

## ESHITISH APARATLARINING BIOFIZIK XUSUSIYATLARI

### **Buzrukov To‘lqin Omonivich**

Termiz Iqtisodiyot va Servis universiteti p.f.f.d PhD, dotsent.

Email: [tolqinbuzrukov5@gmail.com](mailto:tolqinbuzrukov5@gmail.com)

### **Mamatqulov Anvar Hayitmurod**

Termiz Iqtisodiyot va Servis universiteti talabasi.

Email: [mamatqulovanvar9@gmail.com](mailto:mamatqulovanvar9@gmail.com)

### **Annotatsiya**

Ushbu maqola eshitish apparatlarining biofizik xususiyatlarini chuqur tahlil qiladi. Eshitish qobiliyati pasaygan shaxslar uchun ushbu qurilmalarning ahamiyati beqiyos bo'lib, ularning samaradorligi asosan ichki biofizik prinsiplarga asoslanadi. Maqolada akustik signallarning qabul qilinishi, ularning elektr impulslariga aylantirilishi va inson qulog'iga mos ravishda uzatilishi jarayonlari ko'rib chiqiladi. Shuningdek, apparatning mexanik tebranishlari va ularning eshitish tizimiga ta'siri ham o'rganiladi. Ushbu xususiyatlarni tushunish eshitish apparatlari dizaynini optimallashtirish va ularning foydalanuvchilar uchun qulayligini oshirishda muhim rol o'ynaydi.

**Kalit so'zlar:** Eshitish Apparatlari, Biofizik Xususiyatlar, Akustika, Audiologiya, Signalni Qayta Ishlash, Tovushni Kuchaytirish, Eshitish Tizimi, Dizayn Optimallashtirish

### **Abstract**

This article provides an in-depth analysis of the biophysical properties of hearing aids. The importance of these devices for individuals with hearing loss is immense, and their effectiveness largely relies on underlying biophysical principles. The paper examines the processes of acoustic signal reception, their conversion into electrical impulses, and their appropriate transmission to the human ear. Furthermore, the mechanical vibrations of the apparatus and their impact on the auditory system are also investigated. Understanding these properties plays a crucial role in optimizing hearing aid design and enhancing user comfort.

**Keywords:** Hearing Aids, Biophysical Properties, Acoustics, Audiology, Signal Processing, Sound Amplification, Auditory System, Design Optimization

### **Аннотация**

Данная статья представляет углубленный анализ биофизических свойств слуховых аппаратов. Значимость этих устройств для людей с нарушениями слуха огромна, а их эффективность во многом зависит от лежащих в их основе биофизических принципов. В работе рассматриваются процессы приема акустических сигналов, их преобразования в электрические импульсы и соответствующей передачи в человеческое ухо. Кроме того, исследуются механические вибрации аппарата и их влияние на слуховую систему. Понимание этих свойств играет решающую роль в оптимизации конструкции слуховых аппаратов и повышении комфорта для пользователей.

**Ключевые слова:** Слуховые Аппараты, Биофизические Свойства, Акустика, Аудиология, Обработка Сигналов, Усиление Звука, Слуховая Система, Оптимизация Дизайна

### **Kirish**

Eshitish qobiliyatining buzilishi butun dunyo bo'ylab millionlab odamlarning hayot sifatiga salbiy ta'sir ko'rsatadigan keng tarqalgan muammodir. Ushbu holatni bartaraf etishda eshitish apparatlari muhim rol o'ynaydi, chunki ular tovushlarni kuchaytirib, eshitish qobiliyati pasaygan shaxslarga atrof-muhit bilan samarali muloqot qilish imkonini beradi [1]. Tarixan, "quloq karnaylari" kabi oddiy vositalardan foydalanilgan bo'lsa, zamonaviy eshitish apparatlari mikrofon, tovush kuchaytirgich va ba'zan naychadan iborat bo'lgan murakkab qurilmalardir. Ular odatda quloq orqasida yoki ichida taqiladi, ba'zi modellar ko'zoynaklarga yoki cho'ntak qurilmalariga integratsiya qilingan bo'ladi [1].

Biroq, eshitish apparatlaridan foydalanish faqat tovushni kuchaytirish bilan cheklanmaydi; u foydalanuvchidan kuchaytirilgan tovush muhitiga moslashishni talab qiladi, nutqni fon shovqinidan ajratish va baland tovushlarga toqat qilishni o'z ichiga oladi. Noto'g'ri ishlaydigan qurilmalar charchoq, quloqlarda shovqin va bosh og'rig'iga olib kelishi mumkin, bu esa eshitish apparatining inson tanasi bilan biofizik o'zaro ta'sirining murakkabligini ko'rsatadi [1]. So'nggi yillarda raqamli signalni qayta ishlash (DSP) texnologiyalarining rivojlanishi eshitish apparatlari sohasida inqilobiy o'zgarishlarga olib keldi. DSP algoritmlari, xususan FIR va IIR filtrlari, shuningdek, adaptiv algoritmlar, tovush sifatini optimallashtirish va shovqinni kamaytirishda hal

qiluvchi ahamiyatga ega [2]. Ushbu texnologiyalar real vaqt rejimida audio signallarni qayta ishlash orqali eshitish apparatlarining samaradorligini sezilarli darajada oshiradi, bu esa ularning biofizik xususiyatlarini chuqur o'rganishni talab qiladi [2].

Ushbu maqola eshitish apparatlarining biofizik xususiyatlarini har tomonlama tahlil qilishga bag'ishlangan bo'lib, ularning asosiy komponentlaridan tortib, raqamli signalni qayta ishlashning murakkab mexanizmlarigacha bo'lgan jarayonlarni qamrab oladi. Shuningdek, inson qulog'i bilan o'zaro ta'sir, energiya boshqaruvi va kelajakdagi innovatsiyalar kabi jihatlar ham ko'rib chiqiladi. Maqsad, eshitish apparatlari dizayni va funkcionalligini yaxshilash uchun biofizik tamoyillarning ahamiyatini ta'kidlashdir

#### Mavzuga oid adabiyotlar tahlili

Eshitish apparatlarining biofizik xususiyatlari bo'yicha ilmiy adabiyotlar tahlili ushbu sohaning murakkabligi va multidisiplinar xarakterini yaqqol namoyish etadi. So'nggi yillarda ushbu texnologiyalarning rivojlanishi nafaqat akustik muhandislik, balki materialshunoslik, neyrofiziologiya va raqamli signalni qayta ishlash (DSP) kabi turli fan sohalarining integratsiyasi natijasida yuzaga kelgan. Adabiyotlar tahlili shuni ko'rsatadiki, eshitish apparatlari dizayni va funkcionalligini optimallashtirish inson eshitish tizimining nozik biofizik mexanizmlarini chuqur tushunishni talab qiladi.

Eshitish apparatlarining asosiy komponentlari, ya'ni mikrofonlar, kuchaytirgichlar va qabul qilgichlar (dinamiklar) o'rtasidagi o'zaro ta'sir ularning umumiy samaradorligini belgilaydi. Mikrofonlar akustik energiyani elektr signallariga aylantiruvchi transduserlar bo'lib, ularning sezgirliigi, chastota diapazoni va yo'nalish xususiyatlari eshitish apparatining atrof-muhit tovushlarini qanchalik aniq qabul qilishini belgilaydi. Zamonaviy adabiyotlar ko'rsatishicha, ko'p yo'nalishli mikrofon massivlari fon shovqinini kamaytirish va nutqni ajratishda muhim rol o'ynaydi, bu esa foydalanuvchining murakkab akustik muhitda muloqot qilish qobiliyatini sezilarli darajada yaxshilaydi. Ushbu mikrofonlarning biofizik asoslari tovush to'lqinlarining membrana bilan o'zaro ta'siri va ularning mexanik tebranishlarini elektr impulslariga aylantirish jarayonida yotadi. Qabul qilgichlar esa elektr signallarini qayta akustik to'lqinlarga aylantirib, ularni quloq kanaliga yetkazib beradi. Ularning chastota javobi va maksimal tovush bosimi darajasi (OSPL90) eshitish apparatining turli eshitish yo'qotish darajalariga moslashish qobiliyatini belgilaydi. Bu transduserlarning biofizik xususiyatlari, xususan, ularning rezonans chastotalari, damping koeffitsientlari va energiya samaradorligi, eshitish apparatining umumiy akustik ishlashiga bevosita ta'sir qiladi.

Raqamli signalni qayta ishlash (DSP) texnologiyalari eshitish apparatlari sohasida inqilobiy o'zgarishlarga olib kelgan asosiy omillardan biridir. So'nggi tadqiqotlar, xususan, audio va sensor signallarini optimallashtirish va shovqinni kamaytirishga qaratilgan ishlar, DSP algoritmlarining, jumladan FIR va IIR filtrlari, shuningdek, adaptiv algoritmlarning muhimligini ta'kidlaydi [2]. Ushbu algoritmlar real vaqt rejimida audio signallarni qayta ishlash orqali eshitish apparatlarining samaradorligini sezilarli darajada oshiradi. Masalan, FIR (Finite Impulse Response) va IIR (Infinite Impulse Response) filtrlari eshitish yo'qotishining o'ziga xos xususiyatlariga mos ravishda chastota javobini shakllantirish uchun ishlatiladi, bu esa tovushni individual eshitish ehtiyojlariga moslashtirish imkonini beradi. Bu jarayon inson qulog'ining koklear funksiyasini, ya'ni tovushlarni chastota bo'yicha ajratish qobiliyatini taqlid qilishga intiladi.

Adaptiv algoritmlar, xususan, eng kichik kvadratlar (LMS) algoritmi, eshitish apparatlarining dinamik akustik muhitga moslashish qobiliyatini ta'minlaydi [2]. Ular fon shovqinini aniqlash va kamaytirish, shu bilan birga nutq signallarini kuchaytirish orqali nutqni tushunishni yaxshilaydi. Bu biofizik jihatdan juda muhim, chunki inson miyasi ham murakkab akustik sahnalarda diqqatni jamlash va keraksiz tovushlarni filtrlab tashlash qobiliyatiga ega. DSP algoritmlari yordamida eshitish apparatlari foydalanuvchining kognitiv yukini kamaytirishga yordam beradi, chunki ular miyaga keladigan keraksiz shovqinni minimallashtiradi va nutqni ajratish vazifasini yengillashtiradi. Tadqiqotlar shuni ko'rsatadiki, MATLAB va Python simulyatsiyalari turli filtrlarning va algoritmlarning shovqinni kamaytirish darajasi va signal sifatini baholashda samaradorligini tasdiqlagan [2]. Bu ishlar IoT, tibbiyot, telekommunikatsiya va audio texnologiyalarida DSP algoritmlarining amaliy qo'llanilishi uchun qimmatli tavsiyalar beradi [2]. DSP texnologiyalari, shuningdek, akustik qayta aloqa (feedback) muammosini hal qilishda ham muhim rol o'ynaydi, bu esa eshitish apparati foydalanuvchilari uchun tez-tez uchraydigan noqulaylikdir. Adaptiv feedback bekor qilish algoritmlari mikrofon tomonidan qabul qilingan chiqish signalini doimiy ravishda kuzatib boradi va uni bekor qilish uchun teskari faza signalini yaratadi, bu esa hushtak tovushining oldini oladi.

Eshitish apparatining inson qulog'i bilan biofizik o'zaro ta'siri, ayniqsa akustik bog'lanish va materialshunoslik nuqtai nazaridan, ilmiy adabiyotlarda keng muhokama qilinadi. Eshitish apparatining quloq kanaliga to'g'ri joylashishi optimal tovush uzatilishini ta'minlash va akustik qayta aloqani oldini olish uchun juda muhimdir. Individual qolipga asoslangan quloq ichi apparatlari va quloq orqasi apparatlari uchun

maxsus tayyorlangan quloq uchlari (earmolds) tovushni samarali yetkazib berishda va tashqi shovqinni izolyatsiya qilishda muhim rol o'ynaydi. Materialshunoslik nuqtai nazaridan, quloq uchlari va apparat korpuslari uchun ishlatiladigan materiallarning biyomoslashuvchanligi, chidamliligi va akustik xususiyatlari katta ahamiyatga ega. Akril, silikon va termoplastik materiallar keng qo'llaniladi, ammo ularning teriga ta'siri, allergik reaksiyalar ehtimoli va uzoq muddatli qulayligi doimiy tadqiqot mavzusi bo'lib qolmoqda. Materiallarning akustik impedansi va ularning quloq kanali rezonanslariga ta'siri ham biofizik jihatdan muhimdir. Noto'g'ri tanlangan materiallar yoki yomon o'rnatilgan apparatlar okklyuziya effektiga (o'z ovozi gumburlagan holda eshitish) olib kelishi mumkin, bu esa foydalanuvchi qulayligini sezilarli darajada pasaytiradi.

Energiya boshqaruvi va batareya texnologiyalari eshitish apparatlarining biofizik samaradorligini belgilovchi yana bir muhim jihatdir. Miniaturizatsiya tendensiyasi bilan birga, qurilmalarning kichik o'lchamda uzoq vaqt ishlashini ta'minlash dolzarb muammo hisoblanadi. Litiy-ion batareyalar va qayta zaryadlanuvchi texnologiyalar an'anaviy rux-havo batareyalariga nisbatan uzoqroq ishlash muddatini va ekologik jihatdan qulayroq yechimni taklif etadi. Energiya samaradorligini oshirish nafaqat batareya hajmini kamaytirishga, balki DSP algoritmlarini optimallashtirish va kam quvvat iste'mol qiluvchi komponentlarni ishlab chiqishga ham bog'liq. Tadqiqotlar shuni ko'rsatadiki, kam quvvatli mikrokontrollerlar va signal protsessorlari, shuningdek, simsiz aloqa protokollarini optimallashtirish orqali eshitish apparatlarining umumiy energiya iste'moli sezilarli darajada kamaytirilishi mumkin. Bu esa foydalanuvchilar uchun qurilmani tez-tez zaryadlash zaruratini kamaytiradi va ularning kundalik hayotiga integratsiyasini yaxshilaydi.

Eshitish apparatlari dizaynidagi miniaturizatsiya va kelajakdagi biofizik innovatsiyalar sohaning asosiy rivojlanish yo'nalishlaridan biridir. Qurilmalarni yanada kichikroq, ko'zga tashlanmaydigan va qulayroq qilishga intilish doimiy ravishda davom etmoqda. Bu esa mikro-elektromexanik tizimlar (MEMS) texnologiyalari, ilg'or materiallar va yuqori integratsiyali sxemalar kabi sohalardagi yutuqlarni talab qiladi. Kelajakdagi innovatsiyalar, shuningdek, eshitish apparatlarini boshqa sog'liqni saqlash qurilmalari bilan integratsiyalashuvini, masalan, biometrik sensorlar, tana harorati yoki yurak urish tezligini kuzatish imkoniyatlarini o'z ichiga olishi mumkin. Bunday integratsiya eshitish apparatlarini nafaqat eshitishni yaxshilovchi, balki umumiy salomatlikni nazorat qiluvchi aqlli qurilmalarga aylantiradi. Neyro-akustik interfeyslar va miya-kompyuter interfeyslari (BCI) texnologiyalarining rivojlanishi eshitish apparatlari kelajagida yangi imkoniyatlar ochishi mumkin, bu esa foydalanuvchilarga

tovushni bevosita miya signallari orqali boshqarish yoki idrok etish imkonini beradi. Bu sohadagi tadqiqotlar hali dastlabki bosqichda bo'lsa-da, ular eshitish apparatlari biofizikasining kelajakdagi yo'nalishlarini belgilab beradi.

Adabiyotlar tahlili shuni ko'rsatadiki, eshitish apparatlari texnologiyasining rivojlanishi inson eshitish tizimining murakkab biofizik jarayonlarini tushunish va ularni muhandislik yechimlari orqali takrorlashga asoslanadi. Har bir komponent, mikrofonlardan tortib DSP algoritmlarigacha va batareya texnologiyalarigacha, inson tanasi bilan o'zaro ta'sir qilishning biofizik jihatlarini hisobga olgan holda ishlab chiqiladi. So'nggi yillardagi tadqiqotlar eshitish apparatlarining nafaqat akustik samaradorligini, balki ularning foydalanuvchi qulayligi, estetikasi va kundalik hayotga integratsiyasini ham yaxshilashga qaratilgan. Biroq, fon shovqinida nutqni tushunishni yanada yaxshilash, akustik qayta aloqani to'liq bartaraf etish, batareya quvvatini sezilarli darajada oshirish va apparatlarni yanada ko'zga tashlanmaydigan qilish kabi muammolar haligacha dolzarb bo'lib qolmoqda. Bu muammolarni hal qilish uchun biofizika, akustika, materialshunoslik va sun'iy intellekt kabi fanlararo yondashuvlar muhim ahamiyat kasb etadi. Ushbu tahlil eshitish apparatlari biofizikasidagi mavjud bilimlarni umumlashtirib, kelajakdagi tadqiqotlar uchun asos yaratadi.

### **Tadqiqot metodologiyasi**

Ushbu akademik maqola eshitish apparatlarining biofizik xususiyatlarini chuqur tahlil qilishga bag'ishlangan bo'lib, uning metodologiyasi mavjud ilmiy adabiyotlarni tizimli va tanqidiy ko'rib chiqishga asoslangan. Tadqiqotning asosiy maqsadi eshitish apparatlari dizayni, funkcionalligi va inson eshitish tizimi bilan o'zaro ta'sirini belgilovchi biofizik tamoyillarni aniqlash, umumlashtirish va baholashdan iborat. Ushbu metodologiya eshitish apparatlari texnologiyasining murakkab va multidisiplinar xarakterini hisobga olgan holda ishlab chiqilgan bo'lib, akustika, mexanika, materialshunoslik, raqamli signalni qayta ishlash (DSP) va neyrofiziologiya kabi turli fan sohalarining integratsiyasini talab qiladi. Maqola eshitish apparatlarining asosiy komponentlaridan tortib, ularning inson qulog'i bilan o'zaro ta'siri, energiya boshqaruvi va kelajakdagi innovatsiyalarigacha bo'lgan biofizik jihatlarini har tomonlama yoritishga qaratilgan. Bu yondashuv eshitish apparatlari sohasidagi mavjud bilimlarni umumlashtirish, dolzarb muammolarni aniqlash va kelajakdagi tadqiqotlar uchun yo'nalishlarni belgilash imkonini beradi.

Tadqiqot uchun tegishli ilmiy adabiyotlarni aniqlash maqsadida keng qamrovli va tizimli qidiruv strategiyasi qo'llanildi. Qidiruv jarayoni bir nechta yetakchi ilmiy ma'lumotlar bazalarida amalga oshirildi, jumladan PubMed, Scopus, Web of Science,

IEEE Xplore va Google Scholar. Ushbu ma'lumotlar bazalari tibbiyot, muhandislik, akustika va materialshunoslik kabi tegishli sohalardagi keng doiradagi nashrlarni qamrab oladi. Qidiruv uchun quyidagi asosiy kalit so'zlar va ularning kombinatsiyalari ishlatildi: "eshitish apparatlari biofizikasi", "eshitish apparatlari akustikasi", "raqamli signalni qayta ishlash eshitish apparatlarida", "eshitish apparatlari materialshunosligi", "eshitish apparatlari energiya boshqaruvi", "eshitish apparatlari miniatyurizatsiyasi", "inson qulog'i va eshitish apparati o'zaro ta'siri", "akustik bog'lanish", "adaptiv algoritmlar eshitish apparatlarida", "MEMS eshitish apparatlari", "neyro-akustik interfeyslar". Qidiruv 2000-yildan 2024-yilgacha bo'lgan davrni qamrab oldi, ammo so'nggi yillardagi (xususan, 2020-yildan keyingi) nashrlarga alohida e'tibor qaratildi, chunki bu davrda eshitish apparatlari texnologiyasida sezilarli yutuqlar kuzatildi. Har bir ma'lumotlar bazasida qidiruv natijalari tegishli filtrlar (masalan, "peer-reviewed", "review article", "journal article") yordamida toraytirildi. Shuningdek, topilgan muhim maqolalarning bibliografik havolalari ham qo'shimcha tegishli adabiyotlarni aniqlash uchun ko'rib chiqildi (snowballing method). Bu keng qamrovli yondashuv mavzuga oid eng dolzarb va muhim tadqiqotlarni aniqlashga yordam berdi.

Qidiruv natijasida olingan adabiyotlar to'plamidan maqolaning maqsadlariga eng mos keladiganlarini tanlash uchun qat'iy mezonlar qo'llanildi. Birinchidan, faqat ilmiy jurnallarda nashr etilgan, ekspertlar tomonidan ko'rib chiqilgan (peer-reviewed) maqolalar, konferensiya materiallari va nufuzli ilmiy kitob boblari kiritildi. Ikkinchidan, tanlangan adabiyotlar eshitish apparatlarining biofizik xususiyatlari, ularning komponentlari, ishlash printsiplari, inson eshitish tizimi bilan o'zaro ta'siri, energiya samaradorligi va dizayn innovatsiyalari kabi mavzularga bevosita tegishli bo'lishi shart edi. Xususan, eshitish apparatlarining akustik-mexanik xususiyatlari, materialshunoslik jihatlari, raqamli signalni qayta ishlash algoritmlarining biofizik asoslari, shuningdek, inson qulog'i anatomiyasi va fiziologiyasi bilan bog'liq tadqiqotlar ustuvor ahamiyatga ega bo'ldi. Klinik sinovlar va bemor natijalariga oid maqolalar, agar ular biofizik mexanizmlarni tushuntirishga hissa qo'shsa, kiritildi, ammo faqat klinik samaradorlikka qaratilgan ishlar chiqarib tashlandi. Shuningdek, tadqiqotning metodologik sifati va natijalarning ishonchliligi ham baholandi. Natijalarini tasdiqlovchi yoki ularga zid bo'lgan turli manbalardan olingan ma'lumotlar o'zaro solishtirildi. Ushbu tanlash mezonlari maqolaning ilmiy asosini mustahkamlash va taqdim etilayotgan ma'lumotlarning dolzarbligi va ishonchliligini ta'minlashga qaratilgan edi.

Tanlangan adabiyotlardan ma'lumotlarni olish va sintez qilish jarayoni tizimli yondashuv asosida amalga oshirildi. Har bir maqoladan asosiy topilmalar, metodologik yondashuvlar, eksperimental natijalar, nazariy modellar va muhokamalar diqqat bilan o'rganildi va tegishli ma'lumotlar ajratib olindi. Ma'lumotlar maqolaning tuzilishiga muvofiq tematik jihatdan tasniflandi: eshitish apparatlarining asosiy komponentlari (mikrofonlar, kuchaytirgichlar, qabul qilgichlar), raqamli signalni qayta ishlash (DSP) texnologiyalari, inson qulog'i bilan biofizik o'zaro ta'sir (akustik bog'lanish, materialshunoslik), energiya boshqaruvi va batareya texnologiyalari, shuningdek, miniatyurizatsiya va kelajakdagi innovatsiyalar. Har bir tematik yo'nalish bo'yicha mavjud bilimlarning umumiy holati, asosiy yutuqlar, dolzarb muammolar va kelajakdagi tadqiqot yo'nalishlari aniqlandi. Ma'lumotlarni sintez qilish jarayonida turli manbalardan olingan ma'lumotlar o'zaro taqqoslandi, umumiy tendensiyalar va qarama-qarshiliklar aniqlandi. Bu yondashuv eshitish apparatlari biofizikasining har bir jihati bo'yicha chuqur va keng qamrovli tushuncha shakllantirishga yordam berdi. Ma'lumotlar sintezi nafaqat mavjud bilimlarni jamlash, balki ularni tanqidiy baholash va yangi kontekstda taqdim etishga ham qaratilgan edi.

Ushbu tadqiqotda eshitish apparatlari texnologiyasini tahlil qilish uchun asosiy analitik yondashuv sifatida "biofizik linza" qo'llanildi. Bu degani, har bir komponent va funktsiya inson eshitish tizimining biologik va fiziologik xususiyatlari bilan o'zaro ta'siri nuqtai nazaridan ko'rib chiqildi. Masalan, mikrofonlarning ishlashi nafaqat akustik muhandislik tamoyillari, balki inson qulog'ining tovushni qabul qilish mexanizmlari bilan bog'liq holda tahlil qilindi. Qabul qilgichlarning chastota javobi va maksimal tovush bosimi darajasi (OSPL90) inson kokleasining chastota selektivligi va dinamik diapazoni bilan solishtirildi. Materialshunoslik bo'yicha tadqiqotlar materiallarning biokompatibilligi, akustik impedansi va ularning quloq kanali rezonanslariga ta'siri kabi biofizik xususiyatlariga e'tibor qaratdi. DSP algoritmlari esa inson miyasining tovushni qayta ishlash va shovqinni filtrlab tashlash qobiliyatini taqlid qilishga urinish sifatida baholandi. Ushbu biofizik linza eshitish apparatlari dizaynidagi har bir texnologik tanlovning inson tanasi bilan qanday o'zaro ta'sir qilishini va foydalanuvchi tajribasiga qanday ta'sir qilishini chuqur tushunishga imkon berdi. Bu yondashuv eshitish apparatlari samaradorligini nafaqat texnik parametrlar, balki insonning idrok etish va moslashish qobiliyatlari nuqtai nazaridan ham baholashga yordam berdi.

Raqamli signalni qayta ishlash (DSP) eshitish apparatlari biofizikasining markaziy qismlaridan biri bo'lganligi sababli, ushbu sohadagi adabiyotlarni tahlil

qilishga alohida e'tibor qaratildi. DSP algoritmlarining, xususan FIR (Finite Impulse Response) va IIR (Infinite Impulse Response) filtrlari, shuningdek, adaptiv algoritmlarning, masalan, eng kichik kvadratlar (LMS) algoritmining ishlash printsiplari va ularning eshitish apparatlaridagi qo'llanilishi chuqur o'rganildi. Tadqiqotlar shuni ko'rsatadiki, bu algoritmlar tovush sifatini optimallashtirish va shovqinni kamaytirishda hal qiluvchi ahamiyatga ega [2]. Metodologiya doirasida, ushbu algoritmlarning inson eshitish tizimining tabiiy mexanizmlarini (masalan, koklear funksiya, miyaning shovqinni filtrlab tashlash qobiliyati) qanday taqlid qilishga urinishlari tahlil qilindi. Shuningdek, adabiyotlarda keltirilgan MATLAB va Python simulyatsiyalari natijalari, turli filtrlarning va algoritmlarning shovqinni kamaytirish darajasi va signal sifatini baholashdagi samaradorligi nuqtai nazaridan ko'rib chiqildi [2]. Bu simulyatsiyalar DSP algoritmlarining real vaqt rejimida audio signallarni qayta ishlash orqali eshitish apparatlarining samaradorligini qanday oshirishini ko'rsatadi. Adaptiv algoritmlarning dinamik akustik muhitga moslashish qobiliyati va akustik qayta aloqani (feedback) bekor qilish mexanizmlari ham biofizik nuqtai nazardan baholandi. Bu tahlil DSP texnologiyalarining eshitish apparatlari funkcionalligini yaxshilashdagi rolini va ularning inson eshitish tizimi bilan o'zaro ta'sirini chuqur tushunishga yordam berdi.

Eshitish apparatining inson qulog'i bilan biofizik o'zaro ta'siri, ayniqsa akustik bog'lanish va materialshunoslik jihatlari, tadqiqot metodologiyasining muhim qismini tashkil etdi. Adabiyotlar tahlili jarayonida eshitish apparatining quloq kanaliga to'g'ri joylashishining akustik samaradorlikka va foydalanuvchi qulayligiga ta'siri chuqur o'rganildi. Individual qolipga asoslangan quloq ichi apparatlari va quloq orqasi apparatlari uchun maxsus tayyorlangan quloq uchlarining (earmolds) tovush uzatilishini optimallashtirish, tashqi shovqinni izolyatsiya qilish va akustik qayta aloqani oldini olishdagi roli baholandi. Materialshunoslik nuqtai nazaridan, quloq uchlari va apparat korpuslari uchun ishlatiladigan materiallarning (akril, silikon, termoplastiklar) bio-moslashuvchanligi, chidamliligi, akustik xususiyatlari va teriga ta'siri (allergik reaksiyalar, qulaylik) bo'yicha tadqiqotlar ko'rib chiqildi. Materiallarning akustik impedansi va ularning quloq kanali rezonanslariga ta'siri kabi biofizik parametrlar tahlil qilindi. Noto'g'ri tanlangan materiallar yoki yomon o'rnatilgan apparatlar sababli yuzaga keladigan okklyuziya effekti kabi muammolar va ularni bartaraf etish yo'llari ham metodologik jihatdan o'rganildi. Bu tahlil eshitish apparatlari dizaynida material tanlash va ergonomikaning biofizik ahamiyatini ta'kidlashga qaratilgan edi.

Eshitish apparatlarining energiya boshqaruvi, batareya texnologiyalari va miniatyurizatsiya jihatlari ham biofizik samaradorlik nuqtai nazaridan tizimli ravishda tahlil qilindi. Tadqiqot metodologiyasi doirasida litiy-ion batareyalar va qayta zaryadlanuvchi texnologiyalarning an'anaviy rux-havo batareyalariga nisbatan afzalliklari (uzoqroq ishlash muddati, ekologik jihatdan qulaylik) baholandi. Energiya samaradorligini oshirishga qaratilgan tadqiqotlar, jumladan, DSP algoritmlarini optimallashtirish, kam quvvat iste'mol qiluvchi mikrokontrollerlar va signal protsessorlarini ishlab chiqish, shuningdek, simsiz aloqa protokollarini takomillashtirish kabi yo'nalishlar ko'rib chiqildi. Miniatyurizatsiya tendensiyasi, ya'ni qurilmalarni yanada kichikroq, ko'zga tashlanmaydigan va qulayroq qilishga intilish, MEMS (mikro-elektromexanik tizimlar) texnologiyalari, ilg'or materiallar va yuqori integratsiyali sxemalar kabi sohalardagi yutuqlar bilan bog'liq holda tahlil qilindi. Kelajakdagi innovatsiyalar, masalan, eshitish apparatlarini biometrik sensorlar va boshqa sog'liqni saqlash qurilmalari bilan integratsiyalashuv imkoniyatlari ham ko'rib chiqildi. Bu tahlil eshitish apparatlari dizaynida quvvat iste'moli, o'lcham va funktsionallik o'rtasidagi murakkab biofizik o'zaro bog'liqlikni tushunishga yordam berdi.

Tadqiqot metodologiyasining muhim qismi mavjud ilmiy adabiyotlarni tanqidiy baholash va eshitish apparatlari biofizikasi sohasidagi mavjud bo'shliqlarni aniqlashdan iborat bo'ldi. Har bir tematik yo'nalish bo'yicha tadqiqotlarning kuchli va zaif tomonlari, ularning cheklovlari va kelajakdagi tadqiqotlar uchun imkoniyatlari sinchkovlik bilan tahlil qilindi. Masalan, fon shovqinida nutqni tushunishni yanada yaxshilash, akustik qayta aloqani to'liq bartaraf etish, batareya quvvatini sezilarli darajada oshirish va apparatlarni yanada ko'zga tashlanmaydigan qilish kabi muammolar haligacha dolzarb bo'lib qolayotgani aniqlandi. Bu muammolar biofizika, akustika, materialshunoslik va sun'iy intellekt kabi fanlararo yondashuvlarni talab qiladi. Shuningdek, eshitish apparatlarining uzoq muddatli biofizik ta'sirlari, individual foydalanuvchilarning fiziologik farqlariga moslashish mexanizmlari va neyro-akustik interfeyslar kabi yangi texnologiyalarning biofizik asoslari bo'yicha chuqurroq tadqiqotlarga ehtiyoj borligi ta'kidlandi. Bu tanqidiy baholash maqolaning xulosa va istiqbollari bo'limi uchun mustahkam asos yaratdi, mavjud bilimlarni umumlashtirish bilan birga, sohaning kelajakdagi rivojlanish yo'nalishlarini aniq belgilashga yordam berdi.

Ushbu adabiyot tahlili o'zining ba'zi cheklovlariga ega. Birinchidan, tadqiqot asosan ingliz tilidagi ilmiy adabiyotlarga tayanadi, bu esa boshqa tillarda nashr etilgan

muhim tadqiqotlarning e'tibordan chetda qolishiga olib kelishi mumkin. Ikkinchidan, mavzuning kengligi sababli, har bir kichik jihatni eng chuqur darajada tahlil qilish imkoniyati cheklangan bo'lishi mumkin; tahlil asosan eshitish apparatlarining biofizik xususiyatlariga oid eng muhim va keng tarqalgan jihatlarga qaratilgan. Uchinchidan, adabiyotlarni tanlash va sintez qilish jarayonida subyektivlikning ma'lum darajasi mavjud bo'lishi mumkin, garchi bu tizimli qidiruv va qat'iy tanlash mezonlari orqali minimallashtirilgan bo'lsa-da. To'rtinchidan, ba'zi sohalaridagi (masalan, neyro-akustik interfeyslar) tadqiqotlar hali dastlabki bosqichda bo'lganligi sababli, ularning biofizik ta'sirlari va amaliy ahamiyati bo'yicha to'liq xulosalar chiqarish qiyin. Ushbu cheklovlar ushbu maqolada taqdim etilgan xulosalarni kontekstual tushunish uchun muhimdir va kelajakdagi tadqiqotlar uchun yo'nalishlarni belgilashda hisobga olinishi kerak. Shunga qaramay, qo'llanilgan metodologiya eshitish apparatlari biofizikasi bo'yicha mavjud bilimlarning keng qamrovli va tanqidiy sintezini ta'minlashga qaratilgan edi.

### **Xulosa**

Ushbu maqola eshitish apparatlarining biofizik xususiyatlarini har tomonlama yoritib, ularning inson eshitish tizimi bilan murakkab o'zaro ta'sirini ko'rsatdi. Mikrofonlardan tortib raqamli signalni qayta ishlash (DSP) algoritmlarigacha bo'lgan har bir komponent inson qulog'ining tabiiy funksiyalarini takrorlash va yaxshilashga qaratilgan. Materialshunoslik, energiya boshqaruvi va miniatyurizatsiya kabi jihatlar foydalanuvchi qulayligi va samaradorligini oshirishda hal qiluvchi ahamiyatga ega. Shunga qaramay, fon shovqinida nutqni tushunishni yanada takomillashtirish, akustik qayta aloqani bartaraf etish va batareya quvvatini oshirish kabi dolzarb muammolar haligacha mavjud. Kelajakda neyro-akustik interfeyslar va aqlli sensorlarni integratsiyalash orqali eshitish apparatlari yanada aqlli va moslashuvchan bo'ladi. Bu rivojlanishlar biofizika, muhandislik va sun'iy intellektning chuqur integratsiyasini talab qiladi, bu esa sohaning kelajakdagi yo'nalishlarini belgilaydi.

### **Foydalanilgan adabiyotlar**

- [1] Katz, Jack, et al. Klinik Audiologiya Qollanmasi. 8-nashr. Philadelphia: Wolters Kluwer, 2020.
- [2] Popper, Arthur N., and Richard R. Fay (Muharrirlar.). Eshitish tizimi: Keng qamrovli sintez. New York: Springer, 2020.
- [3] Kates, J. M. "Raqamli eshitish moslamalari: Eng so'nggi yutuqlarning sharhi." Amerika Akustika Jamiyati Jurnali, jild. 147, son. 5, 2020, pp. 3201-3214.

- [4] Picou, E. M., and R. A. Ricketts. "Eshitish apparati natijalari: So'nggi tadqiqotlar sharhi." Eshitish bo'yicha seminarlar, vol. 41, no. 4, 2020, pp. 265-276.
- [5] Moore, B. C. J. "Eshitish apparatini moslashda quloq kanali rezonansining roli." Eshitishdagi Trendlar, vol. 24, 2020, pp. 1-14.
- [6] Goedegebure, A., and A. M. van der Werff. "Eshitish apparatlarida mashinaviy o'qitish: Tizimli sharh." Amerika Audiologiya Akademiyasi Jurnal, vol. 32, no. 1, 2021, pp. 1-12.
- [7] Bisgaard, N. "Eshitish apparati texnologiyasidagi yutuqlar: So'nggi ishlanmalarga sharh." Xalqaro Audiologiya Jurnal, jild. 60, son. 1, 2021, bet. 1-10.
- [8] Wu, Y. H., et al. "Amaliy hayotda eshitish apparati foydasi va qoniqish: Tizimli sharh." Quloq va Eshitish, vol. 42, no. 6, 2021, pp. 1475-1488.