

**TOSHKENT AXBOROT TEXNOLOGIYALARI UNIVERSITETI**  
**HUZURIDAGI ILMIY DARAJALAR BERUVCHI**  
**DSc.13/30.12.2019.T.07.01 RAQAMLI ILMIY KENGASH**

---

**TOSHKENT AXBOROT TEXNOLOGIYALARI UNIVERSITETI**

**ABDURASHIDOVA KAMOLA TURGUNBAYEVNA**

**ELEKTROENSEFALOGRAFIYADA BIOTIBBIY SIGNALLARGA**  
**RAQAMLI ISHLOV BERISH ALGORITMLARI VA APPARAT-**  
**DASTURIY TA'MINOTINI ISHLAB CHIQISH**

05.01.04 – Hisoblash mashinalari, majmualari va kompyuter  
tarmoqlarining matematik va dasturiy ta'minoti

**TEXNIKA FANLARI BO'YICHA FALSAFA DOKTORI (PhD)**  
**DISSERTATSIYASI AVTOREFERATI**

**Toshkent – 2024**

**Texnika fanlari bo'yicha falsafa doktori (PhD) dissertatsiyasi avtoreferati  
mundariyasi**

**Оглавление автореферата диссертации доктора философии (PhD)  
по техническим наукам**

**Contents of dissertation abstract of doctor of philosophy (PhD)  
on technical sciences**

**Abdurashidova Kamola Turgunbayevna**

Elektroensefalografiyada biotibbiy signallarga raqamli ishlov berish  
algoritmлари va apparat-dasturiy ta'minotini ishlab chiqish ..... 3

**Абдурашидова Камола Тургунбаевна**

Разработка аппаратно-программного обеспечения и алгоритмов  
цифровой обработки биомедицинских сигналов в  
электроэнцефалографии ..... 21

**Abdurashidova Kamola Turgunbayevna**

Development of digital processing algorithms and hardware and software  
for biomedical signals in electroencephalography ..... 41

**E'lon qilingan ishlar ro'uxati**

**Список опубликованных работ**

List of published works..... 44

**TOSHKENT AXBOROT TEXNOLOGIYALARI UNIVERSITETI  
HUZURIDAGI ILMIY DARAJALAR BERUVCHI  
DSc.13/30.12.2019.T.07.01 RAQAMLI ILMIY KENGASH**

---

**TOSHKENT AXBOROT TEXNOLOGIYALARI UNIVERSITETI**

**ABDURASHIDOVA KAMOLA TURGUNBAYEVNA**

**ELEKTROENSEFALOGRAFIYADA BIOTIBBIY SIGNALLARGA  
RAQAMLI ISHLOV BERISH ALGORITMLARI VA APPARAT-  
DASTURIY TA'MINOTINI ISHLAB CHIQISH**

05.01.04 – Hisoblash mashinalari, majmualari va kompyuter  
tarmoqlarining matematik va dasturiy ta'minoti

**TEXNIKA FANLARI BO'YICHA FALSAFA DOKTORI (PhD)  
DISSERTATSIYASI AVTOREFERATI**

**Texnika fanlari bo'yicha falsafa doktori (PhD) dissertatsiyasi mavzusi O'zbekiston Respublikasi Oliy ta'lim, fan va innovatsiyalar vazirligi huzuridagi Oliy attestatsiya komissiyasida B2023.1.PhD/T3459 raqam bilan ro'yxatga olingan.**

Dissertatsiya Toshkent axborot texnologiyalari universitetida bajarilgan.

Dissertatsiya avtoreferati uch tilda (o'zbek, rus, ingliz (rezyume)) Ilmiy kengash veb sahifasida (www.tuit.uz) va "Ziyonet" axborot-ta'lim portalida (www.ziyonet.uz) joylashtirilgan.

**Ilmiy rahbar:**

**Djumanov Jamoljon Xudaykulovich**  
texnika fanlari doktori, professor

**Rasmiy opponentlar:**

**Zaynidinov Xakimjon Nasiridinovich**  
texnika fanlari doktori, professor

**Rahimov Baxtiyar Saidovich**  
texnika fanlari nomzodi

**Yetakchi tashkilot:**

**Islom Karimov nomidagi Toshkent davlat  
texnika universiteti**

Dissertatsiya himoyasi Toshkent axborot texnologiyalari universiteti huzuridagi DSc.13/30.12.2019.T.07.01 raqamli Ilmiy kengashning 2024-yil "9" fevral da soat 16<sup>00</sup> dagi majlisida bo'lib o'tadi. (Manzil: 100084, Toshkent shahri, Amir Temur ko'chasi, 108-uy. Tel.: (99871) 238-64-43; e-mail: tuit@tuit.uz).

Dissertatsiya bilan Toshkent axborot texnologiyalari universitetining Axborot-resurs markazida tanishish mumkin (298 raqam bilan ro'yxatga olingan). Manzil: 100084, Toshkent shahri, Amir Temur ko'chasi, 108-uy. Tel.: (99871) 238-64-70).

Dissertatsiya avtoreferati 2024-yil "24" yanvar kuni tarqatildi.  
(2024-yil "24" yanvar dagi 2 raqamli reestr bayonnomasi).



**M.M.Musayev**

Ilmiy darajalar beruvchi ilmiy  
kengash raisi, texnika fanlari  
doktori, professor

**E.Sh.Nazirova**

Ilmiy darajalar beruvchi ilmiy  
kengash ilmiy kotibi, texnika fanlari  
doktori, professor

**Dj.B.Sultanov**

Ilmiy darajalar beruvchi  
ilmiy kengash huzuridagi ilmiy  
seminar raisi, texnika fanlari  
doktori, dotsent

## **KIRISH (falsafa doktori (PhD) dissertatsiyasi annotatsiyasi)**

**Dissertatsiya mavzusining dolzarbligi va zarurati.** Jahonda raqamli iqtisodiyotni faol rivojlantirish barcha tarmoqlar va sohalarda, eng avvalo sog'liqni saqlash tizimi, ta'lim va xalq xo'jaligini boshqaruvida zamonaviy axborot-kommunikatsiya texnologiyalarini keng joriy etish masalalariga alohida e'tibor qaratilmoqda. Ayniqsa, sog'liqni saqlash tizimini takomillashtirish, kompyuter tizimlarini tibbiyotga joriy qilish, dasturiy mahsulotlar va axborot kommunikatsiya texnologiyalari sohasini yanada rivojlantirish, hududlarda IT-parklarini tashkil etish, shuningdek, biotibbiy signallarga raqamli ishlov berish algoritmlari va apparat-dasturiy ta'minotini ishlab chiqish muhim vazifalardan biri hisoblanadi. Ushbu sohada rivojlangan mamlakatlarda Germaniya, AQSh, Yaponiya, Rossiya, Fransiya, Angliya, Hindiston, Koreya, Xitoy va boshqa mamlakatlarda markaziy asab tizimi biotibbiy signallarini elektroensefalografiya asosida tadqiq qilish, raqamli ishlov berish hamda tashxislash ustida ilmiy izlanishlar olib borilmoqda.

Jahonda tibbiy informatika nazariyasini ishlab chiqish, intellektual tizimlar va texnologiyalarni tibbiyotda qo'llanilishi hamda elektroensefalografiya signallarini aniqlashning yanada samarali usullarini yaratishga qaratilgan keng ko'lamlil ilmiy tadqiqot ishlari olib borilmoqda. Bu borada, biologik obyektlar tomonidan yaratilgan signallar o'z xususiyatlariga ko'ra texnik tizimlarda ko'rib chiqiladigan signallardan sezilarli darajada farq qilishi, biosignallarga raqamli ishlov berishning modellari, algoritmi va qulay interfeysga ega dasturiy ta'minotlar orqali aniqlanib, bosh miya, markaziy asab tizimidagi o'zgarishlar monitoringi va uning umumiy faoliyatini tahlil qilish bo'yicha natijalar sifati hamda ishonchliligini oshirish axborot texnologiyalarining muhim vazifalaridan biri hisoblanadi.

Respublikamizda axborot texnologiyalarini rivojlantirishga qaratilgan e'tibor tufayli zamonaviy kompyuter tizimlarida biotibbiy signallariga ishlov berishning nazariy va amaliy tadqiqot ishlari amalga oshirilmoqda hamda qulay qurilmadasturiy mahsulotlarga asoslangan holda aholining yirik qatlamiga samarali tibbiy xizmatlarni ko'rsatish ta'minlanmoqda. O'zbekiston Respublikasi Prezidentining 2022-yil 28 yanvardagi PF-60-sonli, "2022-2026 yillarga mo'ljallangan Yangi O'zbekistonning taraqqiyot strategiyasi"dagi Farmonida, jumladan, "...ilg'or axborot-kommunikatsiya texnologiyalarini joriy etish va ulardan samarali foydalanish bo'yicha sog'liqni saqlash, ta'lim va xalq xo'jaligining boshqaruv tizimiga axborot-kommunikatsiya texnologiyalarini joriy etish" vazifalari belgilab berilgan. Ushbu vazifalarni amalga oshirishda yurak, bosh miya va markaziy asab tizimini o'z vaqtida tashxislashda matematik modellar, algoritmlar va ularning apparat-dasturiy vositalarini ishlab chiqish muhim ahamiyatga ega.

O'zbekiston Respublikasi Prezidentining 2020-yil 7 oktabrdagi PF-6079-sonli "Raqamli O'zbekiston – 2030 strategiyasini tasdiqlash va uni samarali amalga oshirish chora-tadbirlari to'g'risida"gi Farmoni, 2018-yil 7 dekabrda PF-5590-son "O'zbekiston Respublikasi sog'liqni saqlash tizimini tubdan takomillashtirish chora-tadbirlari to'g'risida"gi qarori bilan tasdiqlangan, 2018-yil 9 fevralda PF-5349-son "Axborot texnologiyalari va kommunikatsiyalari sohasini yanada takomillashtirish chora-tadbirlari to'g'risida"gi farmonlari hamda mazkur faoliyatga

tegishli me'yoriy-huquqiy hujjatlarda belgilangan vazifalarni amalga oshirishda ushbu dissertatsiya tadqiqoti muayyan darajada xizmat qiladi.

**Tadqiqotning respublika fan va texnologiyalari rivojlanishining ustuvor yo'nalishlariga mosligi.** Mazkur tadqiqot Respublika fan va texnologiyalar rivojlanishining IV. "Axborotlashtirish va axborot-kommunikatsiya texnologiyalarini rivojlantirish" ustuvor yo'nalishi doirasida bajarilgan.

**Muammoning o'rganilganlik darajasi.** Jahonda biotibbiy signallarga ishlov berishning samaradorligini oshirish, signallarni o'lchash, ro'yxatdan o'tkazish, kuzatish va qayta ishlash apparat-dasturiy vositalarini yaratish bo'yicha ilmiy tadqiqotlar olib borilmoqda. Bosh miya monitoringi sohasida Medtronic PLC, Integra LifeSciences Corporation, Siemens Healthineers, Edwards Lifesciences Corporation, Drägerwerk AG&Co, KGaA, Masimo Corporation, Spiegelberg GmbH&Co, Nihon Kohden, Masimo va Natus Medical Incorporated korporatsiyalari muhim ulushga ega<sup>1</sup>.

Hozirgi kunda biotibbiy signallarni o'rganish bilan tashxislash va o'z vaqtida davolash chora tadbirlarini ishlab chiqish, jahon ilmiy adabiyotlarida keng yoritilgan, jumladan, V.K.Alvares, S.A.Ayvazyan, P.S.Addison, X.Barger, G.Bodenshteyin, V.I.Djigan, J.Tompkins, S.Malla, Y.Meyer, A.V.Merkusheva, A.Oppenxaym, G.G.Galustov va boshqalarning ilmiy tadqiqotlari biosignallarga ishlov berish algoritmlari va vositalarini takomillashtirishga bag'ishlangan.

Real vaqt sharoitida raqamli signallarga ishlov berish uchun apparat-dasturiy vositalarni yaratishga bag'ishlangan ilmiy ishlar R.Gonsales, K.Fukunaga I.S.Gubarev, S.D.Kurgalin, D.Dajion, K.Blatter, Ya.A.Turovskiy, I.Yu.Kretinin, A.V.Maksimov kabi olimlar tomonidan markaziy asab tizimi faoliyatining holatini aniqlashda biosignallarni o'lchovchi apparatlarni qo'llash samarador ekanligini ko'rsatmoqda.

Respublikamiz olimlari va tadqiqotchilarining asosiy ilmiy ishlari V.K.Kabulov, B.N.Xidirov, M.M.Musayev, A.Abduqayumov, X.N.Zaynidinov, S.Sayidaliyev, J.X.Djumanov, B.B.Mo'minov, O'R.Hamdamiyov va boshqalar biotibbiy signallarga raqamli ishlov berish va aniqlangan ko'rsatgichlar asosida tashxis qo'yish yo'nalishidagi tadqiqotlarga o'z hissalarini qo'shib kelmoqdalar.

Biotibbiy signallarga raqamli ishlov berish texnologiyalari, diskret veyvlet tahlillar, tezkor Furye o'zgartirishlarni qo'llab, raqamli apparat va dasturiy vositalar yaratish kerakligini hisobga olib, biotibbiy signallarga ishlov berish samaradorligini oshiruvchi usullar, algoritmlar va dasturiy vositalarni ishlab chiqish yetarlicha tadqiq etilmagan.

**Dissertatsiya tadqiqotning dissertatsiya bajarilgan oliy ta'lim muassasining ilmiy-tadqiqot ishlari rejalari bilan bog'liqligi.** Dissertatsiya tadqiqoti Muhammad al-Xorazmiy nomidagi Toshkent axborot texnologiyalari universitetining № IL-402104506 "Yurak qon-tomir kasalliklari xavfini erta aniqlash va bashorat qilish intellektual tizimi" (2021-2022 y.) mavzusidagi ilmiy loyiha doirasida bajarilgan.

**Tadqiqotning maqsadi** biotibbiy signallarga erkin komponentalar tahlili usulida raqamli ishlov berish algoritmlari asosida bosh miya holatini baholovchi elektroensefa lografik apparat - dasturiy ta'minotni ishlab chiqishdan iborat.

<sup>1</sup> <https://exactitudeconsultancy.com/ru/отчеты/11131/рынок-мониторинга-мозга>

### **Tadqiqotning vazifalari:**

bosh miya biologik to'qimalarining biotibbiy signal to'qlinlari xossalaridagi o'zgarishlari asosida signallarning biopotensial faolligining hududiy taqsimot modelini ishlab chiqish;

turli fiziologik va patologik sharoitlarda biotibbiy signallarni biopotensial xususiyatlaridagi o'zgarishlarini texnik parametrlarni aniqlash va raqamli ishlov berish algoritmlarini ishlab chiqish;

elektroensefalografiya asosida biotibbiy signallarni morfologik xususiyatlaridagi o'zgarishlarga raqamli ishlov berish va bosh miya funksional holatini monitoring usulini ishlab chiqish;

elektroensefalografik signallarni berilgan cheklovlar sharoitida axborot belgilarini shakllantirish va signal xususiyatlarini tanib olishning apparat-dasturiy ta'minotini ishlab chiqish.

**Tadqiqotning obyeksi** sifatida elektroensefalografik signallar olingan.

**Tadqiqotning predmeti** elektroensefalografik signallarni tahlil qilish va tanib olish modellari, usullari va algoritmlaridir.

**Tadqiqot usullari** sifatida raqamli signallarga ishlov berish, ehtimollar nazariyasi va matematik statistika, matematik modellashtirish, tizimli tahlil, erkin komponentlar tahlili usuli, funksional tahlil va raqamli filtrlash, spektral, veyvlet tahlil usullari, qaror qabul qilish algoritmlari va dasturlash texnologiyalari olindi.

**Tadqiqotning ilmiy yangiligi** quyidagilardan iborat:

bosh miya biologik to'qimalarining biotibbiy signal to'qlinlari xossalaridagi o'zgarishlari asosida signallarning biopotensial faolligining hududiy taqsimot modeli ishlab chiqilgan;

biotibbiy signallarni funksional holatining o'zgarishi bilan uning to'qlinlar xususiyatlaridagi texnik parametrlarini aniqlash va raqamli ishlov berish algoritmlari ishlab chiqilgan;

elektroensefalografiya asosida biotibbiy signallarning morfologik xususiyatlaridagi o'zgarishlariga raqamli ishlov berish va bosh miya funksional holatining monitoring usuli ishlab chiqilgan;

elektroensefalografik signallarni berilgan cheklovlar sharoitida axborot belgilarini shakllantirish va signal xususiyatlarini tanib olishning apparat-dasturiy ta'minoti yaratilgan.

**Tadqiqotning amaliy natijalari** quyidagilardan iborat:

elektroensefalografiya asosida biotibbiy signallarni morfologik xususiyatlaridagi o'zgarishlarga raqamli ishlov berish va bosh miya funksional holatini baholovchi bir kanalli EEG apparati yaratilgan;

elektroensefalogramma signallarini tezkor uzatish uchun simsiz EEG apparati bilan dasturlar o'rtasida aloqa o'rnatish va ma'lumot almashish algoritmi ishlab chiqilgan;

elektroensefalografiyada biotibbiy signallarga raqamli ishlov berish apparat-dasturiy ta'minotning takomillashtirilgan struktura sxemasi ishlab chiqilgan;

biotibbiy signallarni funksional holatining o'zgarishi bilan uning to'qlinlar xususiyatlaridagi texnik parametrlarini aniqlash va raqamli ishlov berish

algoritmami yordamida bosh miya holatini vizual monitoring qiluvchi “Fikr” nomli dasturiy ta’minot yaratilgan.

**Tadqiqot natijalarining ishonchliligi.** Tadqiqot natijalarining ishonchliligi muammoni o’rganish va tahlil qilish natijasida biotibbiy signallarni elektroensefalografiya usulida olingan bosh miya biopotensiallariga raqamli ishlov berish uchun qo’llaniluvchi hisoblash tizimlarining samaradorligiga qo’yiladigan yuqori talablar, apparat vositalarini tajriba sinovdan o’tkazish talablari, signallarni simsiz uzatish qurilmalari hamda dasturlar o’rtasidagi aloqasini ta’minlovchi algoritm va struktura ishlab chiqish talablariga mosligi bilan izohlanadi.

**Tadqiqot natijalarining ilmiy va amaliy ahamiyati.** Tadqiqot natijalarining ilmiy ahamiyati taklif etilgan biotibbiy signallarga ishlov berish, nostatsionar holatlarda ular tarkibidagi axborotni sezilarli kuchaytirish va sanoat shovqinlaridan tozalash usuli, modeli va algoritmami elektroensefalografiya signallarni qayd qilish nazariy asoslarini istiqbolli rivojlantirishiga hissa qo’shishi bilan izohlanadi.

Tadqiqot natijalarining amaliy ahamiyati bosh miya holatini aniqlashda erkin komponentalar tahlili hamda miyaning funksional morfologik holatidagi o’zgarishlar bilan elektr parametrlarini o’zgarishini aniqlash usullaridan foydalanib yaratilgan algoritmami asosida ishlab chiqilgan “Fikr” EEG apparat-dasturiy vositasi sifatida qo’llanilishi mumkinligi bilan asoslanadi.

**Tadqiqot natijalarining joriy qilinishi.** Elektroensefalografiya signallariga raqamli ishlov berish, axborot parametrlarini ajratib olish, bosh miya holatini baholash, signallarni simsiz uzatish qurilmalarining dasturlar o’rtasidagi aloqasini ta’minlovchi algoritmami va strukturasi yaratish hamda ularning apparat-dasturiy ta’minotini ishlab chiqish bo’yicha olingan natijalar asosida:

bosh miya biologik to’qimalarning biotibbiy signal to’lqinlari xossalariidagi o’zgarishlari asosida signallarni o’tkazuvchanligining o’ziga xos qiymatlarini hududiy taqsimot modeli va funksional holatining o’zgarishi bilan uning to’lqinlar xususiyatlaridagi texnik parametrlarini aniqlash va raqamli ishlov berish algoritmami hamda dasturiy ta’minoti Sog’liqni saqlash vazirligi tasarrufidagi “Salomat hayot” nevrologik klinikasida joriy qilingan (O’zbekiston Respublikasi raqamli texnologiyalar vazirligining **2023 yil 31 martdagi 34-8/2109-son ma’lumotnomasi**). Ilmiy tadqiqot natijasi elektroensefalografiya asosida signallarga raqamli ishlov berish, bosh miyaning funksional holatini monitoring qilish va baholash imkonini bergan;

elektroensefalografiya asosida biotibbiy signallarni morfologik xususiyatlaridagi o’zgarishlarga raqamli ishlov berish, kognitivlik holatini tashxislash va monitoring usuli, axborot belgilarini shakllantirish, signal xususiyatlarini tanib olishning tuzilma sxemasi hamda Bluetooth orqali miya-kompyuter interfeysi TGAM platasi yordamida axborot oqimida elektr xususiyatlarini tanib olish apparat-dasturiy ta’minoti Toshkent shahar Uchtepa tumani “NBF MED” tibbiyot klinikasida joriy qilingan (O’zbekiston Respublikasi raqamli texnologiyalar vazirligining 2023 yil 31 martdagi 34-8/2109-son ma’lumotnomasi). Natijada biotibbiy signallarni morfologik kuzatilishi mumkin bo’lgan kasalliklarning bosh miya holatidagi o’zgarishlar orqali tashxislash

aniqligini ta'minlashda xolislik va aniqlikni oshirgan, 10–15% samaradorlikga erishish imkonini bergan.

**Tadqiqot natijalarining aprobatsiyasi.** Ushbu tadqiqot natijalari 12 ta xalqaro va 8 ta respublika ilmiy-amaliy anjumanlarida muhokama qilindi.

**Tadqiqot natijalarining e'lon qilinganligi.** Tadqiqotning asosiy natijalari 30 ta ilmiy ishlarda e'lon qilingan, ulardan 7 ta maqola O'zbekiston Respublikasi Oliy attestatsiya komissiyasi tomonidan doktorlik dissertatsiyalarining asosiy ilmiy natijalarini e'lon qilish uchun tavsiya qilingan jurnallarda, jumladan 2 tasi xorijiy va 5 tasi Respublika jurnallarida nashr qilingan hamda 3 ta EHM uchun yaratilgan dasturiy vositalarni qayd qilish guvohnomalari olingan.

**Dissertatsiyaning tuzilishi va hajmi.** Dissertatsiya kirish, to'rtta bob, xulosa, foydalanilgan adabiyotlar ro'yxati va ilovalardan iborat. Dissertatsiyaning hajmi 120 betni tashkil etgan.

## DISSERTATSIYANING ASOSIY MAZMUNI

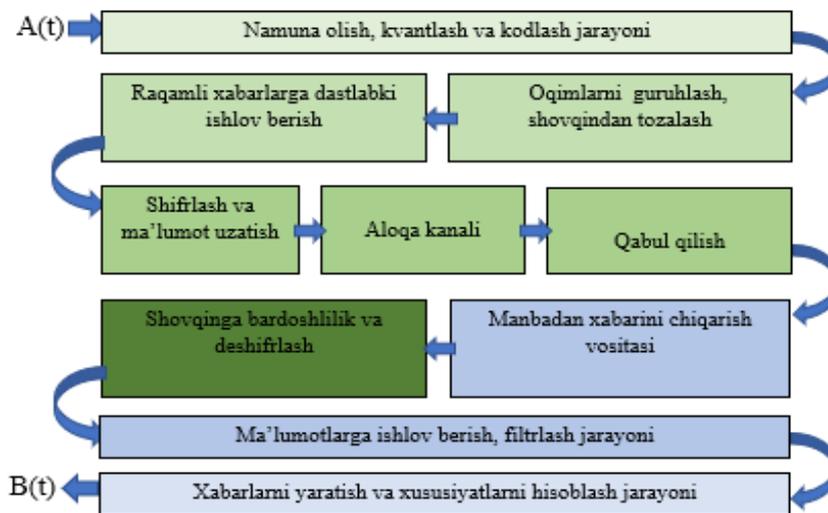
**Kirish** qismida dissertatsiya mavzusining dolzarbligi va zaruriylik darajasi asoslab berilgan, maqsad va vazifalar shakllantirilgan, tadqiqot obyekti va predmeti aniqlangan, tadqiqotning O'zbekiston Respublikasi fan va texnologiyalari taraqqiyotining ustuvor yo'nalishiga mosligi belgilangan, tadqiqotning ilmiy yangiligi va amaliy natijalari ko'rsatib o'tilgan, olingan natijalarning haqqoniyligi asoslab berilgan, olingan natijalarning nazariy va amaliy ahamiyati ochib berilgan, tadqiqot natijalarining amaliyotga tadbiiq etilishi ro'yxati, ishni sinov natijalari, nashr etilgan ishlar va dissertatsiya tuzilmasi to'g'risidagi ma'lumotlar keltirilgan.

Dissertatsiyaning **“Biotibbiy signallarning xususiyatlari, qayd qilish usullari va vositalari tahlili”** deb nomlangan birinchi bobida miya biopotentsiallarini morfologik tuzilmalari, murakkab jarayonlar xususiyatlari va ishlash dinamikasi, raqamli ishlov berishni zamonaviy matematik usullari va axborot texnologiyalarini zarurati hamda ixtisoslashtirilgan tashxislash apparat-dasturiy vositalari xususiyatlarini takomillashtirish bo'yicha xalqaro va milliy adabiyotlar tahliliy ma'lumotlari keltirilgan.

Ixtisoslashtirilgan tashxislash apparat-dasturiy vositalarni takomillashtirish, elektroensefalografiya asosida miyaning neyronlarida ion oqimi natijasida kuchlanishning o'zgarishini o'lchash jarayoni modellari keng qo'llanilmoqda. Ushbu modellarda miya yoki tana bosh qismi terisi yuzasida bir nechta elektrodlar asosida yozib olingan signallarni, ma'lum vaqt oralig'ida miyaning o'zidagi elektr faolligini grafik tasvirlovchi uslub va biopotentsiallarini shakllantirishning asosiy fiziologik qonuniyatlarini tushunish sifatiga, ayniqsa miyaning lokal qismining EEGsini raqamli ishlov berish uchun murakkab matematik ifoda va amallardan, algoritmlar va dasturiy vositalar bog'liqligi tahlillar natijasiga asoslangan.

Bundan tashqari tahlillar asosida elektrodlar miya yoki bosh terisi yuzasida joylashganida qayd etilishi mumkin bo'lgan murakkab tebranishli elektr jarayonini tanib, elektrodni elektr yig'ishi va filtrlash natijasida miya neyronlarida sodir bo'ladigan elementar jarayonlarni ifodalash hisobiga tanish aniqligini sezilarli ko'rsatkichga yaxshilash mumkinligi asoslangan.

Biotibbiy signallarga ishlov beruvchi tizimlarining xilma-xilligiga qaramay, elektroensefalografiya signallarini axborotni o‘lchash, qabul qilish, dastlabki ishlov berish, taqdim etish va uzatish bilan bog‘liq bir qator maxsus amallar bajarilishi bilan tavsiflanadi. Biotibbiyot tizimining axborot yo‘li modeli 1-rasmda ko‘rsatilgan.



**1-rasm. Biotibbiyot tizimining axborot yo‘li modeli**

Dissertatsiyaning “**Elektroensefalografiya signallariga raqamli ishlov berish modellari, usullari va algoritmlari**” deb nomlangan ikkinchi bobida bosh miya qobig‘ining neyron tarmog‘i sezgir ma‘lumotlarni samarali ishlov berish va qaror qabul qilish uchun uning konfiguratsiyasini moslashuvchan qayta qurish xususiyatiga ega bo‘lgan taqsimlangan hisoblash tizimi, real sharoitda, biologik obyektlar qarshiligining bir xil bo‘lmagan taqsimlanishiga ega va oqim xarakati taqsimotiga bog‘liq asosiy bosqichlaridan foydalaniladigan texnik vositalar xolati kabi bir nechta asosiy xususiyatlariga e‘tibor qaratishni talab qiladi.

EEG signalining bog‘liqlik funksiyalarini hisoblash miyaning turli nuqtalarida bioelektrik jarayonlar o‘rtasidagi bog‘liqlik darajasini, jarayonlar o‘rtasidagi bog‘liqlikdagi vaqt almashinuvini baholash va umumiy davriy komponentlarni aniqlash imkonini beradi. Ular turli xil qo‘zg‘alish o‘choqlari va miya bo‘limlari o‘rtasidagi bog‘liqlik qiziqish uyg‘otganda qo‘llaniladi. Signallarining xususiyatlarini o‘rganish uchun statistik va spektral tahlil usullaridan foydalanish miyaning neyron ansambllari faoliyatining turli ssenariylarini morfologik darajada modellashtirildi. Bu masalada elektr faolligini o‘lchashlar asosida miya funksional holatini baholashning instrumental usullari va kompyuter tarmoq xizmatlaridan foydalanish samarali hisoblanadi.

Turli vaqt momentlarida, miya qobig‘i sohalaridagi alfa-faollik energiyasining pasayishini va vizual rag‘batni qayta ishlash bilan bog‘liq bo‘lgan beta-faolligining kuchayishi namoish qilishida ortadi. Shu bilan birga, natijalarni tahlil qilish energiya dinamikasidagi farqlarni aniqlashga imkon beradi. Bu farqlar vizual axborotni qayta ishlashda miyaning turli sohalarining ishtirokiga mos keladigan vaqt nuqtalarini solishtirish orqali aniqlanadi. Eksperimental tadqiqot va ma‘lumotlarni qayta ishlashning asosiy bosqichlari va “10-20” xalqaro tizimiga muvofiq qayd etilgan elektrodlarining joylashishiga asoslangan.

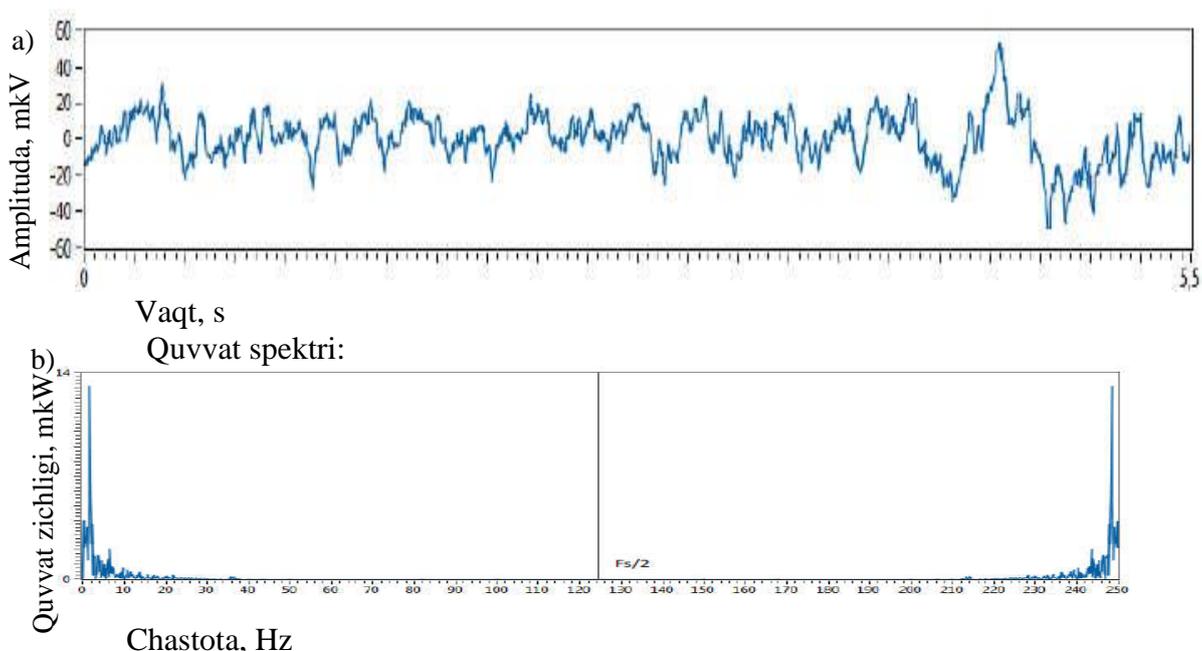
Signallarni raqamli tahlil qilish ilovalarida sensomotor ritmlarini sinxronlash va desinxronlash o‘tish holatini aniqlash funksiyasi EEG signalini taqdim etishga, bunday o‘tish Furye o‘zgartirishlari yordamida garmonik tashkil etuvchilarini ajratish yo‘li orqali amalga oshirilgan.

EEG yozuvining alohida kanali uchun quvvat spektral zichligining grafik namunasi 2-rasmda ko‘rsatilgan. Ko‘rinib turibdiki, quvvat taqsimoti garmonik tashkil qiluvchilari grafigi simmetrik ko‘rinishga ega va Naykvist chastotasiga mos bo‘ladi. Ayni vaqtda  $x(n)$  signalini xarakterli belgilari sifatida chastotalar diapazonida quvvatni spektral zichligi yig‘indisining mohiyati aniqlanadi:

- |                        |                       |
|------------------------|-----------------------|
| 1-4 Hz (delta-ritm);   | 4- 8 Hz (teta-ritm);  |
| 8-12 Hz (alfa-ritm);   | 12-30 Hz (beta-ritm); |
| 30-50 Hz (gamma-ritm). |                       |

Shunday ekan, EEGning har bir kanali asosan beshta ko‘rsatgichlar yordamida taqqoslanadi. Natija V- ko‘rsatgichlar vektori  $L=5 \cdot M$  o‘lchamli bo‘lib, bunda M - EEG ning barcha qayd qilish kannalari sonini bildiradi.

Kirish signali:



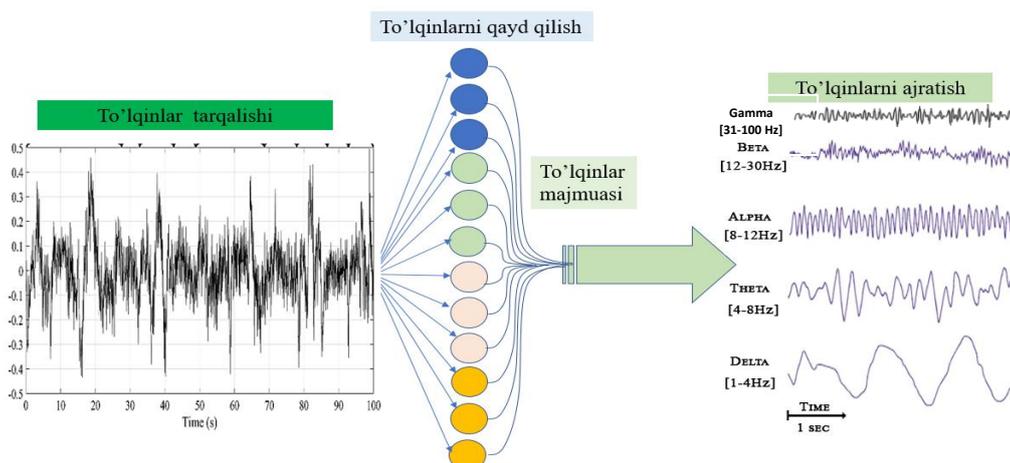
## 2-rasm. EEG signalini spektral tahlili:

a) dastlabki signal; b) quvvatning spektral taqsimot zichligi grafigi.

Shuningdek ushbu bobda biotibbiy signallarni elektrik faolligini belgilangan parametrlari o‘zgaruvchanligining matematik modeli tavsiya qilingan. Buning uchun signal parametrlari (uning amplitudasi, chastotasi, spektri) elementlari bir-biriga bog‘langan maxsus jadvalda matematik qiymatlar sifatida qayd etiladi. Keyin bir qator matematik ifodalar yordamida, qonuniyat va ketma-ket amallar bajarilib, ma‘lum komponentlarga tegishli elementlar ajratiladi. Bular, barcha qiymatlar to‘plamining guruhlariga bo‘linishi, ya‘ni sinflashtirish bo‘lib, ularning har biri yakuniy signalning u yoki bu elementini tavsiflaydi.

Yozilgan signalni ajratgandan so‘ng, keraksiz elementlarni olib tashlash imkoniyatiga ega bo‘lamiz – to‘lqinlar bilan 3- rasmdagi kabi turli shovqinlar yoki EEG holatida miltillash va boshqa shovqinlar aniqlanadi. Bu xalaqitli

ma'lumotlarning yozuvini tozalash yoki aniq ma'lumotlarni ajratib ko'rsatish imkonini beradi.



### 3-rasm. Erkin komponentlar tahlili usuli tamoyillari va strukturasi

Matematik talqinida qayd etilgan  $n$  ta signal  $m$  ta noma'lum asosiy signallarning chiziqli birikmasi ekanligiga asoslanadi. Erkin komponentlardan iborat signallarni, ya'ni  $Z_{n,m}$  o'lchovi ( $n \cdot m$ ) elementli matritsa, shunday  $X_j^*(k)$  esa qatordan iborat vektori bo'lgan holatda, matematik modeli quyidagicha bo'ladi:

$$X_j^*(k) = \sum_{i=1}^n a_{i,j} s_i(k) + \varepsilon_j(k), \quad k = 1, 2, \dots, m, \quad (1)$$

$$X^*(k) = Z S_i(k) + \varepsilon_j(k), \quad (2)$$

bu yerda,  $s_i(k) = [s_1^*(k), s_2^*(k), \dots, s_n^*(k)]^T$  - tayanch erkin signallar,  $\varepsilon_j(k) = [\varepsilon_1(k), \varepsilon_2(k), \dots, \varepsilon_n(k)]^T$  - qo'shimcha shovqinlardir.

$Z_{n,m}$  - kerakli almashtirish matritsasi,  $Z_{n,m}$  matritsasini ham,  $s_n^*(k)$  manba vektorini ham topish usullari har xil bo'lishi mumkin.

EEG algoritmlarining har biri (eng ko'p axborot olish, tezkor erkin komponentlar tahlili va neyron tarmoqlar tahlili) kabi bir nechta majburiy qismlarni o'z ichiga oladi:

1. Markazlashtirish (erkin komponentlarni soddalashtirish uchun o'rtacha vektorni ayirish va o'rtacha qiymati nolga teng o'zgaruvchini yaratish);
2. O'lchamlarni kamaytirish (bog'liqli komponentlar tahlili yordamida);
3. Dekorelyatsiya (o'zgartirishlar yordamida oq rangdagi yangi vektorni olish, ya'ni uning tarkibiy qismlari bir-biri bilan korrelyatsiya qilmaydi va ularning dispersiyalari birga teng. Buning uchun ko'pincha matritsaning spektral yoymasi qo'llaniladi);
4. Signalni filtrlash yoki artefaktlardan tozalash.

Tezkor erkin komponentlar tahlili eng ko'p qo'llaniladigan erkin komponentlarni tahlil qilish usullaridan biri bo'lib, u gausslik bo'lmaganlik darajasini oshirishga asoslangan (normal taqsimotdan farqlanuvchi taqsimot), shu jumladan deflyatsiya algoritmi va simmetrik algoritmini o'z ichiga oladi. Bu ikki algoritm orasidagi farq quyidagicha: deflyatsiya bilan signallar ketma-ket, birin-ketin ajratib olinadi (shuning uchun signalni ajratishning bu usuli bitta elementli algoritm deb ham ataladi), simmetrik ajratib olinishda esa, komponentlar bir

vaqtning o'zida parallel ravishda baholanadi. Tezkor erkin komponentalar tahlilining ishlash tamoyili markaziy chegara teoremasidan (juda ko'p sonli zaif bog'liq komponentlarni qo'shganda ma'lumotlarning normal taqsimotga yaqinlashishini bildiradi) va negentropiyadan (tizimning tartibliliği o'lchovi) foydalanishga asoslangan.

Elektroensefalografiya signallarning interferensiyasi jarayonlarini modellashtirishda biotibbiy to'liqlarining chastotasi hozirda mavjud bo'lgan detektorlar tomonidan aniqlash juda yuqori bo'lgani uchun, maxsus shlem shovqin grafik patternning intensivligini kuzatish olingan. Muayyan nuqtadagi signal intensivligi o'rtacha to'liqin amplitudasining kvadratiga proporsionaldir. Matematik jihatdan bu quyidagicha ifodalanadi. Ikki to'liqinning  $r$  nuqtasida siljishi interferensiyasi:

$$I_1(r, t) = A_1(r)e^{i[f_1(r) - \omega t]} \quad (3)$$

$$I_2(r, t) = A_2(r)e^{i[f_2(r) - \omega t]} \quad (4)$$

Bu yerda  $A$  - siljish miqdori,  $f_i$  - faza va  $\omega$  - burchak chastotasi.

Yig'ilgan to'liqlarning siljishi:

$$I(r, t) = I_1(r, t) + I_2(r, t) = A_1(r)e^{i[f_1(r) - \omega t]} + A_2(r)e^{i[f_2(r) - \omega t]}, \quad (5)$$

$r$  nuqtadagi to'liqinning intensivligi integral bilan aniqlanadi:

$$S(r, t) = \int I(r, t)I^*(r, t)dt \propto A_1^2(r) + A_2^2(r) + 2A_1(r)A_2(r)\cos[f_1(r) - f_2(r)], \quad (6)$$

alohida to'liqlarning intensivligi bo'yicha ifodalanishi mumkin. Shunday qilib, interferensiya sxemasi fazalar farqi  $2\pi$  ga karrali bo'lganda yuzaga keladigan maksimumlari bilan ikki to'liqin orasidagi fazalar farqini ko'rsatadi. Agar ikkita nur bir xil intensivlikka ega bo'lsa, u holda maksimumlar alohida nurlardan to'rt marta yorqinroq, minimal esa nol intensivlikka ega.

EEGni tahlil qilishda eng murakkab hisoblash spektral-analitik usullar qo'llaniladi. Shuning uchun ularni o'zlashtirishda diqqatni jamlash, kuch, miyaning funksional va morfologik holatidagi o'zgarishlar bilan elektr parametrlarining o'zgarishini aniqlash usuli bioobyekt sohasining chekli elementlar modelini qurish ketma-ketligi bir necha bosqichlardan iborat. Birinchidan, modellashtirilayotgan obyekt chegarasining kontur modelini (miyaning funksional, morfologik va topologik) yaratish kerak. Bu turli yo'llar bilan amalga oshirilishi mumkin. Eng soddasi 3D modellashtirish tizimidan foydalangan holda virtual modelni ko'rsatishdir.

Morfologik modellashtirish uchun eng qiyin masala - bu model bilan solishtirganda haqiqiy tadqiqot vaqtida elektrodlarni joylashtirishdagi xatolikni hisobga olish. Elektrodlarni joylashtirishdagi xatolar tasvirning sezilarli topologik va geometrik buzilishlariga olib keladi va yakuniy natijaga elektrodlardagi kuchlanishni o'lchash xatosidan kam ta'sir ko'rsatmaydi.

O'rganishning murakkabligi va rekonstruksiya xatolari o'rtasidagi oqilona kelishuvga peshonadagi burunning tepkasidan obyektning oxiri - bosh orqasiga qadar masofani, shuningdek, quloqlar ya'ni -eshitish kanallari orasidagi masofani o'lchash orqali erishish mumkin.

Dissertatsiyaning "**Biotibbiy signallarga ishlov berish algoritmlari asosida bosh miya holatini baholash apparatini yaratish**" deb nomlangan uchinchi bobi to'rtta bo'limdan iborat.

EEG apparat tizimini loyihalashda quyidagi talablar belgilandi:

- portativlik;
- foydalanish oson va oddiyligi;
- sozlanishi mumkin bo'lgan elektrodni joylashtirish;
- yuqori sifatli signalni qayd etish;
- halallarga va atrofdagi shovqinlarga chidamlilik;
- narxi pastligi.

Ushbu dastlabki talablarning aksariyati tegishli uskunani tanlash orqali qondirilishi mumkin, qolganlari esa prototip proshivkada amalga oshirilishi mumkin. Misol uchun, bitta kanalli kuchaytirgichdan foydalanish orqali portativlik, soddalik va foydalanish qulayligiga erishildi. Signalning yuqori sifati kuchaytirgich, ARO' va elektrodni tanlash bilan ta'minlandi. Shuningdek ma'lumotlarni vizuallashtirish uchun shaxsiy kompyuter uchun dasturiy ta'minot ishlab chiqildi. Yakuniy tizim apparat komponentlari, elektrodlar, bosh uchun bog'lagich va yordamchi dasturdan iborat bo'lib, ular keyingi bo'limda batafsil keltirilgan.

Hozirgi vaqtda EEG elektrodlarining har xil turlari mavjud bo'lib, ularning har biri o'zining afzalliklari va kamchiliklariga ega. Yozuv natijalarini to'g'ri talqin qilish bemorning bosh miyasidagi EEG elektrodlarining to'g'ri joylashuviga bog'liq. Patologik miya faoliyati manbalarini lokalizatsiya qilish muammosini hal qilishda va topografik xaritalash paytida elektrodni joylashtirishning aniqligi ayniqsa muhimdir.

Ko'p kanalli EEGni olish bilan solishtirganda, bir kanalli EEGni olish kamroq shovqin to'liqlarini hosil qiladi va tizimning ishlashi sodda, bu portativ qurilmalar uchun qulaydir.

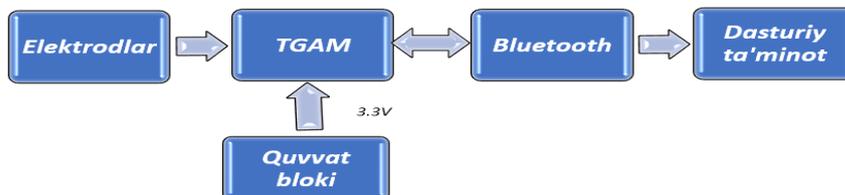
Shu sababli ushbu ilmiy tadqiqot ishida EEG signalini olish uchun noinvaziv bir kanalli portativ EEG apparati ishlab chiqildi va EEG signali xarakterli qiymati quvvat spektrini baholash orqali olingan. Ushbu tadqiqotning maqsadi EEG signalini bitta kanalli EEG yig'ish moduli orqali olishdir. Signal kuchaytirilgandan, filtrlangandan, tahlil qilingandan va tizim tomonidan qayta ishlangandan so'ng, u tashqi uskunalarni boshqarishni amalga oshirish buyrug'iga aylantirilishi mumkin.

Ushbu apparatdan EEG signalini yig'ish birligi sifatida foydalanadi. Ushbu modul birinchi navbatda oddiy yopishqoq elektrodlar yordamida real vaqtda frontal EEG signalini to'playdi. Filtrlash, kuchaytirish va analogdan raqamli o'zgartirishdan so'ng, EEG signali Bluetooth moduli yordamida kompyuterga uzatiladi. Keyin kompyuter statsionar va mavjud signalni olish uchun qabul qilingan EEG signalini tahlil qiladi va qayta ishlaydi, shuningdek keyingi bosqichga yo'naltiradi. Ushbu tizim to'rtta blokni o'z ichiga oladi: EEG qayd etish bloki, EEGni dastlabki ishlov berish bloki, EEG uzatish bloki, tashqi qurilmani boshqarish bloki.

Biz taklif qilayotgan EEG apparati uchun Think Gear AM (TGAM) -moduli bo'lib, u EEG va boshqa biologik signallarni qayd qilish uchun mo'ljallangan. TGAM 5-rasmdagi bloklarning barchasini o'zida birlashtirgan. Zaif biosignallarni kuchaytirish uchun dastlabki kuchaytirgich, signalga dastlabki ishlov berish uchun filtr va ARO' sxemalarini o'z ichiga olgan ixcham qurilmadir.

EEG asosidagi miya to'liqini sensori Bluetooth aloqasi orqali boshlang'ich ma'lumotlarni bosh miyadan oladi va uzatadi, so'ngra TGAM platformasida tahlil qilinadi. Turli xil ong holatida inson miyasida hosil bo'lgan alfa to'liqini va beta

to'liqini boshqaruv signallari sifatida foydalaniladi. Olingan signallarni buyruq sifatida shakllantirish uchun tezkor Furye o'zgartirishlar (TFO') amalga oshirilgandan so'ng ma'lum bir alfa va beta to'liqin chastotasi uchun ishlab chiqarilgan quvvat tomonidan boshqarilishi mumkin. Apparat vosita bosh miya signalini qayd etish uchun elektrodlar noinvaziv vositasi, dastlabki signalni qabul qilish uchun Bluetooth HC05 moduli, ma'lumotlarni qayta ishlash uchun TGAM va uzluksiz energiya ta'minoti uchun 3,3 Voltli regulyatorga bog'lash yordamida ishlab chiqilgan.



#### 4-rasm. Bir kanalli EEG apparat-dasturiy ta'minotining strukturaviy sxemasi

1-kanalli EEG apparati uchun dasturiy ta'minot bilan integratsiya qilish uchun umumiy strukturaviy sxemasi ishlab chiqilgan (4-rasm).

TFO' signalni vaqt ko'rsatkichidan chastota ko'rsatkichiga aylantirganligi sababli, EEG chastotasining taqsimlanishi kuzatilishi mumkin. EEGni tashqi rag'batlantirish, shuningdek, ichki ruhiy holatlarga bog'liq bo'lgan EEG amplitudasi asosida uning chastota diapazoni nuqtai nazaridan tavsiflash mumkin. EEG diapazoni infra past to'liqinlar (0,1 Hz dan kam), delta to'liqinlari (0,1-4 Hz), Tetta to'liqinlari (4-7 Hz), alfa to'liqinlari (8-12 Hz), Betta to'liqinlari (12-30 Hz) va Gamma to'liqinlari (30-100 Hz) sifatida ifodalanishi mumkin (1-jadval).

#### 1-jadval.

#### Ruhiy holat bilan EEG signal diapazoni

Miya to'liqini turi, ritm	Chastota diapazoni, Hz	Amplituda, mkV	Ruhiy holat va vaziyat
Delta - ritm	0.1 - 3	20-200	Chuqur tushsiz uyqu, sekin uyqu, xushsiz holat.
Teta - ritm	4 - 7	10-200	Intuitiv, ijodiy, eslab qolish, fantaziya, tasavvur, orzu holatida.
Alpha - ritm	8 - 12	30-70	Bo'shashgan, ammo uyqusirab emas, tinch, ongli holat.
Low Beta - ritm	12 - 15	5-20	Bo'shashgan holatda, ammo diqqatni jamlagan.
Midrange Beta - ritm	16 - 20	5-20	Fikrlash, o'zini va atrofini bilish.
High Beta - ritm	21 - 30	5-20	Hushyorlik, hayajonlanish.
Gamma - ritm	30 - 100	<15	Motor funksiyalari, yuqori aqliy faollik.

#### 2-jadval.

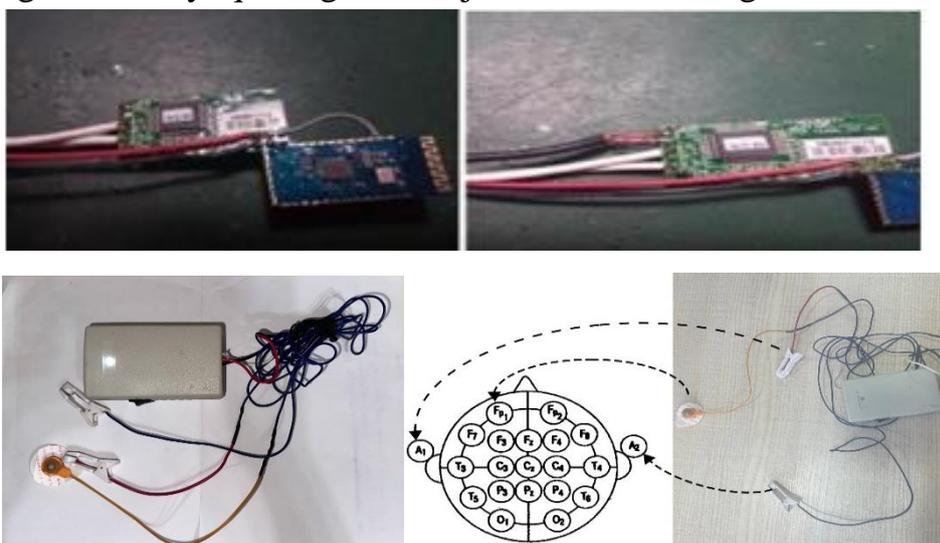
#### Qurilma dasturiy vosita aloqasi paketlaridagi kodlar

Signal kodi uzunligi	Signal uzunligi	Signal sozlamalari	Signal xolati
0x02	N/A	Signal sifati (0-200)	yoqilgan
0x04	N/A	eSense Diqqati (0-100)	yoqilgan
0x05	N/A	eSense Meditativasi (0-100)	yoqilgan
0x80	2	10-bitRaw EEG	o'chirilgan
0x83	24	EEG Quvvati (integer)	yoqilgan

## Buyruq baytlari

BR1	BR0	Vazifasi
GND	GND	9600 Baud with Normal* Output Mode
GND	VCC	1200 Baud with Normal* Output Mode
VCC	GND	57.6k Baud with Normal* + Raw Output Mode
VCC	VCC	N/A

Ushbu bo‘limda TGAM standartidan farqli qismlar ko‘rsatilgan biopotentsiallarni o‘lchash qurilmasini blok-sxemasi va qurilmalarning fizik bog‘lanishlari (5-rasm) keltirilgan, batafsil ma‘lumot foydalanuvchilar uchun qo‘llanmadan hamda qurilma dasturiy vosita aloqasi paketlarida paydo bo‘lishi mumkin bo‘lgan kodlar yuqoridagi 2 va 3-jadvallarda keltirilgan.



**5-rasm. Bir elektrodli EEG apparati va bosh miyaga elektrodning joylashuvi**

EEG signallarini yozib olish va miyaning asosiy ritmlarini aniqlash uchun bitta peshona elektrodi va ikkita quloq elektrodleri yetarli (5-rasm). Bunday qurilmani kompyuterga ulash Bluetooth moduli orqali amalga oshirilishi mumkin. Bunday qurilma ancha past narxga ega bo‘ladi, taxminan 42 sh.b. Ushbu qurilma yosh bolalar, bosh miyyasi jaroxatlangan yoki ochiq shikastlangan bemorlar, bo‘yni va orqa miyyasi shikastlangan bemorlar uchun juda qulay va xavfsiz, shu bilan birga bemorning xolati xaqida uzluksiz monitoring qilish imkonini beradi.

Neyronning matematik modeli yuqorida tavsiflangan neyron operatsiyasining dinamik mexanizmlari asosida uning matematik modelini tuzish mumkin. Hozirgi vaqtda neyron kondensator va rezistor sifatida ifodalangan “Integrate & Fire” kabi turli xil nisbatan sodda modellar, shuningdek, Xodjkin-Xakslı modeli kabi murakkabroq, biologik jihatdan ishonchli modellar yaratilgan. Hisoblash jihatidan ancha murakkab va uning dinamikasini tahlil qilish nuqtai nazaridan u neyronning membrana potensialining dinamikasini ancha aniqroq tavsiflaydi. Quyida Ijikevich modelidan foydalanamiz (7), bu hisoblash murakkabligi va biofizik asoslilik o‘rtasidagi o‘zaro munosabatdir. Hisoblashning soddaligiga qaramay, ushbu model haqiqiy neyronlarda yuzaga keladigan ko‘p sonli hodisalarni takrorlay oladi. Ijikevich modeli differensial tenglamalar tizimi sifatida berilgan:

$$\frac{dV_m}{dt} = k \frac{d}{C_m} \left( \frac{dV_m}{dx} \right) - \frac{dU_m}{C_m} + I \quad (7)$$

$$\begin{cases} C_m \frac{dV_m}{dt} = k(V_m - V_r)(V_m - V_t) - U_m + I_b + I_{syn} \\ \frac{dU_m}{dt} = a(b(V_m - V_r) - U_m) \end{cases} \quad (8)$$

$$\begin{aligned} &\text{Agar } V_m \geq V_r \text{ bo'lsa} \\ &\begin{cases} V_m = C \\ U_m = U_m + f \end{cases} \end{aligned} \quad (9)$$

bu yerda  $a, b, c, f, k, C_m$  turli neyron parametrlari bo'lib  $V_m$  – to'qimaning ichki va tashqi qismi o'rtasidagi potensial farqdir,  $U_m$  esa yordamchi o'zgaruvchidir.  $I$  - tashqi doimiy qo'llaniladigan tok. Ushbu modelda neyronlarga xos bo'lgan xususiyatlar kuzatiladi: bitta tashqi oqim impulsiga javoban spaykalar hosil bo'lishi va neyronga doimiy tashqi oqim qo'llanilganda ma'lum bir chastotaga ega bo'lgan spaykalar ketma-ketligini hosil qilish.  $I_{syn}$  - bu neyronga bog'langan barcha neyronlarning sinaptik oqimlarining yig'indisidir.

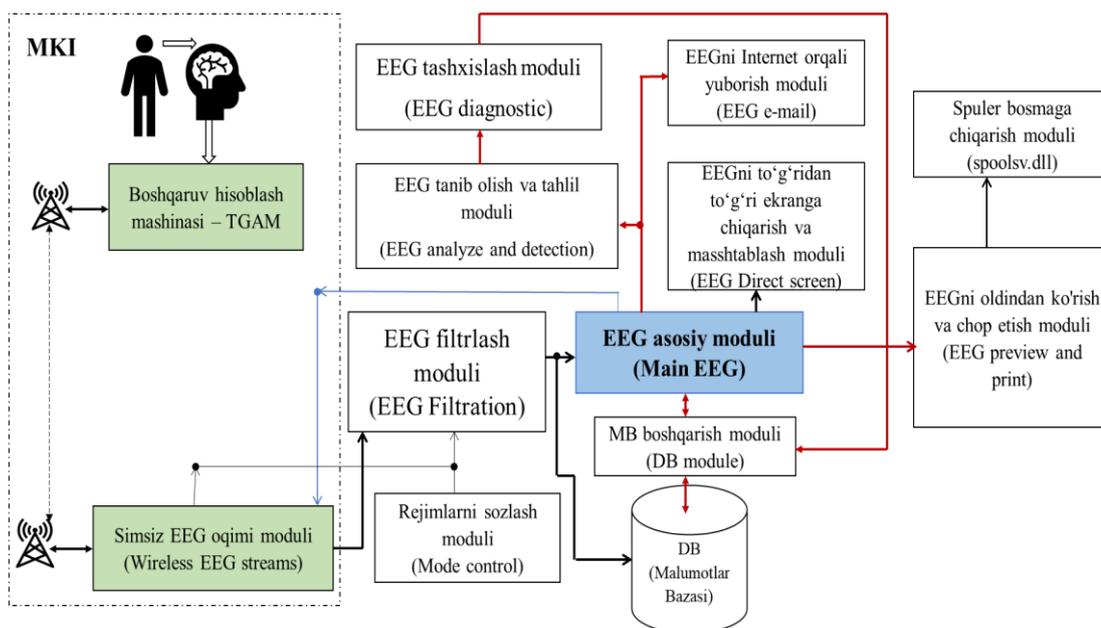
Dissertatsiyaning **“Elektroensefalografiyada biotibbiy signallarga raqamli ishlov berish dasturiy ta'minotini ishlab chiqish”** deb nomlangan to'rtinchi bobida ishlab chiqilgan algoritmlar va apparat-dasturiy vositalar asosida yaratilgan majmuaning funksional modullari, biotibbiy signallarni raqamli ishlov berish uchun kompyuter tizimining amaliy dasturiy ta'minotining umumiy tuzilishi hamda ularni vazifalari keltirilgan. Shuningdek taklif etilgan ushbu tadqiqot ishning maqsadi EEGni kompyutyerda qayd etish, saqlash va tahlil qilish uchun quyi tizimni ishlab chiqishdir. Dastur raqamlashtirilgan EEGni dastlabki qayta ishlashni amalga oshirishi, ensefalogramma parametrlarini aniqlashi va ularga asoslanib, bemorning bosh miya holati haqida taxminlarni amalga oshirishi kerak: u normalmi yoki patologiyalar mavjudmi. EEG vaqt bo'yicha o'zgaruvchan qiymat, ya'ni signal bo'lganligi sababli, EEGni tahlil qilish vazifasi raqamli signalga ishlov berish, EEGni tahlillovchi apparat-dasturiy ta'minotning struktura sxemasi va amaliy masalani yechishdagi natijalari keltirilgan.

6-rasmda EEGni tahlillovchi apparat-dasturiy ta'minotning umumiy struktura sxemasi keltirilgan. Miyadagi neyronlar ish jaroyonida ozod elektr signallarini hosil qilib, ular tashqi mavjud signallarga aralashib millivoltlar darajasidagi bosh yuzasining ma'lum nuqtalaridan olganda kichik kuchlanishlar hosil qiladi. Tashqi mavjud signallar yoki elektrostatik shovqin bilan osongina aralashish xususiyati tufayli, yozilgan EEG signallari filtrlanadi va ko'pincha miyaning ko'plab ayrim oldindan kelishib standartlashtirilgan nuqtalaridan yozib olinadi.

Dastur 4 rejimda ish faoliyatini olib boradi:

1. Dastlabki rejim (boshlang'ich) - ensefalogramma tasvirlash maydoni va nazorat qilish va qayta ishlash funksiyalarining aksariyati mavjud emas. O'tish vaqti va dasturni yuklashda ushbu rejimda bo'ladi;

2. Monitoring rejimi - real vaqtda ensefalogramma tasvirlash maydoni millimetrli qog'oz fonida ensefalogramm to'lqin shaklini ko'rsatadi. Ushbu rejim, asosan, ensefalograf yotoqli monitoring sifatida foydalanilganda yoki olingan ensefalogramma sifatini nazorat qilish uchun qo'llaniladi;



**6-rasm. EEGni tahlillovchi apparat-dasturiy ta'minotning struktura sxemasi**

3. Ko'rish rejimi - ushbu rejimda ensefalogramm ko'rsatish maydonida yozib olingan ensefalogramma tasvirlanadi. Ensefalogrammning turli bo'limlarini ko'rish, keraksiz bo'limlarni o'chirish, buferga nusxa ko'chirish, ensefalogrammalarni tozalash, vaqt va chastota xususiyatlarini o'lchash, ensefalogramma spektrini ko'rish va chop etish mumkin;

4. Yozib olish rejimi - bu rejimda yozib olingan ensefalogramma keyinchalik qayta ishlash uchun ma'lumotlar bazasida bir vaqtning o'zida qayd etilgan holda ensefalogrammani ko'rsatish maydonida ko'rsatiladi. Yozib olish ixtiyoriy davomiylikda davom etishi mumkin va joriy yozib olish vaqti holat va status indikatorida ko'rsatiladi.

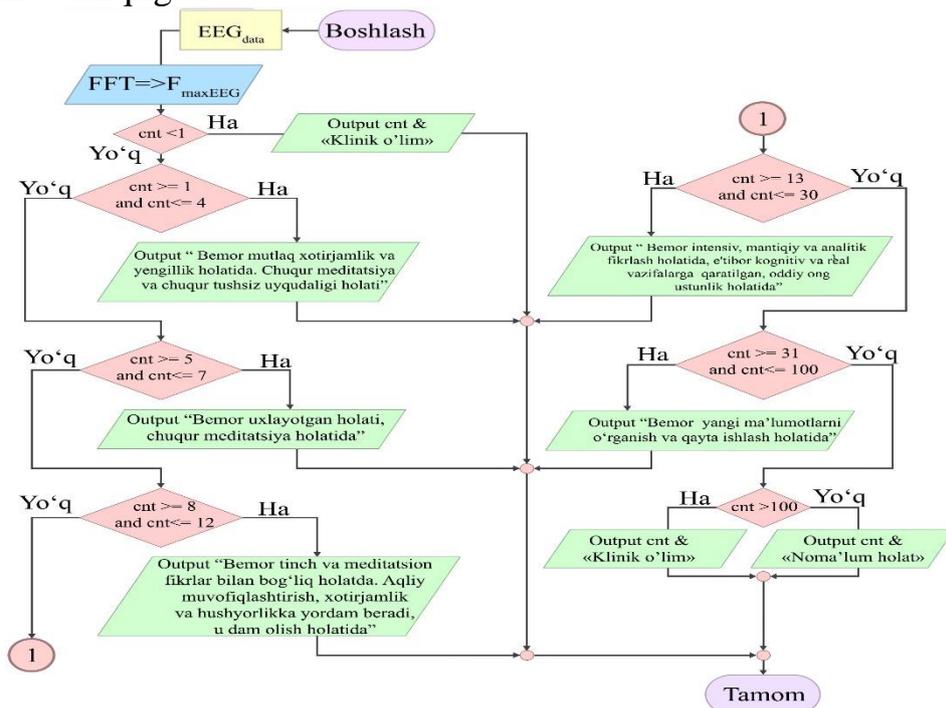
TGAM moduli ikkita quloq elektrodidan va bitta peshona elektrodidan olingan signallarni qayta ishlaydi va yaratilgan dasturiy ta'minoti oynasida asosiy miya ritmlarini (alfa, beta va boshqalar) anomaliyalarni avtomatik aniqlash (8-rasm) va bosh miya funksional holatini monitoring qilish usulining algoritmi (7-rasm) aks ettiradi.

Qurilma va operatsion tizim o'rtasida aloqa o'rnatish jarayoni bluetooth belgisi va uning kontekst menuasi asosida amalga oshirilgan. "Bluetooth yoki boshqa qurilmalar"ni qo'shishni tanlab, tasvirlarda ko'rsatilganday ketma-ket bajarilib, "Sichiray" qurilmasini tanlash, pin kodi sifatida 0000 kiritib, ulanish tugmasini asosida "Tayyor" komandasi paydo bo'lishi bilan, boshlang'ich oynaga qaytiladi va u yerdan "Bluetoothning boshqa ko'rsatkichlari" tanlab olinadi, paydo bo'lgan ekrandagi "COM portlari"dagi chiquvchi kiruvchi "com" porti raqami orqali sozlanadi.

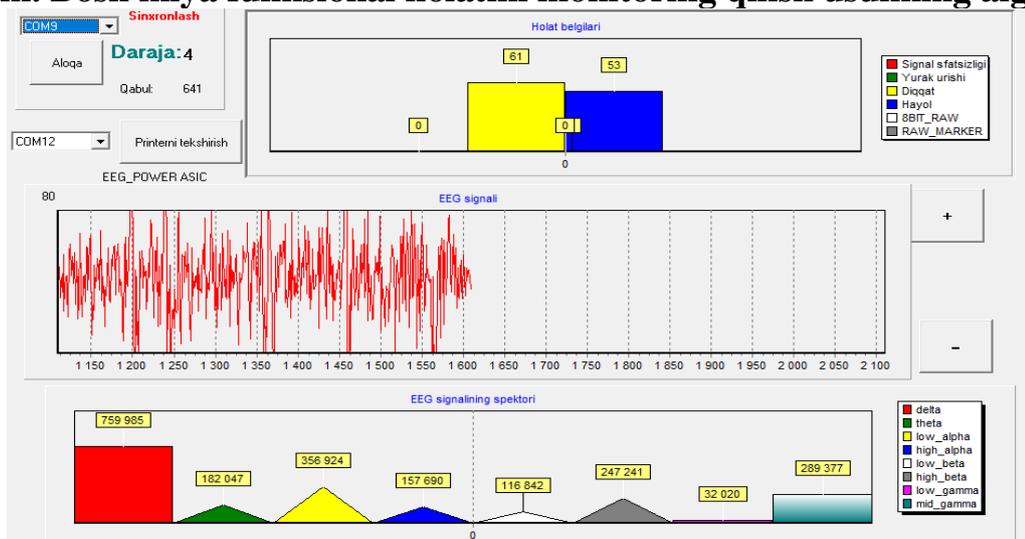
Qurilma dasturiy ta'minot va algoritmlar asosida olingan natijalar fundamental neurologiya uchun qiziqish uyg'otadi va keyinchalik amaliy foydalanish uchun muhim potensialga ega. Asosiy tadqiqotlar kontekstida bosh miyaning orqa qismi va frontal sohalarida joylashgan neyron patternlar o'rtasidagi aloqani o'rnatishda alfa faolligining ko'rsatilgan roli e'tiborga loyiqdir.

Amaliy qo'llash potentsiali hissiy ma'lumotlarni qayta ishlash jarayonida insonning kognitiv faolligini kuzatish uchun natijalardan foydalanish imkoniyati bilan bog'liq bo'lib, yuqori kognitiv yuk bilan bog'liq bo'lgan inson faoliyati

davomida asabiy faollikni kuzatuvchi va boshqaruvchi passiv miya-kompyuter interfeysi ishlab chiqilgan.



**7-rasm. Bosh miya funksional holatini monitoring qilish usulining algoritmi**



**8-rasm. Dasturiy ta'minotning asosiy interfeysi**

Bosh miyaning elektr faolligining fiziologik xususiyatlari, to'liqlar o'zgarish to'plamiga bog'liq bo'lgan modellarni tahlil qilish amalga oshirildi. Kognitiv holat modeli eng adekvatli va turli fiziologik holatlarni modellashtirish uchun qo'llanilishi mumkinligi ko'rsatilgan. EEG signalini tahlil qilishda chiziqli bo'lmagan dinamik usullari qo'llanilgan. Tajriba natijalari shuni ko'rsatadiki, ishlab chiqilgan qurilmadasturiy ta'minot va algoritmlar biotibbiyot signallarini o'rganish doirasidan tashqari, keng ko'lamga tadqiq etilishi va ularda shovqinga o'xshash signallar tadqiqot obyekti bo'lgan har qanday tashxislash tizimlarida ham qo'llanilishi mumkin.

## XULOSA

Dissertatsiya ishi EEG signallarini dastlabki qayta ishlash bilan bog'liq, shuningdek, biotibbiyot signallari uchun avtomatlashtirilgan tashxislash tizimlarida

xususiyatlar bilan bog‘liq bo‘lgan nazariy va amaliy masalalar ko‘rib chiqildi. Asosiy ilmiy va amaliy ahamiyati EEG signalini barqarorlashtirish, artefaktlar va vaqtinchalik jarayonlarni olib tashlash, shuningdek, tibbiy tashxislash monitoring tizimlarining parametrlarini optimallashtirish imkoniyatlari o‘rganilgan.

1. Dissertatsiya ishi EEG signallarini o‘lchash, dastlabki ishlov berish tizimlarida signal xususiyatlar bilan bog‘liq bo‘lgan nazariy va amaliy masalalar o‘rganildi. Natijada ilmiy va amaliy ahamiyati EEG signalini barqarorlashtirish, shovqinlar va vaqtinchalik jarayonlarni olib tashlash, shuningdek, tibbiy monitoring tizimining parametrlarini takomillashtirish imkoniyatlari aniqlandi.

2. EEG jarayonlarining prognozli modellarini tahlil qilish, shovqinlarni barqarorlashtirishda bosh miya biologik to‘qimalarning biotibbiy signal to‘lqinlari xossalardagi o‘zgarishlari bo‘yicha signallarning biopotensial faolligining hududiy taqsimot modeli ishlab chiqilgan. Natijada, EEG signallarini tanib olish algoritmlarini, monitoring yuritish va biosignallarni raqamli ishlov berish tezkorligini oshirish algoritmlari takomillashtirishga imkon berdi.

3. EEG signallarni filtrlash va boshlang‘ich signalning tanlangan tarkibiy qismlarini so‘ndirish, funksional holatining o‘zgarishi bilan uning to‘lqinlar xususiyatlaridagi texnik parametrlarini aniqlash va raqamli ishlov berish algoritmlari ishlab chiqilgan. Natijada biotibbiy signallarni o‘lchash, qayd etish apparat-dasturiy ta‘minotini ishlab chiqish bo‘yicha mavjud usullar o‘rganilgan va tahlil qilish natijasida elektroensefalografiya signalining raqamli bioo‘lchagichi – hisoblash kompleksi va qurilma dasturiy ta‘minoti ishlab chiqildi.

4. Tibbiyotda kompyuter tizimlarini qo‘llab, yani biotibbiy signalarni morfologik xususiyatlaridagi o‘zgarishlarga raqamli ishlov berish va bosh miya funksional holatini monitoring usuli hamda amaliy dasturiy ta‘minotni yaratildi. U "Fikr" deb nomlandi, MS Windows operatsion tizimi boshqaruvida ishlaydi. Natijada bosh miya va markaziy asab tizimidagi o‘zgarishlardan hosil bo‘ladigan biopotensialarni grafik interfeysli elementlarning yaratish qoidalarini qo‘llab, ko‘lamlilik, ixcham joylashuvligi va topologiyasini hisobga olgan holda, virtual qurilma ko‘rinishidagi interfeys yaratilgan, u ma‘lum biror tilga bog‘lanmaslikni va ishlash jarayonining sodda ravshanligi ta‘minlangan.

5. Nostatsionar holatlarda, biosignallar tarkibidagi axborotni sezilarli kuchaytirish, sanoat chastotali shovqinlardan tozalash usul va algoritmlarini yaratish bilan biotibbiy signalarni berilgan cheklovlar ostida axborot-o‘lchovi, axborot oqimida belgilarni shakllantirish natijasida signal xususiyatlarini tanib olishni takomillashtirilgan struktura sxemasi va apparat-dasturiy ta‘minoti yaratilgan. Natijada foydalanuvchi tomonidan ma‘lumotlar bazasiga kiritish jarayonini qulay va tushunarli bo‘liqligi ta‘minlandi hamda real vaqt sharoitida bosh miya biotibbiy signalini tanish aniqligini oshirish imkonini bergan.

6. Ishlab chiqilgan model, algoritmi va apparat-dasturiy ta‘minotining sifat ko‘rsatkichlarini eksperimental o‘rganish amalga oshirildi. Biotibbiy signallarning xususiyatlarining o‘zgarishi, nuqtada, yuzada va sirt hajmlari bilan tasniflangan tizimdagi yetakchi Fp1 nuqta va A1, A2 referent nuqталarda samaradorligini tekshirish imkonini bergan hamda morfologik kuzatilishida bosh miya holatidagi o‘zgarishlarni aniqlash muddatini 8-15% kamaytirishga erishilgan.

**НАУЧНЫЙ СОВЕТ DSc.13/30.12.2019.Т.07.01 ПО ПРИСУЖДЕНИЮ  
УЧЕНЫХ СТЕПЕНЕЙ ПРИ ТАШКЕНТСКОМ УНИВЕРСИТЕТЕ  
ИНФОРМАЦИОННЫХ ТЕХНОЛОГИЙ**

---

**ТАШКЕНТСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ ИНФОРМАЦИОННЫХ  
ТЕХНОЛОГИЙ**

**АБДУРАШИДОВА КАМОЛА ТУРГУНБАЕВНА**

**РАЗРАБОТКА АППАРАТНО-ПРОГРАММНОГО ОБЕСПЕЧЕНИЯ И  
АЛГОРИТМОВ ЦИФРОВОЙ ОБРАБОТКИ БИОМЕДИЦИНСКИХ  
СИГНАЛОВ В ЭЛЕКТРОЭНЦЕФАЛОГРАФИИ**

05.01.04 – Математическое и программное обеспечение вычислительных машин,  
комплексов и компьютерных сетей

**АВТОРЕФЕРАТ ДИССЕРТАЦИИ  
ДОКТОРА ФИЛОСОФИИ (PhD) ПО ТЕХНИЧЕСКИМ НАУКАМ**

**Ташкент – 2024**

Тема диссертации доктора философии (PhD) по техническим наукам зарегистрирована в Высшей аттестационной комиссии при Министерстве Высшего Образования, Науки и Инноваций Республики Узбекистан за В2023.1.PhD/Т3459

Диссертация выполнена в Ташкентском университете информационных технологий.  
Автореферат диссертации на трех языках (узбекский, русский, английский (резюме)) размещен на веб-странице ([www.tuit.uz](http://www.tuit.uz)) и на Информационно-образовательном портале «Ziynet» ([www.ziynet.uz](http://www.ziynet.uz)).

**Научный руководитель:** Джуманов Жамолжон Худайкулович  
доктор технических наук, профессор

**Официальные оппоненты:** Зайнидинов Хакимжон Насиридинович  
доктор технических наук, профессор

Рахимов Бахтияр Саидович  
кандидат технических наук

**Ведущая организация:** Ташкентский государственный  
технический университет  
имени Ислама Каримова

Защита диссертации состоится «9» февраля 2024 г. В 16<sup>00</sup> часов на заседании научного совета DSc.13/30.12.2019.T.07.01 при Ташкентском университете информационных технологий. (Адрес: 100084, г. Ташкент, ул. Амира Темура, 108. Тел.: (99871) 238-64-43; e-mail: [iktuit@tuit.uz](mailto:iktuit@tuit.uz)).

С диссертацией можно ознакомиться в Информационно-ресурсном центре Ташкентского университета информационных технологий (регистрационный номер №298). (Адрес: 100084, г. Ташкент, ул. Амира Темура, 108. Тел.: (99871) 238-64-70).

Автореферат диссертации разослан «24» января 2024 года.  
(протокол рассылки № 2 от «24» января 2024 г.).



**М.М. Мусаев**  
Председатель научного  
совета по присуждению учёных  
степеней, доктор технических  
наук, профессор

**Э.Ш. Назирова**  
Ученый секретарь научного  
совета по присуждению учёных  
степеней, доктор технических  
наук, профессор

**Дж.Б. Султанов**  
Председатель научного семинара при Научном  
совете по присуждению учёных степеней,  
доктор технических наук, доцент

## **ВВЕДЕНИЕ (аннотация диссертации доктора философии (PhD))**

**Актуальность и востребованность темы диссертации.** В мире особое внимание уделяется широкому внедрению современных информационно-коммуникационных технологий во всех отраслях, прежде всего при активном развитии цифровой экономики, в системе здравоохранения, образования и в управлении народным хозяйством. Особенно важно совершенствование системы здравоохранения, внедрение компьютерных систем в медицину, дальнейшее развитие сферы программных продуктов и информационно-коммуникационных технологий, организация IT-парков в регионах, а также одной из важных задач является разработка алгоритмов цифровой обработки и аппаратно-программного обеспечения биомедицинских сигналов. В развитых странах в Германии, США, Японии, России, Франции, Англии, Индии, Кореи, Китая и других странах проводятся научные исследования по изучению цифровой обработки и диагностики биомедицинских сигналов центральной нервной системы на основе электроэнцефалографии.

В мире проводятся масштабные научные исследования, направленные на развитие теории медицинской информатики, применение интеллектуальных систем и технологий в медицине, создание более эффективных методов обнаружения сигналов электроэнцефалографии. В связи с тем, что сигналы, создаваемые биологическими объектами, по своим свойствам существенно отличающихся от сигналов, рассматриваемых в технических системах. Одной из важнейших задач информационных технологий является повышение качества и надежности результатов мониторинга изменений в головном мозге, центральной нервной системе и анализа ее общей деятельности с помощью моделей, алгоритмов и программного обеспечения с удобным интерфейсом цифровой обработки биосигналов.

Благодаря вниманию к развитию информационных технологий в республике проводятся теоретические и практические исследования обработки биомедицинских сигналов в современных компьютерных системах, а также обеспечивается оказание эффективных медицинских услуг крупным слоям населения на основе удобных аппаратно-программных продуктов. В Указе Президента Республики Узбекистан №УП-60 от 28 января 2022 года в «Стратегии развития нового Узбекистана на 2022-2026 годы», определены задачи «...внедрения передовых информационных и коммуникационных технологий и их эффективного использования, внедрения информационных и коммуникационных технологий в систему управления здравоохранением, образованием и народным хозяйством». При реализации этих задач важна разработка математических моделей, алгоритмов и их аппаратно-программных средств для своевременной диагностики заболеваний сердца, головного мозга и центральной нервной системы.

Данное диссертационное исследование в определенной мере служит осуществлению задач, предусмотренных Указами Президента Республики Узбекистан №УП-6079 от 7 октября 2020 года «Об утверждении стратегии

цифровой Узбекистан – 2030 и мерах по ее эффективной реализации» и №УП-5590 от 7 декабря 2018 года «Меры по коренному совершенствованию системы здравоохранения Республики Узбекистана» и №УП-5349 от 9 февраля 2018 года «О мерах по дальнейшему совершенствованию сферы информационных технологий и связи», а также другими нормативно-правовыми документами, касающимися данной сферы.

**Соответствие исследования приоритетным направлениям развития науки и технологий в Республике.** Данное исследование выполнено в соответствии с приоритетным направлением развития науки и технологии Республики IV-«Информация и развитие инфокоммуникационных технологий».

**Степень изученности проблемы.** В мире ведутся научные исследования по повышению эффективности обработки биомедицинских сигналов, созданию программных средств измерения, регистрации, мониторинга и обработки сигналов. Medtronic PLC, Integra LifeSciences Corporation, Siemens Healthineers, Edwards Lifesciences Corporation, Drägerwerk AG&Co, KGaA, Masimo Corporation, Spiegelberg GmbH&Co, Nihon Kohden, Masimo и Natus Medical Incorporated имеют значительную долю в отрасли мониторинга головного мозга<sup>1</sup>.

В настоящее время биомедицинская диагностика, путем изучения сигналов и разработка своевременных лечебных мероприятий широко освещены в мировой научной литературе, в том числе в научных исследованиях В.К.Томпкинса, С.Малла, Ю.Мейера, А.В.Меркушевой, А.Оппенгейма, Г.Г.Галустова и других работах посвященных совершенствованию алгоритмов и инструментов обработки биосигналов.

Научные работы, посвященные созданию аппаратных и программных средств цифровой обработки сигналов в реальном времени таких учёных как Р. Гонсалес, К. Фукунага И. С. Губарев, С. Д. Кургалин, Д. Дажион, К. Блаттер, Я. А. Туровский, И. Ю. Кретинин, А. В. Максимов, показывают эффективность использования сигнально-измерительного прибора при определении активности центральной нервной системы.

Основные научные труды ученых и исследователей нашей республики В.К.Кабулова, Б.Н.Хидирова, М.М.Мусаева, А.Абдугаюмова, Х.Н.Зайнидинова, С.Сайидалиева, Ж.Х.Джуманова, Б.Б.Муминова, У.Р. Хамдамова и др. внесли вклад в исследованиях по цифровой обработке и обнаружения биомедицинских сигналов в направлении диагностики на основе определенных показателей.

Учитывая, необходимость создания цифровых аппаратных и программных средств с использованием технологий цифровой обработки сигналов, дискретного вейвлет-анализа, быстрое преобразование Фурье, разработка методов, алгоритмов и программных средств, повышающих эффективность обработки биомедицинской сигналов, недостаточно исследованы.

**Связь темы диссертационного исследования с научно-исследовательскими работами высшего учебного заведения, в котором**

<sup>1</sup> <https://exactitudeconsultancy.com/ru/отчеты/11131/рынок-мониторинга-мозга>

**выполнена диссертация.** Диссертационное исследование выполнено в соответствии с планом научно-исследовательских работ Ташкентского университета информационных технологий имени Мухаммада ал-Хоразмий в рамках проекта № ИП-402104506 «Интеллектуальная система раннего выявления и прогнозирования риска сердечно-сосудистых заболеваний» (2021-2022 г.).

**Целью исследования** является разработка электроэнцефалографического аппаратно - программного обеспечения для оценки состояния головного мозга на основе алгоритмов цифровой обработки биомедицинских сигналов методом анализа независимых компонентов.

**Задачами исследования** являются:

разработка модели регионального распределения биопотенциальной активности сигналов на основе изменения свойств биомедицинских сигнальных волн биологических тканей головного мозга;

разработка алгоритмов определения технических параметров и цифровой обработки изменений биопотенциальных свойств биомедицинских сигналов при различных физиологических и патологических состояниях;

разработка метода мониторинга функционального состояния головного мозга и цифровая обработка биомедицинских сигналов на основе электроэнцефалографии для изменения морфологических характеристик;

создание аппаратно-программного обеспечения формирования информационных знаков и распознавания характеристик сигналов в условиях заданных ограничений электроэнцефалографических сигналов.

**Объектом исследования** являются электроэнцефалографические сигналы.

**Предметом исследования** являются модели, методы и алгоритмы анализа и распознавания электроэнцефалографических сигналов.

**Методы исследования.** В ходе исследования были использованы цифровая обработка сигналов, теория вероятностей и математическая статистика, математическое моделирование, структурный анализ, метод анализа независимых компонентов, функциональный анализ и цифровая фильтрация, методы спектрального и вейвлет-анализа, алгоритмы принятия решений и технологии программирования.

**Научная новизна исследования** заключается в следующем:

разработана модель регионального распределения биопотенциальной активности сигналов на основе изменения свойств биомедицинских сигнальных волн биологической ткани головного мозга;

разработаны алгоритмы определения технических параметров волновых характеристик и цифровой обработки биомедицинских сигналов с изменением их функционального состояния;

разработан метод мониторинга функционального состояния головного мозга на основе электроэнцефалографии и цифровой обработки изменений морфологических характеристик биомедицинских сигналов;

создано аппаратно-программное обеспечение формирования информационных знаков и распознавания характеристик сигналов в условиях заданных ограничений электроэнцефалографических сигналов.

**Практические результаты исследования** заключаются в следующем:

создана цифровая обработка изменений морфологических характеристик биомедицинских сигналов на основе электроэнцефалографии и одноканальный ЭЭГ-аппарат для оценки функционального состояния головного мозга;

разработан алгоритм установления связи и обмена информацией между беспроводными ЭЭГ-аппаратами и программами быстрой передачи сигналов электроэнцефалограммы;

разработана усовершенствованная структурная схема аппаратно-программных средств цифровой обработки биомедицинских сигналов в электроэнцефалографии;

с изменением функционального состояния биомедицинских сигналов было создано программное обеспечение под названием «Фикр», визуально отслеживающее состояние мозга с помощью алгоритмов цифровой обработки для определения его технических параметров по характеристикам волн.

**Достоверность результатов исследования.** Достоверность результатов исследования объясняется высокими требованиями к эффективности компьютерных систем, используемых для цифровой обработки биопотенциалов головного мозга, полученных методом электроэнцефалографии в результате изучения и анализа биомедицинских сигналов, требованиями к экспериментальной проверке аппаратуры, устройств беспроводной связи, разработка алгоритма и структуры, обеспечивающая связь между устройствами и программами беспроводной передачи сигналов.

**Научно-практическая значимость результатов исследования.**

Научная значимость результатов исследования заключается в том, что предложенные методы, модели и алгоритмы обработки биомедицинских сигналов, существенно усиливающие содержащуюся в них информацию в нестационарных условиях, и очищающие их от промышленных шумов, способствующие перспективной разработке теоретических основ регистрации электроэнцефалографических сигналов.

Практическая значимость результатов исследования основана на том, что ЭЭГ «Фикр», разработанная на основе алгоритмов, созданных с использованием методов определения состояния головного мозга и анализа независимых компонентов и изменений функционально-морфологического состояния мозга может использоваться как аппаратный и программный инструмент.

**Внедрение результатов исследований.** На основе результатов цифровой обработки сигналов электроэнцефалографии, выделения информационных параметров, оценки состояния головного мозга, создания алгоритма и структуры, обеспечивающих связь между программами устройств

беспроводной передачи сигналов, а также разработки их аппаратного и программного обеспечения внедрены:

на основе изменения свойств волн биомедицинского сигнала биологической ткани головного мозга конкретные значения коэффициента пропускания сигнала определяются моделью регионального распределения и его техническими параметрами в свойствах волны с изменением функционального состояния и цифровых алгоритмов обработки и программное обеспечение внедрены в неврологической клинике «Salomat hayot» Министерства здравоохранения (справка № 34-8/2109 от 31 марта 2023 года **Министерства цифровых технологий Республики Узбекистан**). Результат научного исследования позволило осуществить цифровую обработку сигналов на основе электроэнцефалографии, мониторинг и оценку функционального состояния головного мозга;

на основе электроэнцефалографии, цифровой обработки изменений морфологических характеристик биомедицинских сигналов, способа диагностики и мониторинга когнитивного статуса, формирования закономерностей в информационном потоке, усовершенствованной структуры распознавания характеристик сигнала и программного средства устройства для распознавания электрических характеристик в информации потока с использованием интерфейса мозг-компьютер Плата TGAM по Bluetooth внедрена в медицинской клинике «NBF MED» Учтепинского района города Ташкента (справка № 34-8/2109 от 31 марта 2023 года Министерства цифровых технологий Республики Узбекистана). В результате повысилась объективность и обеспечена точность диагностики биомедицинских сигналов по изменениям состояния мозга при заболеваниях, которые можно наблюдать морфологически, и позволило достичь эффективности 10-15%.

**Апробация результатов исследования.** Результаты исследования обсуждались на 12 международных и 8 республиканских научно-практических конференциях.

**Опубликованность результатов исследования.** Основные результаты исследования опубликованы в 30 научных работах, из них 7 статей опубликованы в журналах, рекомендованных ВАК Республики Узбекистан для публикации основных научных результатов докторских диссертаций, в том числе в 2я зарубежных журналах и 5 в республиканских журналов, а также 3 свидетельства созданных для ЭВМ о регистрации программных средств.

**Структура и объем диссертации.** Диссертация состоит из введения, четырех глав, заключения, списка использованной литературы и приложений. Объем диссертации составил 120 страниц.

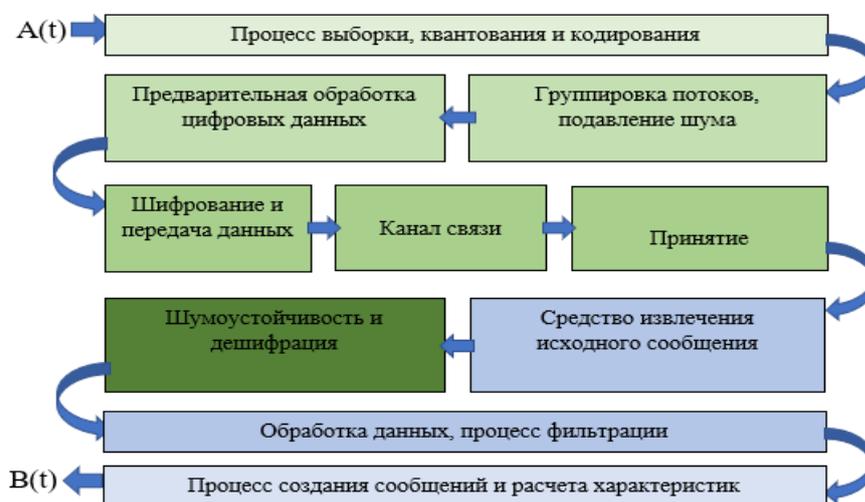
## **ОСНОВНОЕ СОДЕРЖАНИЕ ДИССЕРТАЦИИ**

Во **введении** обосновываются актуальность и востребованность темы диссертации, определены цель и задачи, объект и предмет исследования, приводится соответствие исследования приоритетным направлениям развития науки и технологий Республики Узбекистан, изложена научная новизна и

практические результаты исследования, обоснована достоверность полученных результатов, раскрывается теоретическая и практическая значимость результатов исследования, приведены внедрение результатов исследования на практике, результаты испытаний работы, сведения об опубликованности результатов и структуре диссертации.

В первой главе диссертации «**Анализ характеристик, методов и средств регистрации биомедицинских сигналов**» описаны морфологические структуры биопотенциалов головного мозга, характеристики и динамика сложных процессов, потребность в современных математических методах и информационных технологиях цифровой обработки, а также приведены аналитические данные международной и отечественной литературы по совершенствованию характеристик специализированных диагностических аппаратно-программных средств.

Широко используются совершенствование специализированных диагностических аппаратно-программных средств, модели процесса изменения напряжения в результате потока ионов в нейронах головного мозга на основе электроэнцефалографии. Исходя из результатов сигналов в этих моделях, записанных на основе нескольких электродов на поверхности кожи головы, способа графического изображения электрической активности мозга в определенный период времени и качество понимания происходящего, обоснованы результаты анализа физиологических закономерностей формирования биопотенциалов, особенно цифровой обработки ЭЭГ локальной части головного мозга от сложных математических выражений, действий, алгоритмических и программных средств.



**Рис.1. Модель информационного пути биомедицинской системы**

Кроме того, в основе обоснования лежит анализ распознавания сложного колебательного электрического процесса, который можно зарегистрировать при расположении электродов на поверхности кожи головы или мозга, а точность распознавания можно существенно повысить за счёт представления элементарных процессов, происходящих в нейронах головного мозга в результате электрического сбора и фильтрации электродов.

Несмотря на разнообразие биомедицинских систем обработки сигналов, для электроэнцефалографии характерно выполнение ряда специальных операций, связанных с измерением, приемом, предварительной обработкой, представлением и передачей сигнальной информации. Модель информационного пути биомедицинской системы представлена на рис.1.

Во второй главе диссертации «**Модели, методы и алгоритмы цифровой обработки сигналов электроэнцефалографии**», описаны распределенные вычисления, при которых нейронная сеть коры головного мозга обладает способностью гибко перестраивать свою конфигурацию для эффективной обработки сенсорной информации и система принятия решений, в реальных условиях биологические объекты имеют неравномерное распределение сопротивления и требуют внимания к нескольким основным особенностям, таким как, состояние используемого технического оборудования, а также основные этапы, зависящие от распределения потока.

Расчет функций зависимости ЭЭГ сигнала позволяет оценить уровень связи биоэлектрических процессов в разных точках мозга, изменение во времени связи между процессами, определить общие периодические составляющие. Их используют, когда интересуется связь между различными центрами возбуждения и отделами мозга. С помощью методов статистического и спектрального анализа для изучения свойств сигналов были смоделированы различные сценарии активности ансамблей нейронов головного мозга на морфологическом уровне. В этом вопросе эффективны инструментальные методы оценки функционального состояния головного мозга, основанные на измерениях электрической активности и использовании сервисов компьютерных сетей.

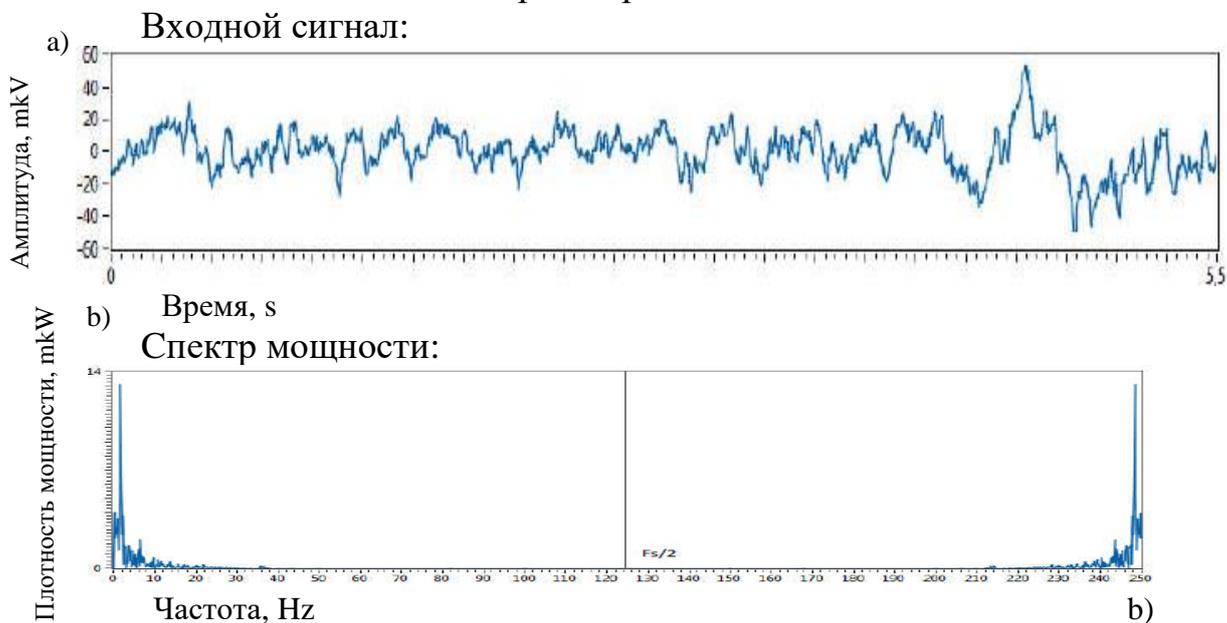
В разные моменты времени энергия альфа-активности в областях коры головного мозга увеличивается, демонстрируя снижение энергии и увеличение бета-активности, связанной с обработкой зрительных стимулов. В то же время анализ результатов позволяет выявить различия в энергетической динамике. Эти различия определяются путем сравнения моментов времени, соответствующих участию разных участков мозга в обработке зрительной информации. В его основе лежат основные этапы экспериментальных исследований и обработки данных, а также расположение записываемых электродов по международной системе «10-20».

В приложениях цифрового анализа сигналов функция определения состояния перехода сенсомоторных ритмов к синхронизации и десинхронизации выполняются путем разделения гармонических составляющих такого перехода с помощью преобразований Фурье для представления сигнала ЭЭГ. Графический пример спектральной плотности мощности для отдельного канала записи ЭЭГ представлен на рис. 2. Видно, что график членов гармоник распределения мощности имеет симметричный вид и соответствует частоте Найквиста. При этом сущность суммы спектральной плотности и мощности в диапазоне частот определяются как характерные особенности сигнала  $x(n)$ :

1-4 Гц (дельта-ритм);  
 8-12 Гц (альфа-ритм);  
 30-50 Гц (гамма-ритм).

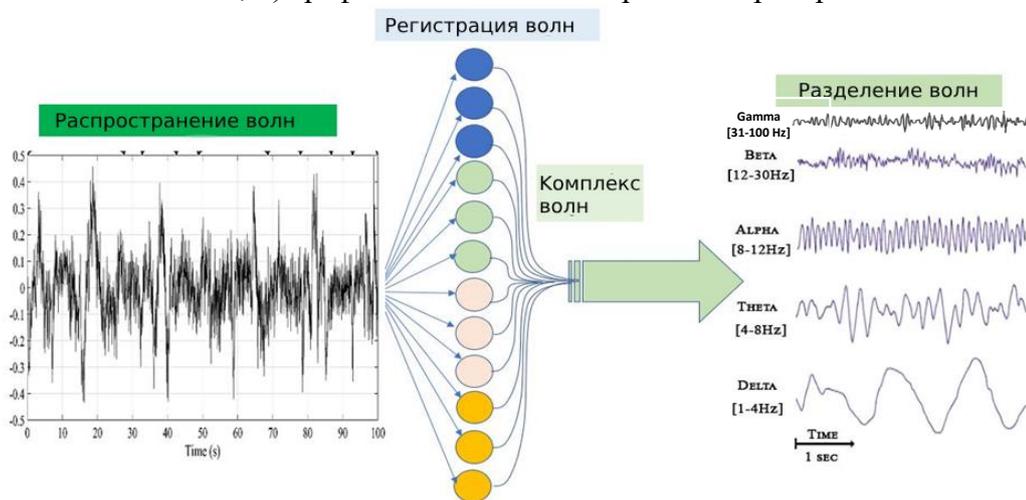
4-8 Гц (тета-ритм);  
 12-30 Гц (бета-ритм);

Таким образом, каждый канал ЭЭГ в основном сравнивается с помощью пяти указателей. Результирующий вектор  $V$ -указателя имеет размер  $L=5 \cdot M$ , где  $M$  — количество всех каналов регистрации ЭЭГ.



**Рис.2. Спектральный анализ сигнала ЭЭГ:**

а) исходный сигнал; б) график плотности спектрального распределения мощности



**Рис.3. Принципы и структура метода анализа независимых компонентов**

А также в этой главе рекомендуется математическая модель изменения заданных параметров электрической активности биомедицинских сигналов. Для этого параметры сигнала (амплитуда, частота, спектр) записываются в виде математических величин в специальную таблицу, где элементы связаны друг с другом. Затем с помощью ряда математических выражений выполняются закономерности и последовательные операции, а также отделяются элементы, принадлежащие к определенным компонентам. Это разделение всех наборов значений на группы, то есть классификация, каждая из которых описывает тот или иной элемент итогового сигнала.

После выделения записанного сигнала мы имеем возможность удалить ненужные для нас элементы — как показано на рисунке-3 обнаруживаются различные шумы или в состоянии ЭЭГ моргания и другие шумы. Это позволяет очистить запись от мешающих данных или выделить конкретные данные.

Математическая интерпретация основана на том, что записанные  $n$  сигналы представляют собой линейную комбинацию  $m$  неизвестных основных сигналов. В случае сигналов, состоящих из независимых компонентов, т.е.  $Z_{n,m}$  — это матрица с  $(n*m)$  элементами, а  $X_j^*(k)$  — вектор, состоящий из строк, математическая модель как следует:

$$X_j^*(k) = \sum_{i=1}^n a_{i,j} s_i(k) + \varepsilon_j(k), \quad k = 1, 2, \dots, m, \quad (1)$$

$$X^*(k) = Z s_i(k) + \varepsilon_j(k), \quad (2)$$

где,  $s_i(k) = [s_1^*(k), s_2^*(k), \dots, s_n^*(k)]^T$  - базовые независимые сигналы,  $\varepsilon_j(k) = [\varepsilon_1(k), \varepsilon_2(k), \dots, \varepsilon_n(k)]^T$  - являются дополнительными шумами.

$Z_{n,m}$  - требуемая матрица перестановок, и методы нахождения как матрицы  $Z_{n,m}$ , так и исходного вектора  $s_n^*(k)$  могут быть разными.

Каждый из алгоритмов ЭЭГ (максимизация информации, быстрый анализ независимых компонентов и нейросетевой анализ) включают в себя несколько обязательных частей, таких как: 1.Центрирование (вычитание среднего вектора для упрощения независимых компонентов и создание переменной со средним значением, равным нулю); 2.Уменьшение размерности (с использованием анализа зависимых компонентов); 3.Корреляция (получение нового белого вектора с помощью преобразований, то есть его компоненты не коррелируют между собой и их дисперсии равны единице. Для этого часто используют спектральное разложение матрицы); 4. Фильтрация сигнала или очистка его от артефактов.

Одним из наиболее широко используемых методов является быстрый анализ независимых компонентов, который основан на увеличении степени негауссовости (распределение, отличающееся от нормального распределения) и включает в себя алгоритм дефляции и симметричный алгоритм. Разница между этими двумя алгоритмами заключается в следующем: при дефляции сигналы извлекаются последовательно, один за другим (поэтому такой метод извлечения сигналов называют еще одноэлементным алгоритмом), а при симметричном извлечении оценка компонентов происходит параллельно в одно время. Принцип работы быстрого анализа независимых компонентов основан на использовании центральной предельной теоремы (утверждает, что при сложении довольно-таки большого количества слабо зависимых компонентов получается распределение данных, близкое к нормальному) и негэнтропии (мера упорядоченности системы).

Поскольку частота биомедицинских волн при моделировании процессов интерференции сигналов электроэнцефалографии слишком высока, чтобы ее можно было обнаружить имеющимися в настоящее время детекторами, для

наблюдения интенсивности шумового графического паттерна выбран специальный шлем. Интенсивность сигнала в определенной точке пропорциональна квадрату средней амплитуды волны. Математически это выражается следующим образом, интерференция смещения двух волн в точке  $r$ :

$$I_1(r, t) = A_1(r)e^{i[f_1(r) - \omega t]} \quad (3)$$

$$I_2(r, t) = A_2(r)e^{i[f_2(r) - \omega t]} \quad (4)$$

Здесь  $A$  — величина смещения,  $f_i$  — фаза, а  $\omega$  — угловая частота.

Смещение накопленных волн:

$$I(r, t) = I_1(r, t) + I_2(r, t) = A_1(r)e^{i[f_1(r) - \omega t]} + A_2(r)e^{i[f_2(r) - \omega t]} \quad (5)$$

Интенсивность волны в точке  $r$  определяется интегралом:

$$S(r, t) = \int I(r, t)I^*(r, t)dt \propto A_1^2(r) + A_2^2(r) + 2A_1(r)A_2(r)\cos[f_1(r) - f_2(r)] \quad (6)$$

может быть выражена интенсивностью отдельных волн. Таким образом, интерференционная схема показывает разность фаз между двумя волнами с максимумами, возникающими, когда разность фаз кратна  $2\pi$ . Если два луча имеют одинаковую интенсивность, то максимумы в четыре раза ярче отдельных лучей, а минимумы имеют нулевую интенсивность.

При анализе ЭЭГ используются наиболее сложные вычислительные спектрально-аналитические методы. Поэтому метод определения изменения электрических параметров при изменении функционального и морфологического состояния головного мозга, ориентированного на их концентрацию, силу, последовательность построения конечно-элементной модели поля биообъекта состоит из нескольких этапов. Необходимо создать контурную модель границы моделируемого объекта (функциональную, морфологическую и топологическую). Это можно сделать разными способами визуализировать виртуальную модель с помощью системы 3D-моделирования.

Наиболее сложной задачей морфологического моделирования является учет ошибки размещения электродов во время реального исследования по сравнению с моделью. Ошибки в размещении электродов приводят к значительным топологическим и геометрическим искажениям изображения и влияют на конечный результат не меньше, чем ошибка измерения напряжения на электродах. Разумного компромисса между сложностью обучения и ошибками реконструкции можно добиться, измеряя расстояние от вершины носа на лбу до конца объекта — затылка, а также расстояние между ушами, т. е. слуховые каналы.

Третья глава диссертации «Создание аппарата для оценки состояния головного мозга на основе алгоритмов обработки биомедицинских сигналов» состоит из четырех разделов. При проектировании аппаратного комплекса ЭЭГ были определены следующие требования:

- портативность;
- удобство использования и простота;
- размещение регулируемых электродов;
- регистрация сигнала высокого качества;

- устойчивость к помехам и окружающему шуму;
- низкая цена.

Большую часть этих первоначальных требований можно удовлетворить путем выбора соответствующего аппаратного обеспечения, а остальные можно реализовать в прототипе встроенного ПО. Например, портативность, простота и удобство использования были достигнуты за счет использования одноканального усилителя. Высокое качество сигнала обеспечивалось выбором усилителя, АЦП и электродов. Также было разработано программное обеспечение для персонального компьютера для визуализации данных. Окончательная система состоит из аппаратных компонентов, электродов, крепления на голову и вспомогательных программ, которые подробно описаны в следующем разделе.

В настоящее время существуют различные типы электродов ЭЭГ, каждый из которых имеет свои преимущества и недостатки. Правильная интерпретация результатов записи зависит от правильного расположения электродов ЭЭГ в мозгу пациента. Точность установки электродов особенно важна при решении задач локализации источников патологической активности головного мозга и при топографическом картировании.

По сравнению с многоканальной регистрацией ЭЭГ, одноканальная регистрация ЭЭГ создает меньше шумовых волн, и система проще в эксплуатации, что удобно для портативных устройств.

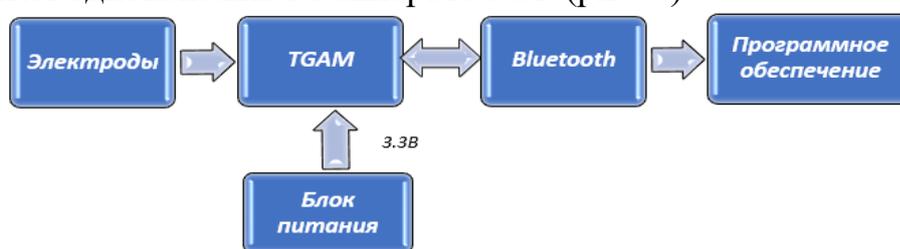
Поэтому в данной научной исследовательской работе был разработан неинвазивный одноканальный портативный ЭЭГ-аппарат для получения сигнала ЭЭГ, а характеристическое значение сигнала ЭЭГ было получено путем оценки спектра мощности. Целью данного исследования является получение сигнала ЭЭГ через одноканальный модуль сбора ЭЭГ. После того как сигнал усилен, отфильтрован, проанализирован и обработан системой, его можно преобразовать в команду управления внешним оборудованием.

Использует это устройство в качестве устройства сбора сигналов ЭЭГ. Этот модуль сначала собирает сигнал фронтальной ЭЭГ в реальном времени с помощью простых сухих электродов. После фильтрации, усиления и аналого-цифрового преобразования сигнал ЭЭГ передается на компьютер с помощью модуля Bluetooth. Затем компьютер анализирует и обрабатывает полученный сигнал ЭЭГ, чтобы получить стационарный и доступный сигнал, и передает его на следующий этап. Данная система включает в себя четыре блока: блок регистрации ЭЭГ, блок предварительной обработки ЭЭГ, блок передачи ЭЭГ, блок управления внешними устройствами.

Предлагаемый нами модуль Think Gear AM (TGAM) для ЭЭГ-оборудования предназначен для регистрации ЭЭГ и других биологических сигналов. TGAM объединяет все блоки, как показано рисунке 5. Это компактное устройство, включающее в себя предусилитель для усиления

слабых биосигналов, фильтр предварительной обработки сигнала и схемы АЦП.

Датчик мозговых волн на основе ЭЭГ получает и передает исходные данные из мозга через связь Bluetooth, которые затем анализируются на платформе TGAM. В качестве управляющих сигналов используются альфа- и бета-волны, генерируемые в мозгу человека в разных состояниях сознания. Формировать полученные сигналы в виде команд может приводится в движение мощностью, вырабатываемой для определенной частоты, альфа- и бета- волн после быстрых преобразований Фурье (БПФ). Аппарат разработан с использованием неинвазивного устройства из электродов для регистрации сигналов мозга, модуля Bluetooth HC05 для исходный приема сигнала, TGAM для обработки данных и подключения к стабилизатору 3,3 В для непрерывного питания. Разработана общая структурная схема интеграции с программным обеспечением одноканального аппарата ЭЭГ (рис. 4).



**Рис.4.** Структурная схема аппаратно-программного обеспечения одноканальной ЭЭГ

БПФ -это математический процесс, используемый при анализе ЭЭГ для изучения состава сигнала ЭЭГ. Поскольку БПФ преобразует сигнал из временного сигнала в частотный сигнал, можно наблюдать частотное распределение ЭЭГ. ЭЭГ можно охарактеризовать с точки зрения ее частотного диапазона, основанного на амплитуде ЭЭГ, которая зависит как от внешних стимулов, так и от внутренних психических состояний. Диапазон ЭЭГ: инфранизкие волны (менее 0,1 Гц), дельта-волны (0,1-4 Гц), тета-волны (4-7 Гц), альфа-волны (8-12 Гц), могут выражаться в виде волн Бетта (12-30 Гц). Гц) и гамма-волны (30-100 Гц) (табл.1).

**Таблица-1.**

**Диапазон сигналов ЭЭГ в зависимости от психического состояния**

Тип мозговой волны, ритм	Частотный диапазон, Гц	Амплитуда, мкВ	Психическое состояние и ситуация
Delta - ритм	0.1 - 3	20-200	Глубокий сон без сновидений, медленный сон, недомогание.
Teta - ритм	4 - 7	10-200	Интуитивный, творческий, запоминающий, фантазия, воображение, мечтательность.
Alpha - ритм	8 - 12	30-70	Расслабленное, но не сонливое, спокойное, сознательное состояние.
Low Beta - ритм	12 - 15	5-20	Расслаблен, но сосредоточен.
Midrange Beta - ритм	16 - 20	5-20	Мышление, познание себя и своего окружения.
High Beta-ритм	21 - 30	5-20	Бдительность, волнение.
Gamma - ритм	30 - 100	<15	Двигательные функции, высокая умственная деятельность.

В данном разделе представлена блок-схема устройства измерения биопотенциала и физические соединения устройств с деталями, отличными от стандарта TGAM, подробную информацию можно найти в руководстве пользователя и прошивке устройства. Коды, которые могут присутствовать в пакетах связи программного устройства, перечислены в таблице 2 и 3 ниже.

**Таблица-2.**

**Коды в пакетах связи программного обеспечения аппарата**

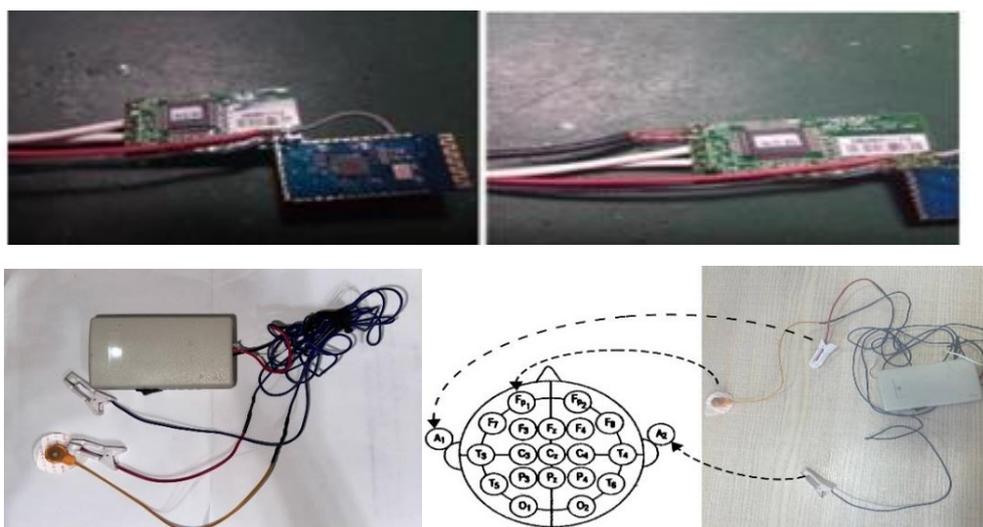
Длина кода сигнала	Длина сигнала	Настройки сигналов	Состояние сигнала
0x02	N/A	Качество сигнала (0-200)	включен
0x04	N/A	eSense Внимание (0-100)	включен
0x05	N/A	eSense Медитация (0-100)	включен
0x80	2	10-bitRaw ЭЭГ	отключен
0x83	24	ЭЭГ мощность (integer)	включен

**Таблица-3.**

**Байты команд**

BR1	BR0	Функция
GND	GND	9600 Baud with Normal* Output Mode
GND	VCC	1200 Baud with Normal* Output Mode
VCC	GND	57.6k Baud with Normal* + Raw Output Mode
VCC	VCC	N/A

Одного лобного и двух ушных электродов достаточно для регистрации сигналов ЭЭГ и выявления основных ритмов головного мозга (рис. 5). Подключить такое устройство к компьютеру можно через модуль Bluetooth.



**Рис.5. Одноэлектродный аппарат ЭЭГ и размещение электродов на головном мозге**

Такое устройство будет иметь гораздо меньшую цену, около 42 у.е. Этот прибор очень удобен и безопасен для детей раннего возраста, пациентов с черепно-мозговыми травмами и открытыми травмами, а также пациентов с

травмами шеи и спинного мозга, обеспечивая при этом постоянный контроль состояния пациента.

На основе описанных выше динамических механизмов работы нейрона можно построить математическую модель нейрона. В настоящее время разработано множество относительно простых моделей, таких как Inegrate & Fire, представляющих нейрон как конденсатор и резистор, а также более сложные, биологически надежные модели, такие как модель Ходжкина-Хаксли. Он вычислительно более сложен, а с точки зрения анализа его динамики точнее описывает динамику мембранного потенциала нейрона.

Ниже мы используем модель Ижикевича (7), которая представляет собой отношение взаимодействия между вычислительной сложностью и биофизической достоверностью. Несмотря на свою вычислительную простоту, эта модель способна повторять большое количество событий, происходящих в реальных нейронах. Модель Ижикевича представлена в виде системы дифференциальных уравнений:

$$\frac{dV_m}{dt} = k \frac{d}{dx} \left( \frac{dV_m}{dx} \right) - \frac{dU_m}{C_m} + I \quad (7)$$

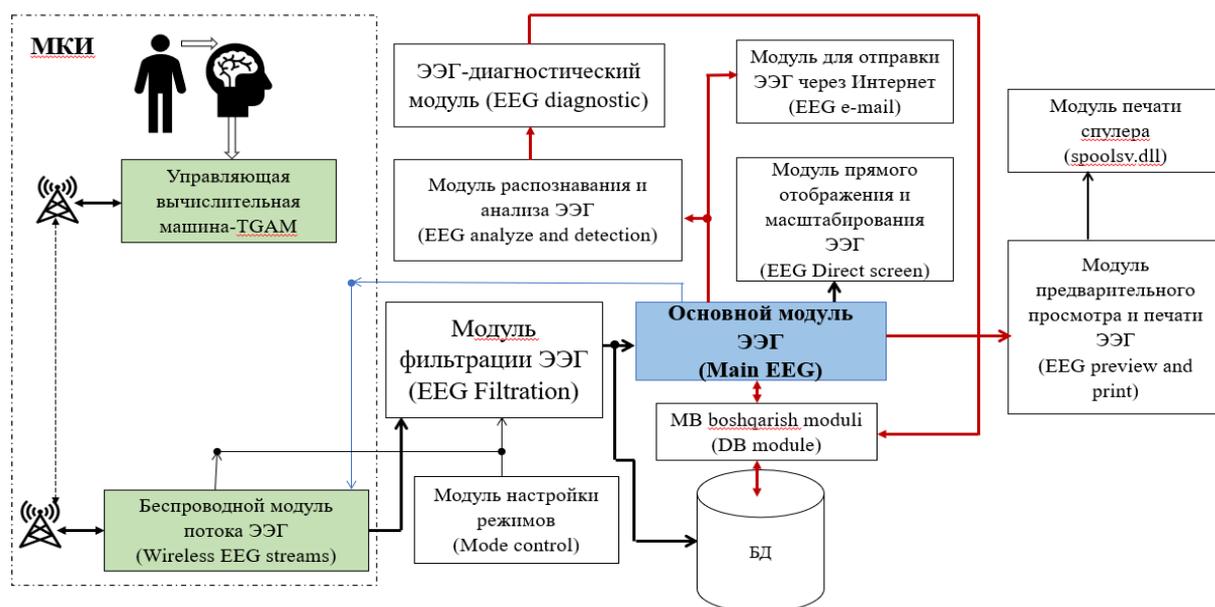
$$\begin{cases} C_m \frac{dV_m}{dt} = k(V_m - V_r)(V_m - V_t) - U_m + I_b + I_{syn} \\ \frac{dU_m}{dt} = a(b(V_m - V_r) - U_m) \end{cases} \quad (8)$$

$$\begin{cases} \text{если } V_m \geq V_r \text{ то} \\ \begin{cases} V_m = C \\ U_m = U_m + f \end{cases} \end{cases} \quad (9)$$

где  $a, b, c, f, k, C_m$ - разные параметры нейрона,  $V_m$ -разность потенциалов между внутренней и внешней частью ткани, а  $U_m$ -вспомогательная переменная.  $I$  - внешний постоянный приложенный ток. В данной модели наблюдаются такие характерные для нейронов свойства как: генерация спайка в ответ на одиночный импульс внешнего тока и генерация последовательности спайков с определённой частотой при подаче на нейрон постоянного внешнего тока.  $I_{syn}$  — сумма синаптических токов от всех нейронов, с которыми связан этот нейрон.

В четвертой главе диссертации под названием «**Разработка программного обеспечения цифровой обработки биомедицинских сигналов в электроэнцефалографии**» разработаны алгоритмы и функциональные модули комплекса, созданного на основе аппаратно-программных средств, дана общая структура прикладного программного обеспечения компьютерной системы цифровой обработки биомедицинских сигналов и их задачи. Также предлагается, что целью данной научно-исследовательской работы является разработка подсистемы регистрации, хранения и анализа ЭЭГ на компьютере. Программа должна выполнить первичную обработку оцифрованной ЭЭГ, определить параметры энцефалограммы и на их основе сделать предположения о состоянии здоровья пациента: в норме он или есть патологии. Поскольку ЭЭГ является изменяющейся во времени величиной, то есть сигналом, задача анализа ЭЭГ

сводится к цифровой обработке сигнала. Приведены результаты исследований и решения практических задач.



**Рис.6. Структурная схема аппаратно-программного обеспечения для анализа ЭЭГ**

На рис. 6 представлена общая структурная схема аппаратно-программного обеспечения анализа ЭЭГ. Нейроны головного мозга в процессе своей работы генерируют свободные электрические сигналы, интерферируют с внешними сигналами и генерируют небольшие напряжения на уровне милливольт из определенных точек поверхности головы. Из-за того, что записанные сигналы ЭЭГ легко смешиваются с внешними сигналами или электростатическим шумом, они фильтруются и часто записываются из многих заранее определенных стандартизированных точек мозга.

Программа работает в 4 режимах:

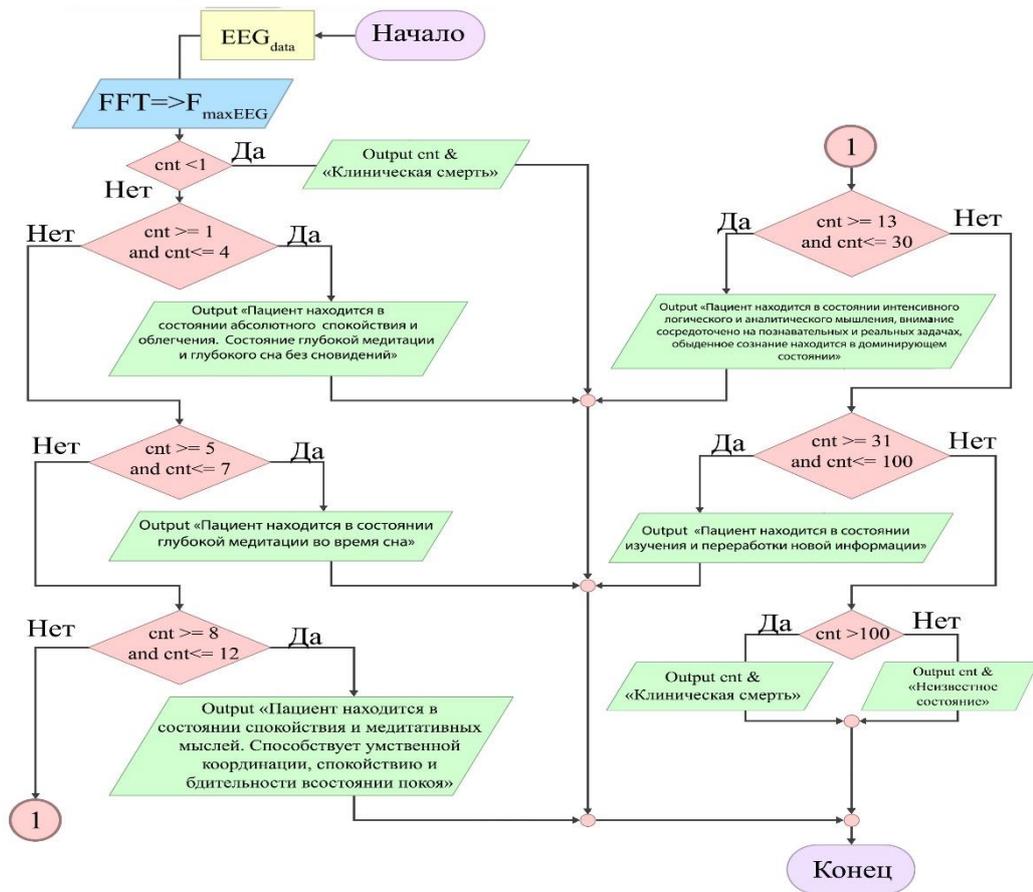
1. Исходный режим (начальный) – зона визуализации энцефалограммы и большинство функций управления и обработки недоступны. Во время перехода и загрузка программа находится в этом режиме;

2. Режим мониторинга - поле изображения энцефалограммы в реальном времени показывает форму волны энцефалограммы на фоне миллиметровой бумаги. Этот режим в основном используется, когда энцефалограф используется в качестве прикроватного мониторинга или для контроля качества получаемой энцефалограммы;

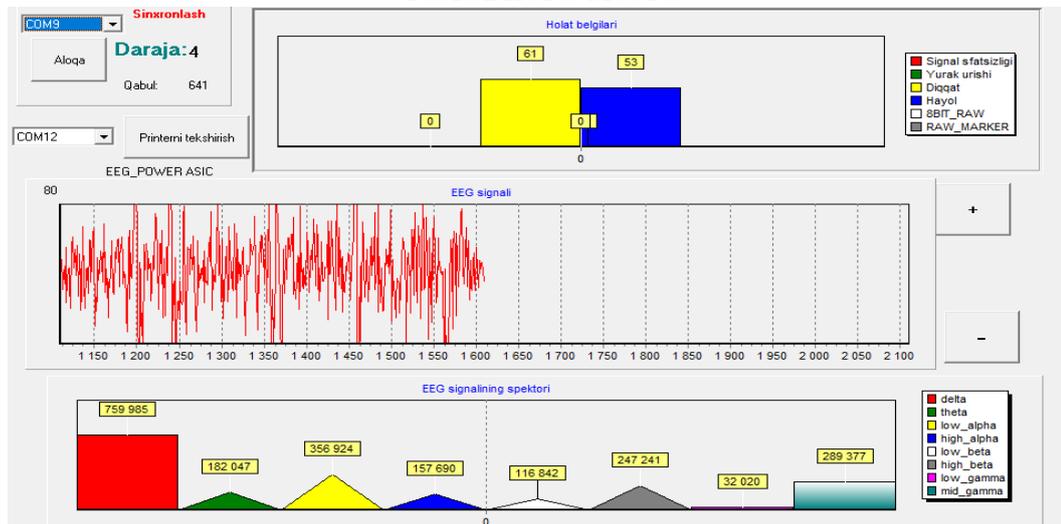
3. Режим просмотра – в этом режиме записанная энцефалограмма отображается в области отображения энцефалограммы. Есть возможность просматривать различные участки энцефалограммы, удалять ненужные участки, копировать в буфер обмена, очищать энцефалограммы, измерять временные и частотные характеристики, просматривать и распечатывать спектр энцефалограммы;

4. Режим записи – в этом режиме записанная энцефалограмма отображается в области отображения энцефалограммы, одновременно записываясь в базу

данных для дальнейшей обработки. Запись может продолжаться произвольное время, а текущее время записи отображается на статусе индикатора.



**Рис.7. Алгоритм метода мониторинга функционального состояния ГОЛОВНОГО МОЗГА**



**Рис.8. Основной интерфейс программы**

В созданном окне программного обеспечения (рис.8) показан алгоритм (рис.7.) метода мониторинга функционального состояния головного мозга (альфа, бета и др.) обрабатываемые сигналы модулем TGAM, полученные от двух ушных электродов и одного лобного электрода.

Процесс установления связи между устройством и операционной системой осуществляется на основе значка Bluetooth и его контекстного меню.

Выбрав «Добавить Bluetooth или другие устройства», следуйте последовательности, показанной на изображениях, выберите устройство «Sichiray», введите 0000 в качестве пин-кода, и на кнопке подключения появится команда «Готово», она вернется к исходному состоянию на экране и оттуда выберите «Другие параметры Bluetooth» и на появившемся экране настройте номер исходящего и входящего «com-порта» в «СОМ-портах».

Результаты, полученные на основе программного обеспечения и алгоритмов устройства, представляют интерес для фундаментальной нейробиологии и имеют значительный потенциал для дальнейшего практического использования. В контексте фундаментальных исследований заслуживает внимания продемонстрированная роль альфа-активности в установлении связей между нейронными паттернами, расположенными в задне-теменных и лобных областях мозга.

Потенциал практического применения связан с возможностью использования результатов для мониторинга когнитивной активности человека при обработке эмоциональной информации, разработан пассивный интерфейс мозг-компьютер, который отслеживает и контролирует нейронную активность во время человеческой деятельности, связанную с высокой когнитивной нагрузкой. Проведены физиологические характеристики электрической активности головного мозга, анализ моделей в зависимости от набора волновых изменений. Показано, что модель когнитивного состояния является наиболее адекватной и может быть использована для моделирования различных физиологических состояний. При анализе сигнала ЭЭГ использовали нелинейно-динамические методы.

Результаты экспериментов показывают, что разработанные программно-аппаратные средства и алгоритмы могут найти широкое применение за пределами исследований биомедицинских сигналов и в любых диагностических системах, где объектом исследования являются шумоподобные сигналы.

## **ЗАКЛЮЧЕНИЕ**

В диссертации рассмотрены теоретические и практические вопросы предварительной обработки сигналов ЭЭГ, а также особенности автоматизированных систем диагностики биомедицинских сигналов. Возможности стабилизации сигнала ЭЭГ, устранения артефактов и временных процессов, а также оптимизации параметров систем мониторинга медицинской диагностики имеют важное научное и практическое значение.

1. В диссертационной работе изучены теоретические и практические вопросы, связанные с измерением сигналов ЭЭГ, свойствами сигналов в системах предварительной обработки. В результате определена научная и практическая значимость стабилизации сигнала ЭЭГ, устранения шумов и переходных процессов, а также улучшения параметров системы медицинского мониторинга.

2. В результате анализа прогностических моделей процессов ЭЭГ, разработана модель регионального распределения биопотенциальной активности сигналов, основанная на изменении свойств биомедицинских сигнальных волн биологических тканей головного мозга при шумовой стабилизации. В результате удалось усовершенствовать алгоритмы распознавания сигналов ЭЭГ, руководить мониторингом и улучшить алгоритмы повышения скорости цифровой обработки биосигналов.

3. Разработаны алгоритмы фильтрации сигналов ЭЭГ и подавления выбранных компонентов исходного сигнала, при изменении его функционального состояния и определения его технических параметров по волновым характеристикам цифровой обработки. В результате были изучены доступные методы разработки аппаратно-программного обеспечения измерения и регистрации биосигналов и в результате анализа разработан цифровой биометр сигнала электроэнцефалографии - вычислительный комплекс и программное обеспечение устройства.

4. С использованием компьютерных систем в медицине – цифровой обработки изменений морфологических характеристик биомедицинских признаков и метода мониторинга функционального состояния головного мозга – создано практическое программное обеспечение. Оно называется «Фикр», работает под управлением операционной системы MS Windows. В результате биопотенциалов, сформированных из изменений в головном мозге и центральной нервной системе, с использованием правил создания элементов графического интерфейса с учетом масштаба, компактного расположения и топологии был создан интерфейс в виде виртуального устройства.

5. В нестационарном состоянии, осуществляя информационно-измерение биомедицинских сигналов при заданных ограничениях с созданием методов и алгоритмов существенного усиления информации, содержащейся в биосигналах, созданием методов фильтрации промышленных частотных шумов и формирования признаков в информационном потоке привело к созданию усовершенствованной структурной схемы и аппаратно-программного обеспечения распознавания признаков сигнала. В результате процесс входа в БД пользователем стал удобным и понятным, а также позволило повысить точность распознавания биомедицинского сигнала мозга в режиме реального времени.

6. Проведено экспериментальное исследование показателей качества разработанной модели, алгоритма и аппаратно-программного обеспечения. Это позволило проверить эффективность биомедицинских сигналов в ведущей точке Fp1 и опорных точках A1, A2 в системе, классифицированной по изменениям свойств, точки, поверхности и объема поверхности, а также сократить продолжительность обнаружения изменения состояния головного мозга на 8-15% при морфологическом мониторинге.

**SCIENTIFIC COUNCIL AWARDING SCIENTIFIC DEGREES  
DSc.13/30.12.2019.T.07.01 AT TASHKENT UNIVERSITY OF  
INFORMATION TECHNOLOGIES**

---

**TASHKENT UNIVERSITY OF INFORMATION TECHNOLOGIES**

**ABDURASHIDOVA KAMOLA TURGUNBAYEVNA**

**DEVELOPMENT OF HARDWARE AND SOFTWARE AND  
ALGORITHMS FOR DIGITAL PROCESSING OF  
BIOMEDICAL SIGNALS IN ELECTROENCEPHALOGRAPHY**

05.01.04 – Mathematical and software of computers, complexes and computer networks

**DISSERTATION ABSTRACT OF THE DOCTOR OF PHILOSOPHY  
(PhD) ON TECHNICAL SCIENCES**

**Tashkent – 2024**

**The theme of dissertation of doctor of philosophy (PhD) on technical sciences was registered at the Supreme Attestation Commission at the Cabinet of Ministers of Higher Education, Science and Innovation of the Republic of Uzbekistan under number B2023.1.PhD/T3542**

The dissertation has been prepared at Tashkent university of information technologies.

The abstract of the dissertation is posted in three languages (Uzbek, Russian, English (resume)) on the website ([www.tuit.uz](http://www.tuit.uz)) and on the website of "Ziyonet" Information and educational portal ([www.ziyonet.uz](http://www.ziyonet.uz)).

**Scientific adviser:** **Djumanov Jamoljon Xudaykulovich**  
Doctor of Technical Sciences, Professor

**Official opponents:** **Zaynidinov Xakimjon Nasiridinovich**  
Doctor of Technical Sciences, Professor

**Rahimov Baxtiyar Saidovich**  
Candidate of Technical Sciences

**Leading organization:** **Tashkent State Technical University**  
**named after Islam Karimov**

The defense of dissertation will take place "9" february 2024 at 16<sup>00</sup> at the meeting of Scientific council No. DSc.13/30.12.2019.T.07.01 at Tashkent University of Information Technologies (Address: 100084, Tashkent city, Amir Temur street, 108. Ph.:(+99871) 238-64-43, e-mail: [iktuit@tuit.uz](mailto:iktuit@tuit.uz)).

The dissertation can be reviewed at the Information Resource Centre of Tashkent University of Information Technologies (is registered under No. 298). (Address: 100084, Tashkent city, Amir Temur street, 108. Ph.: (+99871) 238-64-70, e-mail: [iktuit@tuit.uz](mailto:iktuit@tuit.uz)).

Abstract of dissertation sent out on "24" january 2024 y.  
(mailing report No. 2 on "24" january 2024 y.).



**M.M. Musaev**  
Chairman of the scientific council  
awarding scientific degrees,  
Doctor of Technical Sciences, professor

**E.Sh. Nazirova**  
Scientific secretary of scientific council  
awarding scientific degrees,  
Doctor of Technical Sciences, professor

**Dj.B. Sultanov**  
Chairman of the academic  
seminar under the scientific council  
awarding scientific degrees,  
Doctor of Technical Sciences, poцент

## INTRODUCTION (abstract of PhD dissertation)

**The aim of the research work** development of EEG hardware and software that evaluates the state of the brain based on digital processing algorithms using the method of independent component analysis of biomedical signals.

**The object of the research work** is electroencephalographic signals.

**The scientific novelty of the research work** is as follows:

based on changes in the properties of biomedical signal waves of biological brain tissue, a model of the regional distribution of biopotential signal activity was developed;

algorithms have been developed for determining the technical parameters of wave characteristics and digital processing of biomedical signals with changes in their functional state;

based on electroencephalography, a method for digital processing of changes in the morphological characteristics of biomedical signals and monitoring the functional state of the brain has been developed;

has been created hardware and software for the formation of information signs and recognition of signal characteristics under the specified limitations of electroencephalographic signals.

**Implementation of the research results.** Based on the model, algorithm and software tools developed as part of the research:

Based on changes in the wave properties of the biomedical signal of biological brain tissue, specific values of the signal transmittance are determined by the regional distribution model and its technical parameters in the wave properties with changes in the functional state and digital processing algorithms and software are implemented in the neurological clinic "Salomat hayot" and in the medical clinic "NBF MED" of the Uchtepa district of Tashkent has implemented a brain-computer interface via Bluetooth using the TGAM board, a software tool for recognizing electrical characteristics in the information flow (Information No. 34-8/2109 dated March 31, 2023 of the Ministry of Digital Technologies of the Republic Uzbekistan). The result of scientific research made it possible to carry out digital signal processing based on electroencephalography, monitoring and assessing the functional state of the brain.

As a result, the objectivity and accuracy of ensuring the accuracy of diagnosis of biomedical signals of morphologically observed diseases based on changes in the state of the brain has increased, which has made it possible to achieve an efficiency of 10-15%.

**The structure and volume of the dissertation.** The dissertation consists of an introduction, four chapters, a conclusion, and a list of references. The volume of the dissertation is 120 pages.

**E'LON QILINGAN ISHLAR RO'YXATI**  
**СПИСОК ОПУБЛИКОВАННЫХ РАБОТ**  
**LIST OF PUBLISHED WORKS**

**I bo'lim (1 часть; part 1)**

1. K.T.Abdurashidova. Digital Processing of Visual-Sensory Information Using Multichannel EEG Signals//Bulletin of TUIT: Management and Communication Technologies. 2022. Vol-4(16)//– P. 1-8. Rayosat qarori №283/7.1 (30.07.2020 y.) bilan OAK ilmiy nashrlar ro'yxatiga kiritilgan xorijiy jurnallarga tenglashtirilgan.
2. Djumanov J.X., Rajabov F.F., Abdurashidova K.T. To the Questions of the Creation of a Modern Non-Invasive Biopotential Meter// International Journal of Advanced Research in Science, Engineering and Technology. Impact Factor: 6.126. India. Vol. 7, Issue 2 , 2020. (05.00.00; № 8).
3. Ражабов Ф.Ф., Абдурашидова К.Т. Типовые решения при построении современных электрокардиографов (ЭКГ) //–Т. Вестник ТУИТ. 2018, №2(46). С. 42-55. (05.00.00; № 31).
4. Ражабов Ф.Ф., Абдурашидова К.Т., Салимова Х.Р. Вопросы создания компьютерного биоизмерителя и методы подавление помех // Потомки Мухаммеда аль-Хорезми - научно-практический и информационно-аналитический журнал. –Т., № 1(3), 2019. -С23-27. (05.00.00; № 10).
5. Джуманов Ж.Х., Ражабов Ф.Ф., Абдурашидова К.Т. Разработка многофункциональной медицинской диагностической системы на основе современной элементной базы // TATU XABARLARI. Toshkent - 2021. № 2(46). –С. 42-55. (05.00.00; № 31).
6. J.Djumanov, K.Abdurashidova, F.Rajabov, SH.Akbarova. Determination of Characteristic Points Based on Wavelet Change of Electrocardiogram Signal// 2021 International Conference on Information Science and Communications Technologies (ICISCT). – Tashkent. – 2021. pp. 1-3. Rayosat qarori №308/6 (30.10.2021 y.) bilan OAK ilmiy nashrlar ro'yxatiga kiritilgan jurnallarga tenglashtirilgan (Scopus).
7. Djumanov J.X., Rajabov F.F., Abdurashidova K.T, Tadjibaeva D.A, Atadjanova N.S. Development Of The Method, Algorithm And Software Of A Modern Non-Invasive Biopotential Meter System// 12th International Conference, IHCI 2020 Daegu, South Korea, Springer International Publishing, 2020 Proceedings, Part I. P.95-103 (Scopus, Q2).

**II bo'lim (II часть; II part)**

8. Abdurashidova K.T., Mirkhalilova S.R. Wheelchair Control Automation // Central Asian Journal of Theoretical and Applied Science (CAJOTAS) ISSN: 2660-5317. Volume 3 | No 2 (Feb 2022, Spain). -P. 111-113 (IF 5.439).
9. Абдурашидова К., Азлиев Р. Методы и алгоритмы медицинской диагностики на основе теорий статистических решений // “Иқтисодиёт

- тармоқларининг инновацион ривожланишида ахборот-коммуникация технологияларининг аҳамияти” Республика илмий-техник анжуманининг маърузалар тўплами 1-қисм. Тошкент 2021. -Б. 225-228.
10. Abdurashidova K.T., Temirova X.F., Ne'matova D.H. Zamonaviy tibbiyotda bioelektrik signallar parametrlaridan foydalanish texnologiyalari//Iqtisodiyot tarmoqlarining innovatsion rivojlanishida axborot–kommunikatsiya texnologiyalarining ahamiyati” mavzusiga bag‘ishlangan ilmiy-texnik anjuman. Respublika ilmiy-texnik anjumani. Ma’ruzalar to‘plami 1-qism. Toshkent – 2022. -B. 225-227.
  11. Abdurashidova K.T., Nasilloev S.B., Raupov M.J. Methods For Describing The Algorithm//Materily XVI mi<sup>^</sup>dzynarodowej naukowipraktycznej konferencji strategiczne pytania swiatowej nauki – 2020. 07 - 15 lutego 2020 roku Volume 10.Polsha-2020. -P.100-103.
  12. Абдурашидова К. Акбарова Ш. Азлиев Р. Каримов Т. Методы проектирования телемедицинских сетей для удаленного медицинского обслуживания//Международный научно-образовательный электронный журнал. «ОБРАЗОВАНИЕ И НАУКА В XXI ВЕКЕ». Выпуск №13 (том 2) Ташкент – 2021.
  13. Berdanov U.A., Khujayorov I.Sh., Abdurashidova K.T., Salimova Kh.R., Musadjanova D.A. Using Artificial Intelligence Algorithms for Speech Therapy Systems//International Journal of Innovative Technology and Exploring Engineering. India.Vol. 9, Issue 12, 2020. PP. 821-825. (IF=0.6).
  14. K.T.Abdurashidova, X.F.Temirova, D.H.Ne'matova. Bioelektrik signallarning tasnifi va ularning xususiyatlari//SCIENCE AND INNOVATION. International scientific journal Volume 1 ISSUE 8. UIF-2022: 8.2 | ISSN: 2181-3337. Toshkent – 2022. -B. 205-208//<https://doi.org/10.5281/zenodo.7352468>.
  15. N.Nasimova, V.Muminov, R.Nasimov, K.Abdurashidova, M.Abdullaev. Comparative Analysis of the Results of Algorithms for Dilated Cardiomyopathy and Hypertrophic Cardiomyopathy Using Deep Learning// 2021 International Conference on Information Science and Communications Technologies (ICISCT). – Tashkent. – 2021. pp. 1-5 (Scopus).
  16. K.T. Abdurashidova, S. S. Saatbayeva. Funktsional diagnostika masalalarida biotibbiy signallarning ahamiyati//Гармоничное развитие поколение – условие стабильного развития Республики Узбекистан. Сборник научно-методических статей. Ташкент – 2022. -С. 60-62.
  17. Насимов Р.Х. Абдурашидова К.Т. Мониторинг функциональных изменений сердечно сосудистой системы в режиме реального времени // Нучный журнал «Интернаука» №9(91). Часть-1. Москва-2019.– С.9-12.
  18. Djumanov, J., Rajabov, F., Abdurashidova, K., & Xodjaev, N. Autonomous wireless sound gauge device for measuring liquid level in well. CONMECHYDRO-2023. E3S Web of Conferences (Vol. 401, p. 01063). – Tashkent. – 2023. pp. 1-12. (Scopus).

19. Abdurashidova K.T. Ko‘p kanalli eeg Signallari orqali vizual sensorli axborotlarni qayta ishlash // «Raqamli texnologiyalar: sohalarda amaliy joriy etishning yechimlari va muammolari» mavzusiga bag‘ishlangan xalqaro ilmiy-texnik anjuman. Ma‘ruzalar to‘plami. Toshkent – 2022. -B. 159-162.
20. Abdurashidova K.T., Nasilloev S.B. Simsiz aloqa WI-FIESP8266 moduli //“Техника Фанлари” журнали. 4-сон, 3-жилд. Тошкент-2020. -B. 4 – 10. ISSN 2181-9696. Doi Journal 10.26739/2181-9696.
21. Абдурашидова К.Т., Насиллоев С.Б. GPS moduli. Ishlash tamoyili hamda ulanishi.“Техника Фанлари” журнали. 4-сон, 3-жилд.Тошкент-2020. -B. 11 – 15. ISSN 2181-9696. Doi Journal 10.26739/2181-9696.
22. Ражабов Ф.Ф., Абдурашидова К.Т. Улучшение качество преподавания применением компьютерной интерактивной технологии// Олий таълим сифати иқтисодий диагностикаси: жаҳон амалиёти ва миллий хусусиятилар. Республика илмий-амалий конференцияси материаллари. - Наманган. 2019. -156-160 б.
23. Абдурашидова К.Т. Аликулов А.Б. Геофазовий маълумотларни қайта ишлаш ва унинг амалий аҳамияти// SCIENCE AND INNOVATION SCIENCE AND INNOVATION. International scientific journal Volume 1 ISSUE 6. UIF-2022: 8.2 | ISSN: 2181-3337.Toshkent – 2022. -B. 224-227. <https://doi.org/10.5281/zenodo.7186037>
24. Kalesnikov I. K., Abdurashidova K.T., Ametova A.A., Akbarxodjayev Sh.N. Definition of dislocation of mobile objects by means of wireless technologies//Actual problems and prospects of the development of intelligent information and communication systems IICS-2020. Proceedings of the Scientific Online International Conference. Tashkent – 2020.
25. Abdurashidova K.T., Karimov T. X. Telemeditsina xizmati turlari va tasnifi // “Zamonaviy axborot, kommunikatsiya texnologiyalari va AT-ta’lim tadbiri muammolari” mavzusidagi respublika ilmiy-amaliy anjumani. I-TOM. Samarqand – 2021. -B. 169-171.
26. Abdurashidova K.T., Mirxalilova S.R. Nogironlar aravachasining boshqaruvini avtomatlashtirish //Zamonaviy axborot, kommunikatsiya texnologiyalari va AT-ta’lim tadbiri muammolari” mavzusidagi respublika ilmiy-amaliy anjumani. II-TOM. Samarqand – 2021. -B. 131-134.
27. K.Abdurashidova, N.Tojikhujaeva, F.Zokirova. Data storage and backup//Захириддин Мухаммад Бобур номидаги Андижон давлат университети Андижон машинасозлик институти, «Фан, таълим ва техникани инновацион ривожлантириш» масалалари. Халқаро илмий-амалий онлайн анжуман. Андижон – 2022. -Б. 69-71.
28. F.F. Rajabov, K.T. Abdurashidova, N.A.Irmuxamedova. Анализатор эхо – сигналов головного мозга “СУПРОМЕД-ЭХО”//Elektron hisoblash mashinalari uchun yaratilgan dasturlar va ma’lumotlar bazalarining huquqiy himoyasi to‘g‘risidagi guvohnoma № DGU 13851, 24.11.2021.
29. F.F. Rajabov, K.T. Abdurashidova.“Fikr” nomli EEG signallarini tasniflovchi Miya – kompyuter interfeysi dasturi//Elektron hisoblash mashinalari uchun

yaratilgan dasturlar va ma'lumotlar bazalarining huquqiy himoyasi to'g'risidagi guvohnoma № DGU 16500, 19.04.2022.

30. Abdurashidova K.T., Salimova X.R. Jovliyev A.M. Samariddinov Z.A. Mobil qurilma orqali odamning yurak urishini sanovchi dasturiy ta'minot //Elektron hisoblash mashinalari uchun yaratilgan dasturlar va ma'lumotlar bazalarining huquqiy himoyasi to'g'risidagi guvohnoma № DGU 18497. 05.06.2022.

Avtoreferat “Muhammad al-Xorazmiy avlodlari” ilmiy jurnali tahririyatida tahriridan o‘tkazildi hamda o‘zbek, rus va ingliz tillaridagi matnlarini mosligi tekshirildi.