

S.H. SIMONYAN, A.V. NURJANYAN, A.V. MELIKYAN,
M.G. KHACHATRYAN

**THE RESULTS OF COMPUTER MODELING AND SOLUTION OF ONE-
PARAMETER GENERALIZED PALINDROMIC PROBLEMS**

The issues of developing tools for automated determination of eigenvalues-functions and eigenvectors-functions of one-parameter generalized palindromic problems are considered.

The solution of the problem consists of three stages of calculations: transformation of the problem into a spectral, determination of eigenvalues-functions, determination of eigenvectors-functions. At all stages of calculations, differential transformations served as the main mathematical apparatus, on the basis of which sequential and parallel computational procedures were proposed. The software tools were implemented in the object-oriented Python language, which made it possible to use the wide possibilities provided by modern information technologies.

Keywords: one-parametric generalized polydromic tasks, differential transformations, eigenvalues-functions, eigenvectors-functions, modern means of information technologies.

ՀՏԴ 629.7.062.2

Ն.Հ. ՆԵՐՍԻՍՅԱՆ, Ա.Գ. ԲԱՍԿՈՎՉԱՆ

**ԱՆՕԴԱՉՈՒ ԹՈՉՈՂ ՍԱՐՔԻ ԿԱՌԱՎԱՐՄԱՆ ՀԱՄԱԿԱՐԳԻ ՆԱԽԱԳԾՈՒՄԸ
ԵՎ ՀԵՏԱԶՈՏՈՒՄԸ ՈՉ ՀՍՏԱԿ ՏՐԱՄԱԲԱՆՈՒԹՅԱՄԲ ԿԱՐԳԱՎՈՐԻՉԻ
ԿԻՐԱՌՄԱՄԲ**

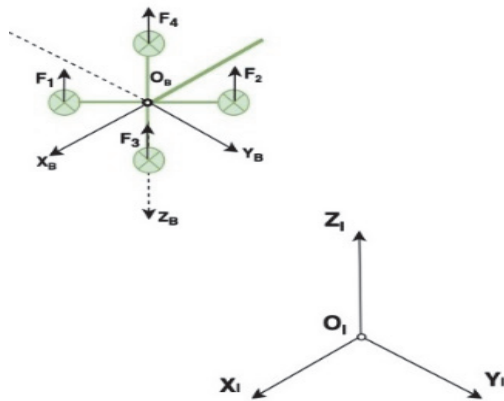
Նախագծվել և հետազոտվել է անօդաչու թռչող սարքի կառավարման համակարգ՝ ոչ հստակ տրամաբանությամբ (Fuzzy-PID) կարգավորիչի կիրառմամբ: Համակարգը նախագծվել է Matlab ծրագրային ապահովման SIMULINK միջավայրում: Իրականացվել են կարգավորիչի պարամետրերի ընտրություն, ստացված արդյունքների վերլուծություն և համեմատություն ստանդարտ համեմատական ինտեգրող-դիֆերենցող (ՀԻԴ) կարգավորիչի հետ:

Առանցքային բառեր. կառավարման համակարգ, անօդաչու թռչող սարք, քառապտուտակ, կարգավորիչ, ՀԻԴ, ոչ հստակ տրամաբանություն:

Ներածություն: Անօդաչու թռչող սարքերը ներկայումս լայն կիրառություն են գտել քաղաքացիական, ռազմական, գիտահետազոտական և մի շարք այլ ոլորտներում: Դրանց հիմնական առավելություններն են օդաչուի բացակայությունը, ցածր գինը, բարձր մանևրայնությունը և կառավարելիությունը: Այդ հատկությունների շնորհիվ՝ ԱԹՍ-ներով հնարավոր է իրականացնել մի շարք գործողություններ, ինչպիսիք են՝ փրկարարական օպերացիաները, աերոնկարա-

հանումը, տեղանքի դիտարկումը, քարտեզագրումը, ներխուժումը, օբյեկտների ոչնչացումը: Նշված գործողությունների իրականացումը պահանջում է ԱԹՍ-ների հուսալի և բարձր ճշգրտությամբ կառավարման համակարգ: Այդ նպատակով աշխատանքում նախագծվել է ԱԹՍ-ի կառավարման համակարգ, որը ներառում է ոչ հստակ տրամաբանությամբ կարգաբերվող գործակիցներով համեմատական ինտեգրող-դիֆերենցող կարգավորիչ (Fuzzy-PID), որը պետք է ապահովի արտաքին ազդեցությունների նկատմամբ կայուն և ավելի ճշգրիտ կառավարման համակարգ: Իրականացվել է նախագծված կարգավորիչի և ստանդարտ ՀԻԴ կարգավորիչի համեմատական վերլուծություն:

Համակարգի մաթեմատիկական մոդելը. Համակարգի վրա ազդող ուժերի, մոմենտների և ընդհանուր առմամբ դինամիկայի հավասարումների ստացման համար անհրաժեշտ է ներկայացնել կորորդինատային համակարգերը և դրանց միջև անցումները (նկ.1):



Նկ. 1. Քառապտուտակը և կորորդինատային առանցքները

Նկ. 1-ում B -ով նշանակված է իրանին կոշտ ամրացված կորորդինատային համակարգը, իսկ I -ով՝ իներցիալ կորորդինատային համակարգը, որի նկատմամբ էլ ներկայացվում է ԱԹՍ-ի դինամիկ հավասարումների համակարգը:

B -ից I անցումը նկարագրվում է էյլերի երեք պտույտներով, որոնք նկարագրվում են համապատասխանաբար $\psi - \varphi - \theta$ ընթացաշեղման, կողաթեքման և երկայնաճոճման անկյուններով (yaw, roll, pitch): Այս անկյունների շնորհիվ ստացվում է մի համակարգից մյուսը անցման պտույտի մատրիցը (1), որն ընկած է դինամիկ հավասարումների համակարգի հիմքում:

$$R_{B \rightarrow I} = \begin{pmatrix} \cos\theta\cos\psi - \sin\phi\sin\psi\sin\theta & -\cos\phi\sin\psi & \cos\phi\sin\theta + \cos\theta\sin\phi\sin\psi \\ \cos\theta\sin\psi + \cos\psi\sin\phi\sin\theta & \cos\phi\cos\psi & \sin\psi\sin\theta - \cos\psi\cos\theta\sin\phi \\ -\cos\phi\sin\theta & \sin\phi & \cos\phi\cos\theta \end{pmatrix}: (1)$$

Հաշվի առնելով (1)-ը, համակարգի դինամիկ հավասարումների համակարգը կունենան հետևյալ տեսքը՝

$$\begin{cases} m \frac{d^2x}{dt^2} = u_z(\cos\phi\sin\theta + \cos\theta\sin\phi\sin\psi) + \beta_x - k_x \frac{dx}{dt}, \\ m \frac{d^2y}{dt^2} = u_z(\sin\psi\sin\theta - \cos\psi\cos\theta\sin\phi) + \beta_y - k_y \frac{dy}{dt}; \\ m \frac{d^2z}{dt^2} = u_z(\cos\phi\cos\theta) - mg + \beta_z - k_z \frac{dz}{dt}; \end{cases} \quad (2)$$

$$\begin{cases} I_x \frac{d^2\theta}{dt^2} = u_\theta + \gamma_\theta + (I_y - I_z) \frac{d\phi}{dt} \frac{d\psi}{dt} - J_T \frac{d\phi}{dt} \Omega - k_\theta \frac{d\theta}{dt}, \\ I_y \frac{d^2\phi}{dt^2} = u_\phi + \gamma_\phi + (I_z - I_x) \frac{d\theta}{dt} \frac{d\psi}{dt} - J_T \frac{d\theta}{dt} \Omega - k_\phi \frac{d\phi}{dt}, \\ I_z \frac{d^2\psi}{dt^2} = u_\psi + \gamma_\psi + (I_y - I_x) \frac{d\theta}{dt} \frac{d\phi}{dt} - k_\psi \frac{d\psi}{dt}, \end{cases} \quad (3)$$

որտեղ (2)-ը ԱԹՍ-ի գծային շարժումների հավասարումների համակարգն է, իսկ (3)-ը՝ պտտական շարժումների հավասարումների համակարգը: (2)-ում և (3)-ում u_z -ը քառապտուտակի շարժիչների միջոցով ստեղծված արդյունարար քարշի ուժն է, u_θ, u_ϕ, u_ψ -ը՝ ղեկավարող մոմենտները, I_x, I_y, I_z -ը՝ իրանին կոշտ ամրացված կոորդինատային համակարգի համապատասխանաբար երեք առանցքներով ինեցիայի մոմենտները, $k_x, k_y, k_z, k_\theta, k_\phi, k_\psi$ -ն՝ ճակատային դիմադրության ուժերի գործակիցները, J_T -ն՝ բոլոր շարժիչների իներցիայի մոմենտները, Ω -ն՝ պտուտակների շարժման գումարային արագությունը, իսկ $\gamma_x, \gamma_y, \gamma_z, \gamma_\theta, \gamma_\phi, \gamma_\psi$ -ը՝ արտաքին վրդովող ուժերը և մոմենտները:

ՀԻԴ կարգավորիչ. Ներկայումս կառավարման համակարգերում լայնորեն տարածվածը համեմատական ինտեգրող-դիֆերենցող կարգավորիչն է (ՀԻԴ), որի ստանդարտ տեսքը ներկայացված է հետևյալ հավասարումով՝

$$U(t) = K_P e(t) + \frac{K_D de(t)}{dt} + K_I \int e(t) dt: \quad (4)$$

Այն որպես մուտքային ազդանշան ընդունում է համակարգի սխալի ազդանշանը՝ $e(t)$, իսկ ելքում ստացվում է կառավարող ազդանշանը [1]: (4)-ում K_P -ն համեմատական բաղադրիչի գործակիցն է, իսկ K_D և K_I -ն՝ համապատասխանաբար դիֆերենցող և ինտեգրող բաղադրիչների գործակիցները: Մաթլաբ ծրագրային ապահովման SIMULINK միջավայրում զուգահեռ տեսքի անընդհատ ՀԻԴ կարգավորիչը ներկայացվում է հետևյալ փոխանցման ֆունկցիայով՝

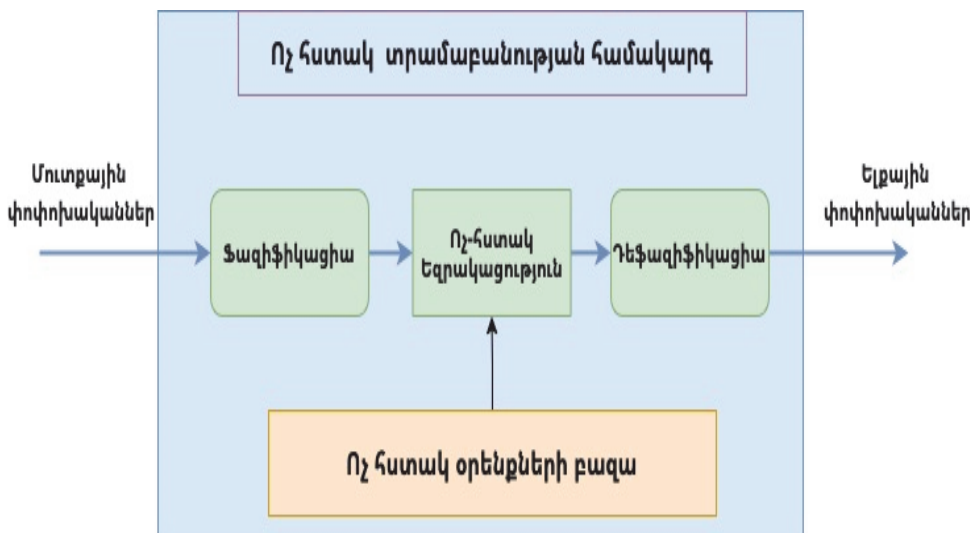
$$U(s) = P + \frac{I}{s} + D \frac{N}{1 + \frac{N}{s}}, \quad (5)$$

որտեղ P, I, D -ն համապատասխան համեմատական, ինտեգրող, դիֆերենցող բաղադրիչների գործակիցներն են, իսկ N -ը՝ դիֆերենցման ֆիլտրի գործակիցը:

Ֆիլտրի ներմուծումը պայմանավորված է դիֆերենցման գործողության հետևանքով համակարգում առաջացող բարձրհաճախական ազդանշաններով:

Ընդհանուր առմամբ, ստանդարտ թռիչքային պրոցեսների ոչ արագ փոփոխվող արտաքին պայմանների դեպքում ՀԻԴ կարգավորիչների կիրառմամբ ԱԹՍ-ների կառավարման համակարգերը կայունության տեսակետից բավարար են, սակայն պայմանով, որ ՀԻԴ կարգավորիչի գործակիցները ճիշտ են ընտրված [2]: Նման մոտեցման դեպքում բարդ մանևրայնության կամ անհայտ արտաքին ազդեցությունների դեպքում առաջանում է գործակիցները կրկին կարգաբերելու խնդիր՝ համապատասխան որակական ցուցանիշների բավարարման նպատակով: Այդ իսկ պատճառով անհրաժեշտություն է առաջանում համակարգում ներառել նաև այլ տրամաբանությամբ աշխատող կարգավորիչներ [3]:

Ոչ հստակ տրամաբանությամբ կարգավորիչ: Ոչ հստակ տրամաբանության հիմքում ընկած է ոչ ճշգրիտ բազմությունների տեսությունը, ինչը թույլ է տալիս որոշել այնպիսի համընդհանուր ընդունելի գնահատականների միջանկյալ իմաստները, ինչպիսիք են՝ այո/ոչ, ճիշտ/սխալ: Ոչ հստակ բազմությունները նկարագրվում են պատկանելության ֆունկցիաներով, որը բնութագրում է փոփոխականի պատկանելության չափը որևէ բազմությանը, այնուհետև որոշակի ոչ հստակ օրենքների հիման վրա որոշվում է վերջնական ելքային արժեքը (նկ.2): Տվյալ դեպքում ոչ հստակ կարգավորիչի մուտք են համարվել համակարգի սխալի ազդանշանը և նրա դիֆերենցիալը ($e, \Delta e$), սահմանվել են համապատասխան պատկանելիության ֆունկցիաները (նկ.3):



Նկ. 2. Ոչ հստակ տրամաբանության համակարգի աշխատանքի սխեման

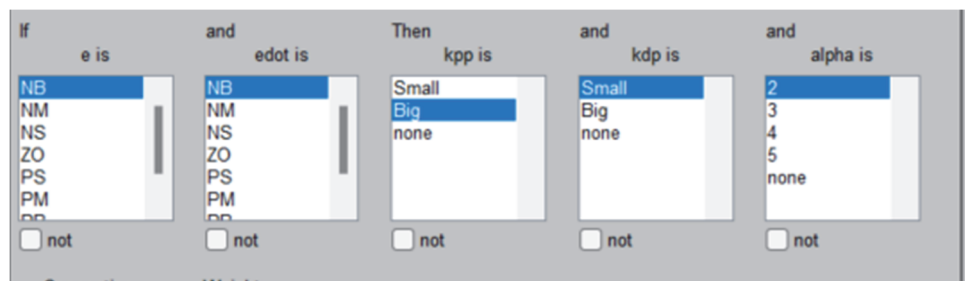


Նկ. 3. Ոչ հստակ տրամաբանությանը համակարգի ընտրված պարկանելիության ֆունկցիաները

ՀԻԴ կարգավորիչի համապատասխան գործակիցները հաշվարկվում են հետևյալ բանաձևով՝

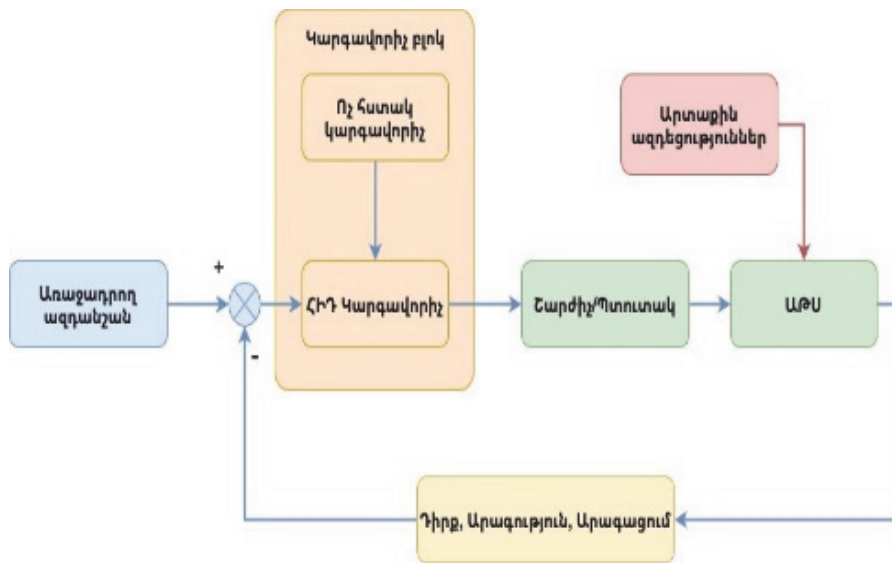
$$\begin{aligned}
 K_p &= (K_{p,max} - K_{p,min})K'_p + K_{p,min} , \\
 K_d &= (K_{d,max} - K_{d,min})K'_d + K_{d,min} , \\
 K_i &= K_p^2 / (\alpha K_d)
 \end{aligned}
 \tag{6}$$

որտեղ $K_{p,min}$, $K_{p,max}$, $K_{d,min}$, $K_{d,max}$ նախօրոք որոշված մեծություններ են, իսկ K'_p , K'_d , և α -ն՝ ոչ հստակ կարգավորիչի ելքում ապաֆագացման արդյունքում ստացված արժեքները: Ընտրված ոչ հստակ օրենքների հավանական տարբերակները բերված են նկ 4-ում [4]:

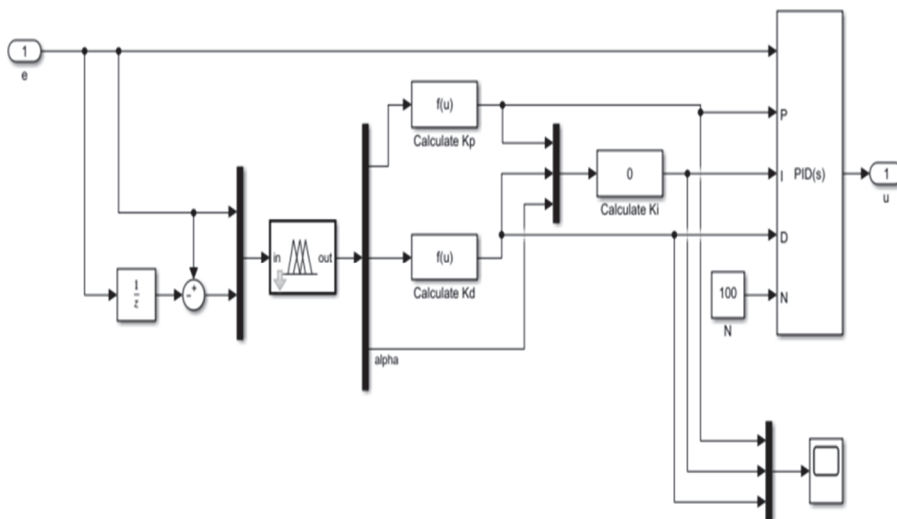


Նկ. 4. Ոչ հստակ տրամաբանությանը համակարգի օրենքները

Նախագծված համակարգը և հետազոտության արդյունքները: Ոչ հստակ կարգավորիչի ներառմամբ նախագծված հետադարձ կապով կառավարման համակարգի ընդհանուր ֆունկցիոնալ բլոկ-սխեման ունի նկ. 5-ում պատկերված տեսքը, որտեղից երևում է, որ ՀԻԴ կարգավորիչի կարգաբերումն իրականացվում է ոչ հստակ կարգավորիչի միջոցով [5]: Կարգավորիչի բլոկները SIMULINK միջավայրում ունեն նկ. 6-ում պատկերված տեսքը:

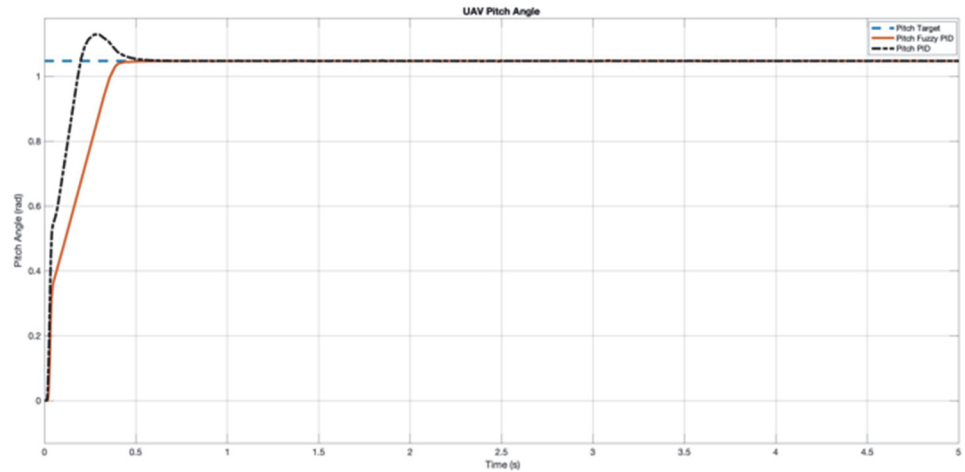


Նկ. 5. Նախագծված համակարգի ֆունկցիոնալ բլոկ-սխեման

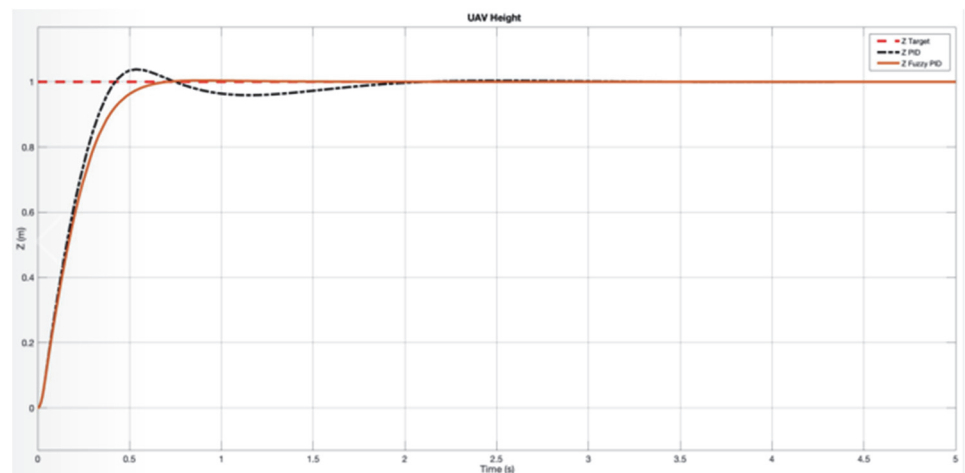


Նկ. 6. Ոչ հստակ կարգավորիչի բլոկը Simulink միջավայրում

Նկ. 7-ում և 8-ում ներկայացված են հետազոտության արդյունքում ստացված անցումային պրոցեսի գրաֆիկները՝ հաշվի առնելով համակարգում առկա արտաքին ազդեցությունները, որտեղ երևում է ոչ հստակ տրամաբանության առավելությունը ՀԻԴ կարգավորիչի համեմատ:



Նկ. 7. Ոչ հստակ ՀԻԴ և ՀԻԴ կարգավորիչներով երկայնաճոճման անկյան համեմատության գրաֆիկները



Նկ. 8. Ոչ հստակ ՀԻԴ և ՀԻԴ կարգավորիչների բարձրության համեմատության գրաֆիկները

Ոչ հստակ ՀԻԴ և ՀԻԴ համակարգերի համեմատությունը ըստ գերկարգավորման՝ σ , և կարգավորման ժամանակի՝ t_{ζ} , ներկայացված է աղյուսակում:

	Ոչ հստակ ՀԻԴ	ՀԻԴ
Երկայնաճոճման անկյուն	$\sigma = 0\%, t_y = 0.35 \text{վ}$	$\sigma = 16\%, t_y = 0.5 \text{վ}$
Z բարձրություն	$\sigma = 0.5\%, t_y = 0.65 \text{վ}$	$\sigma = 5\%, t_y = 1.7 \text{վ}$

Եզրակացություն: ԱԹՍ-ի համար նախագծված ոչ հստակ կարգավորիչի ներառմամբ կառավարման համակարգը, ի տարբերություն միայն ստանդարտ ՀԻԴ կարգավորիչով կառավարման համակարգի, ունի ավելի լավ որակական ցուցանիշներ, ինչը կապահովի ԱԹՍ-ի ավելի ճշգրիտ կառավարումը և կայուն թռիչքը:

ԳՐԱԿԱՆՈՒԹՅԱՆ ՑԱՆԿ

1. <https://www.elprocus.com/the-working-of-a-pid-controller/>
2. **James Carvajala, Guanrong Chen, Haluk Ogmen.** Fuzzy PID controller: Design, performance evaluation, and stability analysis // Information Sciences.- 2000 .- 123 (3-4). – P. 249-270.
3. **Sulochana Wadhvani, Veena Verma, Rekha Kushwah.** Design and tuning of PID controller parameters based on fuzzy logic and genetic algorithm // International Journal of Engineering Trends and Technology (IJETT), June 2013. – Vol. 4, issue 6. – P. 2518-2523.
4. **Gasparyan O.G.** Linear and Nonlinear Multivariable Feedback Control: A Classical Approach.- 2008. -354 p.
5. **Namazov Manafeddin, O. Basturk.** DC motor position control using fuzzy proportional derivative controllers with different Defuzzification methods // An Official Journal Fuzzy Systems Association. - 2010. - Vol.1, No.1. - P. 36-54.

Н.Г. НЕРСИСЯН, А.Г. БАСКОВЧЯН

РАЗРАБОТКА И ИССЛЕДОВАНИЕ СИСТЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ БЕСПИЛОТНЫМ ЛЕТАТЕЛЬНЫМ АППАРАТОМ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ РЕГУЛЯТОРА НЕЧЁТКОЙ ЛОГИКИ

Разработана и исследована система управления беспилотным летательным аппаратом с использованием регулятора нечёткой логики (Fuzzy-PID). Система разработана в среде SIMULINK программного обеспечения Matlab. Осуществлены подбор параметров регулятора, анализ полученных результатов и сравнение со стандартным пропорциональным интегрально-дифференциальным (ПИД) регулятором.

Ключевые слова: система управления, беспилотный летательный аппарат, квадрокоптер, регулятор, ПИД, нечёткая логика.

N.H. NERSISYAN, A.G. BASKOVCHYAN

DESIGN AND RESEARCH OF UAV CONTROL SYSTEM USING FUZZY LOGIC CONTROLLER

An unmanned aerial vehicle control system is designed and studied using a fuzzy logic controller (Fuzzy-PID). The system is developed in the SIMULINK environment of Matlab software. The selection of regulator parameters, the analysis of the obtained results and comparison with standard proportional integral differential controller (PID) are performed.

Keywords: control system, unmanned aerial vehicle, quadcopter, controller, PID, fuzzy logic.

УДК 62-50

О.Н. ГАСПАРЯН, В.Г. ИСПИРЯН, Г.А. МЕЛКОНЯН

АНАЛИЗ РОБАСТНОСТИ СИСТЕМ УПРАВЛЕНИЯ БЕСПИЛОТНЫМИ ЛЕТАТЕЛЬНЫМИ АППАРАТАМИ ПРИ ЧАСТИЧНОЙ ПОТЕРЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ МОТОРОВ

Предложена методика анализа робастности взаимосвязанной системы управления беспилотными летательными аппаратами (БПЛА) по отношению к возможной потере эффективности моторов, которая представлена в виде аддитивной неопределенности. Предельно допустимая потеря эффективности при этом определяется при помощи простой графической процедуры на комплексной плоскости годографов Найквиста отдельных каналов системы. Приведен численный пример, иллюстрирующий предложенную методику анализа робастности системы управления БПЛА.

Ключевые слова: многороторный БПЛА, многомерная система управления, анализ робастности.

Введение. Вопросам разработки систем управления БПЛА посвящено большое число статей [1-3]. Однако в этих работах относительно мало внимания уделено инженерным методам анализа робастности, основанным на методах классической теории регулирования. В настоящей работе предложена методика анализа робастности системы управления БПЛА при возможной частичной потере эффективности моторов, представленной в виде аддитивной неопределенности. Анализ робастности при этом осуществляется на комплексной плоскости годографов Найквиста отдельных каналов системы управления БПЛА.

Система управления многороторными беспилотными летательными аппаратами. При разработке систем управления БПЛА обычно осуществляется линеаризация нелинейных уравнений движения аппаратов за счет пренебре-