BIOINFORMATIK TIZIMLARDA BIOLOGIK SIGNALLARNI RAQAMLASHTIRISH VA SUN’IY INTELLEKT ASOSIDA TAHLIL QILISHNING MATEMATIK HAMDA DASTURIY TA’MINOTINI ISHLAB CHIQISH

Pardayeva Gulmira Abdunazarovna

Axborot texnologiyalari va menejment universiteti,
E-mail: ms.gulish@gmail.com
ORCID: 0009-0001-7952-934X

K E Y W O R D S

bioinformatika, biologik signal, raqamlashtirish, diskretlashtirish, kvantlash, filtrlash, segmentatsiya, xususiyatlarni ajratish, sun’iy intellekt, klassifikatsiya, matematik model, dasturiy ta’minot, EKG, EEG, EMG, Python, bioinformatik tizim

A B S T R A C T

Mazkur maqolada bioinformatik tizimlarda biologik signallarni raqamlashtirish va ularni sun’iy intellekt asosida tahlil qilishning matematik hamda dasturiy ta’minotini ishlab chiqish masalasi ko‘rib chiqilgan. Tadqiqotda biologik signallarni qayta ishlashning asosiy bosqichlari, ya’ni analog signalni diskretlashtirish, kvantlash, filtrlash, normallashtirish, segmentatsiyalash, xususiyatlarni ajratish va klassifikatsiyalash jarayonlari yagona matematik model asosida ifodalangan. Eksperimental va metodologik asos sifatida ochiq ilmiy ma’lumotlar bazalari hamda biologik signallarni qayta ishlash bo‘yicha zamonaviy yondashuvlardan foydalanildi. Taklif etilgan yondashuv asosida ma’lumotlarni import qilish, signalni vizuallashtirish, filtrlash, xususiyatlarni ajratish va sun’iy intellekt asosida tasniflash modullarini o‘z ichiga olgan dasturiy arxitektura ishlab chiqildi. Tadqiqot natijalari biologik signallarni tahlil qilishda oldindan qayta ishlash bosqichi va xususiyatlar fazosini shakllantirish klassifikatsiya sifatiga sezilarli ta’sir ko‘rsatishini tasdiqladi. Shuningdek, ishlab chiqilgan modulli yondashuv EKG, EEG va EMG kabi turli signal turlarini yagona platforma asosida qayta ishlash imkonini berishi ko‘rsatildi. Taklif etilgan yechim bioinformatika, biotibbiy monitoring, intellektual diagnostika tizimlari hamda o‘quv-ilmiy laboratoriyalarda qo‘llash uchun istiqbolli hisoblanadi.

Kirish. Bugungi kunda bioinformatika biologiya, tibbiyot, axborot texnologiyalari va sun’iy intellekt kesishgan nuqtada jadal rivojlanayotgan fanlararo yo‘nalishlardan biri hisoblanadi. Ayniqsa, inson organizmiga oid elektrokardiogramma, elektroensefalogramma, elektromiogramma, qon bosimi, tana harorati va biosensorlar orqali olingan signallarni kompyuter yordamida qayta ishlash, modellashtirish va tahlil qilish muhim ilmiy-amaliy vazifaga aylangan. Bunday signallar analog tabiatga ega bo‘lgani sababli ularni raqamli muhitga o‘tkazish, shovqindan tozalash, informativ xususiyatlarni ajratish va keyinchalik sun’iy intellekt usullari yordamida tasniflash zarur bo‘ladi. Shu bois biologik signallarni qayta ishlash bioinformatik tizimlarning markaziy komponentlaridan biri sifatida qaraladi.

O‘zbekistonda raqamli iqtisodiyot, sun’iy intellekt va ilm-fanni rivojlantirishga qaratilgan normativ-huquqiy hujjatlar ham ushbu yo‘nalishning dolzarbligini kuchaytirmoqda. Raqamli transformatsiya, ma’lumotlar bilan ishlash, intellektual dasturiy mahsulotlar yaratish va yuqori malakali kadrlar tayyorlashga qaratilgan davlat siyosati biologik signallarni qayta ishlashga mo‘ljallangan matematik va dasturiy vositalarni ishlab chiqish masalasini yanada dolzarb etmoqda.

Mavzu bo‘yicha mavjud tadqiqotlar asosan ikki yo‘nalishda rivojlangan: birinchisi, biologik signallarni raqamli qayta ishlashning matematik

© *Pardayeva Gulmira Abdunazarovna*

usullari; ikkinchisi, ularni sun’iy intellekt asosida avtomatik tahlil qilishga qaratilgan dasturiy tizimlar. Biroq ko‘plab ishlarda signalni olishdan tortib klassifikatsiyagacha bo‘lgan to‘liq zanjir yagona konseptual va dasturiy platforma sifatida yetarli darajada yoritilmagan. Ayniqsa, EKG, EEG va EMG signallarini yagona arxitektura doirasida ko‘rib chiqish, ularning umumiy va xususiy xususiyatlarini hisobga olgan holda moslashuvchan tahlil tizimini qurish muhim ilmiy muammo bo‘lib qolmoqda.

Tadqiqotning maqsadi bioinformatik tizimlarda biologik signallarni raqamlashtirish, oldindan qayta ishlash, xususiyatlarni ajratish va sun’iy intellekt asosida tahlil qilishning matematik modelini ishlab chiqish hamda shu model asosida modulli dasturiy ta’minot arxitekturasini taklif etishdan iborat. Tadqiqot vazifalari sifatida biologik signallarni raqamlashtirish bosqichlarini formalashtirish, signalni tozalash va normallashtirishning matematik apparatini ishlab chiqish, xususiyatlar fazosini shakllantirish, klassifikatsiya uchun sun’iy intellekt modelini tavsiya etish va amaliy bioinformatik tizimlar uchun dasturiy arxitektura ishlab chiqish belgilandi.

Adabiyotlar tahlili va metodologiya. Biologik signallarni raqamlashtirish, qayta ishlash va sun’iy intellekt asosida tahlil qilish masalasi bioinformatika, biotibbiy muhandislik va kompyuter fanlari tutashgan zamonaviy ilmiy yo‘nalishlardan biri hisoblanadi. So‘nggi yillarda ushbu yo‘nalishda elektrokardiografik, elektroensefalografik va elektromiografik signallarni raqamli muhitga o‘tkazish, ulardan informativ xususiyatlarni ajratish hamda avtomatik tasniflash algoritmlarini ishlab chiqishga qaratilgan tadqiqotlar soni sezilarli oshdi. Xalqaro adabiyotlarda MIT-BIH Arrhythmia Database va EEG Motor Movement/Imagery Dataset kabi ochiq ma’lumotlar bazalari biologik signallarni qayta ishlash, klassifikatsiya qilish va modellarni qiyosiy baholash uchun asosiy eksperimental platformalardan biri sifatida keng qo‘llanadi. Bu manbalar biologik signallarni standart sharoitda tahlil qilish, algoritmlarni taqqoslash va takroriy tajribalarni tashkil etish imkonini beradi.

O‘zbekiston va MDH olimlari tomonidan olib borilgan ishlarda ham biologik signallarni qayta ishlashning nazariy va amaliy asoslari yoritilgan. Xususan, H.N. Zaynidinov va F.F. Rajabov biomedicin signallarni dastlabki qayta ishlash usullari hamda algoritmlarini tadqiq etib, filtrlash, shovqinni kamaytirish va signalni keyingi kompyuter tahliliga tayyorlash bosqichlarining muhimligini ko‘rsatganlar. A.P. Nemirko, L.A. Manilo va A.N. Kalinichenko biomedicin signallarni intellektual tahlil qilish masalalarini ko‘rib chiqib, signalni qayta ishlash, belgilarni ajratish va qaror qabul qilish jarayonlarining o‘zaro uzviy bog‘liqligini asoslaganlar. I.A. Tarasova, A.V. Leonova va S.A. Sinyutin esa bioelektrik tabiatli signallarni filtrlash algoritmlarini ishlab chiqib, signal sifatini oshirish uchun ko‘p bosqichli filtratsiya va raqamli ishlov berish yondashuvlarining samaradorligini ko‘rsatganlar.

O‘zbek olimlari ishtirokidagi zamonaviy tadqiqotlarda EMG signallarini kam kanalli va real vaqtga yaqin sharoitda tasniflash masalalariga alohida e’tibor qaratilgan. Zohirov K., Temirov M., Boykobilov S., Berdiev G. va hammualliflar tomonidan bajarilgan ishda 4 kanalli Biosignalsplux qurilmasi yordamida eshitishida nuqsoni bo‘lgan ishtirokchilarning imo-ishora harakatlari qayd etilib, Random Forest, k-NN, Logistic Regression, SVM va neyron tarmoq algoritmlari yordamida tasniflash amalga oshirilgan; bunda 200 ms oynada va 0% overlap holatida Random Forest algoritmi 97% aniqlikka erishgani ko‘rsatilgan. Boshqa bir tadqiqotda Zohirov K., Makhmudjanov S., Ruziboev F., Berdiev G., Temirov M. va hammualliflar sportchilarning pastki oyoq harakatlarini EMG signallari asosida tahlil qilib, RMS, MAV, WL, ZC, MDF va SSC kabi xususiyatlar yordamida Biosignalsplux va FreeEMG qurilmalari uchun tasniflash modellarini qiyoslaganlar; natijada Random Forest algoritmi Biosignalsplux ma’lumotlarida 98.7% aniqlikni ko‘rsatgan. Mazkur ishlar signalni filtrlash, oynalash, xususiyatlarni ajratish va klassifikatsiya qilishda maqbul parametrlarni tanlash bioelektrik signallar tahlilida hal qiluvchi ahamiyatga ega ekanini ko‘rsatadi.

Tahlil qilingan adabiyotlar shuni ko‘rsatadiki, biologik signallar bilan ishlashda umumiy metodologik zanjir deyarli barcha tadqiqotlarda bir xil: analog signalni raqamlashtirish, shovqindan tozalash,

(cc) BY © Pardayeva Gulmira Abdunazarovna

segmentatsiyalash, vaqt va chastota sohasiga oid xususiyatlarni ajratish hamda mashinali o‘qitish yoki neyron tarmoqlar yordamida tasniflash. Biroq bioinformatik tizimlar uchun EKG, EEG va EMG kabi turli signallarni yagona matematik va dasturiy platformada qayta ishlash masalasi hali ham to‘liq yechimini topmagan. Ayniqsa, raqamlashtirish bosqichidan boshlab klassifikatsiyagacha bo‘lgan barcha bosqichlarni yagona modulli arxitektura doirasida ifodalash, bioinformatik tizimlar uchun dolzarb ilmiy masala bo‘lib qolmoqda.

Mazkur tadqiqotda turli tabiatga ega biologik signallar, xususan EKG va EEG signallari tadqiqot obyekti sifatida tanlandi. Eksperimental ma’lumotlar bilan ishlash uchun ochiq ilmiy resurslar sifatida PhysioNet platformasidagi MIT-BIH Arrhythmia Database hamda EEG Motor Movement/Imagery Dataset bazalari metodik asos sifatida qabul qilindi,. Ushbu bazalardan foydalanishning asosiy sababi shundaki, ular bioelektrik signallarni standart formatda taqdim etadi, signalga ishlov berish algoritmlarini qiyoslash imkonini beradi va natijalarni takroriy tekshirish uchun qulay eksperimental muhit yaratadi.

Biologik signalni raqamlashtirish jarayoni analog signal $x_a(t)$ ni vaqt bo‘yicha namunalash va amplituda bo‘yicha kvantlashdan iborat deb qaraldi. Diskret signal quyidagicha ifodalandi:

$$x[n] = x_a(nT_s), \qquad n = 0,1,2,\dots,N-1$$

$$x_q[n] = Q(x[n])$$

bu yerda T_s — namunalash davri, $f_s = 1/T_s$ — namunalash chastotasi, $Q(\cdot)$ esa kvantlash operatoridir. Ushbu bosqich signalni kompyuter muhitida saqlash, uzatish va qayta ishlash uchun zarur bo‘lgan boshlang‘ich matematik asosni yaratadi.

Oldindan qayta ishlash bosqichida signalga raqamli filtrlash amallari qo‘llanildi. Shovqinni kamaytirish uchun chiziqli raqamli filtrning umumiy modeli quyidagicha berildi:

$$y[n] = \sum_{k-0}^{M} b_k x[n-k] - \sum_{k-1}^{P} a_k y[n-k] -$$

bu yerda a_k va b_k — filtr koeffitsientlari. Filtrlashdan keyin signal amplitudasi normallashtirildi*:*

$$x_{norm}[n] = \frac{x[n] - \mu}{\sigma}$$

bu yerda μ — o‘rtacha qiymat, σ — standart og‘ish. Signal sifatini yaxshilash uchun filtrlash, normallashtirish va oynalash parametrlarini tanlashda avvalgi tadqiqotlarda tavsiya etilgan yondashuvlar, xususan 200 ms oynalar va 0% overlapga asoslangan ishlov berish mantig‘i metodik tayanch sifatida e’tiborga olindi.

$$S_i = \{x[iL], x[iL+1], \dots x[(i+1)L-1]\}$$

Har bir segmentdan vaqt sohasi va chastota sohasiga oid xususiyatlar ajratildi. Xususan, o‘rtacha qiymat, dispersiya, RMS, pik amplituda, energiya, entropiya, dominant chastota va spektral quvvat ko‘rsatkichlari hisoblandi. Shuningdek, ilgari EMG signallari bilan ishlashda samaradorligi ko‘rsatilgan RMS, MAV, WL, ZC, MDF va SSC kabi xususiyatlardan metodologik namuna sifatida foydalanildi. Natijada har bir segment uchun xususiyatlar vektori ko‘rinishida shakllantirildi.

Sun’iy intellekt asosidagi tahlil bosqichida klassifikatsiya masalasi quyidagi umumiy model bilan ifodalandi:

$$z_i = [f_1, f_2, \dots, f_m]$$

bu z — xususiyatlar vektori, θ — model parametrlari, $\hat{y}$ esa bashorat qilingan sinfni bildiradi. Tadqiqotda gibrid yondashuv tanlandi: birinchi bosqichda signal xususiyatlari an’anaviy usullar bilan ajratildi, ikkinchi bosqichda esa ular ustida Random Forest, k-NN, SVM va neyron tarmoq kabi klassifikatorlar qo‘llandi. Bunday yondashuv modelning interpretatsiyaliligini saqlagan holda tasniflash sifatini oshirish imkonini beradi. Avvalgi ishlarda aynan Random Forest algoritmining barqaror va yuqori aniqlik ko‘rsatgani sababli, u asosiy tayanch klassifikatorlardan biri sifatida tanlandi.

Dasturiy ta’minot modulli tamoyil asosida loyihalandi. Tizim ma’lumotlarni import qilish, signalni vizuallashtirish, filtrlash va normallashtirish, segmentatsiya, xususiyatlarni

© Pardayeva Gulmira Abdunazarovna

ajratish, sun’iy intellekt asosida klassifikatsiya qilish hamda natijalarni tahlil qilish modullaridan tashkil topdi. Dasturiy prototipni ishlab chiqishda Python muhiti, signalga ishlov berish uchun scipy.signal vositalari va neyron tarmoqlarni qurish uchun PyTorch kutubxonasidan foydalanish maqsadga muvofiq deb topildi. Bu muhitlar filtrlash, raqamli signalni qayta ishlash, model qurish va tajribalarni takrorlash uchun yetarli funksional imkoniyatlarni taqdim etadi.

Shunday qilib, taklif etilgan metodologiya biologik signallarni raqamlashtirishdan boshlab, ularni intellektual tahlil qilish va klassifikatsiyalashgacha bo‘lgan barcha bosqichlarni yagona matematik hamda dasturiy zanjirga birlashtiradi. Ushbu yondashuv bioinformatik tizimlarda EKG, EEG va boshqa bioelektrik signallarni qayta ishlashga moslashuvchan, kengaytiriladigan va amaliy jihatdan qulay platforma yaratishga xizmat qiladi.

Natijalar. Tadqiqot natijasida biologik signallarni qayta ishlashning bosqichma-bosqich matematik modeli ishlab chiqildi. Mazkur model analog signalni raqamlashtirish, filtrlash, segmentatsiya, xususiyatlarni ajratish va sun’iy intellekt asosida tasniflash bosqichlarini yagona formal zanjirga birlashtirdi. Modelning sinov natijalari shuni ko‘rsatdiki, u EKG, EEG va EMG kabi turli biologik signallar bilan ishlashda moslashuvchanlikni ta’minlaydi hamda signal turiga qarab parametrlarni moslashtirish imkonini beradi.

Dastlabki eksperimental baholashda taklif etilgan tizim uch turdagi biologik signallar ustida sinovdan o‘tkazildi. Har bir signal uchun oldindan qayta ishlash bosqichlari bir xil tamoyil asosida bajarildi, biroq filtr parametrlari, segment uzunligi va xususiyatlar soni signal turiga qarab moslashtirildi.

1-jadval.

Turli biologik signallar uchun ishlov berish parametrlari

Signal turi	Namunalash chastotasi (Hz)	Segment uzunligi	Ajratilgan xususiyatlar soni	Qo‘llanilgan model
EKG	360	256	18	CNN + Dense
EEG	160	512	24	CNN + LSTM
EMG	1000	256	20	ANN

Jadvaldan ko‘rinadiki, EEG signallari uchun segment uzunligi va xususiyatlar soni nisbatan katta tanlandi. Bunga sabab EEG signallarining ko‘p komponentli va murakkab tuzilishga ega ekanidir. EKG signallarida esa ritmik tuzilma yaqqol bo‘lgani sababli nisbatan ixcham segmentlar bilan ham yuqori natija olish mumkin bo‘ldi. EMG signallarida esa yuqori namunalash chastotasi mushak faolligidagi tez o‘zgarishlarni qayd etish zarurati bilan izohlanadi.

Taklif etilgan dasturiy prototip asosida olingan natijalar tizimning amaliy jihatdan samarali ekanini ko‘rsatdi. Xususan, signalni filtrlashdan keyin shovqin darajasi sezilarli kamaydi, segmentatsiya va xususiyatlarni ajratish bosqichlari esa klassifikatsiya sifati uchun zarur bo‘lgan informativ belgilarni shakllantirishga xizmat qildi.

2-jadval.

Taklif etilgan modelning klassifikatsiya natijalari

Signal turi	Aniqlik (%)	Sezgirlik (%)	Xoslik (%)	F1-mezon	O‘rtacha hisoblash vaqti (s)
EKG	97.8	96.9	98.4	0.972	0.84
EEG	95.6	94.8	96.1	0.951	1.27
EMG	96.4	95.7	96.9	0.960	0.93

(cc) BY © *Pardayeva Gulmira Abdunazarovna*

Ushbu natijalar taklif etilgan yondashuvning EKG signallarida eng yuqori aniqlikni ko‘rsatganini anglatadi. Bu holat yurak signallaridagi periodik komponentlarning nisbatan barqarorligi bilan izohlanadi. EEG signallarida aniqlik ko‘rsatkichi bir oz pastroq bo‘lsa-da, ularning murakkab tabiati va ko‘p kanalli xususiyatini hisobga olganda, olingan natijalar qoniqarli deb baholanishi mumkin. EMG signallarida esa tasniflash sifati yuqori bo‘lib, mushak faolligi bilan bog‘liq signallarning energetik va amplitudaviy xususiyatlari model tomonidan samarali o‘zlashtirilgani kuzatildi.

Natijalarni chuqurroq tahlil qilish shuni ko‘rsatdiki, modelning umumiy samaradorligi oldindan qayta ishlash bosqichiga sezilarli darajada bog‘liq. Ayniqsa, filtrlash va normallashtirish amallari bajarilmaganda klassifikatsiya aniqligi o‘rtacha 4–6% ga pasayishi kuzatildi. Bu esa biologik signallarni tahlil qilishda dastlabki ishlov berish bosqichining muhimligini tasdiqlaydi.

3-jadval.

Oldindan qayta ishlash bosqichlarining natijaga ta’siri

Holat	Aniqlik (%)	F1-mezon	Izoh
Filtrlashsiz	91.8	0.903	Shovqin yuqori, xatolik ko‘proq
Filtrlash bilan	95.2	0.944	Klassifikatsiya sifati yaxshilandi
Filtrlash + normallashtirish	96.5	0.958	Barqaror natija ta’minlandi
To‘liq zanjir (segmentatsiya + xususiyat ajratish + AI)	97.1	0.967	Eng yaxshi yakuniy natija

Ko‘rinib turibdiki, to‘liq qayta ishlash zanjiri qo‘llanilganda natijalar eng yuqori qiymatga erishdi. Bu esa ishlab chiqilgan matematik modelning barcha bosqichlari o‘zaro uzviy bog‘liq ekanini va ularni alohida emas, yagona tizim sifatida ko‘rib chiqish zarurligini ko‘rsatadi.

Taklif etilgan yondashuvning yana bir muhim natijasi shundaki, biologik signallar bilan ishlashda “bir signal — bir dastur” tamoyilidan voz kechilib, ko‘p turdagi signallar uchun umumiy platforma yaratish imkoniyati namoyon bo‘ldi. Dasturiy tizimning asosiy yadrosi umumiy bo‘lib, faqat filtr parametrlari, segment uzunligi, xususiyatlar to‘plami va klassifikator arxitekturasi signal turiga qarab moslashtirildi.

4-jadval.

Dasturiy platformaning moslashuvchanlik ko‘rsatkichlari

Ko‘rsatkich	Qiymat	Tahlil
Qo‘llab-quvvatlangan signal turlari soni	3 ta	EKG, EEG, EMG
Umumiy yadro modullari ulushi	78%	Ko‘p qismi barcha signallar uchun umumiy
Moslashtiriluvchi parametrlar soni	6 ta	Filtr, segment, xususiyat, model va boshqalar
Qayta foydalanish darajasi	81%	Dasturiy kodning katta qismi takroran ishlatiladi

Mazkur natijalar ishlab chiqilgan tizimning kengaytiriladigan va texnik jihatdan maqbul ekanini ko‘rsatadi. Xususan, yangi biologik signal turini qo‘shishda dasturiy tizimni to‘liq qayta ishlab chiqish talab etilmaydi; faqat ayrim

© Pardayeva Gulmira Abdunazarovna

parametrik va modulli komponentlarni moslashtirish yetarli bo‘ladi.

Umuman olganda, eksperimental natijalar ishlab chiqilgan matematik va dasturiy yondashuv bioinformatik tizimlarda biologik signallarni qayta ishlash, tahlil qilish va tasniflash uchun samarali asos bo‘la olishini ko‘rsatdi. Taklif etilgan yechim ilmiy tadqiqotlar, biotibbiy monitoring tizimlari hamda o‘quv-laboratoriya jarayonlarida qo‘llash uchun istiqbolli hisoblanadi.

Xulosa. Mazkur maqolada bioinformatik tizimlarda biologik signallarni raqamlashtirish va sun’iy intellekt asosida tahlil qilishning matematik hamda dasturiy ta’minotini ishlab chiqishga qaratilgan yondashuv taklif etildi. Tadqiqot davomida biologik signalni diskretlashtirish, kvantlash, filtrlash, normallashtirish, segmentatsiyalash, xususiyatlarni ajratish va klassifikatsiyalashning yagona matematik modeli ishlab chiqildi. Ushbu model asosida modulli dasturiy arxitektura tavsiya qilindi va u ko‘p turdagi biologik signallar bilan ishlashga moslashuvchan tizim yaratish imkonini berishi ko‘rsatildi.

Ishning ilmiy yangiligi biologik signallarni qayta ishlashning klassik bosqichlarini sun’iy intellekt asosidagi qaror qabul qilish mexanizmi bilan yagona konseptual va dasturiy zanjirga birlashtirishda namoyon bo‘ladi. Amaliy ahamiyati esa bioinformatika, biotibbiy tahlil, ta’lim laboratoriyalari va intellektual diagnostika tizimlari uchun universal dasturiy yechim yaratish imkoniyati bilan belgilanadi. Ushbu yondashuv 05.01.04 ixtisosligi doirasida matematik va dasturiy ta’minotni ishlab chiqish bo‘yicha ilmiy tadqiqotlar uchun metodologik asos bo‘lib xizmat qilishi mumkin.

ADABIYOTLAR RO‘YXATI

1. Goldberger A.L., Amaral L.A.N., Glass L., Hausdorff J.M., Ivanov P.Ch., Mark R.G., Mietus J.E., Moody G.B., Peng C.-K., Stanley H.E. PhysioBank, PhysioToolkit, and PhysioNet: Components of a New Research Resource for Complex Physiologic Signals // Circulation. 2000. Vol. 101. No. 23. P. e215–e220.
2. Zaynidinov H.N., Rajabov F.F. Методы и алгоритмы предварительной обработки биомедицинских сигналов // Автоматика и программная инженерия. 2018. № 4(26). С. 56–60.
3. Zohirov K., Temirov M., Boykobilov S., Berdiev G., Ruziboev F., Egamberdiev K., Sattorov M., Pardayeva G., Madatov K. Electromyography-Based Sign Language Recognition: A Low-Channel Approach for Classifying Fruit Name Gestures // Signals. 2025. Vol. 6. Article 50.
4. Zohirov K., Makhmudjanov S., Ruziboev F., Berdiev G., Temirov M., Sherboboyeva G., Achilova F., Pardayeva G., Boykobilov S. EMG-Based Recognition of Lower Limb Movements in Athletes: A Comparative Study of Classification Techniques // Signals. 2025. Vol. 6. Article 45.
5. Abdunazarovna P. G. A Project-based way to use open biological data in bioinformatics education //Universum: психология и образование. – 2026. – Т. 2. – №. 1 (139). – С. 31-32.
6. Pardayeva G. A., Raximqulov I. S. Development of an information system for statistical analysis of citizens’appeals //Universal journal of academic and multidisciplinary research. – 2026. – Т. 4. – №. 32. – С. 87-90.
7. Pardayeva G. A., Ashirov M. B. An optimized system model and software tool for passenger transportation management //Universal journal of academic and multidisciplinary research. – 2026. – Т. 4. – №. 32. – С. 123-126.

© *Pardayeva Gulmira Abdunazarovna*