

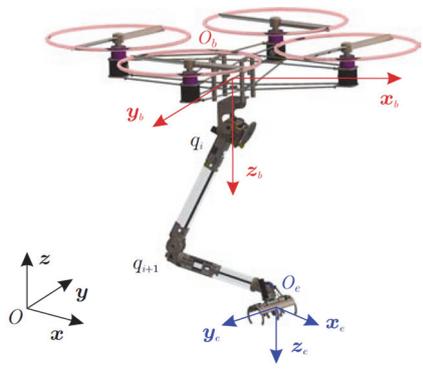
**Տ.Ա. ՍԻՄՈՆՅԱՆ**

**ՌՈՐՈՏ-ՄԱՆԻԴՈՒԼՅԱՏՈՐԻ ԱԶԴԵՑՈՒԹՅՈՒՆԸ ԲԱԶՄԱՌՈՏՈՐԱՅԻՆ ԱՆՕԴԱԶՈՒ ԹՈՉՈՂ ՍԱՐՔԻ ԿԱՌԱՎԱՐՄԱՆ ՀԱՄԱԿԱՐԳԻ ՎՐԱ**

Վերլուծվել է ռոբոտ-մանիպուլյատորի ազդեցությունը բազմառոտորային անօդաչու թռչող սարքի (ԲԱԹՍ) կառավարման համակարգի վրա: Ստեղծվել է նաև գրաֆիկական ինտերֆեյս, որն ավտոմատացնում է օդային ռոբոտ-մանիպուլյատորի (ՕՌՄ) կառավարման համակարգի ճշտությունը վերլուծելու գործընթացը:

**Առանցքային բառեր.** թռչող ռոբոտ-մանիպուլյատոր, բազմառոտորային անօդաչու թռչող սարք, գրաֆիկական ինտերֆեյս:

**Ներածություն:** Ներկայումս զգալի հետաքրքրություն են ներկայացնում օդային ռոբոտ-մանիպուլյատորները (ՕՌՄ): ՕՌՄ-ն կազմված է անօդաչու թռչող սարքից (ԱԹՍ) և դրան ամրացված ռոբոտ-մանիպուլյատորից (նկ. 1): ՕՌՄ-ն կիրառվում է բազում մանիպուլացիոն առաջադրանքներում, ինչպիսիք են՝ ռազմական բեռների տեղափոխումը և բացթողումը, բժշկական պարագաների առաքումը, փրկարարական ծառայությունները, խոշոր կամուրջների կամ բարձրավոլտ էլեկտրական գծերի ստուգումը և այլն [1]:



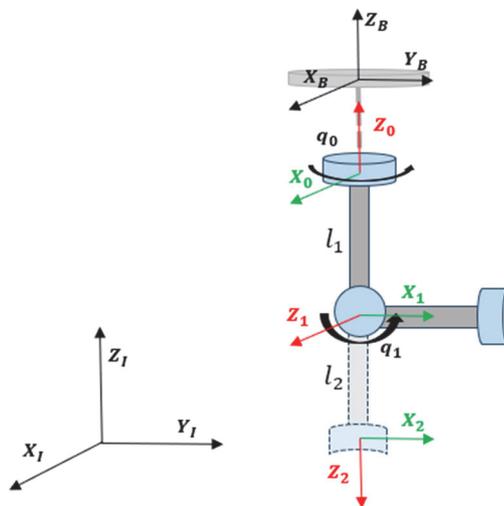
Նկ. 1. Օդային ռոբոտ-մանիպուլյատոր

ԱԹՍ-ի միջոցով իրականացվող օդային մանիպուլյացիաները նախատեսում են օգտակար բեռների բռնակցում, փոխադրում, դիրքավորում, հավաքում և ապամոնտաժում: [2,3]-ում հետազոտվել են օդային ռոբոտով օբյեկտներ որսալու առաջադրանքներ: [4]-ում ներկայացվել է տեսողական համակարգի (vision system)

միջոցով, օդային ռոբոտով իրական ժամանակում օբյեկտների տեղակայման և ավտոմատ բռնելու առաջադրանքի իրականացումը: [5]-ում օդային մանիպուլյատորի համար նախագծվել է ռոբաստ կառավարման համակարգ:

Աշխատանքում դիտարկվել է ռոբոտ-մանիպուլյատորի ազդեցությունը ԲԱԹՍ-ի վրա: Ներկայացվել է նաև գրաֆիկական ինտերֆեյս, որը հնարավորություն է տալիս՝ ավտոմատացնելու ՕՌՄ-ի կառավարման համակարգի ճշտությունը վերլուծելու գործընթացը: ԲԱԹՍ-ի վրա ռոբոտ-մանիպուլյատորի ազդեցությունը վերլուծելու համար ստացվել են ռոբոտ-մանիպուլյատորի դինամիկայի հավասարումները:

**Օդային ռոբոտ-մանիպուլյատոր:** Օդային մանիպուլյացիայի կառավարման տեսակները կարելի է բաժանել երկու խմբի՝ համակցված, որոնք հաշվի են առնում ամբողջ բազմամարմին (multi-body) համակարգի մոդելը, և առանձնացված՝ հիմնված բազային մարմնի և մանիպուլյատորի առանձին կարգավորիչների վրա: Առաջին դեպքում ԱԹՍ-ի և ռոբոտ-մանիպուլյատորի համակարգը դիտարկվում է որպես մեկ ամբողջական համակարգ, նրանց միջև կապը դիտարկվում է որպես ներքին գործոն, և նախագծվում է մեկ կարգավորիչ, որը միևնույն ժամանակ կառավարում է ԱԹՍ-ն և ռոբոտ-մանիպուլյատորը [6] (նկ. 2): Առանձնացված մոտեցման դեպքում ռոբոտի ձեռքի ուժերը դիտարկվում են որպես խանգարումներ, որոնք պետք է փոխհատուցի ԱԹՍ-ն [7]:



Նկ. 2. Օդային ռոբոտ-մանիպուլյատորի կինեմատիկական սխեման

ԱԹՍ-ի վրա ռոբոտ-մանիպուլյատորի ազդեցությունը որոշելու նպատակով դուրս են բերվել համակարգի կինեմատիկական միացումների միջև փոխադարձ դասավորությունները: Ռոբոտ-մանիպուլյատորի բոլոր կինեմատիկական միացումների համասեռ ձևափոխությունների մատրիցները ստացվում են Դենավիթ-Հարթենբերգի մեթոդի կիրառմամբ [8]:  $T_{k-1}^k$  մատրիցը ներկայացնում է հաջորդական համասեռ տրանսֆորմացիան  $k$  և  $k-1$  կոորդինատային համակարգերի միջև.

$$T_{k-1}^k(\theta_k, d_k, a_k, \alpha_k) = \begin{pmatrix} C\theta_k & -S\theta_k\alpha_k & S\theta_k S\alpha_k & a_k C\theta_k \\ S\theta_k & C\theta_k\alpha_k & -C\theta_k\alpha_k & a_k S\theta_k \\ 0 & S\alpha_k & C\alpha_k & d_k \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{pmatrix}$$

որտեղ  $\theta_k$ -ն  $Z_{k-1}$ -ի շուրջը  $X_{k-1}$ -ի պտույտն է մինչև  $X_k$ ,  $d_k$ -ն՝  $Z_{k-1}$ -ի երկայնքով  $X_{k-1}$ -ի տեղափոխությունը մինչև  $X_k$ ,  $a_k$ -ն՝  $X_k$ -ի երկայնքով  $Z_{k-1}$ -ի տեղափոխությունը մինչև  $Z_k$ ,  $\alpha_k$ -ն՝  $X_k$ -ի շուրջը  $Z_{k-1}$ -ի պտույտը մինչև  $Z_k$ , Դենավիթ-Հարթենբերգի պարամետրերը:

Աղյուսակում ներկայացված են Դենավիթ-Հարթենբերգի պարամետրերը նկ. 2-ում պատկերված ռոբոտ-մանիպուլյատորի յուրաքանչյուր առանցքի համար, որտեղ  $q_k$ -ն օղակի փոփոխականն է:

Աղյուսակ

k	$\theta_k / ^\circ$	$d_k / \text{մմ}$	$a_k / \text{մմ}$	$\alpha_k / ^\circ$
1	$q_0$	$-l_1$	0	$-\frac{\pi}{2}$
2	$q_1$	0	$l_2$	0

Վերջնական կինեմատիկ միացումների համասեռ ձևափոխությունների մատրիցը ստացվում է բոլոր հաջորդական համասեռ  $T_{k-1}^k$  մատրիցների ձախակողմյան բազմապատկմամբ.

$$T_0^2 = T_0^1 T_1^2:$$

Ռոբոտ-մանիպուլյատորի դինամիկական հավասարումներն արտածելու համար օգտագործվել է ռեկուրսիվ Նյուտոն-Էյլերի մեթոդը, որը բաղկացած է երկու մասից: Սկզբում հաշվարկվում են յուրաքանչյուր առանցքի գծային և անկյունային արագությունները՝ սկսած հիմքի օղակից: Երբ բոլոր առանցքների արագությունները հայտնի են, հաշվարկվում են մանիպուլյատորի առանցքների վրա ազդող ուժերն ու մոմենտները՝ սկսած վերջին օղակից:

Ռոբոտ-մանիպուլատորի յուրաքանչյուր առանցքի անկյունային և գծային արագությունները կունենան հետևյալ տեսքը.

$$w_0^k = w_0^{k-1} + \xi_k(\dot{q}_k \cdot z_0^{k-1}),$$

$$v_0^k = v_0^{k-1} + w_0^k \times \Delta S_k + (1 - \xi_k)(\dot{q}_k \cdot z_0^{k-1}):$$

Իսկ ուժերը ու մոմենտները՝

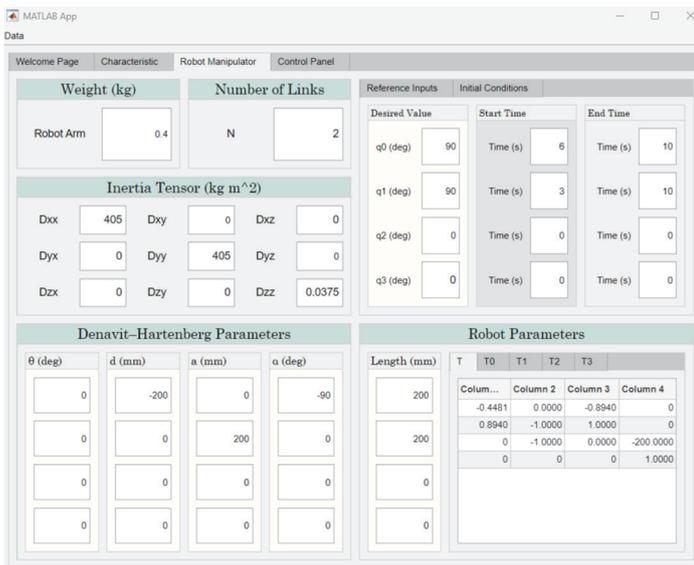
$$f_k = f_{k+1} + m_k \cdot \left( \frac{\partial v_k}{\partial t} + w_k \times \Delta c_k + \Delta \dot{c}_k \right),$$

$$\tau_k = \tau_{k+1} + (\Delta S_k + \Delta C_k) \times F_k - \Delta C_k \times F_{k+1} + D_k \alpha_0^k + w_0^k \times (D_k w_0^k),$$

որտեղ  $m_k$ -ն  $k$ -րդ օղակի զանգվածն է,  $\Delta S_k$ -ն՝  $k$ -րդ և  $k-1$ -րդ համակարգերի միջև հեռավորությունը,  $\Delta c_k$ -ն՝ ծանրության կենտրոնների տեղաշարժը,  $D_k$ -ն՝ իներցիայի տենզորը,  $F_k$ -ն՝ օղակի վրա ազդող ուժը,  $\xi_k$ -ն ընդունում է 1 արժեքը պտտական օղակի դեպքում և 0՝ տեղափոխման օղակի դեպքում [9]:

**ԲԱԹՍ-ի վրա ռոբոտ-մանիպուլատորի ազդեցության վերլուծություն:**

[10]-ում ներկայացված է օգտագործողի գրաֆիկական ինտերֆեյս, որը նախատեսված է ԲԱԹՍ-ի կառավարման համակարգի ճշտությունը վերլուծելու գործընթացն ավտոմատացնելու համար (նկ. 3):

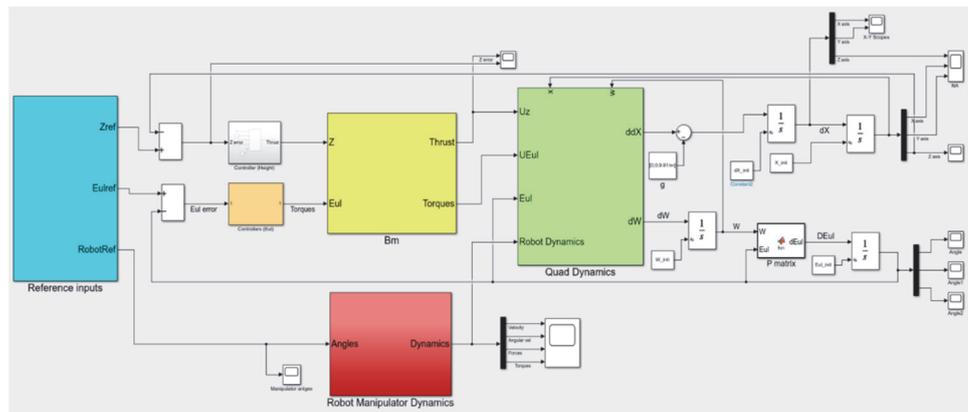


Նկ. 3. Քննարկարիչ պարամետրերի էջը

Ինտերֆեյսը գործում է Matlab/Simulink ծրագրային փաթեթում: Ինտերֆեյսը հնարավորություն է տալիս՝ ընտրելու կառավարման համակարգի առանձին կապուլիների ՀԻԴ կարգավորիչների պարամետրերը և բարելավել համակարգի անցողիկ գործընթացները, ինչպես նաև ուսումնասիրել ԲԱԹՍ-ի վարքը շարժիչների խափանումների դեպքում:

Օգտագործելով վերը նշված հավասարումները, [10]-ում ներկայացված ինտերֆեյսին ավելացվել է ռոբոտ-մանիպուլյատոր ներմուծելու հնարավորություն: Այժմ ինտերֆեյսը հնարավորություն է տալիս, մուտքագրելով ռոբոտի պարամետրերը և հրամանները, գնահատելու ԲԱԹՍ-ի վրա ռոբոտի ազդեցությունը: Նկ. 3-ում ներկայացված է ռոբոտ-մանիպուլյատորի պարամետրերը մուտքագրելու պատուհանը:

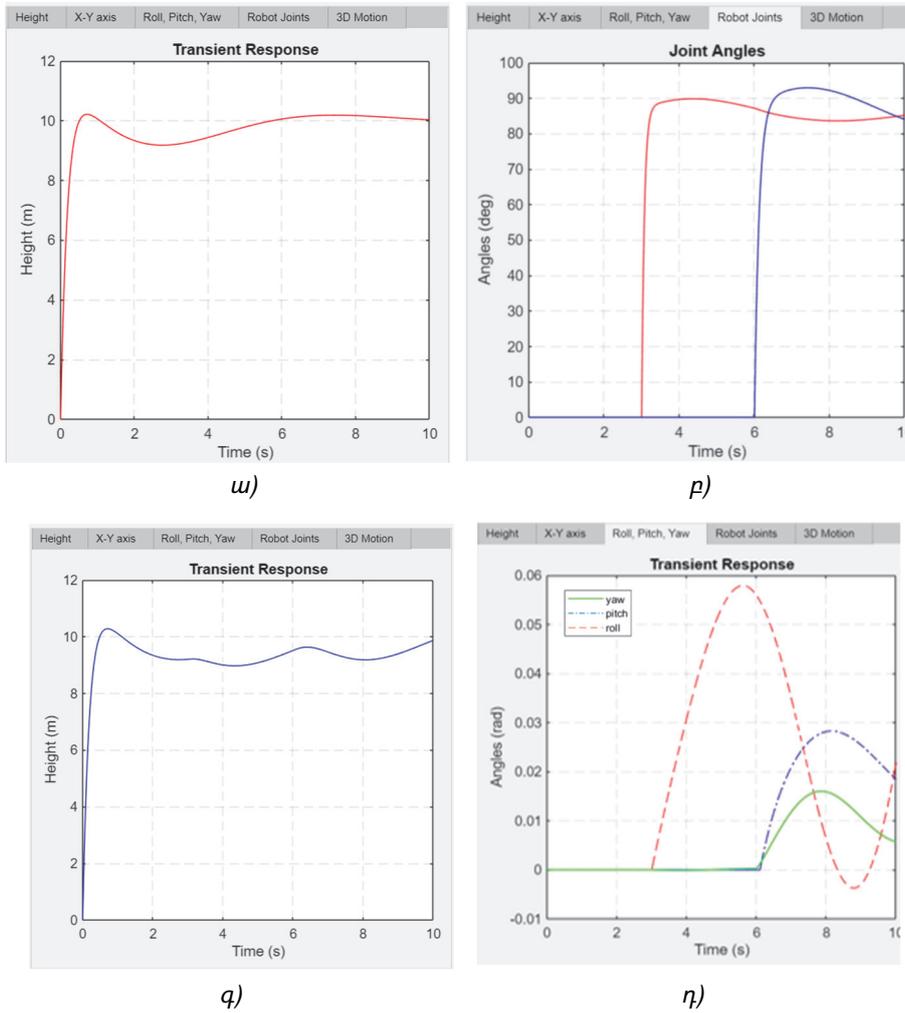
«Robot Manipulator» պատուհանը հնարավորություն է տալիս՝ մուտքագրելու ուսումնասիրվող ռոբոտ-մանիպուլյատորի առանցքների քանակը, բնութագրիչ պարամետրերը (իներցիայի մոմենտներ, զանգված, առանցքների երկարություն), Դենավիթ-Հարթենբերգի պարամետրերը, ինչպես նաև ռոբոտի օղակների սկզբնական և ցանկալի անկյունները և հրամանի կատարման ժամանակը: Ինտերֆեյսում մուտքագրված պարամետրերն ավտոմատ կերպով ներմուծվում են Matlab/Simulink ծրագրային փաթեթ և օգտագործվում են ռոբոտի դինամիկայի մոդելում («Robot Manipulator Dynamics») (նկ. 4):



Նկ. 4. Matlab/Simulink ծրագրային հավելված

Եզրափակելով դիտարկենք նկ. 2 և 3-ում տրված պարամետրերով ռոբոտ-մանիպուլյատորի ազդեցությունը ԲԱԹՍ-ի անցողիկ գործընթացի վրա: Դիցուք

քառապտուտակ տեսակի ԲԱԹՍ-ին տրվել է 10մ բարձրության հասնելու հրաման (նկ. 5ա): Այնուհետև տրվել է նույն հրամանը՝ այս անգամ ժամանակի 3-րդ և 6-րդ վայրկյաններին ռոբոտին տալով համապատասխանաբար  $q_0^1 = [0, \frac{\pi}{2}]$  և  $q_0^2 = [\frac{\pi}{2}, \frac{\pi}{2}]$  անկյունների հրամաններ (նկ. 5բ): Նկ. 5գ և դ-ում ներկայացված են ԲԱԹՍ-ի բարձրության և անկյունների (կողաթեքում, երկայնաճոճում, ընթացաշեղում) անցողիկ կորերը՝ ռոբոտ-մանիպուլյատորի կիրառմամբ:



Նկ. 5. Համակարգի վարքի կորերը

Գրաֆիկներից երևում է, որ ռոբոտ-մանիպուլյատորի հրամանների կատարումը նպաստել է ԲԱԹՍ-ի բարձրության նվազմանը ( $\max \Delta Z \approx 0.6$ մ), կողաթեքման շեղմանը՝  $\max \Delta \varphi \approx 0.057$ ռադ, երկայնաճոճման շեղմանը՝  $\max \Delta \theta \approx 0.028$ ռադ, ընթացաշեղման շեղմանը՝  $\max \Delta \psi \approx 0.016$ ռադ: ՕՌՄ համակարգի առավել կայուն աշխատանքի համար հարկավոր է նախագծել ոչ-գծային կարգավորիչ՝ ըստ ռոբոտ-մանիպուլյատորի անկյունների փոփոխության:

**Եզրակացություն:** Գրաֆիկական ինտերֆեյսի միջոցով դիտարկվել է ռոբոտ-մանիպուլյատորի ազդեցությունը ԲԱԹՍ կառավարման համակարգի վրա: Բերվել է ՕՌՄ-ի կառավարման խնդրի թվային օրինակ, փորձի արդյունքները ներկայացվել են անցողիկ կորերի տեսքով:

*Հեղազոտությունն իրականացվել է ՀՀ ԿԳՄՍՆ Բարձրագույն կրթության և գիտության կոմիտեի աջակցությամբ (Հեղազոտական ծրագիր N° 10-4/24AA-2B048):*

#### ԳՐԱԿԱՆՈՒԹՅԱՆ ՑԱՆԿ

1. Past, Present and Future of Aerial Robotic Manipulators / **A. Ollero, M. Tognon, et al** // IEEE Transactions on Robotics.-2022.-38 (1).-P. 626-645.
2. **Becerra-Mora Y.A., Soto-Gaona S.** Tracking and Grasping of Moving Objects Using Aerial Robotic Manipulators: A Brief Survey // Revista UIS Ingenierías.-2023.-Vol. 22, no. 4.-P. 115-128.
3. Aerial Grasping of an Object in the Strong Wind: Robust Control of an Aerial Manipulator / **G. Zhang, Y. He, et al** // Appl. Sci.-2019.-9.-2230.
4. **Ramon Soria P., Arrue B. C., Ollero A.** Detection, location and grasping objects using a stereo sensor on uav in outdoor environments // Sensors.-2017.-Vol. 17, no. 1.-P. 103.
5. Robust Control of an Aerial Manipulator Based on a Variable Inertia Parameters Model / **G. Zhang, Y. He, et al** // IEEE Transactions on Industrial Electronics.- Nov. 2020.- Vol. 67, no. 11.-P. 9515-9525.
6. Full-Body Torque-Level Non-linear Model Predictive Control for Aerial Manipulation / **J. Martí-Saumell, J. Solà, et al.**-2021, 10.48550/arXiv.2107.03722
7. **Fanni M., Khalifa A.** A New 6-DOF Quadrotor Manipulation System: Design, Kinematics, Dynamics and Control // IEEE/ASME Transactions on Mechatronics.- 2017.
8. **Siciliano B., Sciavicco L.** Modelling and control of robot manipulators // Advanced textbooks in control and signal processing.-2nd edn.-Springer, London, 2000.
9. Aerial manipulation / **M. Orsag, C. Korpela, et al.**-Springer, Verlag, 2018.
10. **Պասպարյան Օ., Սիմոնյան Ս.** Բազմառոտորային անօդաչու թռչող սարքի կառավարման համակարգի վերլուծության ավտոմատացում // Հայաստանի Ճարտարագիտական ակադեմիայի Լրաբեր.-2023.-2.-Էջ 150-155:

**Т.А. СИМОНЯН**

**ВЛИЯНИЕ РОБОТА-МАНИПУЛЯТОРА НА СИСТЕМУ  
УПРАВЛЕНИЯ МНОГОРОТОРНЫМ БЕСПИЛОТНЫМ  
ЛЕТАТЕЛЬНЫМ АППАРАТОМ**

Представлено влияние робота-манипулятора на многороторный беспилотный летательный аппарат. Создан графический интерфейс пользователя, позволяющий автоматизировать процесс анализа точности системы управления летательным роботом-манипулятором.

**Ключевые слова:** летательный робот-манипулятор, многороторный беспилотный летательный аппарат, графический интерфейс пользователя.

**T.A. SIMONYAN**

**THE IMPACT OF A ROBOT MANIPULATOR ON THE CONTROL  
SYSTEM OF A MULTI-ROTOR UNMANNED AERIAL VEHICLE**

The article presents the impact of a robot manipulator on a multi-rotor unmanned aerial vehicle (MUAV). Also, a graphical user interface is created to automate the process of analyzing the accuracy of the control system of the aerial robot manipulator (ARM).

**Keywords:** aerial robot manipulator, multi-rotor unmanned aerial vehicle, graphical user interface.

ՀՏԴ 62-232.173:681.51

**Մ.Կ. ԴԱՐԱՆԻՉՅԱՆ, Լ.Մ. ԲՈՒՆԻԱԹՅԱՆ, Հ.Գ. ԴԱՐԲԻՆՅԱՆ,  
Ս.Ա. ՄՆԱՑԱԿԱՆՅԱՆ**

**ՇԱՐԺԱԿԱՆ ՀԵՆԱՐԱՆԻ ՎՐԱ ՏԵՂԱԴՐՎԱԾ ՁՈՂԻ ՈՒՂՂԱԶԻԳ ԴԻՐՔԻ  
ԿԱՌԱՎԱՐՄԱՆ ՀԱՄԱԿԱՐԳԻ ՆԱԽԱԳԾՈՒՄԸ**

Հետազոտվել է QUBE-Servo 2 շարժական համակարգը, որի նպատակն է շարժաթևի վրա տեղադրված ձողը պահել ուղղաձիգ դեպի վեր հավասարակշռված վիճակում միաժամանակ ապահովելով շարժաթևի առաջադրված դիրքը: Հաշվարկվել են LQR կարգավորիչի գործակիցները, և Simulink մոդելի միջոցով կատարվել է շրջված ճոճանակի հավասարակշռված դիրքի կառավարում:

**Առանցքային բառեր.** կառավարման համակարգ, շրջված ճոճանակ, շարժաթև, կարգավորիչ, վիճակների տարածություն:

**Ներածություն:** QUBE-Servo 2 շրջված ճոճանակով համակարգը (նկ.1) շարժական, լիովին ինտեգրված սերվոշարժիչով հարթակ է: Այն դասական