

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**

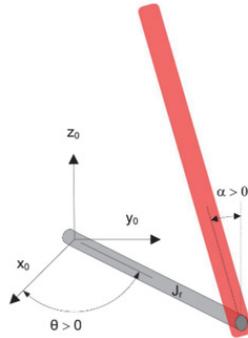
**ՇԱՐԺԱԿԱՆ ՀԵՆԱՐԱՆԻ ՎՐԱ ՏԵՂԱԴՐՎԱԾ ՁՈՂԻ ՈՒՂՂԱԶԻԳ ԴԻՐՔԻ
ԿԱՌԱՎԱՐՄԱՆ ՀԱՄԱԿԱՐԳԻ ՆԱԽԱԳԾՈՒՄԸ**

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

Շրջված ճոճանակի սխեման բերված է նկ.3 -ում:



Նկ. 3. Շրջված ճոճանակի սխեման

Շարժիչի առանցքին կցված շարժաթևի պտտման անկյունը նշանակված է θ -ով, իսկ ճոճանակի կամ ձողի անկյունը, որը կցված է շարժաթևի ծայրին, α -ով: Երկու անկյուններն էլ սահմանվում են դրական, երբ պտտվում են ժամսլաքի հակառակ ուղղությամբ: Երբ շարժիչի վրա կիրառվում է դրական լարում, շարժաթևը պտտվում է ժամսլաքի հակառակ ուղղությամբ: Ճոճանակի α անկյունը զրո է, երբ այն գտնվում է ուղղաձիգ դեպի վեր ուղղված դիրքում:

Սերվոշարժիչով ստեղծված՝ շարժաթևի հիմքում կիրառվող պտտող մոմենտը նկարագրված է հետևյալ հավասարման միջոցով [2].

$$\tau = \frac{k_m(V_m - k_m\dot{\theta})}{R_m}$$

Էյլեր-Լագրանժի մեթոդով ստացված ոչ գծային շարժման հավասարումները [3] գծայնացված են աշխատանքային կետի նկատմամբ, և արդյունքում ստացված գծային շարժման հավասարումներն ըստ արագացումների շրջված ճոճանակի համար ունեն հետևյալ տեսքը.

$$\ddot{\theta} = \frac{1}{J_T} \left(- \left(J_p + \frac{1}{4} m_p L_p^2 \right) D_r \dot{\theta} + \frac{1}{2} m_p L_p L_r D_p \dot{\alpha} + \frac{1}{4} m_p^2 L_p^2 L_r g \alpha + \left(J_p + \frac{1}{4} m_p L_p^2 \right) \tau \right),$$

$$\ddot{\alpha} = \frac{1}{J_T} \left(\frac{1}{2} m_p L_p L_r D_r \dot{\theta} - \left(J_r + m_p L_r^2 \right) D_p \dot{\alpha} - \frac{1}{2} m_p L_p g \left(J_r + m_p L_r^2 \right) \alpha - \frac{1}{2} m_p L_p L_r \tau \right),$$

$$J_T = J_p m_p L_r^2 + J_r J_p + \frac{1}{4} m_p L_p^2 ,$$

որտեղ m_p -ն ճոճանակի ձողի զանգվածն է, J_p -ն՝ ճոճանակի իներցիայի մոմենտը, L_p -ն՝ ճոճանակի ձողի երկարությունը, D_p -ն՝ ճոճանակի շփման գոր-

ծակիցը, J_r -ը՝ շարժաթևի իներցիայի մոմենտը, L_r -ը՝ շարժաթևի ձողի երկարությունը, D_r -ը՝ շարժաթևի շփման գործակիցը:

Հավասարակշռության վիճակի կառավարում: Հավասարակշռության վիճակը պահպանելը կառավարման խնդրի հիմնական նպատակն է: Այն թույլ է տալիս ճոճանակը պահել ուղղաձիգ դեպի վեր՝ հավասարակշռության դիրքում՝ միաժամանակ պահպանելով շարժաթևի ցանկալի դիրքը:

Վիճակների տարածությունում գծային մոդելների ընդհանուր տեսքը հետևյալն է [4].

$$\dot{x} = Ax + Bu,$$

$$y = Cx + Du,$$

որտեղ x -ը վիճակի վեկտորն է, u -ն՝ կառավարող մուտքը, A -ն, B -ն, C -ն և D -ն՝ վիճակների տարածության մատրիցները: Շրջված ճոճանակ համակարգի համար վիճակի վեկտորը սահմանվում է հետևյալ կերպ.

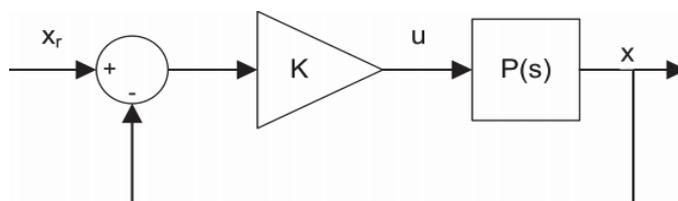
$$x = [\theta \quad \alpha \dot{\theta} \quad \dot{\alpha}]^T:$$

Շրջված ճոճանակի հավասարակշռության դիրքի կառավարման բլոկ-սխեման բերված է նկ.4 -ում, որտեղ $P(S)$ -ը համակարգի գծայնացված մոդելն է վիճակների տարածությունում, առաջադրող ազդանշանը՝ $x_r = [\theta_r \quad 0 \quad 0 \quad 0]$:

Կառավարման օրենքը կընդունի հետևյալ տեսքը.

$$u = K(x_r - x) = k_{p,\theta}(\theta_r - \theta) - k_{p,\alpha}\alpha + k_{D,\theta}\dot{\theta} - k_{D,\alpha}\dot{\alpha}:$$

Այստեղ $k_{p,\theta}$ -ն շարժաթևի անկյան համեմատական գործակիցն է, $k_{D,\theta}$ -ն՝ շարժաթևի անկյան դիֆերենցման գործակիցը, $k_{p,\alpha}$ -ն՝ ճոճանակի անկյան համեմատական գործակիցը, $k_{D,\alpha}$ - ն՝ ճոճանակի անկյան դիֆերենցման գործակիցը:

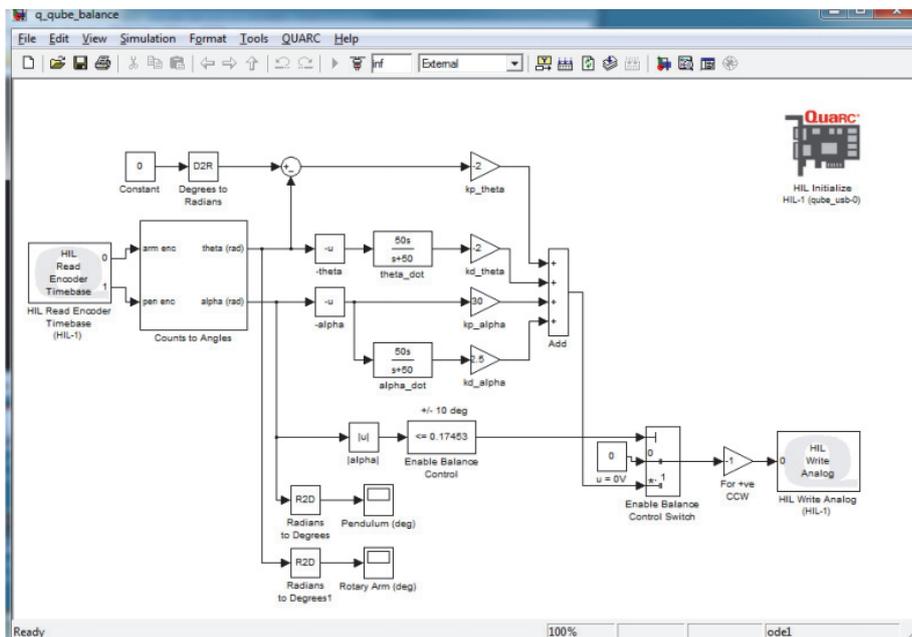


Նկ. 4. Շրջված ճոճանակի հավասարակշռության դիրքի կառավարման բլոկ-սխեման

Կարգավորիչի պարամետրերի որոշման ամենատարածված մեթոդներից է գծային քառակուսային կառավարման (Optimal LQR Control) մեթոդը [4,5]: Matlab ծրագրային միջավայրում, ներմուծելով համակարգի վիճակների տարածության մոդելը lqr հրամանի միջոցով, հաշվարկվել են կարգավորիչի գործակիցների արժեքները:

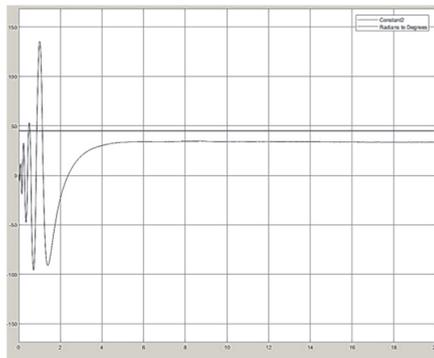
```
>> A=[0 0 1 0; 0 0 0 1; 0 149.2751 -0.0104 0; 0 261.6091 -0.0103 0];
>> B=[0; 0; 49.7275; 49.1493];
>> Q=[1 0 0 0; 0 1 0 0; 0 0 1 0; 0 0 0 1];
>> R=1;
>> K=lqr(A,B,Q,R)
K =
-1.0000 34.2418 -1.2254 3.0770
```

Նկ. 5-ում ցուցադրված է շրջված ճոճանակի մոդելը Simulink միջավայրում: Սահմանվել են կարգավորիչի գործակիցների հետևյալ արժեքները. $k_{p,\theta} = -2$, $k_{p,\alpha} = 30$, $k_{d,\theta} = -2$ և $k_{d,\alpha} = 2,5$, որոնք որոշակիորեն տարբերվում են տեսակա- նորեն ստացված հաշվարկային տվյալներից:

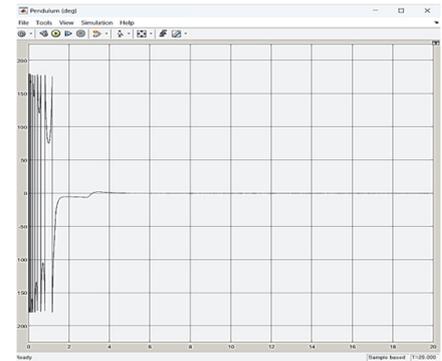


Նկ. 5. Շրջված ճոճանակի հավասարակշռության վիճակի կառավարման Simulink մոդելը

Նկ. 6-ում և 7-ում պատկերված են շարժաթևի և ճոճանակի պտտման անկյունների բնութագրերը՝ համապատասխանաբար տեսականորեն և փորձնականորեն ստացված գործակիցների դեպքերում:

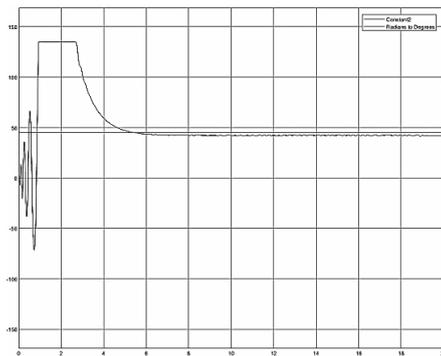


ա) Շարժաթև

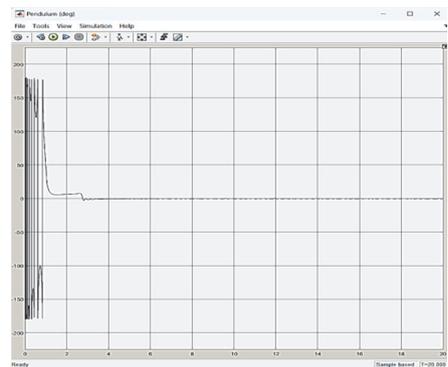


բ) Ճոճանակ

Նկ. 6. QUBE-Servo 2 համակարգի արձագանքը տեսականորեն ստացված գործակիցների դեպքում



ա) Շարժաթև



բ) Ճոճանակ

Նկ. 7. QUBE-Servo 2 համակարգի արձագանքը փորձնականորեն ստացված գործակիցների դեպքում

Գրաֆիկների համեմատական վերլուծության արդյունքում կարելի է պնդել, որ փորձնականորեն ստացված գործակիցների դեպքում անցումային գործընթացների բնութագրերի ստատիկ սխալը, ինչպես նաև կարգավորման ժամանակներն ավելի փոքր են տեսականորեն ստացված գործակիցների դեպքում անցումային գործընթացների բնութագրերի պարամետրերի արժեքներից:

Եզրակացություն: Հիմք ընդունելով մաթեմատիկական մոդելի միջոցով ստացված կարգավորիչի գործակիցների թվային արժեքները՝ գործարկվել է Qube-Servo 2 վիրտուալ համակարգը: Փորձարկումների միջոցով կատարվել է գործակիցների արժեքների ճշգրտում: Արդյունքներից կարելի է եզրակացնել, որ կարգավորիչի գործակիցների տեսականորեն որոշված և փորձնականորեն ստացված արժեքները բավականաչափ մոտ են իրար:

ԳՐԱԿԱՆՈՒԹՅԱՆ ՑԱՆԿ

1. **Nise, Norman S.** Control systems engineering / California State Polytechnic University.- Seventh edition.- Pomona, 2010.- Quanser Inc.- 943p.
2. **Apkarian Jacob, Michel Lévis.** Student Workbook Qube-Servo experiment for Matlab/Simulink users standardized for ABET.- 2010.- Quanser Inc.- 77p.
3. **Furuta K., Iwase M.** Swing-up time analysis of pendulum // Bulletin of the Polish Academy of Sciences: Technical Sciences.-2004.- 52 (3).- P. 153-163.
4. **Дорф Р., Бишоп Р.** Современные системы управления/ Пер. с англ. Б.И. Копылова. – М.: Лаборатория Базовых Знаний, 2002. – 832 с.
5. **Takegaki M., Arimoto S.** A new feedback method for dynamic control of manipulators // Transactions ASME, Journal of Dynamic Systems, Measurement and Control.-1981.- Vol.105.- P. 119-125.

Հերազոտությունն իրականացվել է ՀՀ ԿԳՄՍՆ Բարձրագույն կրթության և գիտության կոմիտեի ֆինանսական աջակցությամբ՝ 23-2DP-2B022 ծածկագրով գիտական թեմայի շրջանակներում:

**Մ.Կ. ԴԱՐԱՒՉՅԱՆ, Լ.Մ. ԲՈՒՆԻԱՏՅԱՆ, Մ.Գ. ԴԱՐԲԻՆՅԱՆ,
Ս.Ա. ՄՈՒՇԱԿԱՆՅԱՆ**

ПРОЕКТИРОВАНИЕ СИСТЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ ВЕРТИКАЛЬНЫМ ПОЛОЖЕНИЕМ СТЕРЖНЯ, УСТАНОВЛЕННОГО НА ПОДВИЖНОЙ ПЛАТФОРМЕ

Исследована система QUBE-Servo2, целью которой является поддержание вертикального сбалансированного состояния стержня, установленного на манипуляторе, при этом обеспечивая заданное положение манипулятора. Рассчитаны коэффициенты LQR-регулятора, и с помощью модели Simulink выполнено управление сбалансированным положением перевернутого маятника.

Ключевые слова: система управления, перевернутый маятник, манипулятор, регулятор, пространство состояний.

M.K. DARAKHCHYAN, L.M. BUNIATYAN, H.G. DARBINYAN,
S.A. MNATSAKANYAN

DESIGNING A CONTROL SYSTEM BY THE VERTICAL POSITION OF THE ROD INSTALLED ON A MOBILE PLATFORM

The QUBE-Servo 2 system has been studied to maintain the vertically balanced state of a rod mounted on a manipulator, at that ensuring the specified position of the manipulator. The coefficients of the LQR controller have been calculated, and with the help of a Simulink model, the control of the balanced position of the inverted pendulum has been implemented.

Keywords: control system, inverted pendulum, manipulator, controller, state space.

УДК 681.3.06

С.Ш. БАЛАСАНЯН, Э.М. ГЕВОРГЯН

ИССЛЕДОВАНИЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ ПРИМЕНЕНИЯ СТАТИСТИЧЕСКИХ МЕТОДОВ ПРИ ПОСТРОЕНИИ МОДЕЛЕЙ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ

(Капан)

Путем сравнительного анализа результатов компьютерных имитационных экспериментов сделан вывод о целесообразности и эффективности применения шагового регрессионного метода при построении статистических моделей технологических процессов.

Ключевые слова: статистическая модель, регрессия, учет аргументов, имитационный эксперимент, эффективность.

Введение. Построение математических моделей технологических процессов (ТП) часто осуществляется статистическими методами. Одной из основных проблем построения статистических моделей сложных ТП является выбор наилучших входных переменных и определение оптимальной структуры модели. Наряду с широко применяемыми на практике регрессионными методами (всевозможных регрессий, исключения, включения, шаговой регрессии и т.д.) [1-4], выбором наилучшего состава входных переменных и структуры модели используется также метод группового учета аргументов (МГУА) [5, 6].

Постановка задачи. С практической точки зрения большой интерес представляет исследование эффективности применения шагового регрессионного метода и МГУА, а также определение условий рационального применения каждого из этих методов.