

**Ա.Թ. ՈՒԼԻԿՅԱՆ, Զ.Գ. ԽԱՆԱՄԻՐՅԱՆ**

**ՍՏՈՐԻՆ ՎԵՐՋՈՒՅԹԻ ԷԿՁՈԿՄԱԽՔԻ ՔԱՅԼՔԻ ԿԱՌԱՎԱՐՈՒՄԸ՝ ՄԿԱՆԻՑ  
ՍՏԱՑՎԱԾ ԱԶԴԱԿՆԵՐՈՎ ԱՐՇԵՍՏԱԿԱՆ ԲԱՆԱԿԱՆՈՒԹՅԱՆ  
ԿԻՐԱՌՄԱՄԲ**

Իրականացվել է հաշմանդամություն ունեցող անձանց համար էկզոկմախքների մարդ-ռոբոտ ինտերֆեյսի նախագծում, որը կանխագուշակում է օգտատիրոջ շարժման մտադրությունը: Շարժման կանխատեսումն իրականացվել է արհեստական բանականությամբ՝ օգտատիրոջ ոտքի մկաններից էլեկտրամկանագրող (electromyograph) տվիչների միջոցով գրանցված ազդակներից:

**Առանցքային բառեր.** էկզոկմախք, արհեստական բանականություն, նեյրոնային ցանց, էլեկտրամկանագիր, մարդ-ռոբոտ ինտերֆեյս:

**Ներածություն:** Էկզոկմախքները ռոբոտներ են, որոնք իրենց աշխատանքի ընթացքում գտնվում են օգտատիրոջ հետ ֆիզիկական փոխազդեցության մեջ: Վերջին տարիներին էկզոկմախքների կիրառության ոլորտներն ընդլայնվել են և ներկայումս կիրառվում են մարդկանց ֆիզիկական ուժը և դիմադրողականությունը մեծացնելու, հենաշարժողական խնդիրները վերականգնելու, վերջույթների և այլ գործառույթները փոխարինելու համար: Այդ գործառույթներն իրականացնելու համար էկզոկմախքները պետք է համալրված լինեն մարդ-ռոբոտ ինտերֆեյսով և ինտելեկտուալ համակարգերով: Նմանատիպ համակարգերը հնարավորություն են տալիս՝ ապահովելու անմիջական կապը մարդու և սարքավորման միջև, հնարավորություն ընձեռելով մարդուն՝ կառավարելու այն: Էկզոկմախքների դեպքում նմանատիպ ինտելեկտուալ համակարգերը պետք է կարողանան կանխագուշակել օգտատիրոջ շարժման մտադրությունը: Այդ նպատակով հաճախ կիրառվում են մարդու կենսաբանական ազդակները, որոնք գեներացվում են նյարդային կամ մկանային համակարգերի միջոցով: Այդ ազդակները գրանցելու համար օգտագործվում են զանազան տվիչներ, օրինակ՝ էլեկտրաուղեղագիրը (ԷՈՒԳ, EEG), էլեկտրաակնագիրը (ԷԱԳ, EOG), ոչ ինվազիվ էլեկտրամկանագիրը (ԷՄԳ, EMG) և այլն [1]: Էլեկտրամկանագիրը իր հեշտ կիրառման շնորհիվ համարվում է ամենատարածված տվիչը կենսաբանական ազդակներ գրանցելու համար: Սակայն դրա ամենամեծ թերությունը էլքային ազդանշանի տեսքի, ամպլիտուդի և հաճախության կախվածությունն է օգտագործողի ֆիզիկական պարամետրերից, որը բարդացնում է այդ ազդանշանի մշակման գործընթացը և անհնար դարձնում ազդանշանների մշակման դասական մեթոդների կիրառումը: Ուստի շատ

հաճախ կիրառվում են արհեստական բանականության հայտնի ալգորիթմներ և մեթոդներ, օրինակ՝ նեյրոնային ցանցեր, որոնք թույլ են տալիս իրականացնել էլեկտրամկանաչափ տվիչներից ստացված ազդակների մշակում և օգտագործողի շարժման մտադրության կանխատեսում: Սակայն այս դեպքում շատ կարևոր է հաշվի առնել այն փաստը, որ էկզոկմախքի նման սարքավորումների կառավարումն իրականացվում է իրական ժամանակում, որի հետևանքով կենսաբանական ազդակների մշակման և շարժումը կանխատեսող ալգորիթմների աշխատանքի ժամանակը պետք է լինեն հնարավորինս քիչ և կառավարման համակարգում չառաջացնեն ուշացումներ: Նեյրոնային ցանցի նախագծումը սովորաբար կարելի է բաժանել մի քանի փուլերի՝ ուսուցման համար տվյալների հավաքագրում, տվյալների նախապատրաստում, ցանցի կառուցվածքի և ալգորիթմի ընտրություն, ցանցի ուսուցում և ուսուցման արդյունքների վավերացում [2]:

**Տվյալների հավաքագրում և նախապատրաստում:** Տվյալների հավաքագրումը և դրանց նախապատրաստումը նեյրոնային ցանցի (ՆՑ) նախագծման ամենակարևոր փուլերից մեկն է, որից կախված է ՆՑ-ի հետագա աշխատանքի ճշտությունը: Էկզոկմախքի քայքի կառավարման համար կիրառվել է «Sparkfun» ընկերության «MyoWare Muscle Sensor» ԷՄԳ տվիչը (նկ. 1 ա): Ընտրված տվիչը բավականին կոմպակտ է, իսկ ելքային ազդանշանը՝ 0-ից 5Վ, որը հեշտացնում է դրա աշխատանքը ներկառուցված ղեկավարման համակարգերի հետ: Բացի այդ, տվիչը ունի վերսալ է և կարող է օգտագործվել տարբեր մկաններից ազդանշաններ գրանցելու համար [3]: Տվյալների հավաքագրման համար ԷՄԳ տվիչն ամրացվել է օգտատիրոջ ոտքի ձկնանման մկանին (նկ. 1բ):



ա)



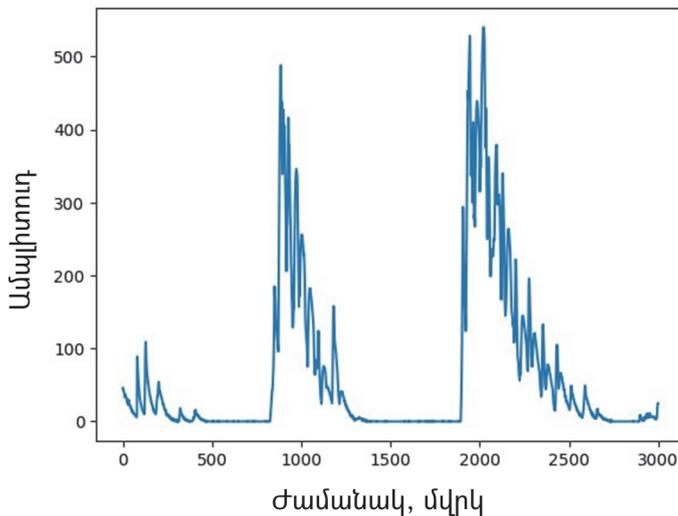
բ)



Նկ. 1. ԷՄԳ տվիչի արտաքին տեսքը (ա) և ամրացման դիրքը ձկնանման մկանին (բ)

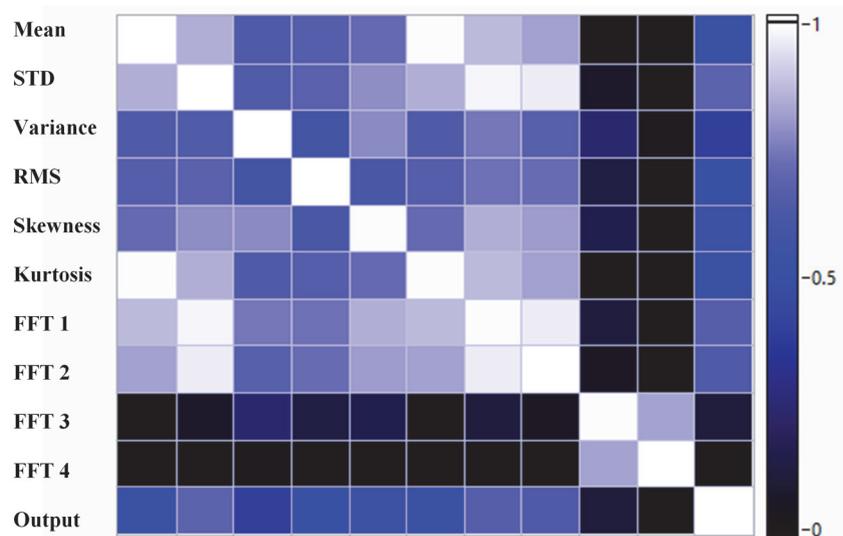
Տվիչներից ստացված ազդակները ներկայացնում են ժամանակից կախված մեծություններ, և նմանատիպ ազդակների ուսումնասիրության համար պետք է վերցնել և հետազոտել այդ ազդակների բազմությունը: Տվյալների հավաքա-

գրումն իրականացվել է NI ընկերության myRIO ներկառուցված համակարգի միջոցով 100 Հց հաճախականությամբ (1 վրկ.-ում 100 տվյալ), իսկ ազդակների մեկ բազմությունը հավաքագրվել է 250 մվրկ.-ում (մեկ բազմության տվյալների քանակը կազմում է 250 կետ): Ուռքի քայլքի դեպքում էՄԳ տվիչից ստացված ազդանշանների տեսքը բերված է նկ. 2-ում:



Նկ. 2. էՄԳ տվիչից ստացված ազդակների տեսքը քայլքի ժամանակ

Արդյունքում հավաքագրվել է 2000 բազմություն: ՆՑ-ի ուսուցման համար անհրաժեշտ է իրականացնել հավաքագրված տվյալների նախնական մշակում, պիտակավորում և հատկանիշների դուրսբերում: Իրականացվել է հավաքագրված բազմությունների պիտակավորում երկու դասերով՝ քայլ կա և քայլք չկա: Որպես հատկանիշներ ընտրվել են տվյալների զանգվածների միջին արժեքը (mean), ստանդարտ շեղումը (Std), վարիացիան (variance), միջին քառակուսային շեղումը (RMS), թեքվածության (skewness) և սուրուլիկության (kurtosis) գործակիցները, ինչպես նաև Ֆուրյեի արագ հաճախականային ձևափոխության առաջին չորս կարգի ամպլիտուդները (FFT1, FFT2, FFT3 և FFT4): Հավաքագրված տվյալների և դուրս բերված հատկանիշների հետագա կիրառությունը ՆՑ-ի ուսուցման գործընթացում գնահատելու համար իրականացվել է քայլքի և հատկանիշների կախվածության գնահատում կորելյացիոն մատրիցի միջոցով, որը բերված է նկ.3-ում: Կորելյացիոն մատրիցից երևում է, որ հատկանիշների և քայլքի միջև առկա է գրեթե 60% կորելյացիա, որը նշանակում է, որ հավաքագրված տվյալները կարելի է կիրառել ներդրման ցանցի ուսուցման համար:



Նկ. 3. Հատկանիշների կորելյացիայի մատրից

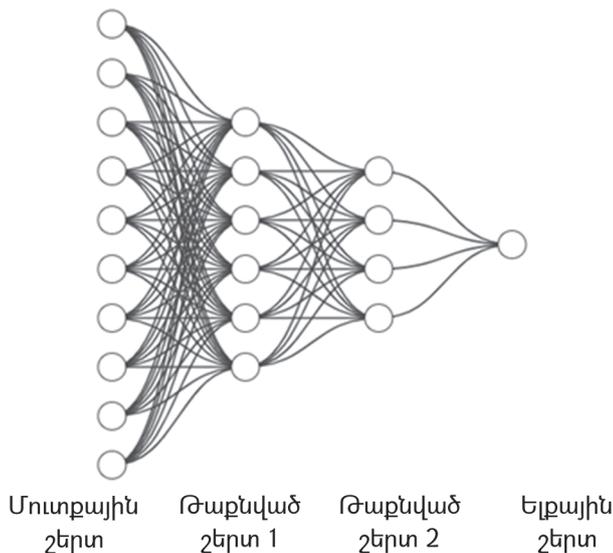
**Նեյրոնային ցանցի կառուցվածքի նախագծում և ուսուցում:** Նեյրոնային ցանցի ընդհանրացված հավասարումը կարելի է ներկայացնել հետևյալ հավասարմամբ՝

$$y = f\left(b + \sum_{i=1}^n x_i \omega_i\right), \quad (1)$$

որտեղ  $y$ -ը նեյրոնային ցանցի ելքային ազդանշանն է,  $f$ -ը՝ ակտիվացման ֆունկցիան,  $x$ -ը՝ տվիչից ստացված հատկանիշները,  $\omega$ -ն՝ հատկանիշների քաշային գործակիցները,  $b$ -ն՝ շեղության գործակիցը, իսկ  $n$ -ը՝ նեյրոնների քանակը: Նեյրոնային ցանցի ուսուցման նպատակն է անհայտ  $\omega$  հատկանիշների քաշային և  $b$ ՝ շեղության գործակիցների որոշումը: Ուսուցումից առաջ անհրաժեշտ է որոշել նեյրոնային ցանցի կառուցվածքը, նեյրոնների քանակը և ակտիվացման ֆունկցիան: Հաշվի առնելով, որ էկզոկմախքի կառավարման համար նեյրոնային ցանցը ելքում պետք է տա երկու արժեք՝ քայք կա կամ քայք չկա, ապա կարող ենք պնդել, որ ունենք դասակարգման խնդիր, և անհրաժեշտ է մշակել դասակարգող նեյրոնային ցանց: Ընտրվել է քառաշերտ նեյրոնային ցանց՝

- մուտքային շերտ- 10 նեյրոն,
- առաջին թաքնված շերտ- 6 նեյրոն,
- երկրորդ թաքնված շերտ- 4 նեյրոն,
- ելքային շերտ- 1 նեյրոն:

Մուտքային շերտի նեյրոնների քանակը որոշվում է տվիչից ստացված հատկանիշների քանակով, իսկ ելքային շերտի քանակը որոշվում է նեյրոնային ցանցի դասերի քանակով: Մեր դեպքում դասերի քանակը երկուսն են՝ քայք կա կամ չկա, սակայն երկու նեյրոնի կարիք չի առաջանում, քանի որ կարող ենք ընդունել, որ մեկ նեյրոնի բարձր ելքային արժեքը մեկ դասն է, իսկ ցածր արժեքը՝ մյուսը [4,5]: Թաքնված շերտերի նեյրոնների քանակը ընտրվել է նախորդ շերտի նեյրոնների քանակի 2/3-ի չափով: Մշակված նեյրոնային ցանցի կառուցվածքը բերված է նկ. 4-ում:



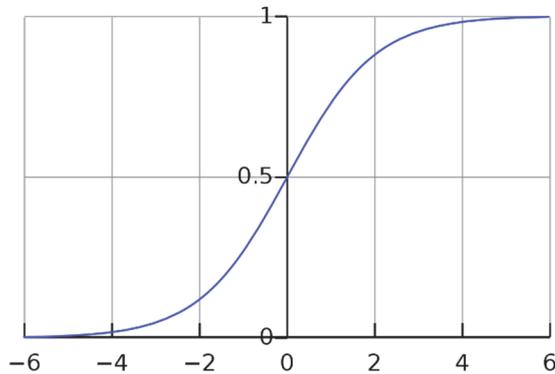
Նկ. 4. Մշակված նեյրոնային ցանցի կառուցվածքը

Քանի որ նեյրոնային ցանցը դասակարգող է, այդ իսկ պատճառով ակտիվացման ֆունկցիան ընտրվել է լոգիստիկ (սիգմոիդալ) ֆունկցիան՝

$$f(x) = \frac{1}{1+e^{-x}}, \quad (2)$$

որի մուտքային արժեքը իրական թիվ է, իսկ ելքային արժեքը գտնվում է 0-ից 1 միջակայքում: Նեյրոնային ցանցի ելքային նեյրոնի 0.5 արժեքից բարձր արժեքի դեպքում դիտարկվել է, որ քայք կա, իսկ դրանից ցածր կամ հավասար դեպքում՝ քայք չկա: Սիգմոիդալ ֆունկցիայի գրաֆիկը բերված է նկ. 5-ում:

Նեյրոնային ցանցի ուսուցումն իրականացվել է NI LabVIEW ծրագրային միջավայրում NI Analytics and Machine Learning գործիքակազմի կիրառմամբ: Ուսուցման գործընթացի իտերացիաների առավելագույն քանակն ընտրվել է 1000, ծախսային ֆունկցիան՝ քառակուսային, իսկ ճշտությունը՝ 0.0001:



Նկ. 5. Սիգմոիդալ ֆունկցիայի գրաֆիկը

**Նեյրոնային ցանցի վավերացում:** Նեյրոնային ցանցի ուսուցումից հետո անհրաժեշտ է իրականացնել դրա վավերացումը: Առկա են տարբեր մեթոդներ, որոնցից ամենապարզը համարվում է հայտնի նոր տվյալների հիման վրա ճշտության հաշվարկը, որը մեր նեյրոնային ցանցի դեպքում կազմել է 92%:

**Եզրակացություն:** Իրականացվել է էլեկտրամկանագիր տվիչներով մարդու ոտքից ստացված ազդակների հավաքագրում, ստացված տվյալների մշակում, հատկանիշների դուրսբերում և դրանց կորեյացիաների հետազոտում: Մշակվել է քառաշերտ նեյրոնային ցանց, իրականացվել են դրա ուսուցումը և վավերացումը: Ստացված ցանցը կիրառվել է էկզոկմախքի կառավարման ծրագրում՝ օգտատիրոջ կողմից էկզոկմախքի քայլքի կառավարման համար:

#### ԳՐԱԿԱՆՈՒԹՅԱՆ ՑԱՆԿ

1. **Baud R., Manzoori A.R., Ijspeert A.** Review of control strategies for lower-limb exoskeletons to assist gait //Journal of NeuroEngineering and Rehabilitation. -2021. - P. 119-153.
2. **Raez M.B., Hussain M.S., Mohd-Yasin F.** Techniques of EMG signal analysis: detection, processing, classification, and applications //Biol Proceed Online.- 2006.- P. 12-35.
3. **Sreyas S., Kochuvila S., Vignesh S. and Pranav R.** Human Machine Interface Using Electromyography Signals // Journal of Physics: Conference Series. - 2022.- V. 2251. - P. 56-66.
4. **Flach P.** Machine Learning.- Cambridge University Press, 2012.- 416p.
5. **Aggarwal C.C** Neural Networks and Deep Learning.- Springer, 2018.- 520 p.

**А.Т. УЛИКЯН, З.Г. ХАНАМИРЯН**

**УПРАВЛЕНИЕ ПОХОДКОЙ ЭКЗОСКЕЛЕТА НИЖНИХ  
КОНЕЧНОСТЕЙ С ПОМОЩЬЮ ИСКУССТВЕННОГО ИНТЕЛЛЕКТА  
С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ СИГНАЛОВ МЫШЦ**

Проведено проектирование человека-робота интерфейса экзоскелетов для людей с ограниченными возможностями, прогнозирующего намерение движения пользователя. Прогнозирование движения осуществлялось искусственным интеллектом по импульсам, записанным с мышц ног пользователя посредством датчиков электромиографа.

*Ключевые слова:* экзоскелет, искусственный интеллект, нейронная сеть, электронная почта, интерфейс человек-робот.

**A.T. ULIKYAN, Z.G. KHANAMIRYAN**

**LOWER LIMB EXOSKELETON GAIT CONTROL BY ARTIFICIAL  
INTELLECT USING MUSCLE SIGNALS**

The development of a human-robot interface for exoskeletons for people with disabilities, predicting the intention of the user's movement is carried out. The movement prediction is performed by artificial intellect by impulses recorded from the user's leg muscles using electromyography (EMG) sensors.

*Keywords:* exoskeleton; artificial intelligence; neural network; e-mail; human-robot interface.

УДК 62-50

**О.Н. ГАСПАРЯН, Л.М. БУНИАТЯН, В.Г. ИСПИРЯН, Г.А. МЕЛКОНЯН**

**АНАЛИЗ РОБАСТНОСТИ ОДНОТИПНЫХ МНОГОМЕРНЫХ СИСТЕМ  
УПРАВЛЕНИЯ**

Предлагается методика анализа робастности однотипных многомерных систем автоматического управления при аддитивных возмущениях числовой матрицы жестких взаимных связей между отдельными каналами системы с одинаковыми передаточными функциями. Методика основана на известном в теории многомерных систем методе характеристических передаточных функций. Приведен числовой пример анализа робастности системы управления квадрокоптером.

*Ключевые слова:* многомерная система управления, однотипная система, анализ робастности, аддитивная неопределенность.

**Введение.** Робастность систем управления по отношению к возмущениям или неопределенностям параметров является одной из центральных проблем современной теории управления [1-3]. В работе предлагается простая