

ՀՏԴ 519.85

Տեղեկատվական տեխնոլոգիաներ

Մամիկոն ՀԱԿՈՔՅԱՆ

Հայաստանի ազգային պոլիտեխնիկական համալսարանի
Տեղեկատվական և հաղորդակցական տեխնոլոգիաների ու էլեկտրոնիկայի
ինստիտուտի Կառավարման համակարգերի ամբիոնի դոցենտ, տ. գ. թ.
E.mail hakopyan.mamikon@mail.ru

ԱՆՕԴԱԶՈՒԹՈՉՈՂ ՍԱՐՔԻ ՇԱՐԺՄԱՆ ԻՄԻՏԱՑԻՈՆ ԵՎ ՄԱԹԵՄԱՏԻԿԱԿԱՆ ՍՈԴԵԼՆԵՐԻ ԿԱԶՄՄԱՆ ՍՈԴԵԼԱՎՈՐՄԱՆ ՄԵԹՈԴԻԿԱՆ ԵՎ ԾՐԱԳՐԱՅԻՆ ՀԱՄԱԼԻՐԻ ՄՇԱԿՈՒՄԸ MATLAB/SIMULINK ՄԻՋԱՎԱՅՐՈՒՄ

Հոդվածում դիտարկվել են անօդաչու թռչող սարքի թռիչքային փորձարկումների ընթացքում ուղեկցող մոդելավորման մեթոդիկան (մեթոդաբանություն) ու ծրագրային համալիրը, անօդաչու թռչող սարքի շարժման նմանակային մոդելավորման վրա հիմնված մեթոդների ու առաջընթաց հետազոտությունների ամբողջությունը:

Դիտարկվել են սարքի հեռաչափող տեղեկատվության վերլուծությունը, մոդելավորման համար անհրաժեշտ նախնական տվյալները, թռիչքային փորձարկումների տվյալներով ճշգրտված երկայնական կառավարվող շարժման նմանակային մոդելը՝ մշակված MATLAB/Simulink միջավայրում:

Դիտարկվել են նաև կազմված մոդելի հիման վրա անցկացված անօդաչու թռչող սարքի մի շարք թռիչքերի վերլուծություն և առաջարկությունների միջոցառումներ՝ դրա թռիչքատեխնիկական բնութագրերի բարելավման ուղղությամբ:

Բանալի բառեր՝ անօդաչու թռչող սարքեր, տվիչներ, մոդելավորում, թռիչքային փորձարկումներ, նմանակային մոդելավորում, կառավարման օրգաններ, ծրագրային փաթեթ Matlab/Simulink:

М. Акобян

**МЕТОДОЛОГИЯ МОДЕЛИРОВАНИЯ И ПРОГРАММНЫЙ
КОМПЛЕКС РАЗРАБОТКИ ИМИТАЦИОННО-
МАТЕМАТИЧЕСКИХ МОДЕЛЕЙ ДВИЖЕНИЯ
БЕСПИЛОТНЫХ ЛЕТАТЕЛЬНЫХ АППАРАТОВ В СРЕДЕ
MATLAB/SIMULINK**

В статье представлена методика сопровождающая моделирование и программный комплекс при летных испытаниях БПЛА, комплекс методов и перспективных исследований, основанных на моделировании движения БПЛА. Представлены анализ телеметрической информации прибора, исходные данные, необходимые для моделирования, имитационная модель продольного управляемого движения, разработанная в среде MATLAB/Simulink, скорректированная по данным летных испытаний.

Также представлен анализ серии полетов БПЛА, проведенных на основе построенной модели, и рекомендации мероприятий по улучшению его летных характеристик.

Ключевые слова: дроны, датчики, моделирование, летные испытания, моделирование, органы управления, программный комплекс Matlab/Simulink.

М. Hakobyan

**MODELING METHODOLOGY AND SOFTWARE COMPLEX
DEVELOPMENT OF SIMULATION AND MATHEMATICAL
MODELS OF UNMANN FLYING DEVICE MOVEMENT IN
MATLAB/SIMULINK ENVIRONMENT**

The article presents the accompanying modeling methodology and software complex during the flight tests of the UAV, the set of methods and advanced research based on the simulation of the movement of the unman flying device.

The article includes analysis of the telemetry information of the device, the initial data necessary for modeling, the simulated model of the longitudinal controlled movement that was adjusted by the flight test data and developed in the MATLAB/Simulink environment.

The analysis of a series of UAV flights conducted on the basis of the constructed model, and recommendations for measures to improve its flight characteristics are also presented.

The technique of accompanying modeling during flight tests in the work means a set of methods and advanced studies carried out during UAV flight tests and aimed at simplifying the analysis of LR results by simulating the movement of the device, taking into account the main subsystems and existing disturbances. Based on the flight test data, the model is corrected and verified. After that, it

can be used to form measures to improve the characteristics of the device, for example, by changing the aerodynamic characteristics, control system algorithms, as well as a number of design parameters. The developed methodology is based on a detailed analysis of telemetric information and the use of simulation modeling of controlled movement of an unmanned aerial vehicle. The class of small-sized unmanned aerial vehicles is considered as an object of study in the work. The purpose of the research work is to form a methodology for supporting UAV flight tests, based on a detailed analysis of the available telemetry information and simulation of the movement of the device.

Key words: *drones, sensors, modeling, flight tests, simulation, control organs, software package of MATLAB/Simulink.*

Փոքրածավալ անօդաչու թռչող սարքերի (ԱԹՍ) հանդեպ ռազմական ու քաղաքացիական սպառողների մշտապես աճող հետաքրքրությունը դրանց նախագծման ու արտադրման մեջ ներգրավում է ավելի ու ավելի մեծ թվով ձեռնարկություններ: Այս կապակցությամբ պահանջված են այնպիսի մեթոդիկաներ ու մոտեցումներ, որոնք թույլ են տալիս ձևավորել նախագծման գործընթացը՝ դրա փուլերից յուրաքանչյուրում: Մյուս կողմից, նախագծման ու վերգետնյա փորձարկումների վրա ֆինանսական միջոցների տնտեսման պայմաններում, թռիչքային փորձարկումները (ԹՓ) դառնում են ամենաաշխատատար փուլերից մեկը, որը կապված է փորձարկվող սարքերի կորուստների, հապաղումների ու մեծ թվով լրամշակումների հետ: Ուստի ԹՓ-ների վերլուծությունը պարզեցնելու և ԱԹՍ-ները օպերատիվ կերպով լրամշակելու հնարավորություն սովոր ուղեկցող մոդելավորման մեթոդիկաները ԱԹՍ-ի թռիչքային փորձարկումների ընթացքում հատկապես արդիական են [1,2]:

Որպես հետազոտման օբյեկտ՝ դիտարկվում է փոքրածավալ անօդաչու թռչող սարքերի դասը: Հետազոտման նպատակն է՝ ձևավորել ԱԹՍ-երի թռիչքային փորձարկումների ուղեկցման մեթոդիկա, որը հիմնված է առկա հեռաչափող տեղեկատվության մանրամասն վերլուծության և սարքի շարժման նմանակային մոդելավորման վրա:

Թռիչքային փորձարկումների ընթացքում ուղեկցող մոդելավորման մեթոդիկայի տակ ենթադրվում է ԱԹՍ-ների թռիչքային փորձարկումների ընթացքում անցկացվող հիմնական ենթահամակարգերը և գործող խափանումները՝ հաշվի առնելով սարքի շարժման նմանակային մոդելավորման միջոցով ԹՓ-ների արդյունքների վերլուծության պարզեցմանն ուղղված մեթոդների ու առաջընթաց հետազոտությունների

ամբողջականությունը: Ըստ թռիչքային փորձարկումների տվյալների՝ անցկացվում է մոդելի ճշգրտումն ու դրա վերիֆիկացումը (վերահսկումը): Ինչից հետո այն կարող է օգտագործվել սարքի բնութագրերի բարելավման գծով միջոցառումների ձևավորման համար, օրինակ, աերոդինամիկ բնութագրերի, կառավարման համակարգի ալգորիթմների, ինչպես նաև՝ մի շարք կառուցողական պարամետրերի փոփոխության միջոցով: Ձևավորված մեթոդիկան հիմնվում է հեռաչափային տեղեկատվության մանրամասն վերլուծության և անօդաչու թռչող սարքի կառավարվող շարժման նմանակային մոդելավորման օգտագործման վրա: Մեթոդիկան պարունակում է հետևյալ հիմնական փուլերը՝

1. Թռիչքային փորձարկումների նյութերի հավաքագրում ու վերլուծություն:
2. Սարքի շարժման մոդելավորման համար նախնական տվյալների ձևավորում:
3. Սարքի շարժման նմանակային մոդելի կազմում:
4. Մոդելավորման արդյունքների համեմատում ԹՓ-ների տվյալների հետ, մոդելի ճշգրտում և վերիֆիկացում:
5. ԹՓ-ների արդյունքների վերլուծում և ԱԹՍ-ների շարժման ուղեկցող մոդելավորում:

Թռիչքային փորձարկումների նյութերի հավաքագրում ու վերլուծում - Տվյալ փուլում անցկացվում է ԱԹՍ-ների անցկացված փորձարկումների վերաբերյալ ողջ տեղեկատվության հավաքագրումը: Դա առաջին հերթին հեռաչափական տեղեկատվություն է՝ գրանցման որոշակի կողային (բորտային) համակարգից, ճշգրտված տվյալներ՝ սարքի զանգվածի ու պահերի իներցիայի մոմենտների վերաբերյալ:

Դիտարկվում են ԱԹՍ-ների հիմնական ենթահամակարգերի թեստավորման արդյունքները, հատկապես՝ նավարկման համակարգի և բորտային պրոցեսորում իրականացված կառավարման ալգորիթմների, որոնք ստացվում են տարբեր ստենդերի (փորձանմուշների) վրա: Որոշակի կրիչ օդանավից ԱԹՍ-ների մեկնարկի ժամանակ հետաքրքրություն է ներկայացնում ԱԹՍ-ի հեռաչափ տեղեկատվության համեմատումը և ինքնաթիռի հեռաչափային տեղեկատվությունը, որը սովորաբար կարելի է ընդունել որպես էտալոնային [3]: Սակայն այդ ժամանակ պետք է լուծվեն տարբեր կետերում ԱԹՍ-ի վիբրացիայի (թրթռում) հիմնախնդիրները:

Անցկացվում է հեռաչափային տեղեկատվության համաձայնեցվածության վերլուծություն [3]: Օրինակ, ԱԹՍ-ների վրա անհարթակային իներցիալ

նավարկման համակարգի (ԱԻՆՀ) կամ դրա առանձին տվիչների առկայության համաձայնեցվածության վերլուծությունը կարող է անցկացվել հետևյալ կերպ: Թռիչքի մեջ չափված անկյունային արագություններն ինտեգրվում են պտտական շարժման կինեմատիկ հավասարումներում, օրինակ՝ Էյլերի հավասարումներում:

$$\psi \quad \frac{1}{\cos \theta} * (\omega_y * \cos \gamma - \omega_x * \sin \gamma) \quad (1)$$

որտեղ՝

$$\gamma = \arctan \left(\frac{\omega_y * \sin \gamma - \omega_z * \cos \gamma}{\omega_x - \tan \theta * (\omega_y * \cos \gamma - \omega_x * \sin \gamma)} \right):$$

Չափված գերբեռնվածքները տեղադրվում են իներցիալ նավարկման հիմնական հավասարման մեջ (Կոշի նորմալ ձևը):

$$\frac{dV}{dt} = n \cdot t \cdot g \cdot R \quad (2)$$

Արդյունքում՝ հաշվարկված Էյլերի անկյունները, զանգվածների կենտրոնի համընթաց շարժման արագություններն ու ԱԹՍ-ների կոորդինատները համեմատվում են (ԱԻՆՀ) հեռաչափային տեղեկատվության հետ: Տարբերությունների բացահայտման ժամանակ անցկացվում է պրոցեսորի ԱԻՆՀ մեջ մուտքային պարամետրերի մանրագնի վերլուծություն, ինչպես նաև անցկացվում է ԱԻՆՀ բուն ալգորիթմների ստուգում:

ԱԹՍ-ում կողային նավարկման համակարգի տվիչների ռեգերվի (պահուստի) առկայության դեպքում անցկացվում է դրանց ցուցումների համեմատություն: Նավարկման համակարգի բացահայտված սխալները հաշվի են առնվում ԱԹՍ-ի կառավարվող շարժման հետագա մոդելավորման ժամանակ:

Նմանապես է գործն ընթանում կողային պրոցեսորում իրականացված ԱԹՍ-ների շարժման կառավարման ալգորիթմների հետ: Տվյալ ենթահամակարգի կոպիտ թեստավորումը՝ առանց հաշվի առնելու դեկային շարժաբեռների դինամիկան, անցկացվում է թռիչքային պարամետրերի կառավարման ալգորիթմների ձևավորում՝ նմանակային մոդելի մուտքին տալով նախնական հայտնի ելակետային տվյալներ: Այնուհետև անցկացվում է մոդելավորման ժամանակ ստացված կառավարման օրգանների վրա ազդանշանների և դեկերի շեղման անկյունների համեմատություն:

Մոդելավորման համար սկզբնական տվյալների ձևավորում: ԱԹՍ-ների թռիչքային փորձարկումների ուղեկցող մոդելավորման առանցքային տարր է հանդիսանում սարքի կառավարվող շարժման նմանակային մոդելը: Դրա օգտագործմամբ հաշվարկների ճշտությունը մեծապես պայմանավորվում է

մոդելի հավաստիությամբ, որն իր հերթին կախված է մոդելավորման համար սկզբնական տվյալների առաջադրման ճշտությունից՝

1. զանգվածային-իներցիոն և երկրաչափական բնութագրերի.
2. աերոդինամիկ բնութագրերի.
3. ուժային սարքի աշխատանքի բնութագրերի.
4. ԱԹՄ շարժման կառավարման ալգորիթմների (ինքնադեկասարքի ալգորիթմների).
5. ԱԹՄ շարժման նախնական պայմանների:

Ստորև բերվում են նախնական տվյալներ՝ աշխատանքում հետազոտվող ԱԹՄ-ի մոդելավորման համար:

Հետազոտվող ԱԹՄ-ի մոդելավորման համար օգտվում ենք զանգվածային-իներցիոն և երկրաչափական բնութագրերի հետևյալ տվյալներից՝ *ԱԹՄ-ի զանգված, աերոդինամիկ ուժերի ու մոմենտների հաշվարկի համար թևի հատկանշական մակերես, միջին աերոդինամիկ խորդայի երկարություն, ԱԹՄ-ի իներցիայի մոմենտ՝ կապված առանցքի նկատմամբ:*

-Աերոդինամիկ բնութագրեր: Աերոդինամիկ բնութագրերը սահմանվել են աերոդինամիկ խողովակում փորձարկումների ընթացքում: Աերոդինամիկ ուժերի ու մոմենտների չափումն իրականացվում է սարքի տակ ամրացված հատուկ 6-բաղադրիչային տենզո կշեռքների օգտագործմամբ: Աերոդինամիկ մոմենտները փորձարկումների արդյունքների մշակման ընթացքում որոշվում էին ԱԹՄ-ի զանգվածների կենտրոնին դիմային դիրքին համապատասխանող կետի նկատմամբ: Շարժիչի աշխատանքի ռեժիմն էականորեն չի ազդում ընթացքի և աերոդինամիկ որակի իրականացվող մեծության վրա: Միևնույն ժամանակ, պտուտակի ներքաշող գործողության հաշվին շարժիչի աշխատանքը նպաստում է թևի վրա հոսքի խափանման խոչընդոտմանն ու գրոհի մեծ անկյունների պարագայում վերամբարձ ուժի գործակիցի ավելացմանը:

-Ուժային սարքավորման բնութագրեր: Շարժիչի աշխատանքի տարբեր ռեժիմների համար հատուկ անցկացված փորձարկումներում որոշվում էին վառելիքի ծախսը, ուժային սարքավորման հզորությունն ու քարշը՝ զրոյական բարձրության ($K=0$) պարագայում օդային միջավայրի նկատմամբ շարժման արագությունից կախված, ինչպես նաև՝ ԱԹՄ շարժման զրոյական արագության ($M=0$) պարագայում բարձրությունից կախված:

- Ապարատի շարժման նմանակային մոդելի կազմում: Կառավարվող ԱԹՍ-ի նմանակային մոդելի ձևավորման համար մաթեմատիկական ապարատը ներառում է՝

- Բանաձևային կախվածություններ՝ օդադինամիկ ուժերի ու մոմենտների հաշվարկման համար,

- հաշվարկային առնչություններ՝ քարշի ուժի հաշվարկման համար,

- ապարատի շարժման հավասարումներ,

- ստանդարտ մթնոլորտի մոդել,

- ինքնադեկասարքի գործառնության ակգորիթմներ:

Մոդելի ստեղծման համար անհրաժեշտ է հաշվի առնել ԱԹՍ-ների վրա ազդող բոլոր գործոնները: Դիտարկենք թռչող սարքի առաջընթաց շարժումը: Կոորդինատների կապկապված համակարգում ուժերի հավասարումն ունի հետևյալ տեսքը՝

$$m \begin{bmatrix} \ddot{V}_x \\ \ddot{V}_y \\ \ddot{V}_z \end{bmatrix} = m \begin{bmatrix} V_z \omega_z - V_y \omega_z \\ V_x \omega_z - V_z \omega_x \\ V_y \omega_z - V_x \omega_y \end{bmatrix} + F \quad (3)$$

որտեղ՝ F -ը կապված ՄԿ-ում ուժերի գլխավոր վեկտոր է, m -ն՝ թռչող սարքի զանգված, $\omega = \omega_z \omega_y \omega_x$ ՝ կապված ՄԿ-ում անկյունային արագությունների վեկտոր:

Բոլոր ուժերի հաշվառման համար, ինչպիսիք են ամբարձման ուժը, շարժիչի քարշը, ծանրության ուժը, ճակատային դիմադրության ուժը, դրանք ավելի հեշտ է խմբավորել ըստ առանցքների, որոնց երկայնքով դրանք ազդեցություն են գործում:

Արագացումներ ըստ մոդելի առանցքների՝

$$T = rv - qw - G \sin \Theta - \frac{\bar{q} s c_z + T}{m}, \quad (4)$$

$$Q = qu - pv - G \sin \psi \cos \Theta - \frac{\bar{q} s c_y}{m}, \quad (5)$$

$$P = -ru - pw - G \cos \psi \cos \Theta - \frac{\bar{q} s c_x}{m} \quad (6)$$

որտեղ՝ T -ն OX առանցքի երկայնքով ուժն է, P -ն՝ OY առանցքի երկայնքով կողային ուժը, Q -ն՝ ուժ OZ ուղղահայաց առանցքի երկայնքով: R -ն մարմնի Z առանցքի զծով (ռադ/վ), U -ն՝ առաջընթաց շարժում է ըստ մարմնի X առանցքի (մ/վ), W -ն՝ առաջընթաց շարժում ըստ մարմնի Z առանցքի (մ/վ), P -ն՝ քարշի ուժի վեկտոր է, G -ն՝ ծանրության ուժի վեկտոր, C_z -ն՝ անչափ ուժային գործակից ըստ Z առանցքի:

Կինեմատիկ հավասարումները ունեն հետևյալ տեսքը

$$\dot{\varphi} = P \tan \Theta \quad Q \sin \varphi \quad R \cos \varphi \quad (7)$$

$$\dot{\Theta} = Q \cos \varphi - R \sin \varphi \quad (8)$$

$$\hat{\psi} = \frac{Q \sin \varphi + R \cos \varphi}{\cos \Theta} \quad (9)$$

Պահերի հավասարումները՝

$$M_x = m_x * q * S * l \quad (10)$$

$$M_y = m_y * q * S * l \quad (11)$$

$$M_z = m_z * q * S * b_a \quad (12)$$

որտեղ՝ M_x, M_y, M_z -ը՝ համապատասխանաբար թեքման, ռիսկման ու տանգաժի պահերն են:

Կոորդինատների բնականոն համակարգում ծանրության ուժի վեկտորը՝

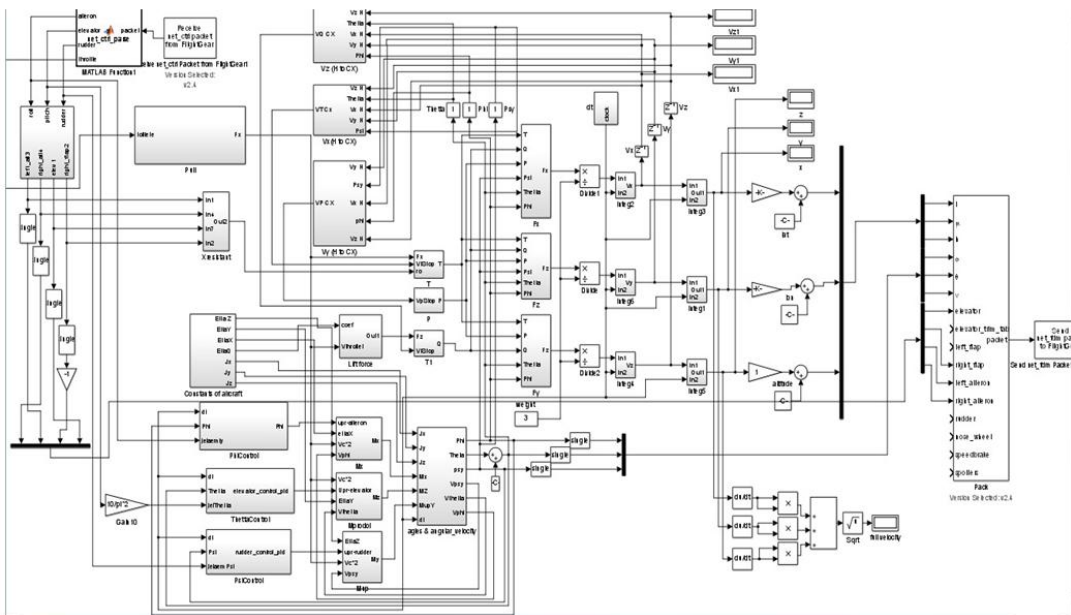
$$G_g = -gm^T,$$

որտեղ՝ $g = 9,8$ մ/վ²՝ ազատ անկման արագացում է:

Ըստ բերված արտահայտությունների՝ ԱԹՍ-ի ծրագրային համալիրի և շարժման նմանակային մոդելի կազմված մեթոդիկան իրականացնելու համար մշակվել է ծրագրային համալիր, որը թույլ է տալիս ավտոմատացնել ու արագացնել անցկացվող աշխատանքները: Մշակված ծրագրային համալիրում առավելապես օգտագործվում են ծրագրավորման MATLAB/Simulink միջավայրի հնարավորությունները [4]:

MATLAB/Simulink միջավայրում ձևավորվել է հետազոտվող ԱԹՍ-ի ոչ գծային երկայնական շարժման նմանակային մոդելը:

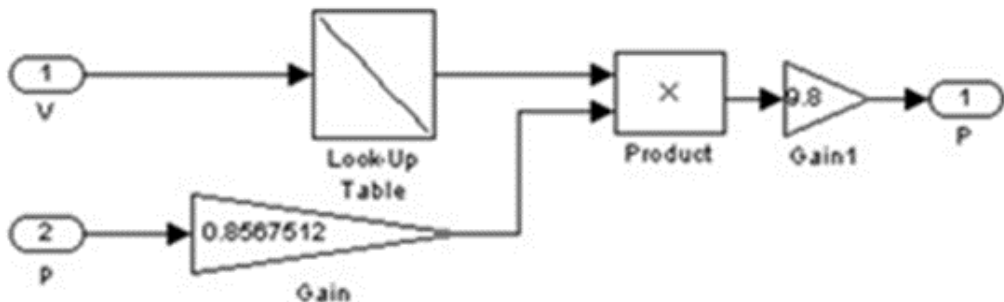
Matlab Simulink-ում ընդլայնված մոդելի ընդհանուր սխեման պատկերված է նկ. 1-ում:



Նկ. 1. Matlab Simulink-ում ընդլայնված մոդելի ընդհանուր սխեման

Համակարգի հաշվարկների համար անհրաժեշտ են FlightGear սիմուլյատորից տվյալներ, որոնք կարող են ազդել թռիչքի դինամիկայի վրա, այս տվյալներն ընդունում է Receive net_ctrl բլոկը՝ փաթեթների տեսքով: Բլոկը կարողում է տվյալները UDP ուղիով՝ վայրկյանում 30 անգամ, այս հաճախականությունը բավարար է դինամիկայի հաշվարկի ու դրա հետագա արտապատկերման համար: Ստացված տվյալները ապափաթեթավորվում են ֆունկցիոնալ բլոկով, որը պարունակում է փաթեթների ապափաթեթավորման ծրագրային ծածկագիրը:

«Շարժիչ» բլոկի սխեմայի տեսքը պատկերված է նկ. 2-ում:

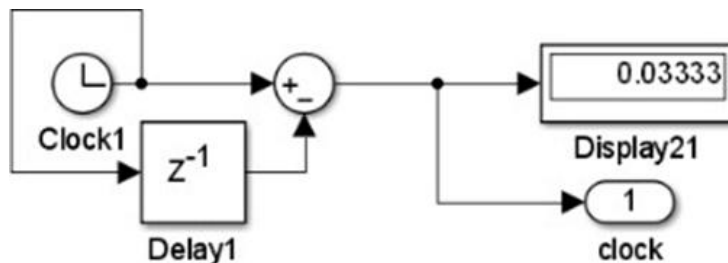


Նկ. 2 «Շարժիչ» բլոկի սխեմայի տեսքը

Քանի որ մոդելավորումը տեղի է ունենում իրական ժամանակում, շարժման հավասարումների արժեքի ինտեգրման ժամանակ շարժումները բազմապատկվում են ըստ ժամանակի հաշվարկված քայլի վրա: Դա իրականացվում է յուրաքանչյուր ցիկլում ընդունված Δt ժամանակը չափելու (նկ. 3) և ըստ հետևյալ բանաձևի ինտեգրման ճանապարհով՝

$$\Delta t \quad t_i - t_{i-4} \quad k$$

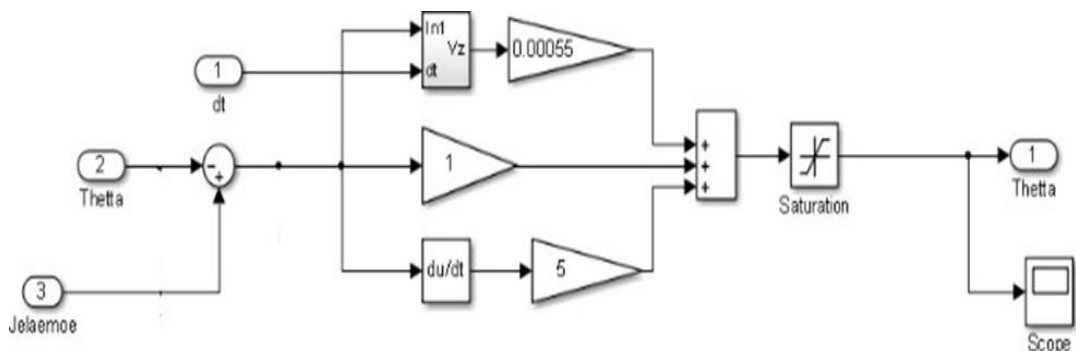
(13)



Նկ. 3. Յուրաքանչյուր ցիկլում ընդունված Δt ժամանակը չափելու բլոկը ըստ MATLAB/Simulink-ի

MATLAB-ում հավաքված են թեքությամբ, տանգանտով ու ռիսկով կարգավորվող երեք նմանատիպ ՀԻՂ-կարգավորիչների սխեմաները:

Կարգավորիչի մուտքի վրա գալիս են ընթացիկ անկյան (թեքության, ռիսկման) արժեքները կամ թռիչքի բարձրության ու պահանջվող ցանկալի արժեքի (տվիչի) արժեքները: Այս արժեքների տարբերությունը մուտք է գալիս կարգավորիչի համաչափ, ինտեգրալ ու դիֆերենցիալ բաղադրիչների վրա, որտեղ դրանք բազմապատկվում են համապատասխան գործակիցների վրա, որոնց արդյունքները գումարվում են (նկ.4):



Նկ. 4. Matlab Simulink-ում ՀԻԴ-կառավարիչի բլոկի սխեմա

Մոդելավորման արդյունքների համեմատումը ԹՓ-ների տվյալների հետ, մոդելի ճշգրտում ու վերիֆիկացում: Տվյալ փուլում կատարվում է մոդելավորման արդյունքների համադրումը թռիչքային փորձարկումների տվյալների հետ: Ըստ համեմատության արդյունքների՝ ԱԹՍ-ի իրական շարժման առավել ճշգրիտ վերաբրտադրության նպատակով՝ ճշգրտվում են մոդելավորման համար նախնական տվյալները: Մոդելի «հարմարեցման» գործընթացն առավելապես թույլ է ձևականացված, ընդ որում՝ իրենց արդարացնում են մոդել առանձին ենթահամակարգերի դեկոմպոզիցիայի սկզբունքներն ու դրանց հաջորդական ճշգրտումը:

Կիրառվում են ԱԹՍ-ների աերոդինամիկ բնութագրերի նույնացման մեթոդներն ու ճշգրտվում տվյալներ ուժային սարքավորման քարշի վերաբերյալ: Նշենք, որ նույնացման մեթոդները զգայուն են նավարկման համակարգի թերությունների նկատմամբ: Էական թերությունների ժամանակ ԱԹՍ-ների բնութագրերը ճշգրտվում են կառավարվող շարժման ոչ գծային մոդելի բազայի վրա:

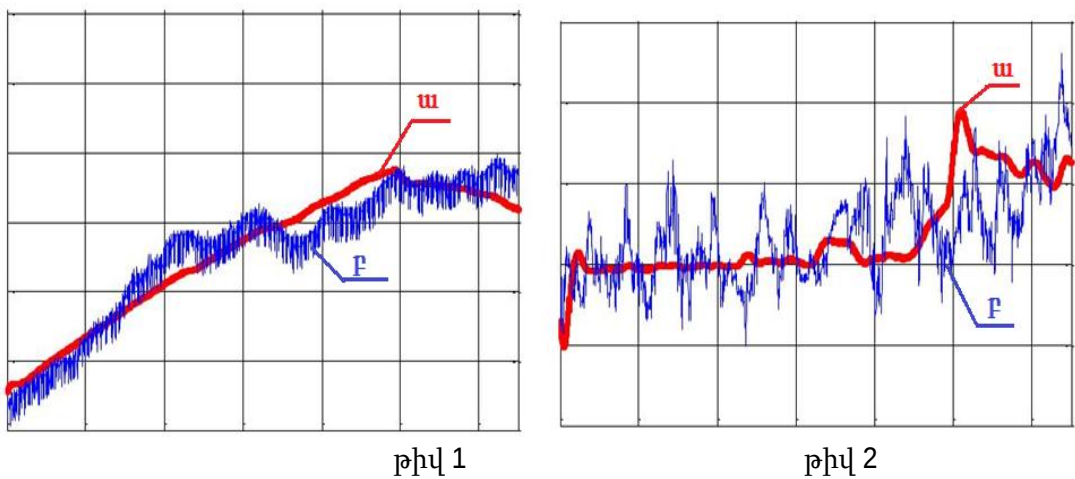
Մոդելի հավաստիությունը հաստատվում է ԹՓ-ների տվյալների հետ՝ մոդելավորման արդյունքների համընկնմամբ: Մոդելի վերիֆիկացումն անցկացվում է մոդելավորման արդյունքների՝ նմանակային մոդելի ճշգրտման ժամանակ չօգտագործված հեռաչափ տեղեկատվության հետ համեմատելով:

Այդպես, օրինակ, հետազոտվող ԱԹՄ-ի շարժման մոդելավորման արդյունքների համեմատության արդյունքներով՝ ճշգրտվել են մոդելավորման նախնական տվյալները հետևյալի մասով՝

-վերամբարձ ուժի գործակցի՝ $C_{ya}(a) = C_{ya}(a) + 0.1$;

-ուժային սարքավորման քարշի՝ ջերմաստիճանից կախվածության:

Արդյունքում տեսնում ենք մոդելավորման (ա) և թռիչքային փորձարկումների (բ) արդյունքների ընդունելի համընկում՝ թիվ 1 և թիվ 2 երկու դիտարկված թռիչքների համար (նկ. 5):



Նկ. 5. Մոդելավորման փորձարկումների արդյունքները

Հետազոտվող ԱԹՄ-ի կազմված մոդելի հիման վրա անցկացվել է մի շարք թռիչքների վերլուծություն և առաջարկվել սարքի թռիչքատեխնիկական բնութագրերի բարելավման գծով միջոցառումներ: Հետազոտվում էր ԱԹՄ-ի արագաբարձության վրա թևի նետանմանության նվազեցման ազդեցությունը: Մոդելավորման ընդհանրացված արդյունքները բերված են աղյուսակ 1-ում: Տեսնում ենք, որ թևի նետաձևության անկյան նվազեցումն իսկապես հանգեցնում է սարքի արագաբարձության աճին: Լրացուցիչ նվազում են «պտուտակ օղակում» համակարգի քարշի կորուստները և շեղման մեծ անկյունների ժամանակ դեկում հոսքի խափանմամբ առաջացած երկայնական տատանումները:

Ապարատի բնութագրերը $\lambda = \text{var}$ ժամանակ

Աղյուսակ 1

$\gamma = 0^\circ$			$\gamma = 1^\circ$			$\gamma = 2^\circ$		
Թռիչք համար	1	2	Թռիչքի համար	1	2	Թռիչքի համար	1	2
բարձրության հավաքում			բարձրության հավաքում			բարձրության հավաքում		
ΔH , մ	300	415	ΔH , մ	300	415	ΔH , մ	300	220
V_y , մ/վ	2.45	1.56	V_y , մ/վ	2.45	1.36	V_y , մ/վ	2.35	1.25
δ_B , աստ	-2.5	-3	δ_B , աստ	-6.8	-7.8	δ_B , աստ	-10.5	-11
α , աստ	6.5	7	α , աստ	5.5	6.5	α , աստ	6	7.5
ν , աստ	11	10.5	ν , աստ	11	10.5	ν , աստ	11	7
Հորիզոնական թռիչք			հորիզոնական թռիչք			հորիզոնական թռիչք		
δ_B , աստ	2	1.5	δ_B , աստ	-2	-2.5	δ_B , աստ	-12.5	-16
α , աստ	4	4	α , աստ	3	3	α , աստ	3	3.5

Այսպիսով աշխատանքում նկարագրվում է անօդաչու թռչող սարքի (ԱԹՍ) թռիչքային փորձարկումների (ԹՓ) ընթացքում ուղեկցող մոդելավորման մեթոդիկան ու ծրագրային համալիրը:

Աշխատանքում վերլուծվել է սարքի հեռաչափող տեղեկատվությունը, ձևավորվել են մոդելավորման համար անհրաժեշտ նախնական տվյալները, կազմվել և ԹՓ-ի տվյալներով ճշգրտվել է երկայնական կառավարվող շարժման նմանակային մոդելը: Կազմվել է ծրագրային համալիրի մշակումը MATLAB/Simulink միջավայրում:

ԱԹՍ-ի շարժման մոդելավորման կոմպլեքս աշխատանքների արդյունքում MATLAB/Simulink միջավայրում լուծվել են հետևյալ հիմնական հարցերը.

1. Ճշգրտվել են աերոդինամիկ բնութագրերը և սարքի ուժային կայանքի բնութագրերը:

2. ձևավորվել է սարքի երկայնական դեկավարվող թռիչքի նմանակային մոդելը՝ թռիչքային փորձարկումների ուղեկցման համար:

3. մշակվել են երաշխավորումներ սարքի արագաբարձրացման մեծացման համար:

Կազմված մոդելի հիման վրա անցկացվել է ԱԹՍ-ի մի շարք թռիչքերի վերլուծություն և առաջարկվել միջոցառումներ՝ դրա թռիչքատեխնիկական բնութագրերի բարելավման ուղղությամբ:

Գրականություն

1. **Парафесь С., Смыслов В.**, Проектирование конструкции и САУ БПЛА с учетом аэроупругости: Техносфера-Москва: 2018. 182 с.
2. **Моисеев В.С.**, Прикладная теория управления беспилотными летательными аппаратами. Казань: РЦМКО, 2019. 768 с.
3. **Агеев А.М., Макаров И.В.**, Методика синтеза программно-аппаратных комплексов автоматизированной разработки систем управления полетом беспилотных летательных аппаратов. Журнал Сибирского федерального университета. Техника и технологии. 2016-12.
4. **Հակոբյան Մ.Զ.**, Matlab փաթեթի կիրառումը կրթական համակարգում: Ուսումնական ձեռնարկ. ՀՊՃՀ-Երևան-2015թ.180 էջ:

Միջոցառումներն իրականացվել են Հայաստանի ազգային պոլիտեխնիկական համալսարանի, օդային ուղևորատեխնիկայի ուսումնահետազոտական կենտրոնի ԱԹՍ-ով, որի միջոցով էլ հաջողությամբ կատարվել են թռիչքային փորձարկումները:

Նյութը ներկայացվել է 8.05.2023,

գրախոսման է ուղարկվել 25.05.2023,

տպագրության ընդունվել 22.06.2023:

Հոդվածը տպագրության է երաշխավորել խմբագրական խորհրդի անդամ, ֆ.մ.գ.թ. Գ.Հ.Սահակյանը: