ԱՆՕԴԱՉՈՒ ԹՌՉՈՂ ՍԱՐՔԻ ՇԱՐԺՄԱՆ ՄԱԹԵՄԱՏԻԿԱԿԱՆ ՆԿԱՐԱԳՐՈՒԹՅՈՒՆԸ ԵՎ ՆՄԱՆԱԿԱՅԻՆ ՄՈԴԵԼԻ ՄՇԱԿՈՒՄԸ MATLAB/SIMULINK ՄԻՋԱՎԱՅՐՈՒՄ

ՀԱԿՈԲՅԱՆ ՄԱՄԻԿՈՆ
Տեխնիկական գիտությունների թեկնածու,
դոցենտ, ԳՊՀ պրոֆեսոր
e-mail: hmamik@mail.ru
ԿԱՐԱՊԵՏՅԱՆ ԱՆԻ
Գավառի պետական համալսարանի
բնագիտական ֆակուլտետի
«Համակարգչային ճարտարագիտություն» բաժնի
մագիստրատուրայի 2-րդ կուրսի ուսանողուհի
e-mail: ani.karapetyan.2016@mail.ru

Աշխատանքում դիտարկվում է անօդաչու թռչող սարքի շարժման մաթեմատիկական նկարագրությունը, ՀԻԴ կարգավորիչների վրա մշակված կառավարվող շարժման նմանակային մոդելի կառուցվածքային սխեման, որը ունակ է հաղթահարել թռիչքի պարամետրերը ըստ հետագծի և ըստ տրված խնդրի: Բինոմինալ բաշխման և Ցիգլեր-Նիկոլսի հաշվարկային մեթոդների օգնությամբ որոշվում է սխալանքի և շարժմանն հետևելու ճշգրտությունը: Աշխատանքում լուսաբանվում է նաև Matlab ծրագրի Simulink փաթեթի միջակայքում մոդելավորված հետազոտվող անօդաչու թռչող սարքի ոչ գծային երկայնական շարժման նմանակային մոդելի աշխատանքը:

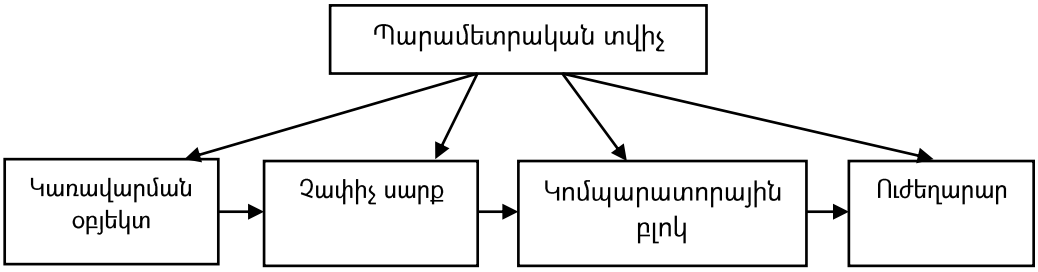
Բանալի բառեր՝ *անօդաչու թռչող սարք, շարժման մաթեմատիկական նկարագրություն, ՀԻԴ կարգավորիչ, նմանակային մոդել, մոդելավորում, ժամանակակից ծրագրային փաթեթ:*

Այսօր ժամանակակից անօդաչու թռչող սարքերը /ԱԹՍ/ ներկայացնում են համատեղ աշխատող սարքերի համալիր, որոնք ապահովում են ԱԹՍ-ների կայունացումը անկյան տակ տրված հետագծով թռիչքի ժամանակ, այն է՝ ԱԹՍ-ների մանևրներով կառավարվող թռիչքի բարձրության կայունացում:

Տիպիկ ԱԹՍ-ները բաղկացած են մի քանի ավտոմատներից, որոնք աշխատում են համատեղ: Յուրաքանչյուր ավտոմատ հսկում է միայն մեկ պարամետր՝ շարժման ուղղությունը, թեքությունը, արագությունը,

բարձրությունը և այլն: Յուրաքանչյուր ավտոմատի չափման սարքերը /ՉՍ/ չափում են դրա համար որոշակի թռիչքի ռեժիմի պարամետրերը, որոնք կոչվում են կարգավորման պարամետրեր՝ ուղղություն, բարձրություն, քարշ, թեքության անկյուններ [1, 2]: Ավտոմատ բլոկը մշակում է ազդանշան, որը համաչափ է չափվող պարամետրի ընթացիկ արժեքին: Հեռակառավարման օբյեկտից տրվում է ազդանշան, որը համապատասխանում է կառավարվող պարամետրի ցանկալի արժեքին: Ստացված ազդանշանների տարբերությունը մուտք է գործում ուժեղացուցիչներ, որից հետո՝ կառավարման մարմիններին: Կառավարման մարմիններն իրենց հերթին թեքում են ղեկը կամ կառավարման մարմինը համապատասխան դիրքի, որի արդյունքում էլ տեղի է ունենում թռիչքի պարամետրերի կարգավորումը:

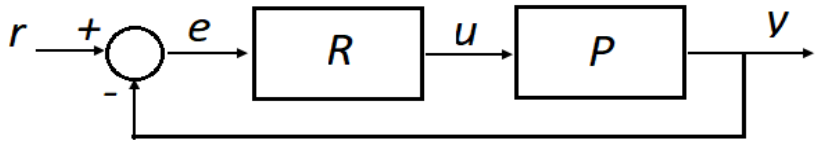
Երբ կարգավորվող պարամետրը կհասնի տրված արժեքին, կվերանա տարաձայնությունը, կառավարման մարմինները կդադարեցնեն իրենց շարժումը և կարգավորվող պարամետրում կլինի հավասարակշռություն: Կառուցվածքային սխեման պատկերված է նկար 1-ում, իսկ հետադարձ կապով ավտոմատ կարգավորման սխեման՝ նկար 2-ում:



Նկ. 1. Կառուցվածքային սխեման:

Նկար 2-ում ներկայացված է հետադարձ կապով պարզագույն կարգավորիչի սխեման: R բլոկը հանդիսանում է կարգավորիչ, P՝ կարգավորման օբյեկտ, r՝ կարգավորման տրված արժեք, e՝ կարգավորման սխալ, u՝ կարգավորիչի ելքային մեծություն, y՝ կարգավորվող մեծություն, ինչպես նաև՝ հետադարձ կապ:

Բացասական հետադարձ կապն ապահովում է կայունությունն ու համակարգում տատանումների արագ մարում: Կոշտ հետադարձ կապը տալիս է համաչափություն ղեկի շեղման և թռչող ապարատի /ԹԱ/ շեղման միջև սահմանված վիճակում:



Նկ. 2. Հետադարձ կապով ավտոմատ կարգավորման սխեման:

Կարգավորման օրենքն ունի հետևյալ տեսքը՝

$$\delta_{\text{ստ.ռեժ}} = k_{\text{ստ.ռեժ}} \cdot \Delta v,$$

որտեղ $\delta_{\text{ստ.ռեժ}}$ ըստ տանգաժի ու թեքության շեղման անկյուն է,

$k_{\text{ստ.ռեժ}}$ – ը՝ ավտոպիլոտի փոխանցման թիվը ըստ տանգաժի:

Սահուն կայունացում ստեղծելու համար հաշվի են առնում նաև $\frac{d\Delta v}{dt}$ կարգավորվող պարամետրի /անկյան/ փոփոխության արագությունը: ԹԱ-ի կտրուկ շեղումների ժամանակ ղեկի բռնակի շարժումը նույնպես կտրուկ կլինի: Այդպիսի հավասարումը կունենա հետևյալ տեսք՝

$$\delta_{\text{ստ.ռեժ}} = k_{\text{ստ.ռեժ}} \cdot \Delta v + k'_{\text{ստ.ռեժ}} \frac{d\Delta v}{dt}$$

որտեղ $k_{\text{ստ.ռեժ}}$ –ը և $k'_{\text{ստ.ռեժ}}$ – ը ավտոպիլոտի փոխանցող թվեր են ըստ անկյան կամ անկյունային արագության՝ համապատասխանաբար ըստ տանգաժի և թեքության ուղիների:

Տեխնոլոգիական գործընթացի ավտոմատացման կառավարման համակարգերում առավել հաճախ օգտագործում են (1) արտահայտությունը, որը բնութագրում է ելքային փոփոխականները.

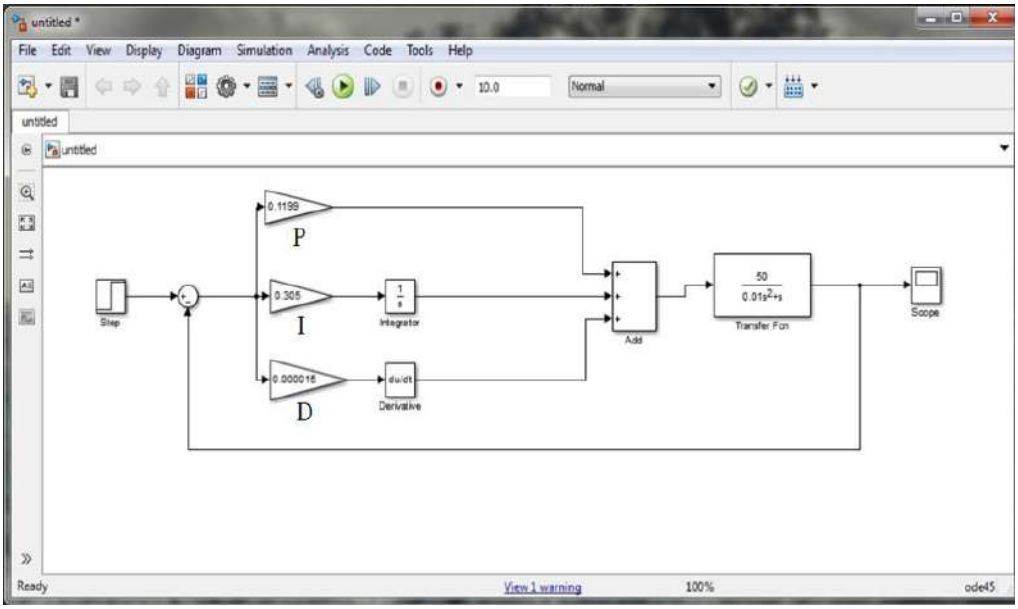
$$u(t) = k_p e(t) + k_i \int_0^t e(t) + k_d \frac{de(t)}{dt}, \qquad (1)$$

որտեղ k_p, k_i, k_d համապատասխանաբար համաչափ, ինտեգրալային ու դիֆերենցիալ գործակիցներ են: Այդպիսի կարգավորիչը կրճատ կոչվում է ՀԻԴ կարգավորիչ: Լինում են դեպքեր, երբ բացակայում են որոշակի բաղադրիչները՝ համաչափ, ինտեգրալային կամ դիֆերենցիալ, այդպիսի կարգավորիչներն անվանում են Ի-, Հ-, ՀԴ, ՀԻկարգավորիչներ:

$k_d \frac{de(t)}{dt}$ դիֆերենցիա լբաղադրիչը թույլ է տալիս բարձրացնել կառավարչի արագագործությունը՝ գուշակելով գործընթացի ապագա վարքագիծը:

$k_i \int_0^t e(t)$ ինտեգրալ բաղադրիչը կոչված է վերացնել կառավարման ստատիկ սխալները, քանի որ անգամ փոքր սխալից ինտեգրալը կարող է լինել կարգավորիչի արձագանքն առաջացնող նշանավոր մեծություն:

Կատարենք ՀԻԴ կարգավորիչի հետազոտում՝ իրականացնելով մոդելավորում MATLAB/Simulinkծրագրային փաթեթի օգնությամբ /նկ. 3/: Simulink-ում հավաքված են թեքությամբ, տանգաժով կարգավորվող երեք նմանատիպ ՀԻԴ կարգավորիչների սխեմաները: Կարգավորիչի մուտքի վրա գալիս են ընթացիկ անկյան /թեքության/ արժեքները կամ թռիչքի բարձրության ու պահանջվող ցանկալի արժեքի /տվիչի/ արժեքները: Այս արժեքների տարբերությունը մուտքագրվում է կարգավորիչի համաչափ, ինտեգրալ ու դիֆերենցիալ բաղադրչիների վրա, որտեղ դրանք բազմապատկվում են համապատասխան գործակիցների վրա, որոնց արդյունքները գումարվում են:



Նկ. 3. Matlab Simulink-ում ՀԻԴ կառավարիչի բլոկի սխեմա:

ՀԻԴ կառավարիչների գործակիցների հաշվարկման համար գոյություն ունեն հաշվարկման բազմաթիվ տարբեր մեթոդիկաներ: Դիտարկենք դրանցից երկուսը:

Յիգլեր-Նիկոլսի մեթոդ

ա) Օգտագործում ենք ճարտարագիտական մոտեցում ՀԻԴ կառավարիչի գործակիցների ընտրության նկատմամբ Ցինգլեր-Նիկոլսի մեթոդով, որը նկարագրվում է հետևյալ քայլերով՝

բ) Բոլոր գործակիցները սահմանվում են զրո, բացի k_p գործակցից, որն աստիճանաբար մեծանում է այնքան, մինչև համակարգը դուրս չգա կայունության շրջանակներից:

գ) k_p սահմանային արժեք, որում համակարգը կայուն էր, նշվում է իբրև k_u, իսկ ավտոտատանումների ժամանակաշրջանը՝ pu:

դ) ՀԻԴ կառավարիչի գործակիցների արժեքները հաշվարկվում են ըստ հետևյալ բանաձևերի՝

$$k_p=0,6k_u,\ k_i=1.2(k_u/p_u),\quad k_d=3k_up_u/40:$$

Արմատների բինոմինալ բաշխման /Նյուտոնի/ մեթոդ

Արմատների բինոմինալ բաշխումն օգտագործում են մոնոտոն անցումային ժամանակաշրջանում համակարգի անցումային գործընթացին տրված արագագործություն ապահովելու անհրաժեշտության ժամանակ: Ստանդարտ բինոմիալ բնութագրական հավասարումն ունի հետևյալ տեսքը՝

$$D_n(p)=(p+\Omega_0)^n=0,$$

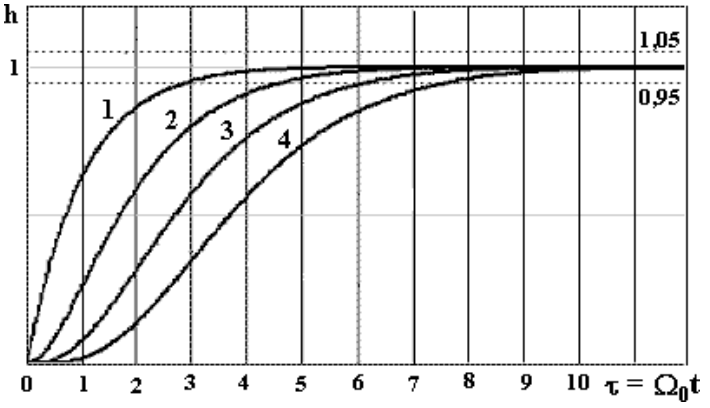
որտեղ Ω_0-ն առանց կառավարման անցումային գործընթացի նախնական ժամանակն է, n-ն՝ բնութագրական հավասարումների իրական և բացասական արմատները, P-ն՝ Լապլասի գործակիցը:

Համակարգի կարգից կախված բնութագրական հավասարումներն ընտրվում են աղյուսակ 1-ից:

Աղյուսակ 1

Համակարգի կարգը	Կառավարման ժամանակը, tp	Բնութագրական հավասարումը
1	3/ Ω0	D(p) = p + Ω0
2	4,5/ Ω0	D(p) = p2 + 2Ω0 p + Ω02
3	6/ Ω0	D(p) = p3 + 3Ω0 p2 + 3Ω02 p + Ω03
4	7,6/ Ω0	D(p) = p4 + 4Ω0 p3 + 6Ω02 p2 + 4Ω03 p + Ω04

Այդպիսի բնութագրական հավասարումների համար անցումային գործընթացներն ունեն նկար 4-ում պատկերված տեսքը.



Նկ. 4. Համակարգի մոդելավորման օրինակ Matlab փաթեթի օգնությամբ:

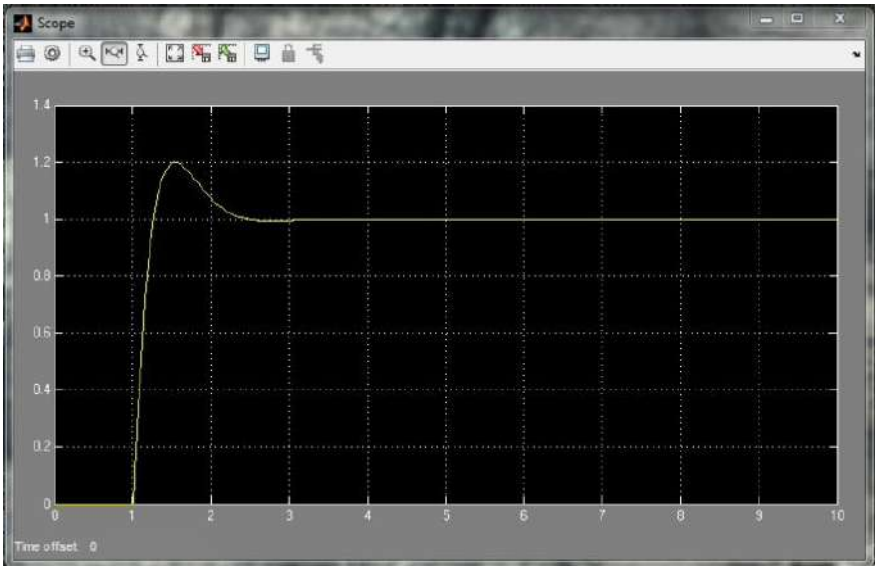
ՀԻԴ կարգավորիչի գործակիցների հաշվարկման համար, ըստ նկարագրված մեթոդի, կատարում ենք հետևյալ քայլերը՝

ա) Ընթերցում ենք անցումային գործընթացի սկզբնական ժամանակը՝ առանց մինչև սահմանված արժեքը կարգավորելու:

բ) Գրաֆիկներից ընտրում ենք համապատասխան անցումային գործընթացը, որը բավարարում է մեր համակարգին: Մեր դեպքում համապատասխանում է երրորդ կարգի համակարգ՝ $D(p) = p^3 + 2\Omega p^2 + 2\Omega^2 + \Omega^3$:

գ) Աղյուսակով ստանում ենք ընտրված բնութագրական հավասարման համար կարգավորման անհրաժեշտ ժամանակը: Երրորդ կարգի համակարգի համար կարգավորման ժամանակը հավասար է $6/\Omega_0$:

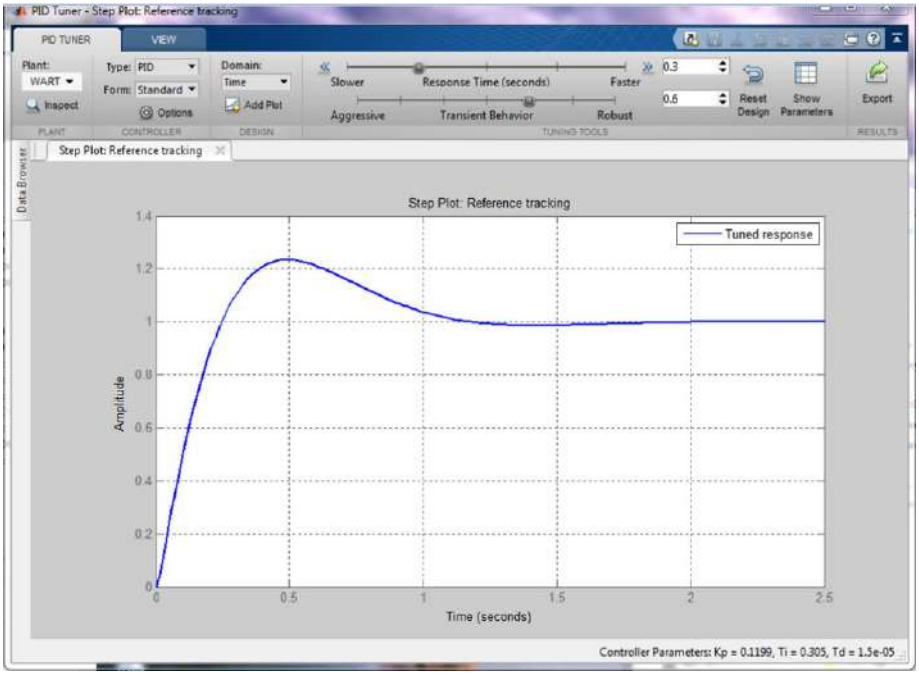
դ) Անցկացնում ենք Լապլասի վերափոխումն ընտրված բնութագրական հավասարման մեջ, որից հետո, իմանալով ցանկալի ժամանակը, գտնում ենք գործակիցները/ նկ 5/:



Նկ. 5.Ձեռքով լարված գործակիցներով ՀԻԴկարգավորիչի սխեմայի անցումային գործընթացով գրաֆիկ:

Միավոր գործակիցների համար կարգավորումով անցումային գործընթացի գծագիրը ներկայացված է նկ. 6.-ում: Միավոր գործակիցները՝ K_p = 1, K_i =1, K_d = 1: Համակարգի անցումային գործընթացն ունի վերակարգավորման մեծ տոկոս՝ σ = 82%, համակարգը ձեռք բերեց կայացած վիճակ t = 28 վ ժամանակում, կարգավորման սխալը կազմում է $Δ(t_{28})$=0.0342:

Ցիգլեր-Նիկոլսի մեթոդով ընտրված գործակիցներով գծագիրը պատկերված է նկ. 7-ում: Ստացված անցումայինն ունի կարգավորման ժամանակ t=19 վ-ում, փոքր վերակարգավորում՝ σ = 9 տոկոս, կարգավորման սխալը հավասար է՝ $Δ(t_{19})$=0,0072՝ K_p = 0.85, K_i = 0.055, K_d = 0.1375 գործակիցների պարագայում:



Նկ.7.Համակարգի մոդելավորման օրինակ Matlab փաթեթի օգնությամբ:

Նկար 7-ում ներկայացված է անցումային գործընթաց գործակիցներով, որոնք հաշվարկված են արմատների բինոմինալ բաշխման մեթոդով: K_p = 0.92, K_i = 0.00055, K_d = 3.57 գործակիցների ժամանակ գործընթացը մոնոտոն ձևով անցնում է կայացած դիրք՝ առանց վերակարգավորման t = 14 վ ժամանակի ընթացքում: Տարաբաշխման սխալը հավասար է՝ $\Delta=41*10^{-5}$:

Ըստ բերված գծագրերի՝ կարելի է անել հետևյալ եզրակացությունները՝

1.Միավոր գործակիցներով համակարգը գալիս է վիճակագրական սխալի՝ $\Delta c=0.03$ վ ինքնատատանումներով: Ունի միացման մեծ ժամանակ և վերակարգավորման հսկայական արժեք: Ինքնապիլոտավորման համակարգում այդպիսի գործակիցները կարող են հանգեցնել վթարի:

2.Անցկացված հետազոտությունների վերլուծությունը ցույց տվեց, որ ՀԻԴ-կարգավորիչների վրա ավտոմատացված կառավարման համակարգն ունակ է հաղթահարել ըստ հետագծի և ըստ տրված խնդրի: Բինոմինալ բաշխման մեթոդով հաշվարկված գործակիցներով համակարգը կարող է հասնել 10 մետր հետևելու ճշգրտությանը: Համեմատության համար նշենք, որ GPS ընդունիչների հիման վրա ինքնապիլոտավորման համակարգերի մոտ

սխալմունքի միջին քառակուսի արժեքը գտնվում է 13-15 մետր ընդգրկույթում: Հետևաբար կառուցվածք համակարգն ունի ճշգրտության բարձր աստիճան:

3.Ցիգլեր-Նիկոլսի մեթոդը թույլ տվեց հաշվարկել վերակառուցող գործակիցները: Արդյունքում ստացվեց անցումային գործընթաց՝ փոքր սխալով և թույլատրելի վերակարգավորմամբ, սակայն միացման մեծ ժամանակով, որն օպտիմալ չէ:Վերակարգավորման մեծությունը մոտ է զրոյի, անցումային գործընթացը՝ ոչ պարբերական:

Ըստ վերը նշված մեթոդների՝ անցումային գործընթացը մոտ է 15 վարկյանի, ունի ոչ էական վերակարգավորում, ինչպես նաև նվազագույն սխալ, որը բավարարում է համակարգին ներկայացվող բոլոր պահանջներին:

Օգտագործված գրականություն

1.Матвеев А. В., Бобронников В. Т., Методика проектирования систем управления летательных аппаратов с использованием среды программирования MATLAB/Simulink // «Вестник Московского авиационного института» ., М. ., Изд-во «МАИ принт», 2009, том 16., № 4, էջ 53-61:

2. Jerry Krasner. Model-Based Design and beyond: Solutions for today's embedded system requirements, http://www.embedded-forecast.com, 02.2004.

THE MATHEMATICAL DESCRIPTION OF REMOTE PILOTED VEHICLE MOVEMENT AND IMITATION MODEL DEVELOPMENT IN MATLAB/SIMULINK ENVIRONMENT

HAKOBYAN MAMIKON
PhD in Technical Sciences, Associate Professor
Lecturer, Gavar State University
KARAPETYAN ANI
2nd-year MA student
Department of Computer Engineering
Faculty of National Sciences
Gavar State University

The work deals with the mathematical description of remote piloted vehicle (drone) movement, the functional scheme of controlled movement of imitative model developed on PID controllers, which is capable of overcoming flight parameters according to trajectory and the given problem. The binominal distribution and Ziegler-

Nichols calculation methods are introduced to determine the accuracy of motion tracking and errors. The work also illustrates the functioning of a simulated nonlinear longitudinal motion model of a remote piloted vehicle the latter being simulated within the Simulink package of Matlab.

Key words: *remote piloted vehicle, mathematical description of movement, PID controller, simulation model, modeling, modern software package.*

МАТЕМАТИЧЕСКОЕ ОПИСАНИЕ ДВИЖЕНИЯ БЕСПИЛОТНИКА И ОБРАБОТКА ИМИТАЦИОННОЙ МОДЕЛИ В СРЕДЕ MATLAB / SIMULINK

АКОПЯН МАМИКОН
кандидат технических наук
доцент, профессор Гаварского государственного университета
КАРАПЕТЯН АНИ
студентка магистратуры 2 - ого курса отделения компьютерной инженерии факультета естественных наук ГГУ

В работе рассматривается математическое описание движения беспилотника (БПЛА), структурная схема имитационной модели управляемого движения, обработанного на ПИД регуляторах, которая способна преодолеть параметры взлета по траектории и по заданной задаче. Приведены методы Биноминального распределения и методы вычисления Циглер-Николса, с их помощью определяется ошибка и точность выслеживания движения. В работе широко комментируется работа имитационной модели нелинейного продольного движения исследуемого беспилотного летального аппарата, моделируемого в среде пакета Simulink программы Matlab.

Ключевые слова: *беспилотный летательный аппарат (беспилотник), математическое описание движения, ПИД регулятор, имитационная модель, моделирование, современный программный пакет.*

Հոդվածը ներկայացվել է խմբագրական խորհուրդ 18.09.2019թ.:
Հոդվածը գրախոսվել է 22.09.2019թ.: