

## ԸՆԴԴԻՄԱԽՈՍԻ ԿԱՐԾԻՔ

*Զավեն Գեղամի Խանամիրյանի «Արհեստական բանականության կիրառմամբ էկզոկլմախքի բազմաչափ ոչ գծային կառավարման համակարգի մշակումը և հետազոտումը» թեմայով՝ Ե.13.01 «Կառավարում, կառավարման համակարգեր և դրանց տարրերը» մասնագիտությամբ տեխնիկական գիտությունների թեկնածուի գիտական աստիճանի հայցման համար ներկայացված ատենախոսության վերաբերյալ*

Ատենախոսությունը նվիրված է ստորին վերջույթի վերականգնողական էկզոկլմախքի բազմաչափ ոչ գծային կառավարման համակարգի մշակմանը և հետազոտմանը՝ արհեստական բանականության, մեքենայական ուսուցման և ադապտիվ կառավարման մեթոդների համակցված կիրառմամբ: Հետազոտության առանցքային խնդիրն է օգտագործողի փոփոխվող ֆիզիկական պարամետրերի, մարդ-էկզոկլմախք փոխազդեցության և արտաքին ազդեցությունների պայմաններում ապահովել կառավարման համակարգի ճշտությունը, կայունությունը և հարմարվողականությունը:

**Թեմայի արդիականությունը:** Վերականգնողական էկզոկլմախքները ժամանակակից ռոբոտատեխնիկայի և վերականգնողական ճարտարագիտության արագ զարգացող ուղղություններից են: Դրանց արդյունավետությունը որոշվում է ոչ միայն մեխանիկական կառուցվածքով, այլ առաջին հերթին կառավարման համակարգի կարողությամբ՝ իրական ժամանակում համապատասխանելու օգտագործողի շարժման մտադրությանը և ֆիզիկական առանձնահատկություններին: Էկզոկլմախքը և օգտագործողը կազմում են փոխկապակցված դինամիկ համակարգ, որի պարամետրերը կարող են էապես փոփոխվել օգտագործողի զանգվածի, քայլքի ռեժիմի, հոդերի շարժման բնույթի և մկանային ակտիվության փոփոխության պատճառով: Այդ պայմաններում հաստատուն գործակիցներով դասական կարգավորիչների կիրառումը ոչ միշտ է ապահովում պահանջվող հարմարվողականությունն ու կայունությունը: Ուստի արհեստական բանականության և ադապտիվ կառավարման համատեղ կիրառմամբ նոր կառավարման մեթոդների մշակումը գիտական և կիրառական տեսակետներից արդիական խնդիր է:

**Աշխատանքի նպատակն ու խնդիրները:** Ատենախոսության նպատակը կառավարման տեսության և արհեստական բանականության ժամանակակից մեթոդների համատեղման հիմքով նոր կառավարման ալգորիթմների մշակումն ու հետազոտումն է, որոնք նպաստում են նախագծման և կիրառման արդյունավետության բարձրացմանը և իրական սարքավորումներում կառավարման համակարգերի իրագործելիությանը: Նպատակին հասնելու համար հեղինակը մշակել է կինեմատիկական և դինամիկական մոդելներ, նախագծել և համեմատել դասական,

ադապտիվ և արհեստական բանականությամբ կառավարման համակարգեր, ստեղծել է շարժման մտադրության կանխատեսման ալգորիթմ և իրականացրել համակարգչային ու փորձանմուշային փորձարկումներ:

**Ատենախոսության կառուցվածքը և բովանդակությունը:** Ատենախոսությունը բաղկացած է ներածությունից, չորս գլուխներից, հիմնական արդյունքներից և եզրահանգումներից, 102 անուն գրականության ցանկից և հավելվածից: Աշխատանքի ընդհանուր ծավալը 133 էջ: Ներածությունում հիմնավորված են թեմայի արդիականությունը, ձևակերպված են հետազոտության նպատակը և խնդիրները, ներկայացված են կիրառված մեթոդները, գիտական նորույթը, գործնական նշանակությունը և պաշտպանության ներկայացվող հիմնական դրույթները:

**Առաջին գլխում** կատարվել է էկզոկլմախքների դասակարգման, կիրառությունների և կառավարման համակարգերի վերլուծություն: Դիտարկվել են վերականգնողական, արդյունաբերական և այլ նշանակության համակարգերը, մարդու քայլքի փուլերը, ինչպես նաև ստորին վերջույթի վերականգնողական էկզոկլմախքների կառավարման բարձր, միջին և ստորին մակարդակները: Գրականության վերլուծության արդյունքում հիմնավորվել է ամրապնդման ուսուցման և ադապտիվ կառավարման մեթոդների կիրառման նպատակահարմարությունը:

**Երկրորդ գլխում** մշակվել է ստորին վերջույթի վերականգնողական էկզոկլմախքի (ՄՎՎԷ) մաթեմատիկական մոդելը: Դենավիթ–Հարթենբերգի մեթոդով ձևակերպվել են կինեմատիկական պարամետրերը և համասեռ ձևափոխության մատրիցները, իսկ Էյլեր–Լագրանժի մեթոդով ստացվել են համակարգի դինամիկայի հավասարումները: Մոդելավորման ընթացքում հաշվի են առնվել մարդ–էկզոկլմախք փոխազդեցության կապերը և մշակվել է հավասարակշռության մաթեմատիկական մոդել, որը հիմք է ծառայել հետագա կառավարման համակարգերի նախագծման համար:

**Երրորդ գլխում** ներկայացվել են ՄՎՎԷ-ի քայլքի կառավարման տարբեր համակարգերի կառուցվածքային սխեմաները և իրականացվել է դրանց նախագծում ու հետազոտում: Նախագծվել է նաև կասկադային ՀԻԴ կարգավորիչներով հավասարակշռության պահպանման համակարգ: MATLAB/Simulink միջավայրում ստեղծվել է համակարգչային մոդել, իսկ մշակված մեթոդների փորձարկման և արդյունավետության գնահատման համար՝ փորձանմուշային ֆիզիկական մոդել:

**Չորրորդ գլխում** մշակվել է արհեստական բանականության վրա հիմնված կառավարման համակարգ: Դիտարկվել է խորը դետերմինացված գրադիենտային քաղաքականության (DDPG) ալգորիթմը՝ իրագործող–քննադատող կառուցվածքով, և MATLAB Reinforcement Learning Designer գործիքակազմում իրականացվել է ներդրնային կարգավորիչի ուսուցումը: Հեղինակը առաջարկել է DDPG ալգորիթմով համալրված

նմուշային մոդելով ադապտիվ կարգավորիչը: Համեմատական փորձարկումները ցույց են տվել, որ պարամետրական անորոշությունների և 50 կգ արտաքին բեռի դեպքում առաջարկված կարգավորիչը դիտարկված կարգավորիչների շարքում ապահովում է ինտեգրալային բացարձակ սխալանքի լավագույն արժեքը: :

**Գիտական դրույթների և եզրահանգումների հավաստիությունը:** Աշխատանքում ստացված արդյունքների հավաստիությունը հիմնավորված է տեսական մեխանիկայի, ռոբոտատեխնիկայի, ավտոմատ կառավարման, գծային հանրահաշվի, արհեստական բանականության և մեքենայական ուսուցման հայտնի մեթոդների կիրառմամբ: Մաթեմատիկական մոդելները հետազոտվել են MATLAB/Simulink և Simscape միջավայրերում, իսկ ծրագրային և ապարատային իրագործման համար կիրառվել են NI LabVIEW գործիքները: Տարբեր կարգավորիչների արդյունավետությունը գնահատվել է միասնական չափանիշներով, այդ թվում՝ անցումային գործընթացի ցուցանիշներով և ինտեգրալային բացարձակ սխալանքով, ինչպես նաև կատարվել են համակարգչային և ֆիզիկական մոդելների վրա փորձարկումներ: :

**Ստացված արդյունքների գիտական նորույթը և հիմնավորման աստիճանը:**

Ատենախոսությունում ստացվել են հետևյալ հիմնական գիտական արդյունքները.

1. Մշակվել է ՄՎՎԷ-ի ամբողջական դինամիկ մոդել, որը հաշվի է առնում մարդ-Էկզոկմախք փոխազդեցության կապերը և Էկզոկմախքի հավասարակշռությունը:
2. ՄՎՎԷ-ի դինամիկայի հավասարումների հիման վրա MATLAB/Simulink միջավայրում նախագծվել է արհեստական բանականությամբ և նեյրոնային կարգավորիչով նոր կառավարման համակարգ՝ դինամիկ պարամետրական անորոշությունների և հարմարվողականության խնդիրների լուծման համար:
3. Մշակվել է իրական ժամանակում իրագործելի մեքենայական ուսուցման ալգորիթ՝ օգտատիրոջ մկանային ակտիվության ազդակների վերլուծության և շարժման մտադրության կանխատեսման համար:
4. Մշակվել է DDPG ալգորիթով համալրված նմուշային մոդելով ադապտիվ «DAM» կարգավորիչ և կատարվել է դրա արդյունավետության, ճշտության ու հարմարվողականության համեմատական վերլուծություն:

**Աշխատանքի գործնական նշանակությունը:** Ստացված արդյունքները կարող են կիրառվել ստորին վերջույթի վերականգնողական Էկզոկմախքների ադապտիվ կառավարման համակարգերի նախագծման և կատարելագործման ժամանակ: Մաթեմատիկական և փորձանմուշային մոդելները, մշակված կարգավորիչները և ծրագրային գործիքները հնարավորություն են տալիս գնահատել կառավարման ալգորիթմների աշխատանքը փոփոխվող բեռների և օգտագործողի պարամետրական անորոշությունների պայմաններում: Ատենախոսության արդյունքներն օգտագործվում

են ՀՀ գիտության կոմիտեի կողմից ֆինանսավորվող №21DP-2B003 նախագծի աշխատանքներում, «Քայլեր» ՍՊԸ-ում և ՀԱՊՀ համապատասխան կրթական ծրագրերում:

Ատենախոսության հիմնական արդյունքները հրապարակված են տասը գիտական աշխատություններում: Հրապարակումների թեմատիկան համապատասխանում է ատենախոսության բովանդակությանը և արտացոլում է հետազոտության հիմնական արդյունքները: Աշխատանքն իր առարկայով, կիրառված մեթոդներով և ստացված արդյունքներով համապատասխանում է Ե.13.01 «Կառավարում, կառավարման համակարգեր և դրանց տարրերը» մասնագիտությանը:

#### Ատենախոսության դրական կողմերը

1. Աշխատանքում կառավարման խնդիրը դիտարկված է համալիր կերպով՝ մաթեմատիկական մոդելավորումից և դասական կարգավորիչների վերլուծությունից մինչև արհեստական բանականությամբ հիբրիդային կառավարման մեթոդի մշակում:
2. Դասական, ադապտիվ և նեյրոցանցային կարգավորիչների համեմատական ուսումնասիրությունը հնարավորություն է տվել հիմնավորել առաջարկված կարգավորիչի առավելությունները պարամետրական անորոշությունների պայմաններում:
3. Տեսական արդյունքները լրացվել են MATLAB/Simulink մոդելավորմամբ, NI LabVIEW/NI myRIO գործիքներով ծրագրային իրագործմամբ և փորձանմուշային մոդելի վրա փորձարկումներով:
4. Էլեկտրոնականաչափ ազդակների կիրառմամբ շարժման մտադրության կանխատեսման համակարգը տրամաբանորեն լրացնում է էլգոկմախքի բարձր մակարդակի կառավարման խնդիրը:

#### Աշխատանքի վերաբերյալ դիտարկումներ

Ատենախոսության վերաբերյալ կարելի է ներկայացնել հետևյալ դիտարկումները.

1. Չորրորդ գլխում «DAM» կարգավորիչի արդյունավետությունը ցուցադրված է մոդելավորման և փորձանմուշային համեմատությունների միջոցով, սակայն ցանկալի կլիներ լրացուցիչ ներկայացնել իրական ժամանակում իրագործման հաշվարկային բարդությունը և սահմանափակումները:
2. Կարգավորիչների համեմատությունը հիմնականում կատարված է առանց բեռի և 50 կգ արտաքին բեռի դեպքերի համար՝ ինտեգրալային բացարձակ սխալանքի չափանիշով: Ցանկալի կլիներ ավելի մանրամասն նկարագրել փորձարկումների

պայմանները և արդյունքների վիճակագրական ցրվածությունը, ինչպես նաև ներկայացնել կայունության և անվտանգության լրացուցիչ չափանիշներ:

3. Մկանային ակտիվության հիման վրա շարժման մտադրության կանխատեսման ներդրումային ցանցի համար ներկայացված է 2000 տվյալների բազմություն և 92 % ճշտություն: Արդյունքների ընդհանրացվողությունը առավել ամբողջական գնահատելու համար ցանկալի կլիներ նշել փորձարկվող անձանց քանակը և բնութագրերը, ինչպես նաև ներկայացնել սխալների մատրից, զգայունություն և առանձնահատկություն:

### Ամփոփիչ եզրակացություն

Վերը նշված դիտարկումները չեն նվազեցնում ատենախոսության գիտական և գործնական նշանակությունը: Զավեն Գեղամի Խանամիրյանի «Արհեստական բանականության կիրառմամբ էկզոկլմախքի բազմաչափ ոչ գծային կառավարման համակարգի մշակումը և հետազոտումը» ատենախոսությունը ավարտուն գիտահետազոտական աշխատանք է, որտեղ լուծված է ժամանակակից ավտոմատ կառավարման և ռոբոտատեխնիկայի համար արդիական խնդիր՝ ստորին վերջույթի վերականգնողական էկզոկլմախքի համար հարմարվողական և արհեստական բանականությամբ համալրված կառավարման համակարգի մշակումը: Աշխատանքում ստացված արդյունքներն ունեն գիտական նորույթ, բավարար հիմնավորվածություն և գործնական նշանակություն:

Գտնում եմ, որ *Զավեն Գեղամի Խանամիրյանի «Արհեստական բանականության կիրառմամբ էկզոկլմախքի բազմաչափ ոչ գծային կառավարման համակարգի մշակումը և հետազոտումը» թեմայով ատենախոսությունը* համապատասխանում է Ե.13.01 «Կառավարում, կառավարման համակարգեր և դրանց տարրերը» մասնագիտությամբ տեխնիկական գիտությունների թեկնածուի գիտական աստիճանի հայցման համար ներկայացվող պահանջներին, իսկ հեղինակը՝ Զավեն Գեղամի Խանամիրյանը, արժանի է տեխնիկական գիտությունների թեկնածուի գիտական աստիճանի շնորհմանը:

Պաշտոնական ընդդիմախոս՝

ՀԱՊՀ Օդային ռոբոտատեխնիկայի կենտրոնի  
ղեկավար, տ.գ.դ., պրոֆեսոր



Օ.Ն. Գասպարյան

Օ.Ն. Գասպարյանի ստորագրությունը հաստատում եմ՝

ՀԱՊՀ Գիտական քարտուղար՝



Օ. Ս. Հովհաննիսյան

« 27 » 07 2026 թ.

