatikus repülésszabályozó rendszer stabilis maradjon;
- a stabilitási tartalékok megfelelőek legyenek;
- a lengések miatt ébredő erők és nyomatékok a kritikus helyeken (pl. a hajtómű, a szárnyak, és a vezérsíkok bekötési helyein) ne lépjék túl a megengedett maximális értékeket;
- a lengések miatt kialakuló nagyobb igénybevételek ne rontsák számottevően az UAV műszaki paramétereit (pl. élettartam, üzemeltetési jellemzők).

## 5. ÖSSZEGZÉS, EREDMÉNYEK, KÖVETKEZTETÉSEK

A cikkben a szerző összefoglalta azokat a matematikai, dinamikus modelleket, amelyek segítségével az UAV térbeli mozgás explicit módon leírható. A javasolt modellek többváltozós, állapotteres modellek, vagy pedig egyváltozós, átviteli függvényekkel megadott modellek. E modellek lehetnek holtidősek, vagy holtidő-mentesek.

A szerző összefoglalta a zárt automatikus repülésszabályozó rendszerek minőségi jellemzőit, és bemutatta azok sokszínűségét. E minőségi jellemző halmazból lehetséges összeállítani azon jellemzők körét, amely már alkalmas lehet egy adott UAV típus hatósági tanúsítása során a megfelelés értékelésére.

Az UAV típus-, és légialkalmassági tanúsítása során célszerű a rendelkezésre álló nagyszámú minőségi jellemző közül kiválasztani azt a néhány releváns jellemzőt, amelyek jól írják le, és hűen jellemzik egy-egy UAV típus viselkedését annak térbeli mozgása során. Könnyű belátni, hogy a később megfelelésre vizsgált UAV repülésszabályozási minőségi jellemzők közül célszerű azt a minimumot megtalálni, amely elegendő a tanúsító hatóság



számára, és maga az UAV/UAS nemcsak repülésszabályozás, hanem repülésbiztonság szempontjából is rendelkezik az előírt képességekkel.

Az UAV automatikus repülésszabályozó rendszerének tanúsítására megfontolás tárgyát képezheti a minőségi jellemzők alábbi csoportja:

- a.  $\xi_{cl}$  – az UAV zárt automatikus repülésszabályozó rendszere csillapított lengéseinek csillapítási tényezője;
- b.  $\sigma_{cl}$  – az UAV zárt automatikus repülésszabályozó rendszere csillapított lengéseinek túlszabályozása;
- c.  $t_p$  – az UAV zárt automatikus repülésszabályozó rendszere csillapított lengéseinek csúcsideje;
- d.  $t_s$  – az UAV zárt automatikus repülésszabályozó rendszere csillapított lengéseinek tranziens ideje;
- e.  $G_m$  – az UAV felnyitott automatikus repülésszabályozó rendszer erősítési tartaléka;
- f.  $\varphi_m$  – az UAV felnyitott automatikus repülésszabályozó rendszer fázistartaléka;
- g.  $\Delta$  – az UAV zárt automatikus repülésszabályozó rendszere csillapított lengéseinek dinamikus pontossága.

E minőségi jellemzők a klasszikus szöghelyzet stabilizáló robotpilóta üzemmódokon alkalmasak a repülésszabályozás minőségének megítélésére. A bonyolultabb pályavezérlő repülések, összetett navigációs feladatok megoldása során e jellemzők akár más és más értékeket is felvehetnek, esetleg a minőségi jellemzők köre is megváltozhat: kiegészülhet, vagy akár csökkenhet is a megfelelésre vizsgált paraméterek száma.

A cikk szerzője tovább dolgozik e területen, és úgy a hosszirányú-, mint az oldalirányú mozgás szabályozástechnikai minőségi jellemzőire számszerűsített javaslatot is tesz, valamint számítógépes szimuláció segítségével mutatja be a megadott minőségi jellemzőkkel bíró egyes UAV viselkedési formákat.

## Felhasznált irodalom

- [1] McLean, D. Automatic Flight Control Systems, Prentice-Hall International Ltd., New York-London-Toronto-Sydney-Tokyo-Singapore, 1990.
- [2] NATO STANAG 4671 Unmanned Aerial Vehicles Systems Airworthiness Requirements (USAR), NSA/0976(2009)-JAIS/4671, 2009.
- [3] Szabolcsi, R. Modern automatikus repülésszabályozó rendszerek, ISBN 978-963-7060-328, p415, Zrínyi Miklós Nemzetvédelmi Egyetem, 2011.
- [4] Szabolcsi, R. UAV és UAS rendszerek légialkalmassági tanúsítása: barát vagy ellenség?! Műszaki Tudomány az Észak-kelet Magyarországi Régióban 2013 tudományos konferencia kiadványa. Elektronikus műszaki füzetek XIII, ISBN 978-963-7064-30-2, pp (1-10), MTA Debreceni Akadémiai Bizottság, 2013.
- [5] Szabolcsi, R. Pilóta nélküli légijármű rendszerek légialkalmassági jellemzői, és a légialkalmassági tanúsítás követelményei, Szolnoki Tudományos Közlemények, XII. évf., 1. szám, ISSN 1419-256X (2060-3002), pp (64-75), 2013.
- [6] Szabolcsi, R. TUAV automatikus repülésszabályozó rendszer típus-, és légialkalmassági tanúsítása, Hadmérnök, 2013/4. szám, p(26-32), [http://www.hadmernok.hu/134\\_03\\_szabolcsir.pdf](http://www.hadmernok.hu/134_03_szabolcsir.pdf)
- [7] [http://ec.europa.eu/transport/modes/air/doc/com\(2014\)207\\_en.pdf](http://ec.europa.eu/transport/modes/air/doc/com(2014)207_en.pdf) (Letöltve: 2014. május 9.).