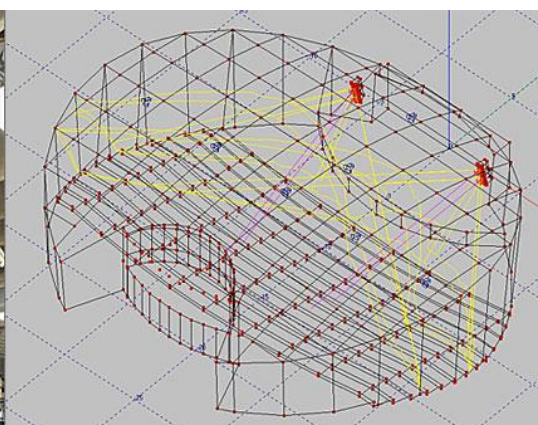


**O‘ZBEKISTON RESPUBLIKASI OLIY VA O‘RTA MAXSUS  
TA‘LIM VAZIRLIGI**

**М.З.Зупаров** | **Т.Г. Рахимов, Б.Н. Рахимов**

# **ELEKTROAKUSTIKA ASOSLARI**



“5A351001- Audiotexnologiyalar” magistrant ta’lim  
yo‘nalishi talabalari uchun o‘quv qo‘llanma

**Toshkent 2018**

**UO‘K:379.3823**

**KBK: 32.8.7**

**M.3.Зупаров, T.G. Raximov, B.N.Raximov.**

Elektroakustika asoslari: O‘quv qo‘llanma. –T.: 2018-242 b.

Ushbu o‘quv qo‘llanmada xonalarda audiosignallarni akustik xarakteristikalarini hisoblash, tovush yutuvchi materiallar va ularning konstruksiyalari, ovoz yozish studiyalari reverberatsiya vaqti chastota tavsifining akustik hisobi, tovush kuchaytirish va ovozlashtirish tizimlariga qo‘yilgan talablar, xona akustikasining statistik nazariyasi, akustik nisbat va ekvivalent reverberatsiya, yopiq inshootlarda audiosignallarni akustik tarqalish usul va qurilmalari, audio ma’lumotlarni kodlash uchun samarali neyro-tarmoq texnologiyalarni tahlil qilish, audio ma’lumotlarni siqishda neyroprotssessor va neyrokompyuterlarni qo‘llashni zamonaviy samaradorligini baholashlar yetarli darajada yoritilgan.

O‘quv qo‘llanma oliy ta’lim muassasalarining “5A351001-Audiotexnologiyalar” magistrant ta’lim yo‘nalishi talabalariga mo‘ljallangan bo‘lib, shuningdek unda Radioeshittirish fanini o‘rganishda ham foydalanishi mumkin.

**UO‘K:379.3823**

**KBK: 32.8.7**

Dotsent **B.N.Raximov**ning umumiy tahriri ostida

**Taqrizchilar:**

**A.Sh.Muxamadiev**- Muhammad al-Xorazmiy nomidagi Toshkent axborot texnologiyalari universiteti “Audiovizual texnologiyalari” kafedراسi mudiri, t.f.n.

**A.Abdugayumov**- Islom Karimov nomidagi Toshkent davlat texnika universiteti professori t.f.d.

### **Annotatsiya**

Ushbu o'quv qo'llanmada xonalarda audiosignallarni akustik xarakteristikalarini hisoblash, tovush yutuvchi materiallar va ularning konstruksiyalari, ovoz yozish studiyalari reverberatsiya vaqti chastota tavsifining akustik hisobi, tovush kuchaytirish va ovozashtirish tizimlariga qo'yilgan talablar, xona akustikasining statistik nazariyasi, akustik nisbat va ekvivalent reverberatsiya, yopiq inshootlarda audiosignallarni akustik tarqalish usul va qurilmalari, audio ma'lumotlarni kodlash uchun samarali neyro-tarmoq texnologiyalarni tahlil qilish, audio ma'lumotlarni siqishda neyroprotssessor va neyrokompyuterlarni qo'llashni zamonaviy samaradorligini baholashlar yetarli darajada yoritilgan.

O'quv qo'llanma oliy ta'lim muassasalarining "5A351001-Audiotexnologiyalar" magistrant ta'lim yo'nalishi talabalariga mo'ljallangan bo'lib, shuningdek unda Radioeshittirish fanini o'rganishda ham foydalanishi mumkin.

### **Annotatsiya**

V uchebnoy posobii privedeny slухovym akusticheskim xarakteristikam zvukopogloщayushix materialov i konstruksiy, studiya zvukozapisi vremeni chastotnogo reverberatsii akusticheskix xarakteristik sistem ucheta, zvukousileniya i rechi trebovaniya, akustika pomesheniya, ekvivalentnykh sootnosheniyam statisticheskoy teorii akusticheskix i reverberatsii, raspredelenie zvukovyx akusticheskoy pomesheniya metody i ustroystva, effektivnyye neyrosetevyye tekhnologii dlya kodirovaniya audiodannykh, audio izvestno effektivnost ispolzovaniya neyroprotssessora i neyrokompyutera pri sjatii.

Uchebnoye posobie prednaznacheno dlya magistrantov vysshix obrazovatelnykh uchrejdeniy, obuchayushixsya po napravleniyu obrazovaniya «5A351001-Audiotexnologii», a takje litsam zainteresovannykh v oblasti radioveshchaniya.

### **SUMMARY**

The training manual shows the acoustical characteristics of sound-absorbing materials and structures, the recording studio of the frequency of the frequency reverberation of the acoustic characteristics of the accounting systems, sound reinforcement and speech requirements, the acoustics of premises equivalent to the statistical acoustic and reverberation relations, the distribution of sound acoustic room methods and devices, effective neural network technologies for encoding audio data, audio is known for the efficiency of using the neuroprocessor and the neur Compressive computer.

The manual is intended for undergraduates of higher educational institutions studying in the direction of education "5A351001- Audio Technologies", as well as to persons interested in broadcasting.



## MUNDARIJA

KIRISH.....	8
1 bob. Fiziologik akustika asoslari.....	12
1.1. Odam eshitish a'zosining tuzilishi.....	12
1.2. Chastota bo'yicha eshitish.....	15
1.3. Eshitish va og'riq bo'sag'asi.....	20
1.4. Tovush jadalligining differensial eshitish bo'sag'asi.....	24
1.5. Tovush balandligi va uning sathi.....	27
1.6. Murakkab tovushlarni eshitish. Niqoblash.....	31
1.7. Eshitishni sezabilishning vaqt tavsiflari.....	33
1.9. Eshitish a'zosining nochiziqli xususiyatlari.....	37
1.10. Binaural effekt.....	37
2 bob. Tovush tebranishlari.....	42
2.1. Tebranishlar haqida tushuncha.....	42
2.2 Ta'riflar.....	43
2.4. Tovush tebranishlari.....	46
2.5. Sinusoidal tebranishlar.....	48
2.6. Tepkili tebranishlar.....	50
2.7. Tebranishlarning to'ldinsimon tarqalishi.....	51
2.8. Tovush tebranishlari energiyasi.....	52
2.9. Tovush tebranishlarining tarqalish tezligi.....	52
2.10. Tovushning qaytishi.....	53
2.11. Tovush to'ldinlarni jamlash va to'ldinlar interferensiyasi.....	54
2.11. Tovush difraksiyasi.....	60
2.12. Murakkab tebranishlar.....	61
2.13. Tovush manbalari va rezonans.....	63
2.14. Turg'un to'ldinlar.....	64
2.15. Yassi to'ldin.....	66
2.16. Sferik to'ldinlar.....	70
3 bob. Tovush signallari.....	75
3.1. Ta'riflar.....	75
3.2. Dinamik diapazon.....	75
3.3. O'rtacha sath.....	77
3.4. Chastota diapazoni va spektrlar.....	78
3.5. Signalning birlamchi parametrlari.....	80
3.6. Ikkilamchi signal.....	81
3.7. Shovqin va xalaqitlar.....	82
3.8. Chiziqli buzilishlar.....	83
3.9. Nochiziqli buzilishlar.....	85
4 bob. Elektromexanik tizimlar va elementlar.....	89
4.1. Elektromexanik o'zgartirish.....	89
4.2. Chiziqli o'zgartirgichlarning umumiy tenglamasi.....	89
4.3. O'zgartirgichning ekvivalent sxemalari.....	92
4.4. Elektromexanik o'xshatishlar usuli.....	92

4.5. Akustik tebranish tizimi.....	95
5 bob. Mikrofonlar .....	100
5.1. Mikrofonlarning klassifikatsiyalari va texnik tavsiflari .....	100
5.2. Mikrofon - elektromexanik o‘zgartirgich.....	109
5.4. Mikrofon - tovush qabul qilgich.....	110
5.4. G‘altakli elektrodinamik mikrofon.....	117
5.5. Tasmali mikrofon.....	123
5.6. Kondensatorli va elektretli mikrofonlar .....	127
5.7. Elektr kombinatsiyalangan mikrofonlar .....	130
5.8. Tovush signallarini qabul qiluvchi o‘tkir yo‘naltirilgan mikrofonlar .....	133
5.9. Radiomikrofonlar.....	136
5.10. Mikrofonli stereofonik tizimlar .....	137
5.11. Mikrofonlarni ishlatish xususiyatlari.....	140
6 bob. Radiokarnaylar .....	150
6.1. Radiokarnaylarning asosiy texnik tavsiflari .....	150
6.2. Nurlatgich turlari.....	152
6.3. Chiziqli guruh nurlatgichlari.....	159
6.4. Diffuzorli radiokarnaylar .....	162
6.5. Elektrodinamik radiokarnaylarda nochiziqli buzilishlar .....	169
6.6. Elektrodinamik radiokarnaylarda chastotaviy buzilishlar .....	171
6.7. To‘g‘ridan-to‘g‘ri nurlatuvchi radiokarnaylarning chastota diapazonini kengaytirish usullari.....	173
6.8. Ruporli radiokarnaylar.....	179
6.9. Kondensatorli radiokarnaylar .....	184
6.10. Akustik tizimlar .....	186
7 bob. Arxitektura akustikasi asoslari .....	190
7.1 Arxitektura akustikasining rivojlanish tarixi .....	190
7.2 Zamonaviy teatr, konsert zallari va studiyalar.....	192
7.3 Xona akustikasining statistik nazariyasi.....	213
7.4 Akustik nisbat va ekvivalent reverberatsiya .....	219
7.6.Radioeshittirish va televidenie studiyalari.....	220
8 bob. Audio signallarga raqamli ishlov berish .....	235
8.1. Ovozli ma’lumotni kanal asosida, kompozitsiyali harmonik so‘lashuvchi va nutq so‘zlovchilarining lineer so‘zlashuvi, afzalliklari, kamchiliklari va ilovalari .....	235
8.2. Nutq signallarini ko‘p impulsli kodlash (MPLPC — Multi-Pulse LPC)...	237
8.3. Audio ma’lumotlarni kodlashda uchun neyrotarmoqli texnologiyalar taxlili. Audioma’lumotlarni siqish uchun neyroprotessor va neyrokompyuterlarning ishlatish samaradorligini zamonaviy baholash.....	240
Adabiyotlar ro‘yxati .....	244



TRET kafedraasi dotsenti **ZUPAROV MAKSUD**  
**ZUPAROVICHning**  
yorqin xotiralariga bag'ishlaymiz

## **KIRISH**

Aziz kitobxon! Qo'lingizdagi "Elektroakustika" o'quv qo'llanma "Elektroakustika va radioeshittirish" fanining birinchi qismi bo'lib, qayta ishlangan va to'ldirilgan ikkinchi nashri, 5A350101 – Audiotexnologiyalar yo'nalishidagi magistrantlar uchun mo'ljallangan.

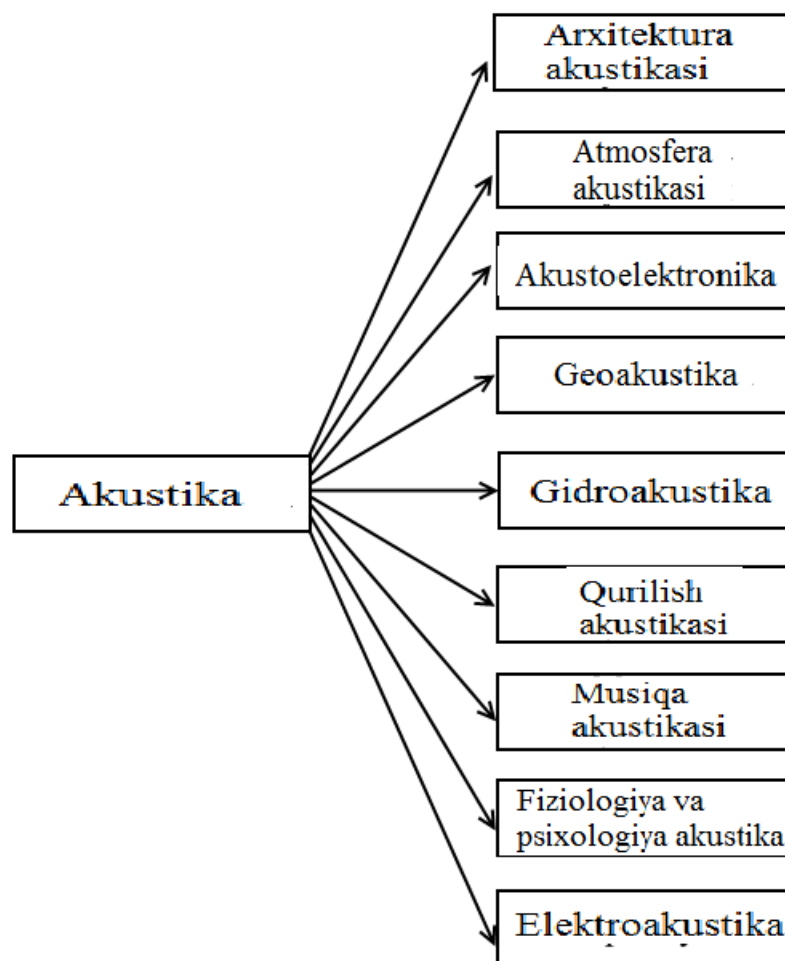
Ma'lumki, har qanday telekommunikatsiya tizimining asosida akustik yoki mexanik energiyani elektr energiyaga, analog yoki raqamli variantda o'zgartirib, yuqori sifatda uzatish masalasi ko'riladi.

Akustika fanining tarkibiy qismlari va qamrab olgan masalalar doira-sini ko'rib chiqamiz.

**Akustika**- yunonchadan ( akuktikos) eshitish, keng ma'noda fizikaning eng past va eng yuqori ( $10^{12} \div 10^{13}$  Gs) chastotalargacha elastik to'lqinlarni tadqi-qot qiladigan, tor ma'noda-tovushni o'rganadigan bo'limi hisoblanadi. Umumiy va nazariy akustika elastik to'lqinlarning turli muhitda nurlanishi va tarqalishini, hamda ularning muhit bilan o'zaro ta'sirini o'rganadi.

Akustika fanini 1-rasmda ko'rsatilgan bo'limlarga ajratish mumkin





**Arxitektura akustikasi** – tovushning xonalarda tarqalishini, to‘siqlarning tovush qaytishi va so‘nishiga ta’sirini o‘rganadi.

**Qurilish akustikasi** – akustikaning alohida bo‘lagi bo‘lib, bino, inshootlarning tovush izolyatsiyasi va shovqindan himoyalash masalalarini o‘rganadi. Qurilish akustikasi arxitektura akustikasidan ajralib chiqqan.

**Atmosfera akustikasi** – tovushni atmosferada tarqalishini, shuningdek atmosferani akustik usullar bilan o‘rganadi.

**Akustoelektronika** – fan va texnikaning qattiq jism akustikasi, yarim o‘tkazgichlar fizikasi va radioelektronika bilan tutashgan bo‘lagi. Elastik to‘lqinlarning yarim o‘tkazgichlarda kuchayishi va generatsiyalanishi, radio signallarni akustik usullar bilan o‘zgartirish va ularga ishlov berish, hamda shularga mos qurilmalarni yaratish masalalari bilan shug‘ullanadi.

**Geoakustika** – yer qobig‘ining tuzilishi va xususiyatlarini o‘rganish maqsadida unda elastik to‘lqinlarning tarqalishini (akustik va seysmik qidiruv) o‘rganadi.

**Gidroakustika** – tovush to‘lqinlarining daryo, dengiz, ko‘l va suv havzalarda - asosan suv osti lokatsiyasi va aloqasi maqsadida tarqalish, qaytish va so‘nish xususiyatlarini o‘rganadi.

**Musiqqa akustikasi** – musiqashunoslik va umumiy akustika bo‘limi, musiqaning ob‘ektiv fizikaviy qonuniyatlarini o‘rganadigan fan. Musiqqa tovushlarining chastota balandligi, davomiyligi, konsonans (musiqqa tovushlarining o‘zaro ohangdoshligi, hamohangligi, uyg‘unligi) va dissonans (har xil unli bilan kelgan, lekin shu unlilardan keyingi tovushlar bir xil bo‘lgan so‘zlarni qofiyalash) hodisalarini, musiqqa tizimlarini, ohangdagi musiqiy tovushlarni farqlash va yodda saqlash qobiliyatini, nisbatlarini, odam va musiqqa asboblari ovozi o‘rganib tadqiqot etadi, fizikaviy akustika uslublari va ma‘lumotlariga tayanadi. Odam ovozi va eshitish a‘zolari fiziologiyasi va psixologiyasi bilan bog‘liq .

**Fiziologik akustika** – odam va hayvonlarning tovush chiqaruvchi va tovush eshituvchi a‘zolarining tuzilishi va funksiyasini o‘rganadi.

**Elektroakustika** – turli o‘zgartirgichlarning nazariyasi, hisoblash uslub-lari va ularni loyihalash masalalari bilan shug‘ullanadi. Elektroakustik o‘zgartirgichlar elektr energiyani akustik energiyaga (elastik tebranishlar energiyasiga) va teskarisiga o‘zgartiradi. Eng ko‘p tarqalgan o‘zgartirgich-larga mikrofon va radiokarnaylar kiradi. Elektroakustika, akustika fanining bir bo‘lagi bo‘lib, radiotexnikaga yaqinroq va akustikaning yuqorida qayd etilgan deyarlik barcha bo‘laklarini o‘z ichiga oladi.

Mazkur o‘quv qo‘llanma kirish, 8 bob va ilovadan iborat. Qo‘llanmaning dastlabki to‘rt bobida fiziologik akustika asoslari, tovush maydoninig umumiy nazariyasi, tovush signallarining xususiyatlari hamda elektroakus-tik o‘zgartirgichlarning turli jihatlari ko‘rib chiqilgan.

Beshinchi va oltinchi boblar elektroakustik o‘zgartirgichlar: mikrofon va radiokarnaylarning texnik tavsiflari, konstruktiv tuzilishi va ishlash prinsiplariga bag‘ishlanadi.

So‘nggi ikki bob o‘zaro bog‘liq bo‘lgan holda arxitektura akustikasi, xona va maydonlarni ovozashtirish va tovush kuchaytirish masalalariga bag‘ishlangan. O‘quv qo‘llanmada bundan tashqari, radioeshittirish studiyasining reverberatsiya vaqti hisobi, zal tovush kuchaytirish va ovozashtirish tizimlarining hisoblari keltirilgan.

Shuni ta'kidlash lozimki, o'quv qo'llanmaning har bir bobi yakunida talabalar o'z bilimlarini tekshirishlari uchun nazorat savollari, grafik, konstruksiya va sxemalardan iborat.

Mualliflar ushbu o'quv adabiyotining yaxshilash yo'lida bildirilgan fikr-mulohaza va takliflari uchun Muhammad al-Xorazmiy nomidagi Toshkent axborot texnologiyalari universiteti «Audiovizual texnologiyalari» kafedrasini mudiri A.Sh.Muxamadiyevga va Islom Karimov nomidagi Toshkent davlat texnika universiteti professori t.f.d. A.Abduqayumovga o'z minnatdorchiliklarini izhor etishadi.

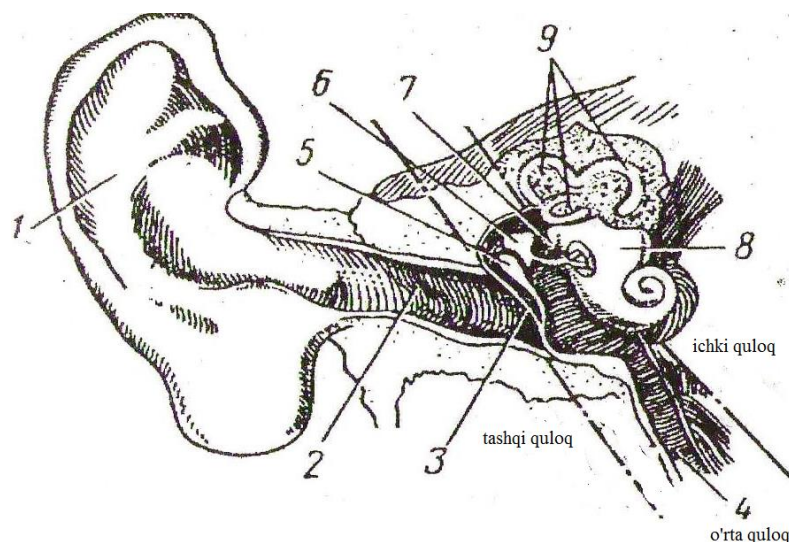
## 1 bob. Fiziologik akustika asoslari

### 1.1. Odam eshitish a'zosining tuzilishi

Keng doiradagi elektroakustik apparatlar: telefonlar, mikrofonlar radiokarnaylar, tovush yozish va qayta eshittirish apparatlariga, shuningdek tovush kuchaytirish traktari apparatlariga, radioeshittirish va televidenie dasturlari tovush jo'rligiga bo'lgan talablar asosan odamning eshitish a'zosi bilan belgilanadi. Bu talablarni aniqlash, odam eshitish a'zosining hamda, ko'zning tuzilishini birgalikda o'rganish «**eksperimental psixologiya**» yoki «**eshitish psixofiziologiyasi**» deb ataluvchi fanlar asosini tashkil etadi. Tekshirishlarning asl mohiyati – odam a'zolarining tovush, yorug'lik va boshqa ta'sir qiluvchilarga nisbatan miqdoriy reaksiya ifodasini topishdan iborat. Faqat eshitish a'zosining miqdoriy tavsiflari bilangina tovush va musiqalarni uzatish uchun radiokarnaylarning chastota diapazonlari, manbalarning tabiiy eshutilishiga mos bo'lgan tovushning shiddatliligi diapazoni (musiqa asboblari ovozlari), nutq xabarlarini va konsert dasturlarini eshitishdagi belgilangan xalaqit beruvchi tovush shiddatliligi va b.q. texnik talablarni ta'riflash mumkin. Bu tavsiflarni bilish nutq tovushining qanday tarkiblari axborot tashuvchi, elektroakustika traktarida uzatilayotgan signalning qanday buzilishi sezilarli va u eshittirishning badiiyliigi yoki aniqligi bilan qanday bog'langanligini tushunish uchun zarur. Nihoyat, odamning eshitish a'zosi o'ta mukammal tuzilgan biologik tizim. Bu tizimning elementlari sun'iy akustik va elektron - akustik aniqlovchi tizimlarni tuzishda foydali bo'lishi mumkin.

Odam eshitish a'zosi axborotlarni o'ziga xos qabul qilgich bo'lib, eshitish tizimining oliy bo'limlari va preferik qismlardan tashkil topgan.

Odam eshitish a'zosining tuzilishi 1.1 rasmda ko'rsatilgan.



1.1-rasm. Odam eshitish a'zosi

Eshitish a'zosi uch qismdan: tashqi, o'rta va ichki quloqdan iborat. Tashqi quloq, quloq chanog'i 1 dan iborat bo'lib, undan quloq pardasi 3 bilan tugovchi eshitish yo'lakchasi kanali 2 ajraladi. Quloq pardasi tovushni eshitish jarayonidagi birinchi zveno hisoblanadi. Quloq pardasi unga yetib kelgan o'zgaruvchan bosimli tovush to'lqinlariga mos holda tebranadi. Atmosfera bosimi pardaning ikki tomonida bir xil bo'lgandagina uning normal tebranishi kuzatiladi: parda tashqi va o'rta quloqning chegarasi bo'lib hisoblanadi. Pardaning ikki tomonida tovush bosimining muvozanatlashuvi o'rta quloqdagi maxsus Yevstaxiev trubkasi 4 deb ataluvchi burun tomoq bilan birlashuvchi kanal hisobiga erishiladi. Bosim muvozanatining buzilishi natijasida quloqda qattiq og'riq paydo bo'ladi. Bunday hissini samolyot qo'nishi vaqtida tashqi atmosfera bosimining uchish vaqtidagi bosimga nisbatan oshishi tufayli hammamiz sezamiz. O'rta quloq uchta katta bo'lmagan suyakchalardan: bolg'acha 5, ichki tog'ay 6 va eshituv suyakcha 7 dan iborat. Suyakchalarning bunday nomlanishi ularning shu narsalarga o'xshashligi tufaylidir. Suyakchalar o'ziga xos richag hosil qilib quloq pardasi tebranishini ichki quloqqa uzatadi. Eshitish suyakchasi ichki quloqning mo'jazgina yassi oval darchasiga biriktirilgan bo'lib, unga quloq pardasi qabul qilayotgan tebranishlarni uzatadi. **Kanal ochilganda quloq pardasining ikki tomonidagi tovush bosimi tenglashadi. Oddiy holda quloq pardasi faqat bir tomondan o'zgaruvchan tovush bosimi ta'sirida bo'ladi.**

Ichki quloq bir necha chakka suyak bo'shliqlardan iborat. Barcha bo'shliqlar ilviriq suyuqlik bilan to'ldirilgan. Ichki quloqda joylashgan

chanoq 8 membranani siypab o‘tuvchi ilviriq suyuqlik bilan to‘ldirilgan. Membranada 22 mingga yaqin nerv tolalari mavjud bo‘lib, bu tolalar tebranishlarini bosh miya qobig‘iga uzatuvchi vazifasini bajaradi. Bosh miyada tovush tebranishlari ongimiz bilan sezuvchi ma’lum tovushga aylanadi.

O‘rta quloqda yarim doira kanallari ko‘rinishidagi vestibulyar apparat 9 joylashgan. Bu yarim doira kanallar eshitish a‘zosi bilan birlashgan bo‘lsa ham tovush eshitish hissiyotiga ega emas, faqat muvozanat a‘zosi vazifasini bajaradi xolos.

Tovush tebranishlari ichki quloqqa quloq pardasini aylanib bosh miya suyaklari orqali ham uzatilishi mumkin. Ma’lumki, asta tebranayotgan kamerton oyoqchalarini tishlab uning tovushini eshitish mumkin. Garanglik dardiga muhtalo bo‘lgan amerikalik ixtirochi **Edison** shunday degan edi: «**Men tishlarim va bosh miya suyagim yordamida eshitaman. Menga, taxta bo‘lakchalariga boshimni tekizishim yetarli, agarda past tovushlarni anglay olmasam, men tishlarim bilan taxta bo‘lakchalarini tishlayman va unda menga hammasi ayon bo‘ladi**».

Fiziologik nuqtai nazardan eshitish a‘zosi mutloq o‘ziga xos, ammo o‘ta sub’ektiv, ya’ni real eshitish jarayoniga mavjud tovushlarning ob’ektiv xususiyatlarini kiritadigan asbobdir. Ayniqsa, so‘z tovush eshitish balandligi, kuchi va tovush tembri haqida borganda.

Eshitish a‘zosining birinchi xususiyati, turli balandlikdagi tovush eshitish chegarasining mavjudligi. Quloq tovush tarzida chastotasi 16 Gs dan 20000 Gs gacha bo‘lgan oraliqdagi mexanik tebranishlarni eshitadi. Chastotasi 16 Gs dan past tebranishlarni biz eshitmaymiz. Bunday tovush tebranishlari **infra tovushlar** deb ataladi 20000 Gs dan yuqori chastotali tebranishlar **ultra tovushlar** deb ataladi. Bunday tebranishlarni ham eshitmaymiz. Infra va ultra tovush tebranishlarini hayvonlar yaxshi eshitadi. Masalan, bir necha gers chastotali yer qimirlashini hayvonlar bezovtalanib qabul qiladilar, bu ularning bunday kichik chastotali tebranishlarni eshitishidan dalolat beradi.

16÷20000 Gs oralig‘idagi tovushlarning eshivilishi bir xil emas. Baland tovush eshivilish hissi uning balandlik chastotasi taxminan 14000 Gs ni tashkil etganda yo‘qoladi. Bundan yuqori chastotali tovushlarni eshitish a‘zosi teng balandlikdagi tovushlardek qabul qiladi. Chastotaning 14000 Gs dan yuqori chegara 20000 Gs tomonga oshishi tovush balandligining pasayayotgandek tuyulishiga olib keladi. Yosh

o'tishi bilan odamning eshitish yuqori chegarasi 12000 Gs gacha pasayib, tovush balandligini sezish ham susayadi.

Chastota tebranishlarining kichik o'zgarishini eshitish a'zosi qanday sezadi? Eshitish a'zosining tovush chastotasi o'zgarishiga bo'lgan sezgirligi **eshitish a'zosining nozikligi** deb ataladi. 1000 Gs li tovush tebranishida chastotaning 3 Gs ga o'zgarishi sezilarli bo'ladi. Bundan chiqdi  $600 \div 4000$  Gs oralig'ida chastotaning 0,3% ga nisbiy o'zgarishi ham sezilarlidir. Past va baland tovushlarda bunday o'zgarishni sezish uchun chastotani kattaroq qiymatga o'zgartirish kerak.

Musiqachilar musiqa tovushi balandligini sezish va uni baholashda ikkita tushunchaga ega bo'lib, **absolyut** va **nisbiy** eshitish qobiliyatga ajratadilar.

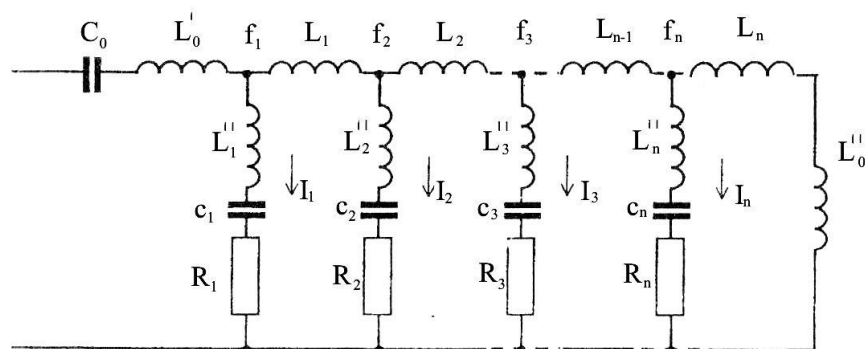
Absolyut eshitish qobiliyati deb, kamdan-kam odamlarda uchraydigan qobiliyat, ya'ni berilgan tovush balandligi va tovush notasini aniqlanishiga aytiladi. Absolyut eshitish qobiliyatiga ega bo'lgan odam istalgan notani boshqa tovush bilan solishtirmasdan qayta eshittirishi mumkin. Bunday absolyut eshitish qobiliyatiga tabiatan kamdan-kam insonlar egadirlar, hattoki ko'pgina kompozitor va ijrochi - musiqachilar ham bunday qobiliyatga ega emaslar.

## 1.2. Chastota bo'yicha eshitish

Yuqorida aytilganidek tovush tebranishi ta'sirida eshitish suyakchasi oval darcha membranasini harakatga keltiradi, u o'z navbatida limfani tebratadi. Limfa asosiy membrana yuzasiga urinma, ya'ni uning tolalariga ko'ndalang tebranadi. Limfaning tebranish chastotasiga mos holda faqat ma'lum tolalargina tebranadi. Gelikotrema yonida past chastotalarda rezonanslanadigan uzun tolalar, chanoq asosida esa yuqori chastotalarda tebranadigan qisqa tolalar joylashgan. Tarkibi murakkab bo'lgan tovush bir necha guruh tolalarini qo'zg'atadi. Shunday qilib, membrana chastota tahlillagichi rolini o'ynaydi.

Har bir tolaning rezonans chastotasi faqatgina tola parametriga bog'liq bo'libgina qolmay, tola bilan birga qo'zg'aluvchi, limfaning massasiga ham bog'liq. Bu massa rezonanslanuvchi toladan oval darchagacha bo'lgan masofa bilan aniqlanadi. Shuning uchun past chastotalardagi tebranishlarda limfaning katta massasi, yuqori chastotalardagi tebranishlarda esa, limfaning kichkina massasi

qatnashadi. 1.2 rasmda eshitish tahlillagichining ekvivalent elektr sxemasi keltirilgan.



1.2-rasm. Chanoqning ekvivalent elektr sxemasi

Bunda,  $S_0$  - oval va dumaloq darcha membranalari ekvivalenti;  $L$  - gelikotrema ekvivalenti;  $L_k$  - limfa massasi ekvivalenti;  $I_k$  - tolalarning tebranish tezligi.

1.2-rasmdan ko‘rinib turibdiki, chanoqning ekvivalent elektr sxemasi polosali filtr sxemasiga o‘xshash. Eshitish a‘zosining chastota diapazoni chegarasi yuqorida ta‘kidlab o‘tganimizdek keng bo‘lib  $16 \div 20000$  Gs ni tashkil etadi.

Bizda eshitish tahlillagichning chastota tanlovchanligi katta qiziqish uyg‘otadi, chunki elektroakustik apparaturalarga bo‘lgan talab bu parametrga ko‘p jihatdan bog‘liq.

Odam eshitish a‘zosining tanlovchanlik xususiyatini qiymatli baholashda, asosiy xususiyati bo‘lmish tovush balandligi tushunchasidan foydalanamiz. Bu xususiyat atrof muhitdagi tovushlarni aynan tenglashtirish va klassifikatsiyalashda katta ahamiyatga ega, eshitish qobiliyatining bunday xususiyati musiqali intonatsiya nuqtai nazari, ya‘ni, ohanglar va garmoniyalar asosida yotadi. ANSI-994 Xalqaro standarti bo‘yicha «**Balandlik (Ritch)**» - bu tovush eshitishning o‘ziga xos xususiyati bo‘lib, unda tovushlarni chastota shkalasi bo‘yicha pastdan yuqoriga joylashtirish mumkin. Tovush balandligi asosan uning rag‘batlantirish chastotasiga, shunindек tovush bosimi va to‘lqin shakliga ham bog‘liq».

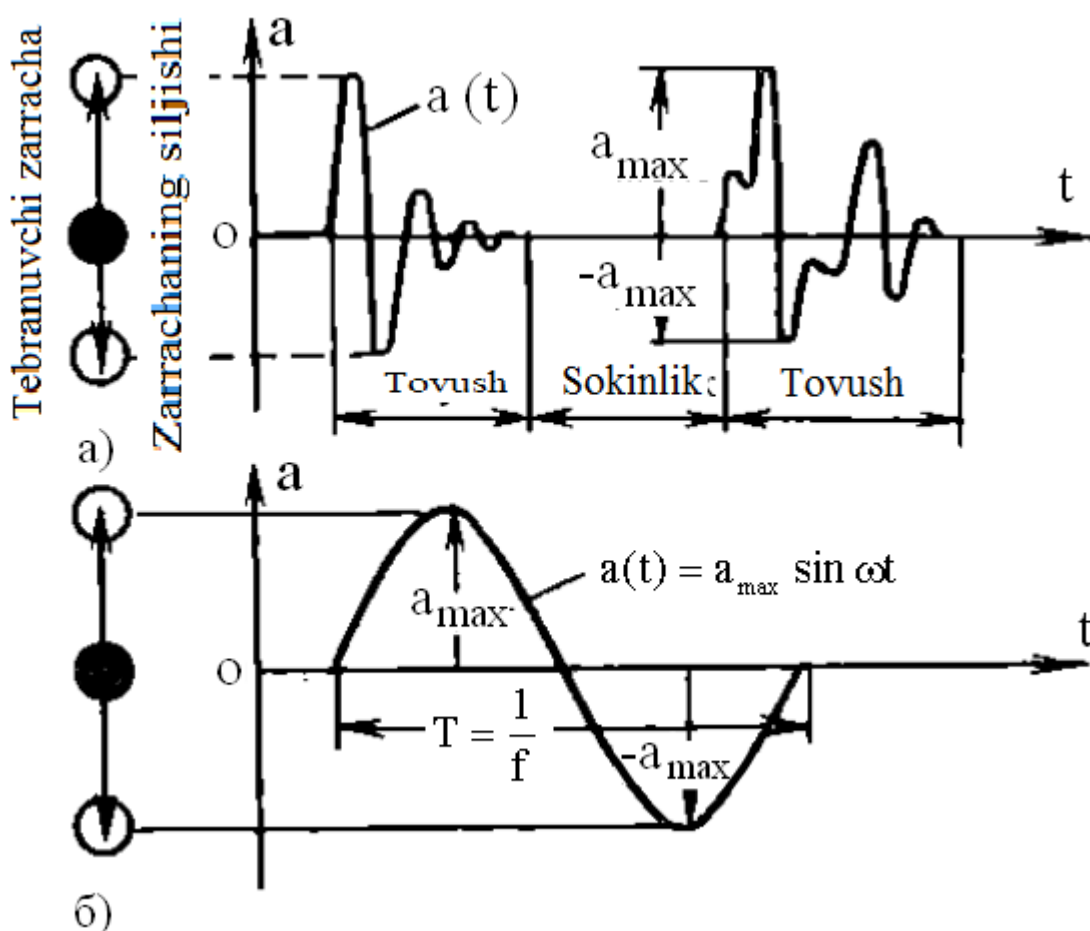
Umumiy holda havo zarrachalarining tovush tebranishi murakkab xarakterga ega. Ularning paydo bo‘lishi va yo‘qolishi vaqt bo‘yicha



rivojlanadi va o'zida qandaydir vaqt funksiyasini  $\alpha(t)$  ifodalaydi (1.3a-rasm)

Oddiy tebranish jarayoni sinusoida ko'rinishida bo'ladi. Uni quyidagi vaqt funksiyasi bilan ifodalash mumkin:  $\alpha(t) = \alpha_{\max} \sin \omega t$ , bunda  $\alpha_{\max}$  – tebranish amplitudasi;  $\omega$  – burchak chastota ( $\omega = 2\pi f$ );  $f$  – tebranish chastotasi. Vaqt bo'yicha tovushning bunday o'zgarishi **ton** deb ataladi.

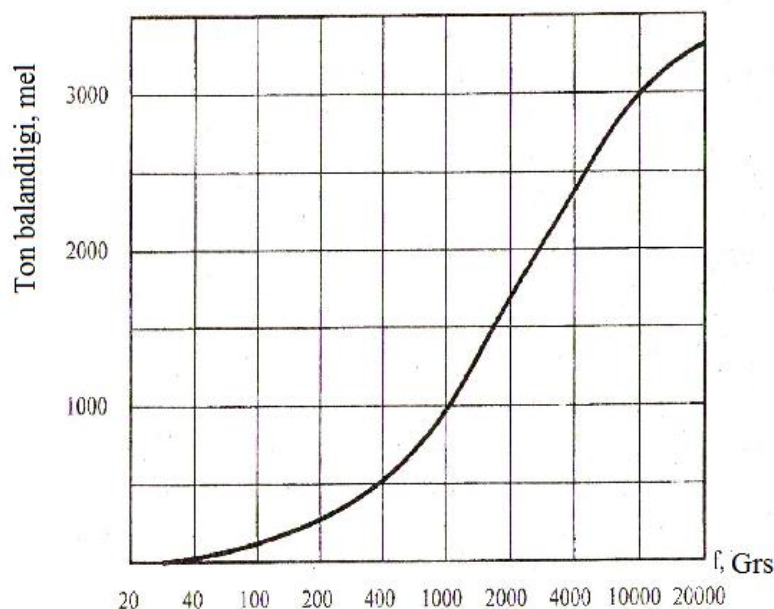
Shunday qilib, ton balandligi tovush signallarining chiziqli klassifikatsiyasi bo'lib, ko'p-kam deb atash mumkin bo'lgan tovush balandligidan farqlanadi, demak bu nisbiy klassifikatsiya.



1.3-rasm. Havo zarrachalarining tebranishi  
 a-murakkab tebranishlar; b-oddiy sinusoidal tebranish

Dastlab shuni ta'kidlash lozimki, eshitish tizimi davriy signallarning tovush balandligini aniqlaydi, shuning uchun signal chastotasi ton balandligini farqlashdagi asosiy parametr bo'lib hisoblanadi. Agarda, murakkab tovush bo'lsa, unda eshitish tizimi tovush balandligini uning asosiy toni orqali aniqlaydi, ya'ni uning spektri garmonikalardan tashkil

topgan bo‘ladi (chastotalari butun son nisbatdagi obertonlar). Agarda bu shart bajarilmasa, unda eshitish a’zosi ton balandligini aniqlay olmaydi. Masalan, tarelkasimon musiqa asboblari, bong va b.q. ma’lum ton balandligiga ega emas. Ton balandligining chastotaga bog‘liqlik grafigi 1.4- rasmda berilgan.



1.4- rasm. Ton balandligining chastotaga bog‘liqligi

Ton balandligining o‘lchov birligi-**mel**. Bir mel 1000 Gs sath bo‘yicha seziladigan tovush balandligining 40 dB teng. Rasmdan ko‘rinib turibdiki, bu bog‘lanish chiziqli emas - masalan, chastota uch marta (1000 dan 3000 Gs gacha), oshganda tovush balandligi faqat ikki martaga (1000 dan 2000 mel gacha) oshadi. Nochiziqli bog‘liqlik past va yuqori chastotalarda yaqqol ko‘zga tashlanadi.

Chastota diapazonining o‘rta qismida ton balandligining melda o‘zgarishi chastota logarifmiga proporsional.

Tovush tinglanganda ton balandligi oraliqlari **intervallar** yoki musiqa intervallari deb ataladi. Eshitish a’zosi uchun qabul qilingan oddiy intervallar quyidagilar:

- unison (ohangdoshlik) – 1:1 (ikkita bir xil chastotali tovush);
- oktava-1:2;
- kvinta-2:3;
- kvarta-3:4;
- katta tersiya – 4:5;
- kichik tersiya – 5:6 yoki 6: 7;

- katta sekunda (ton) – 7:8 yoki 8:9;
- kichik sekunda (yarim ton) -15:16;

Intervallarning musiqaviy xususiyatlari musiqa nazariyasining asosi hisoblanadi.

Texnikada oktava 1:2, yarim oktava  $1:\sqrt{2}$ , uchdan bir oktava  $1:\sqrt[3]{2}$  tushunchalari qo'llaniladi.

Odam eshitishi mumkin bo'lgan tovush tebranishlari chastotasi taxminan sekundiga 16 tebranishdan iborat. Tovushning bundan kichik chastota tebranishlarini biz eshitmaymiz. Bu odam eshitish a'zosining pastki chegarasi. Eshitishning yuqori chegarasi esa sekundiga taxminan 20000 tebranishni tashkil etadi.

Chastotasi sekundiga 16 dan 20000 gacha bo'lgan chastotali tebranishlar tovush deb ataladi. Ammo bundan tebranishlar chastotasi sekin-asta o'zgarib tovush chastotasi chegarasidan chiqqanda tovush butunlay eshitilmaydi degani emas. Chastotaning pastki va yuqori chegaralariga yaqinlashgan sari tovush asta-sekin pasayib, butunlay eshitilmaydi. Har qanday tovush tebranishlarini biz eshitavermaymiz. Energiyasi juda kichik tebranishlarni qabul qilamiz, ammo tovushni eshitmaymiz. Tovush manbai energiyasini sekin-asta oshirsak, qandaydar qiymatga yetganda juda past tovush eshita boshlaymiz.

Bunday holda tovush energiyasi **eshitilish** bo'sag'asiga yetdi deyiladi.

Eshitilish bo'sag'asi barcha odamlar uchun bir xil emas. Ammo eshitish a'zosi sog'lom bo'lgan odamlarda eshitilish bo'sag'asining u yoki bu tomonga o'rtacha og'ishi unchalik katta emas.

Sof ton balandligini sezish faqat chastotaga bog'liq bo'libgina qolmay, tovush jadalligiga va uning davomiyligiga ham bog'liq.

Qisqa tovushlar kuruq chertmadek eshitiladi, ammo tovush uzaytirilgan sari chertma ton balandligi hissini bera boshlaydi, Chertmadan tonga o'tish vaqti chastotaga bog'liq: past chastotalarda ton balandligini aniqlash uchun impuls davomiyligi taxminan 60 ms: 1 kGs dan 2 kGs gacha bo'lgan chastotalarda 15 ms ni tashkil etadi. Murakkab tovushlar uchun bu vaqt ortib boradi, nutq tovushlari uchun esa, bu ko'rsatgich 20-30 ms ga teng.

Ta'kidlash zarurki, eshitish a'zosining keltirilgan yuqori chastota tanlovchanlik ma'lumotlari sof tonlarni qabul etish hollariga mos. Haqiqatda esa, sof tonlar juda kam uchraydi. Shuning uchun murakkab tovushlar ta'sir etganda inson butun chastota diapazonida 250 ga yaqin

gradatsiyani aniqlay oladi, bu gradatsiyalar tovush jadalligi kamayishi bilan qisqarib, 150 ga yaqinlashadi. Shunday qilib, qo'shni gradatsiyalar o'rtacha bir-biridan chastota bo'yicha 4% ga farq qiladi. Shuning uchun sekundiga 24 kadrli kino-filmlarni televideniya sekundiga 25 kadr bilan namoyish etish mumkin. Bu holda absolyut eshitish qobiliyatiga ega bo'lgan musiqachilar ham ovozdagi farqni anglay olmaydilar, chunki, tebranishlar chastotasi farqi 4% dan oshmaydi. Bu farq sekundiga ikkita kadrni tashkil etsagina ovozdagi farqni anglay oladilar.

Keng polosali spektrga ega bo'lgan tovushlar, masalan shovqinlar eshitish a'zosi asosiy membranasining barcha tolalarini qo'zg'atadi. Eshitish a'zosining kuchsiz tanlovchanligi hisobiga eshitishning har bir kritik polosasida spektr integratsiyalanadi, eshitish a'zosi uzluksiz spektrni diskretlaydi, ya'ni u shovqin chastota spektriga teng kritik polosalar soniga aylantiradi.

Eshiladigan chastota diapazoni bo'yicha tovushni sub'ektiv baholash uchun **tovush balandligi** tushunchasi kiritilgan. Eshitishning kritik polosa kengligi o'rta va yuqori chastotalarda taxminan chastotaga proporsional bo'lganligi uchun, eshitishning chastota bo'yicha sub'ektiv masshtabi logarifmik qonunga yaqinroq. Shuning uchun tovush balandligining ob'ektiv birligi sifatida sub'ektiv eshitishni taxminiy aks ettiradigan chastotalarning ikki karralik nisbati - **oktava** qabul qilingan (1; 2; 4; 8; 16 va h.k). Oktavalarni bo'laklarga bo'ladilar: yarim oktava, uchdan bir oktava. Uchdan bir oktava uchun ularning quyidagi chegara chastotalari standartlashtirilgan: 1; 1,25; 1,6; 2; 2,5; 3,15; 4; 5; 6,3; 8; 10. Agarda, bu chastotalarni chastota o'qida bir-biridan bir xil masofada joylashtirilsa, logarifmik masshtab hosil bo'ladi. Shulardan kelib chiqqan holda, barcha o'lchovlarni sub'ektiv masshtabga yaqinlashtirish maqsadida, tovush uzatish qurilmalarining chastota tavsiflari logarifmik masshtabda chiziladi. Tovushlarni chastota bo'yicha eshitish hissiga mos bo'lishi maqsadida, eshitish tavsiflari uchun alohida sub'ektiv-1000 Gs chastotagacha deyarli chiziqli masshtab va undan yuqori chastotalar uchun logarifmik masshtab qabul qilingan. Tovush balandligining o'lchov birligi sifatida «mel» va «bark» (100 mel = 1 bark) qabul qilingan. Umumiy holda murakkab tovush balandligini aniq hisoblab bo'lmaydi.

### 1.3. Eshitish va og'riq bo'sag'asi

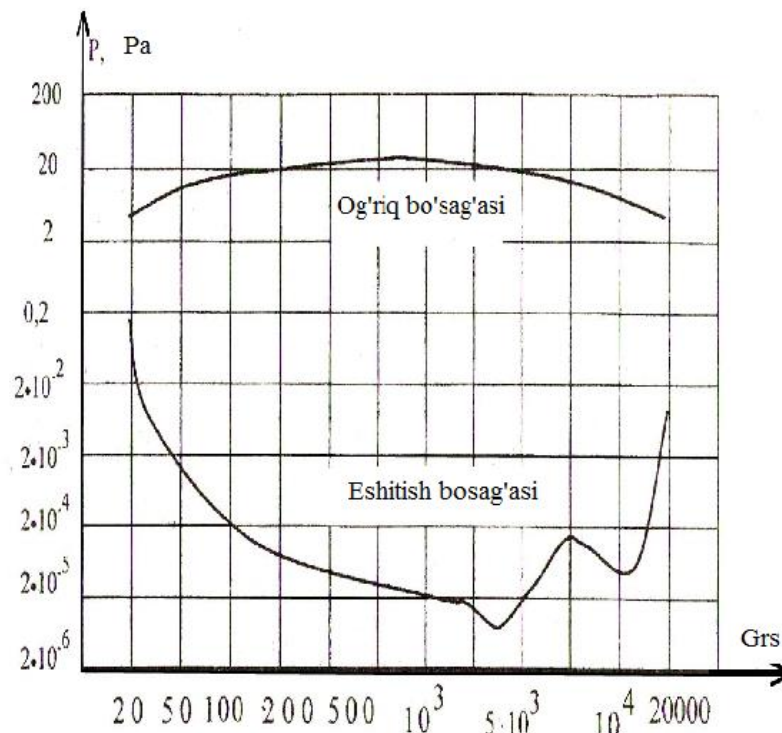
Agarda asosiy membraning tolasi tebranayotganida yonidagi tukli katakchaga tegmasa, unda odam tovushni eshitmaydi. Tolaning tebranish amplitudasi oshganda yonidagi tukli katakchaga tekkan zahoti nerv tolalari qo'zg'alib bosh miya eshitish markaziga elektr impulslarini yuboradi, natijada, tovush eshitaladi.

Mutloq tinchlikda 1000 Gs chastotali tovush eshitalishi uchun odam qulog'i yaqinidagi bosim amplitudasi  $2,84 \cdot 10^{-5} \text{ N/m}^2$  (effektiv qiymati  $2 \cdot 10^{-5} \text{ N/m}^2$ ) bo'lishi kerak. Bu qiymat atmosfera bosimining  $2 \cdot 10^{-5}$  ni tashkil etadi. Bu holda, yassi to'lqin jadalligi  $10^{-12} \text{ Vt/m}^2$  ga teng. Shunisi qiziqki, havo zarrachalarining siljish amplitudasi molekula radiusining o'ndan bir bo'lagidan kam. Quloq pardasiga ta'sir qilayotgan fluktuatsiyalarning tasodifiy issiqlik molekular harakati bilan bog'liq bo'lgan bosim kuchining o'zgarishi, mutloq tinchlikdagi tovush bosimidan bor - yo'g'i 5÷10 marta kichik. Xalaqit beruvchi shovqin va boshqa tovushlar yo'qligida bazo'r eshitaladigan tovush bosimi qiymati, **bo'sag'a qiymati**, yoki bazo'r eshilib eshitilmas qiymati **eshitilish bo'sag'asi** deb ataladi. Tadqiqotchilar eshitilish bo'sag'asini aniqlash ustida talaygina ishlar olib bordilar. Natijada, shu narsa aniqlandiki, eshitilish bo'sag'asi turli odamlarda turlicha. Bu farqning o'zgarishi bir xil yoshdagi eshitish a'zosi sog'lom odamlar uchun tasodifiydir. Odam eshitish bo'sag'asi bir vaqtning o'zida, eshitish sharoiti, charchoqligi, hayajonlanishi hisobiga ham o'zgarishi mumkin. Shuning uchun ishonchli eshitilish bo'sag'asi haqidagi ma'lumotlarni faqat statistik, ya'ni ma'lum sharoitlarda ko'pchilik odamlarda o'lchash bilan aniqlash mumkin.

Bunday statistik tadqiqotlar AQSh da (1938—1939 y.y), Angliyada (1956—1957 y.y), sobiq SSSR da (1958 y) olib borilgan. Xalqaro kelishuvga asosan eshitish bo'sag'asining standarti sifatida 1.5-rasmda keltirilgan sof sinusoidal signalning chastotaga bog'liqlik egri chizig'i qabul qilingan.

Tekshirishlar 18 yoshdan 23 yoshgacha bo'lgan eshitish a'zosi sog'lom odamlar bilan olib borilgan.

1.5-rasmdan ko'rinib turibdiki, eshitish bo'sag'asi chastotaga bog'liq. Tovushlar 2000 Gs ÷ 4000 Gs gacha bo'lgan diapazonda tovush bosimi  $2 \cdot 10^{-5} \text{ Pa}$  va undan kam bo'lgan qiymatlarda seziladi. Shu bilan birga past va yuqori chastotalarda eshitish bo'sag'asi sezilarli oshadi.

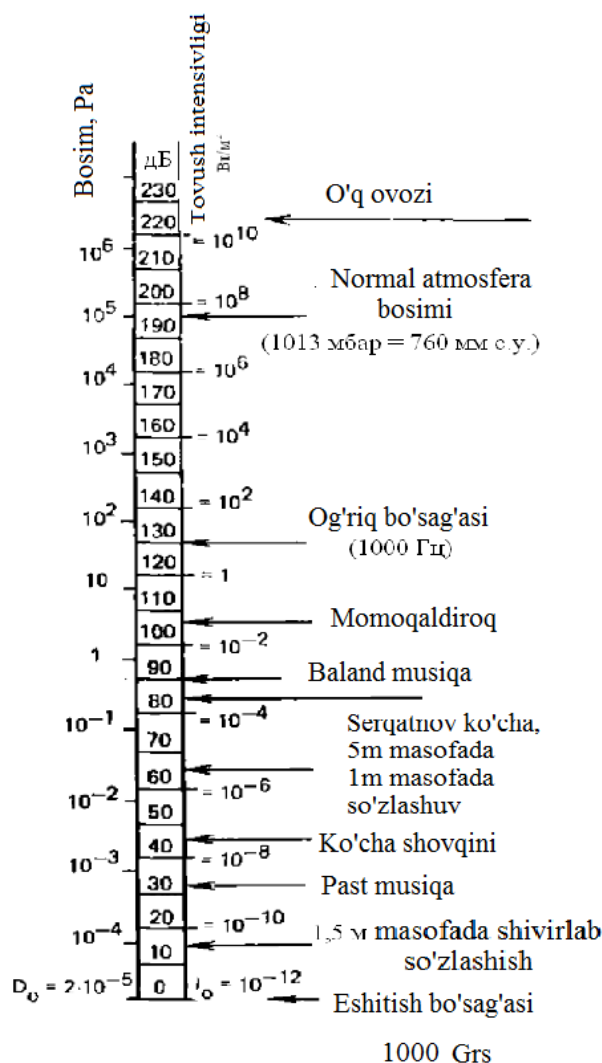


1.5-rasm. Odam eshitish va og'riq bo'sag'alari egri chizig'i

Biz tovush jadalligini 20.000 Gs dan yuqorisiga qanchalik oshirmaylik tovush hissiyoti paydo bo'lmaydi, bu ko'pchilik odamlar uchun eshitish chegarasidan yuqori. Xuddi shunday holat tovush chastotalari  $16 \div 20$  Gs dan past bo'lganda ham kuzatiladi.

Agarda, eshitilayotgan tovush chastotasini sekin - asta oshira borsak, tovush balandligi oshayotgandek tuyuladi. Tovush bosimining keyingi qiymatida quloqda og'riq sezila boshlanadi. Og'riq sezila boshlangan tovush bosimi, **og'riq sezish bo'sag'asi** deb ataladi. Og'riq sezish bo'sag'asining chastotaga bog'liqlik egri chizig'i, eshitilish bo'sag'asi egri chizig'iga nisbatan, bir muncha tekisroq.

Ayrim o'quv qo'llanma va so'rovnomalarda eshitish bo'sag'asi absolyut va chastotaga bog'liqlikning turli qiymatlari berilgan. Bu farq eshitish bo'sag'asini o'lchashnint turli usullaridan foydalanganligi natijasidir. Masalan, o'lchashlar bir quloq bilan yoki ikki quloq bilan eshitish uchun olib borilgan bo'lishi mumkin. Undan tashqari shunday eshitish bo'sag'alari mavjudki, ayrimlari quloq chanog'i yonginasida (telefon) aniqlanadi, boshqalari esa, tovush to'lqinlari frontal tushib xonadagi to'siqlardan bir necha bor qaytishi natijasida aniqlanadi.



1.6-rasm. Turli tovush bosimining absolyut qiymatlari, sathlari va intensivligi shkalasi

Tovush eshitishning yuqori chegarasi (katta sathlar tomonidan) chastota o'zgarishiga kamroq bog'liq, eshitish bo'sag'asining katta sathli qiymatlari 1.1 jadvalda keltirilgan. Yuqori va past eshitish bo'sag'alarini solishtirib aytish mumkinki, o'rta chastotalarda normal eshitish dinamik diapazoni 120÷130 dB tashkil etadi.

1.1-jadval

Ovoz eshiti bo'sag'alari	Sof tonlar	Uzluksiz spektrli shovqinlar
	$P_{\text{eff}} = 2 \cdot 10^{-5}$ Pa nisbatan dB larda	
Yoqimsiz ovoz sezish bo'sag'asi	90	110
Sezish bo'sag'asi	112	132

Og'riq bo'sag'asi	120	140
-------------------	-----	-----

Turli tovush bosimining o'rtacha qiymati 1.6-rasmda keltirilgan

#### 1.4. Tovush jadalligining differensial eshitish bo'sag'asi

Tovush jadalligi membrana tolasining tebranish amplitudasi yana bir tolaga tegmaguncha oshirilganda eshitish bo'sag'asi o'zgarmas qoladi. Bir tola tebranib keyingi tolaga tekkan zahoti, eshitish bo'sag'asi sakrab oshadi. Tovush jadalligi oshgan sari asosiy membrananing qo'zg'alish zonasi kengaya boradi va qo'shni tolalar ham tebrana boshlaydi, natijada ular ham nerv katakchalarini birin - ketin qo'zg'atadi. Ularning har biri eshitish markaziga impuls yuboradi. Eshitish bo'sag'asi qo'zg'algan tolalar (katakchalar) soni oshgan sari sakrab osha boradi. Eshitishning bunday sakrashli o'zgarishi **jadallikni ajratish bo'sag'asi** deb ataladi. Bunday sakrashlar soni o'rta chastotalarda 250 dan oshmaydi, past va yuqori chastotalarda ularning soni kamaya boradi va chastota diapazonida 150 ga yaqindir. Nihoyat tovush jadalligi yana ham oshirilganda og'riq sezila boshlanadi - **og'riq bo'sag'asi** (og'riq sezish bo'sag'asi) boshlanadi. Og'riq bo'sag'asi juda katta jadallikda paydo bo'ladi. Og'riq bo'sag'asining eng katta qiymati 800 Gs kuzatiladi ( $1 \text{ Vt/m}^2$  yaqin). Past va yuqori chastotalar tomon bu qiymat sekin-asta pasaya boradi. Shunday qilib, tovush faqat chastota bo'yicha emas, balki amplituda bo'yicha ham alohida (diskret) eshitiladi. Chastota va amplituda bo'yicha tovush diskretligini inobatga olib butun eshitish bo'sag'asida 22000 yaqin elementar gradatsiyalarni aniqlash mumkin. Bu ko'rsatkich nerv tolalarining soniga taxminan tengdir. Ikkita bir xil chastotali tovush jadalligining minimal ajratilish farqi tovush jadalligining **differensial eshitish bo'sag'asi** deb ataladi.

Ammo, tovush bosimi yoki tovush energiyasi ko'rinishidagi tovush kuchi, tovush balandligini sezish yoki **sub'ektiv tovush kuchi** deb ataluvchi o'lchov birligi bo'la olmaydi.

Tovush balandligini tovush kuchining sub'ektiv o'lchami sifatida qanday baholash mumkin? Bunga 1846 yilda Veber ifodalagan psixofizik qonun asos bo'laoladi, unga ko'ra minimal eshitilayotgan **ayrim rag'batlantiruvchi tovush jadalligi minimal oshuvchi qiymatini uning dastlabki qiymatiga nisbati o'zgarmasdir**. Tovush



kuchini (tovush rag'batlantiruvchisi)  $J$  orqali belgilab, Veber qonunini quyidagi ko'rinishida yozamiz

$$\frac{\Delta J}{J} = \text{const} \quad (1.1)$$

bu yerda,  $\Delta J$  - jadallikning o'sishi, uni tovush jadalligi  $J$  ga qo'shganda  $J$  va  $J + \Delta J$  o'rtasidagi tovushlar balandligi aniq bo'lsin.

$\frac{\Delta J}{J}$  nisbat taxminan 10% tashkil etadi. Yana bir bor ta'kidlab o'tamiz, bu nisbat asab tizimlari xususiyatlari bilan bog'liq bo'lib, u faqat tovush ta'sirida namoyon bo'lib qolmasdan balki ko'rish, sezish va b.q. ham namoyon bo'ladi, shuning uchun ham umumiy fiziologik qonun nomini olgan. Keyinchalik Veber nazariyasini 1860 yilda Fexner rivojlantirdi. Fexner  $\Delta J$  o'sishni cheksiz kichik  $dJ$  deb olib, uni sezish hissining kichik o'sishi  $dE$  ga proporsional deb hisobladi.

Bu holda

$$A \frac{dJ}{J} = dE \quad (1.2)$$

bunda,  $dJ$ - jadallikning o'sishi;  $dE$  - mos holda «sezish hissining cheksiz kichik o'sishi»,  $A$ -sezish hissining o'lchov birligiga bog'liq bo'lgan o'zgarmas kattalik.

(1.2) formulani integrallab quyidagi ifodani olamiz:

$$E = A \ln J + C \quad (1.3)$$

Bunda,  $S$ - integrallash doimiysi. Eshitish bo'sag'asida  $Y_e = 0$  va  $J = J_0$  deb hisoblab  $S$  ni topamiz

$$C = - A \ln J_0 \quad (1.4)$$

va mashhur **Veber - Fexner** nomi bilan ataluvchi logarifmik qonun formulasini hosil qilamiz, unga ko'ra bir xil nisbiy o'zgaruvchi qo'zg'otuvchi kuch bir xil absolyut o'zgaruvchi eshitish hissiyatini uyg'otadi, ya'ni eshitish hissini ( $Y_e$ ) qo'zg'atish logarifmiga proporsional

$$E = A \ln \frac{J}{J_0} \quad (1.5)$$

Eshitish hissini baholash uchun «**bel**» ( $a=1$ ) deb nomlangan o'lchov birligi qabul qilingan. Bu o'lcham jadallikning o'n karrali nisbatiga teng, shuning uchun undan kichikroq o'lchov birligi - desibel (dB), 0,1 bel kiritilgan. (1.5) formulani o'nlik logarifmda ifodalaymiz

$$E = 10 \lg \frac{J}{J_0} \quad (1.6)$$

Bu formula, tovushni his etish sathi o'lchamini beradi. Tovush eshitish hissi o'lchamini baholashda desibel shkalasini qo'llashning yana bir qulayligi shundaki, sezishning minimal o'sishi taxminan 0,5 dB ga teng. Eshitishning logarifmik qonuni va eshitiluvchi tovushlar jadalligining diapazoni keng bo'lganligi sababli ob'ektiv baholash maqsadida **jadallik** sathi tushunchasi kiritilgan

$$L_1 = 10 \lg \frac{I}{I_0} \quad (1.7)$$

bunda,  $I_0$ -nolinchi jadallik, bu jadallik  $I_0=10^{-12}$  Vt/m<sup>2</sup> yoki  $10^{-12}$  R<sub>0</sub><sup>2</sup>/400, ya'ni  $I_0=2 \cdot 10^{-5}$  Pa teng. Demak, jadallikning og'riq sathi taxminan 120 dB teng.

Tovush jadalligi va tovush bosimining kvadrat nisbatiga asosan

$$L_p = 20 \lg \frac{p}{p_0} = 10 \lg \left( \frac{p}{p_0} \right)^2 \quad p_0 = 1 \text{ mBT} \quad (1.8)$$

bunda,  $I_0$  -nolinchi sathdagi tovush bosimi,  $R_0=2 \cdot 10^{-5}$  Pa yoki  $R_0=r_a \cdot \rho \cdot s=400$  kg/sm<sup>2</sup> teng;  $r_a = \rho \cdot s$  - to'lqinning akustik qarshiligi.  $R_0=2 \cdot 10^{-5}$  N/m<sup>2</sup> odam qulog'ining 1000 Gs chastotadagi standart eshitish bo'sag'asi deb hisoblab quyidagi ifodani olamiz:

$$L_p = 20 \lg p + 94, \text{ dB.} \quad (1.9)$$

Tovush jadalligi sathi qiymati quyidagicha aniqlanadi:

$$L = 10 \lg I + 120, \text{ dB} \quad (1.10)$$

(1.9 yoki 1.10) formulalari orqali aniqlanadigan sath, desibellarda ifodalangan tovush bosimi sathi deb ataladi.

**Energiya zichligi** tovush jadalligiga to'g'ri proporsional, shuning uchun uning sathi.

$$L_\varepsilon = 10 \lg \frac{\varepsilon}{\varepsilon_0} \quad (1.11)$$

bunda,  $\varepsilon_0 = 3 \cdot 10^{-15}$  Dj/m<sup>3</sup>, energiya zichligi.

Sath tushunchasi faqat akustikadagina emas, balki elektrotexnikada ham qo'llaniladi. Elektr sath

$$N = 20 \lg \frac{U}{U_0} \quad (1.12)$$

Elektr qiymatlarining nolinchi sathi quyidagicha olinadi.

$U_0$  - kuchlanishda  $K=600$  Om qarshilikda ajralayotgan quvvat 1 mVt teng bo'lishi kerak. Bundan osongina  $U_0 = 0,775$  V va  $I_0=1,29$  mA qiymatlarni topamiz. Bu ma'lumotlar telefoniyaning olingan.

Telefoniya da ko'p yillar logarifmik shkala - **neper** qo'llanib kelgan. Bir neper kuchlanishlar nisbatining 2,718 teng bo'lib, asosi natural logarifm. Shunday qilib, agarda  $U/U_0 = ye$ , undan  $L_{\text{Hn}} = \ln \frac{U}{U_0} = 1\text{Hn}$ ,  $1 \text{ Np} = 8,68 \text{ dB}$ ,  $1 \text{ dB} = 0,115 \text{ Np}$ .

### 1.5. Tovush balandligi va uning sathi

Tovush balandligini his etish o'lchamini birinchi bo'lib G.Barkgauzen kiritgan. Keyinchalik uning taklifi xalqaro ko'lamda qabul qilindi. Shunga binoan, **tovush balandligi** sathi kattalik o'lchami sifatida kiritildi.

Tovush balandligi sathining etaloni sifatida 1000 Gs chastotali sof ton jadalligi olingan. Tovush balandligining o'lchov birligi **fon** deb ataladi. Fonlarda o'lchangan 1000 Gs chastotadagi tovush balandligi sathi uning desibellardagi jadalligi sathiga teng. Qandaydir tovushning balandlik sathini aniqlash uchun 1000 Gs chastotali sof ton olib uning balandligini aniqlanayotgan tovush balandligi bilan barobar bo'lguncha o'zgartirish yetarli, bunda etalon ton jadalligi son jihatdan aniqlanayotgan tovush balandligi sathiga teng bo'ladi.

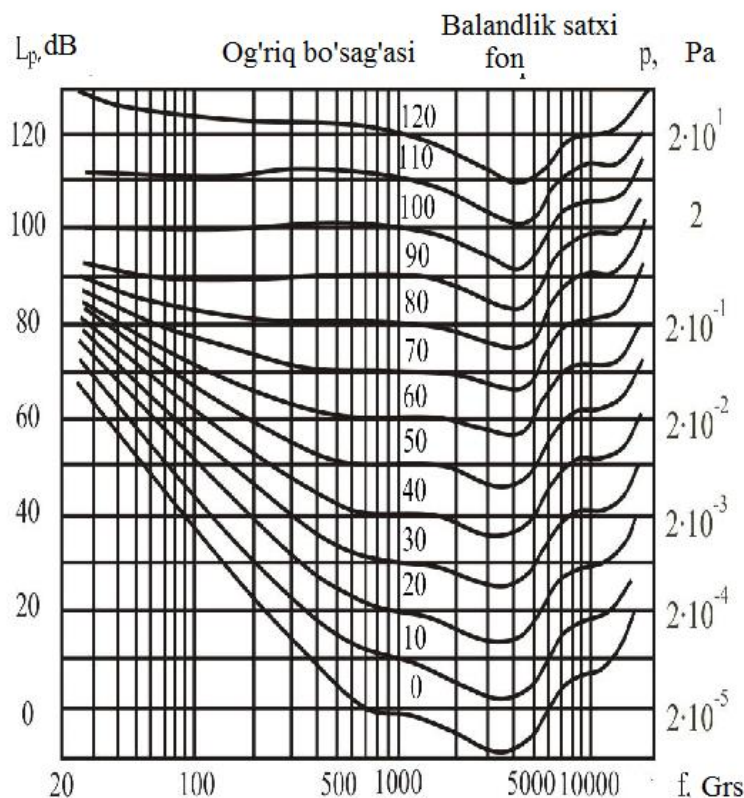
Sub'ektiv statistik usul bilan teng balandlikdagi sof tonlar jadalligining chastotaga bog'liqligi egri chizig'i aniqlangan. Bu egri chiziqlar tovushning **teng balandlik egri chiziqlari** deb ataladi 1.7 - rasm.

Rasmdan ko'rinib turibdiki, tovush balandligi oshgan sari teng balandlik egri chiziqlari birozgina tekislanadi.

Masalan, nolinch sathli tovush balandligi uchun (eshitish bo'sag'asida) 100 Gs chastotali ton jadalligi 38 dB teng, 500 Gs chastotali ton esa 7 dB teng. 80 fonga teng bo'lgan tovush balandligini olish uchun (1.7 - rasm 80 dB egri chiziq), shu tonlar-ning jadallik sathiga mos holda 83 va 80 dB teng bo'lishi kerak, ya'ni ikkala ton amalda bir xil jadallik sathiga ega bo'lsa, tovush balandligi ham teng bo'ladi. Demak, yuqori chastotalarda tovush balandligining chastota tavsifi bir muncha tekis bo'lib, fizik va sub'ektiv tavsiflar bir biriga yaqin. Bu holat ikkita amaliy tavsiyaga olib keldi.

Faraz qilaylik, tovush 80 fonga teng bo'lgan sathda tinglanayapti, biz tembr boshqargichini o'zimizga optimal bo'lgan eshitish holatiga o'rnatganmiz. Endi kuchaytirgichni 30 dB pasaytiramiz, tovush

yangrashi jadalligi ham 30 dB ga pasayadi. Buning natijasida 1000 Gs chastota yaqinida joylashgan chastota tarkiblari 50 fonga teng balandlik sathiga ega bo'ladi, 100 Gs chastota yaqinida joylashgan chastota tarkiblari balandligi sathi esa, 22 fongacha pasayib ketadi, ya'ni ular o'rta chastota tovushlaridan pastroq yangraydi.



1.7- rasm. Tovushning teng balandlik egri chiziqlari

Past chastotalarning yangrash balandligi o'rta chastotalarnikidek qolishi uchun tovush uzatish traktining past chastotalardagi sezgirligi chastota tavsifini korreksiyalash kerak (100 Gs da 17÷20 dB ga ko'tarish kerak). Radio qabulqilgichlarda kuchaytirish koeffitsienti kamaysa past chastotalarda ularning kuchayishi avtomatik ravishda korreksiyalanadi.

Yuqori sathli shovqin balandligini o'lchaganda shovqin o'lchovchi asbob (shumomer)ning sezgirligi chastotaga bog'liq bo'lmasligi kerak, bu tovush balandligini sub'ektiv eshitishga mos keladi. Past chastota tovush balandligini o'lchaganda esa, shovqin o'lchagichning ko'rsatkichi eshitish a'zoimizning past chastotalardagi sezgirligi o'rta chastotalardagi sezgirligiga nisbatan pastroqligi inobatga olingandagina sub'ektiv bo'lishi mumkin. Shuning uchun shovqin o'lchagichlarda tovush balandligini past chastotalarda o'lchaganda kuchaytirish koeffitsienti pasaytirilib korreksiya kiritiladi. Masalan, 30 fonlik tovush

balandligi o'lganayapti, bunda 100 Gs chastotada 1000 Gs chastotadagiga nisbatan tovush balandligi sathining pasayishi taxminan 30 dB bo'lishi kerak (1.7 - rasm 30 dB egri chiziq). Shovqin o'lgagichda past chastotalarni o'lgashni uchta A, V va S rejimda uzibulovchi korreksiyalash qurilmasi yordamida amalga oshirish mumkin. Shovqin o'lgagichning struktura sxemasi 1.8 - rasmda keltirilgan.



1.8 - rasm. Shovqin o'lgagichning struktura sxemasi

Bunda: M- o'lgagich mikrofon, MK- mikrofon kuchaytirgichi, KQ- korreksiyalovchi qurilma, D-detektor, KA-ko'rsatuvchi asbob.

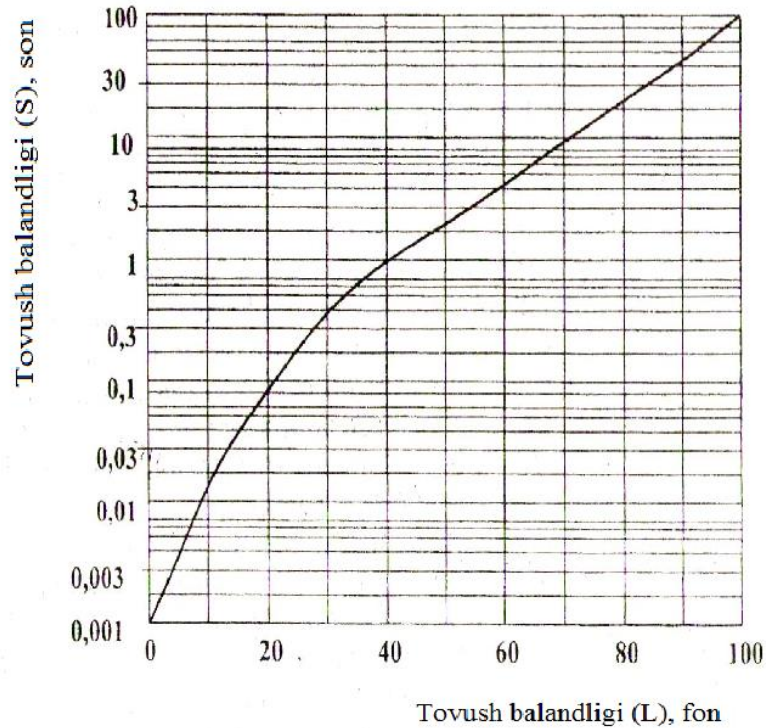
Shuni ta'kidlash lozimki shovqin o'lgagichning oddiy o'lgov asboblardan farqi shundaki, uning tarkibida past chastotalarni korreksiyalovchi blok bo'lib, uning chastota tavsifi odam eshitish a'zosi tavsifiga (1.7- rasm) mosroq. Boshqacha qilib aytganda, korreksiyalovchi blok "sun'iy quloq" vazifasini bajaradi. Unda tovush sathlarini A = 40 dB gacha, V = 70 dB gacha va S = 80 dB undan yuqori sathlarni o'lgash uchun belgilangan. Bunday o'lgangan tovush balandligi sathlari sub'ektiv aniqlangandagi tovush balandligi sathlariga mosroq keladi.

Tovush balandligi sathi tovushni sub'ektiv eshitishni xarakterlasa ham haqiqiy sub'ektiv eshitish masshtabiga mos emas. Masalan, tovush balandligini 40 fondan yuqori diapazonda 10 fonga oshirish, tovush balandligi sub'ektiv sezgirligini ikki barobar oshishiga teng. Fon, tovush balandligining o'lgov birligi sifatida noqulayligi shundaki masalan, ikkita har xil chastotali sinusoidal signallarning tovush balandligini bilgan holda ularni oddiygina qo'shib ikki tonalli signalning tovush balandligini aniqlash mumkin emas. Shuning uchun tovush balandligi S o'lgov birligi sifatida - **son** kiritilgan. S=1 son 1000 Gs chastotada qiymati 40 dB bo'lgan sinusoidal tovush bosimiga mos keladi.

1.9. rasmda tovush balandligining fon va son o'lgov birligidagi sof tonlarning solishtirma egri chizig'i keltirilgan. Fon va dB larda o'lgangan tovush balandligini bog'laydigan empirik formula quyidagicha:

$$S=2^{(L(\text{fon})-40/10)}, \text{ son yoki } \lg S = \frac{L-40}{33}, \text{ dB} \quad (1.13)$$

Bu formula faqat  $L = 40 \div 120$  dB diapazonlarida yaxshi natija beradi.



1.9 - rasm. Fon va son o'lchov birlikdagi tovush balandligining solishtirma egri chizig'i

1.2 - jadvalda ko'proq uchraydigan tovush va shovqinlarning fon va son o'lchovlardagi sathlari keltirilgan

1.2 – jadval

T/R №	Tovush yoki shovqin manbai va o'lchash joyi	Balandlik sathi, fon	Balandlik sathi, son
1.	5 m masofadagi aviatsiya motori	116÷120	346÷556
2.	Metro poezdining harakatdagi shovqini	85÷90	25÷38
3.	Harakatdagi avtobus, 5 m masofada	85÷88	25÷32,2
4.	10÷20 m masofadagi tramvay	80÷85	17,1÷25
5.	20 m masofadagi xushtak ovozi	70	7,95
6.	Shovqin ko'cha	60÷75	4,35÷11,4
7.	Ko'chadagi o'rtacha shovqin	55÷60	3,08÷4,35
8.	Tinch ko'cha, kunduzi	40	1,0
9.	Tinch bog'	20	0,097
10.	Qozonxona sexi	100÷103	88÷116
11.	Tikuv sexidagi umumiy shovqin	96÷100	62÷88
12.	Daraxtni qayta ishlovchi fabrika	96÷98	62÷74

13.	Simfonik orkestr	80÷100	17,1÷88
14.	Qarsaklar	60÷75	4,4÷11,4
15.	Radio orqali baland musiqa	80	17,1
16.	Radiomarkaz (studiya - ijro vaqtida)	40÷50	1÷2,2
17.	Kutubxona	25÷30	0,2÷0,36
18.	Kasalxona	20÷30	0,1÷0,36
19.	Notiq, 1 m masofada	70÷80	10÷22
20.	1 m masofadagi oddiy suhbat	55÷60	3,08÷4,35
21.	1 m masofada shivirlab soʻzlash	20	0.1
22.	Shovqin majlis	65÷70	5,87÷7,95

### 1.6. Murakkab tovushlarni eshitish. Niqoblash

Shu vaqtgacha sinusoidal qonun boʻyicha oʻzgaruvchi sof tonlar koʻrib chiqildi. Ammo, sof tonlar tabiatda juda kam uchraydi. Koʻpgina musiqa tonlari sof ton emas, balki murakkab tonlardir. Murakkab ton, asosiy ton, obertonlar yoki garmonikalardan iborat. Obertonlar asosiy ton chastotalari bilan oddiy karrali nisbatda boʻladi. Murakkab ton bitta emas, bir nechta obertonlardan tashkil topishi mumkin. Tajriba shuni koʻrsatadiki, fazaning juda katta oraliqda oʻzgarishi murakkab tonlarning eshutilishiga taʼsir qilmaydi, faqatgina juda baland tovushlardagina tonlar tashkil etuvchilarining fazalari taʼsir koʻrsata boshlaydi. Murakkab ton nochiziqli tavsifga ega boʻlgan u yoki bu qurilmaning chiqishida, hatto uning kirishiga sof ton berilgan holda ham olinishi mumkin. Shunday qilib, bizning quloq ham nochiziqli qurilma hisoblanadi. Quloqqa yetarlicha katta jadallikdagi sof ton taʼsir etib, murakkab tonni his etishimiz mumkin. Shu sababdan qulogʻimizga juda kuchli infra tovush chastotali ton taʼsir etsa, biz bu tonni qulogʻimizda paydo boʻladigan garmonikalar hisobiga eshitamiz. Shovqin tovushning tonga nisbatan murakkabroq koʻrinishidir. Murakkab tonlardan farqli ravishda shovqin tashkil etuvchilarning chastotalari oddiy karrali nisbatda emas. Bundan tashqari bu tashkil etuvchilarning chastota va amplitudalari vaqt boʻyicha oʻzgarib turadi. Subʼektiv jihatdan ton bilan shovqinning bir-biridan farqi shundaki, birinchisida tovush balandligi bilan tavsiflash mumkin boʻlsa, ikkinchisiga nisbatan, aksari hollarda bunday qilib boʻlmaydi. Kundalik hayotimizda uchraydigan tovushlar shu jumladan, nutqning anchagina qismi ham shovqin xarakteriga ega. Kundalik tajribamizdan bilamizki, agar u aniq ifodalangan boʻlsa, har qanday tovushning subʼektiv tavsifi uning kattaligi va balandligidir.

Ammo, bundan tashqari, deyarli barcha tovushlarda ularning tembri, ya'ni tovushlarning tabiatini aks ettiruvchi sub'ektiv rang ajralib turadi. Masalan erkak, ayol yoki bola bir tovushni bir xil ohangda va bir xil balandlikda talaffuz etishlari mumkin, ammo ularni osongina ajrata olamiz. Xuddi shunga o'xshash musiqa asbobi bilan qanday nota olinganligini aniqlash juda oson. Tembr tovush manbai ayni daqiqada qanday asosiy chastotani tarqatayotganidan qat'iy nazar shu manbaga xos chastotaviy tashkil etuvchilar bilan aniqlanadi. Xususan odam nutqi haqida gapirganda har bir odam o'zining individual xususiyatlariga ko'ra, faqat unga xos tomoq va og'iz bo'shliqlariga ega bo'lib, ular rezonator sifatida nutqning u yoki bu chastotaviy tashkil etuvchilarini ajratib beradi.

Agarda bir vaqtning o'zida turli xil tovushlar ta'sir etsa, tovushlarni qabul qilish keskin o'zgaradi. Masalan, tinch paytda juda tushunarli bo'lgan nutq kuchli shovqin ta'sirida eshitilmasligi mumkin. Bu hodisa **niqoblash** deb ataladi. Eshitilishi kerak bo'lgan tovush **niqoblanuvchi tovush**, eshitishga halal beruvchi tovush esa **niqoblovchi** tovush deb ataladi. Tadqiqotlar shuni ko'rsatadiki, niqoblovchi tovush qanchalik kuchli bo'lsa va uning chastotasi niqoblanuvchi tovush chastotasiga qanchalik yaqin bo'lsa, niqoblash effekti shunchalik kuchli bo'ladi. Bunda niqoblovchi tovush chastotasi niqoblanuvchi tovush chastotasidan past bo'lsa, niqoblash effekti shunchalik kuchsiz seziladi.

Niqoblash kattaligi quyidagi formula bilan aniqlanadi

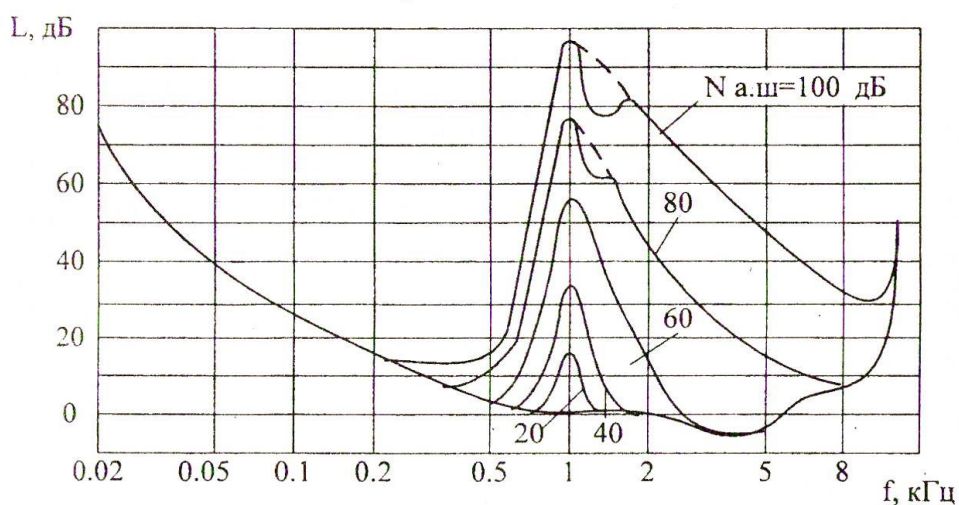
$$\Delta L_M = L_{a.sh.} - L_a, \quad (1.14)$$

bu yerda  $L_{a.sh.}$  va  $L_a$  - shovqin va tinch holatlardagi eshitish bo'sag'alarining sathlari. Halaqit beruvchi tovush foydali tovush sathidan yetarlicha katta bo'lganda, foydali tovush eshitilmasligi mumkin.

Tor polosali shovqin sathining tonni niqoblashga ta'siri 1.10-rasmda ko'rsatilgan. Niqoblovchi shovqinning polosa kengligi 160 Gs ni tashkil etadi. Uning  $L_{a.sh.}$  sathi esa, mos holda 100, 80, 60, 40 va 20 dB ga teng. Beshta shovqin polosa egri chiziqlarning barchasi ton chastotasiga teng o'rtacha chastota 1000 Gs da aniq ifodalangan maksimumga ega. Eshitish bo'sag'asining oshish sababi chastota tarkibi qabul qilinayotgan tovush chastota oblastida bo'lgan, jadallik sathi qabul qilinayotgan tovush sathidan bir muncha katta bo'lgan shovqin ta'sirida, nerv tolalari allaqachon qo'zg'algan va eshitish markaziga shovqinga mos impulslar yuboradi. Eshitishning diskretligi hisobiga kichik



sathdagi qabul qilinayotgan tovush eshitishga hech narsa qo'sha olmaydi, shuning uchun biz uni eshitmaymiz.



1.10 - rasm. Turli qiymatdagi shovqin bilan ton niqoblanganda uning eshitilish bo'sag'asi

Tajriba yo'li bilan past chastotali tonlar yuqori chastotali tonlarni kuchliroq niqoblashi aniqlangan. Buning sababi shundaki, past chastotalarda rezonanslanadigan va chanoq tolalari, oval darchadan uzoqda joylashgan, chanoq kanallarida u yoki bu darajada tebranayotgan limfa oval darchaga yaqin bo'lgan barcha tolalarni, shu jumladan yuqori chastotali tolalarni ham qo'zg'atadi. Yuqori chastotalarda rezonanslanadigan tolalar oval darchaga yaqin joylashgan va limfa tebranishlari uzoqda joylashgan past chastotali tolalarga yetmasdan so'nadi.

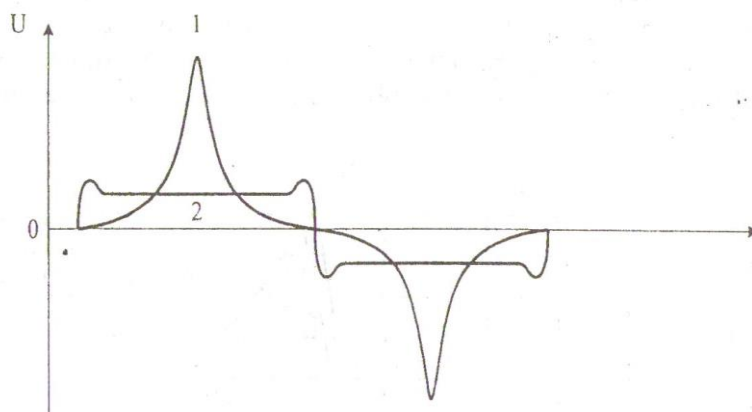
### 1.7. Eshitishni sezabilishning vaqt tavsiflari

Gelmgols va Fletcherlarning ma'lumotlariga qaraganda, bir necha chastotaviy tashkil etuvchilardan tarkib topgan murakkab tebranishlar eshitish a'zosining turli kritik polosalariga tushadi, eshitish a'zosi chastotaviy tashkil etuvchilar orasidagi o'zaro faza siljishlarini sezmay qoladi, ya'ni egri chiziq shaklini sezmaydi. Masalan, 1.11 - rasmda ko'rsatilgan murakkab tovushlarning eshitilishi eshitish a'zosining nochiziqligi tufayli tovush balandligi sathi 60 fondan oshgandagina o'zaro farq qiladi.

Qo'zg'atuvchi kuch yo'qolganda eshitish a'zosining sezgirligi birdan yo'qol-masdan, asta-sekin nolgacha kamayadi. Bu effektни **eshitish taassuroti** deb ataladi. Tovush balandligi sathi bo'yicha

sezgirliknint 8,7 fongacha pasayishiga ketgan vaqt **eshitish a'zosining vaqt doimiysi** deb ataladi. Bu vaqt doimiysining qiymati bir qator holatlarga, hatto qabul qilinuvchi tovushning parametrlariga ham bog'liq. Bu vaqt, o'rtacha  $150 \div 200$  ms ga teng deb hisoblanadi.

Agarda tinglovchi ikkita tovushni qabul qilib, ulardan bittasi ikkinchisiga nisbatan 50 ms ga kechiksa, unda bu ikkala tovush qo'shilib bitta tovushdek qabul qilinadi. To'g'ri, tovushlar bir-biridan 30 ms dan ortiq kechikkanida hosil bo'lgan tovushning jaranglashida ayrim sifat o'zgarishlari seziladi. Kechikish 50 ms dan ko'proq oshganda, tovushlar alohida - alohida eshitiladi.

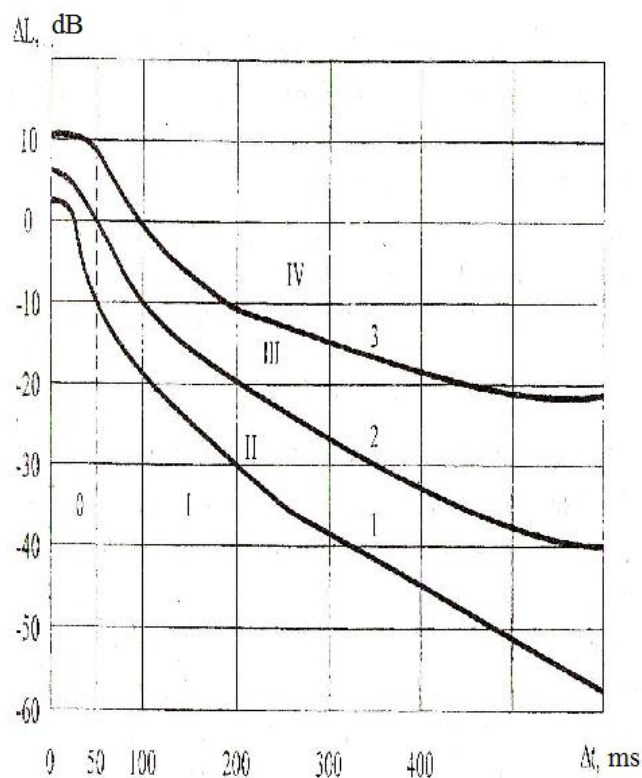


1.11-rasm. Odam eshitish a'zosi bir xil sezadigan tovush tebranishlari

Agarda ikkinchi tovushning sathi birinчисiga nisbatan kichikroq bo'lsa, unda u alohida tovush sifatida eshitilmasligi yoki uning sathi birinчисinikidan qanchalik kamligiga qarab alohida eshitilishi mumkin.

1.12- rasmda alohida - alohida qabul qilinadigan ikkita tovush sathlari farqi orasidagi bog'lanishni ifodalovchi egri chiziq ko'rsatilgan (1- egri chiziq). Agarda, tovushlar bir manbadan chiqsayu, ulardan biri u yoki bu to'siqdan qaytishi hisobiga katta yo'l bosib o'tsa, keyingi alohida eshitiladigan tovush **aks sado** deb ataladi.

Agarda, to'g'ri va qaytarilgan tovushlar sathining farqi 2 egri chiziqda ko'rsatilgan qiymatlardan oshmasa, unda kechikuvchi tovushni eshitish mumkin (II zona), ko'rsatilgan qiymatlardan oshganda kechikuvchi tovush aks sado sifatida eshitiladi va nutq eshitish aniqligi pasaymaydi (III zona). Sathlar farqi 3 egri chiziqdagi ko'rsatkichlardan oshgandagina (IV zona), aks sado hisobiga nutq aniqligining pasayishi sezila boshlaydi.



1.12 - rasm. To‘g‘ri va kechikkan sathlar o‘rtasidagi talab etilgan farq va qaytarilgan tovushning kechikish vaqti o‘rtasidagi bog‘liqlikni ifodalovchi egri chiziq:

1 - aks sado eshitilish chegarasi;

2 - aks sado sezilish chegarasi;

3 - aks sadoning halaqit berish chegarasi;

Zonalar: 0 - tovushlarni yagona tovushdek eshitish;

I - eshitilmaydigan aks sado;

II - eshitiladigan aks sado;

III - aks sado eshitiladi ammo, nutq eshitish aniqligi pasaymaydi;

IV - aks sado nutq aniqligini pasaytiradi.

Bu egri chiziqlardan foydalanish hisoblashlar faqat qo‘lda bajarilgandagina qulay, elektron hisoblash mashinalaridan foydalanilganda ularni approksimatsiyalanishi haqida tushunchaga ega bo‘lish lozim. Yetarli darajada (aniqligi 1 dB ga yaqin bo‘lgan) quyidagi approksimatsiyadan foydalaniladi;

$$1 - \text{egri chiziq uchun: } \Delta L_1 = \frac{100}{3} \lg \Delta t(\text{mc}) - 45, \text{ dB}, \quad (1.15)$$

bunda  $\Delta t$  - kechikish vaqti;

$$2 - \text{egri chiziq uchun: } \Delta L_2 = 35 \lg \Delta t(\text{mc}) - 54, \text{ dB}, \quad (1.16)$$

$$3 - \text{egri chiziq uchun: } \Delta L_3 = \frac{80}{3} \lg \Delta t(\text{mc}) - 51, \text{ dB} \quad (1.17)$$

**Misol.** Tinglovchi, tovush manbai va 17m masofadagi qaytaruvchi devor oralig‘i turibdi. Agarda tovushning devordan qaytish koeffitsienti birga yaqin bo‘lsa, unda to‘g‘ri tovush jadalligi qaytarilgan tovush jadalligidan 9 marta ( $51^2:17^2$ ) katta bo‘ladi. Sath bo‘yicha bu farq  $10 \lg 9 = 9,5$  dB ga teng. To‘g‘ri va qaytarilgan tovushlar yo‘lining ayirmasi 34 m tashkil etadi, shuning uchun qaytarilgan tovush to‘g‘ri tovushga nisbatan  $(34 \times 1000)/340 = 100$  ms kechikadi. Bu holda tovush va uning aks sadosi orasidagi farq sezilarli bo‘ladi.

Agar tovush manbai tinglovchidan 3 m masofada bo‘lsa, sathlar farqi  $10 \lg \chi \frac{(3+2\chi \cdot 17)^2}{3^2} = 21,8$  dB ni tashkil etadi. Bu holda, tovush va uning aks sadosi sezilish chegarasidan tashqarida bo‘ladi (1- zona).

Eshitish a‘zosining vaqtiy tavsiflaridan yana biri **niqoblashdan keyingi** hodisadir: kuchli tovushlardan so‘ng keladigan kuchsiz tovushlar oldingi tovushning qaytishi hisobiga butunlay yoki qisman niqoblangan bo‘ladi. Signalning eshitish taassuroti tufayli yuzaga kelgan niqoblashdan keyingi hodisasi oldingi signal sathiga bog‘liq bo‘lib, uning sathi qanchalik yuqori bo‘lsa, shunchalik uzoqroq davom etadi. Nutq tovushining niqoblashdan keyingi hodisasini ko‘pincha **o‘z-o‘zini niqoblash** deb ataladi. Quloqning qisqa impulslarni eshitish chog‘ida integratsiya-lash xususiyatini ham eslatib o‘tish lozim. 50 ms chegarasida impuls jadalligi integratsiyalanadi, buning hisobiga uzoqroq (50 ms gacha), ammo amplitudasi kichik bo‘lgan impuls ham, katta amplitudali qisqa impuls kabi baland eshitiladi (agar impulslar jadalligini ularning davomiyligiga ko‘paytmasi bir xil bo‘lsa). Eshitish a‘zosining vaqtiy tavsiflariga tovush tonalligining, aniqrog‘i, tovush balandligining tiklanish vaqti ham kiradi. Eshitish a‘zosi tovush balandligini, ya‘ni tebranish chastotasini aniqlab olishi uchun ikki-uch tebranish davri kerak. Past chastotalarda bu vaqt taxminan 30 ms, yuqori chastotalarda - birmuncha kichikroq vaqt oralig‘ini tashkil etadi.

Eshitish sezgirligi birdaniga yo‘qolmasligi sababli chastotalari bo‘yicha farqi katta bo‘lmagan ikkita ketma-ket tonlarning tepkili tebranishlari eshitiladi, buning evaziga chastotalarning juda kichik farqini va chastotaning uncha katta bo‘lmagan oraliqda esa, sust tarzda o‘zgarishini aniqlash mumkin.

## 1.9. Eshitish a'zosining nochiziqli xususiyatlari

Bizga bitta chastotaviy tashkil etuvchiga sathi 100 dB ga teng sof ton ta'sir etganda, biz sathi 88 dB ga teng ikkinchi, sathi 74 dB ga teng uchinchi va h.k ton garmonikalarini eshitamiz. Eshitishda bu garmonikalarning mavjudligini tajribada «qidiruvchi» ton yordamida aniqlash oson. Buning uchun quloqqa chastotasi tekshirilayotgan ton chastotasidan yuqori diapazonda yotgan va asta -sekin (bir tekis) o'zgarayotgan «qidiruvchi» ton beriladi. Bu tonning har bir karrali chastotasida tepkili urish - go'yo quloqqa haqiqatdan ham shu turdagi garmonikalar berilgandek sezgi paydo bo'ladi. Shuning uchun ular (bu garmonikalar) sub'ektiv deb ataladi. Aynan shu sababdan niqoblovchi ton chastotasiga karrali bo'lgan chastotalarda tovushning niqoblanishi kuzatiladi. Chastotalari eshitish a'zosining bitta kritik polosasiga tushmaydigan ikkita sof ton tinglanganda, odam ko'pincha chastotalari farqiga teng tonni yaxshi sezadi. Chastotasi chastotalar yig'indisiga teng ton yoki chastotalarning  $f = mf_1 \pm nf_2$  ko'rinishidagi boshqa kombinatsiyasi bilan aniqlanadigan tonni esa yomon eshitadi (bu yerda m va n-butun sonlar). Eshitish a'zosiga karrali bo'lmagan tashkil etuvchilarga ega bo'lgan tonlardan iborat murakkab tovush ta'sir etsa, spektr ko'pgina kombinatsion chastotalar bilan «ifloslanadi». Shunisi qiziqki, baland ovozda eshittirilayotgan signalning 1000 Gs dan past chastota diapazonini qirqqanimizda ham odam eshitish a'zosining nochiziqli sababli baribir past chastotalarni eshitadi. Shu sababdan odamlar past chastotalarni yaxshiroq eshitish uchun eshittirishlarni baland ovozda eshitadilar, shunda past chastotali eshittirish go'yo yaxshi eshitalayotgandek tuyuladi. O'z-o'zidan ravshanki, bu holda yuqori chastotalarda tovushning yangrashi buziladi, ammo uning sezilishi va ahamiyati kamroq. Eshitish a'zosining nochiziqli sababini, o'rta quloqning nochiziqli tavsifi va ko'proq chanoqdagi uyurma hodisalar bilan tushuntirish mumkin.

## 1.10. Binaural effekt

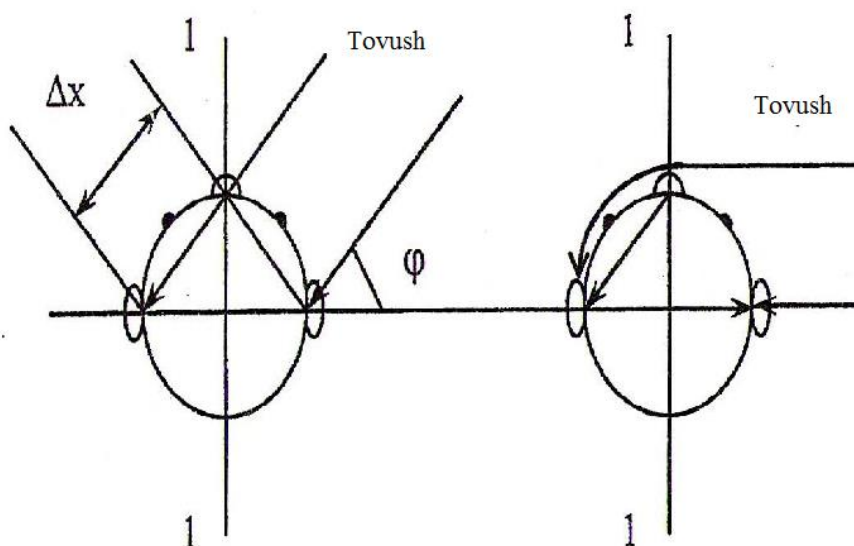
Oddiy sharoitlarda tovush manbai joylashgan joyni aniqlash juda oson. Hatto, bir necha tovush manbai bo'lganida ham biz ularning fazoda joylashishini osonlikcha tasavvur qilamiz. Odamning tovush

manbai joylashgan yoʻnalishni topa olish xususiyati **binaural effekt** deb ataladi. Ikki quloq bilan eshitishimiz natijasida, binaural effekt tufayli bir xil fazali tovush tebranishlarini qulogʻimizga kelish vaqti farqini ajrata olamiz. Binaural effekt, asosan past va oʻrta chastotalarda aniqlanadi.

Agarda odam eshitish aʼzosiga tovush manbai qandaydir  $\varphi$  burchak ostida taʼsir etsa, u holda tinglovchining boshi atrofida tovush toʻlqini difraksiyanishi natijasida tovush uning oʻng va chap qulogʻiga birdek taʼsir etmaydi (1.13-rasm).

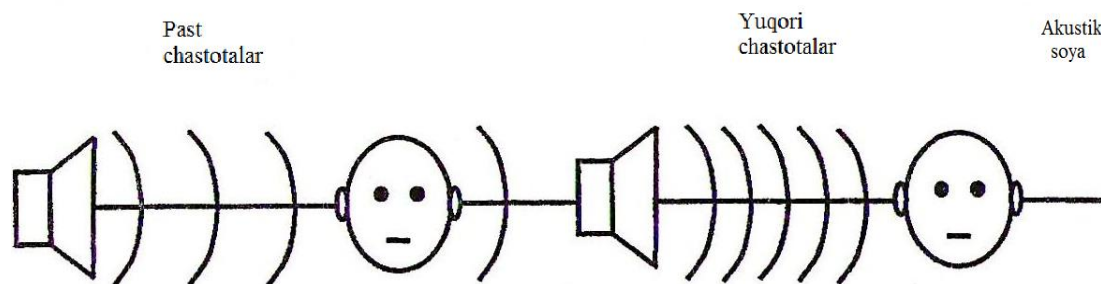
Ular tovush jadalligi boʻyicha  $\Delta N$  va vaqt boʻyicha  $\Delta t$  ga farqlanadi. Bu parametrlar tovush manbaini lokallashtirishda asosiy koʻrsatkich hisoblanadi.

Maʼlumki past chastota toʻlqin uzunligi tinglovchi boshi diametridan ancha katta, shuning uchun tovush toʻlqini boshni egib oʻtadi va akustik soya sodir boʻlmaydi.



1.13- rasm. Tinglovchining oʻng va chap qulogʻiga tovush toʻlqinining turli vaqtda kelishiga oid

Yuqori chastota tovushlari toʻlqin uzunligi tinglovchi boshi oʻlchamidan kichik, shuning uchun ular chap quloqqa yetib bormaydi. Bunday difraksiya natijasida sodir boʻladigan akustik soya chap quloqqa keladigan tovush jadalligini susaytiradi (1.14-rasm).



1.14-rasm. Akustik ko‘lanka (soya) sodir bo‘lishiga oid

Chap va o‘ng quloqqa kelayotgan tovush tebranishlari vaqtidagi farq  $\Delta t = \Delta r/c$ , bunda,

$\Delta r$  – chap quloqdan o‘ng quloqgacha bo‘lgan to‘lqin yo‘li farqi, sm;  
 $s$  – tovushning havodagi tarqalish tezligi, m/s.

Odam tovush to‘lqinlarini eshitganda tovush kelish yo‘nalishini gorizontalk tekislikda  $Z \div 4^\circ$  aniqlik bilan, vertikal tekislikda esa, bu ko‘rsatgich  $20^\circ$  dan oshmaydi. Bir quloq bilan eshitadigan odam binaural effekt xususiyatidan mahrumdir.

Tinglashdagi stereoakustik effekt shundan iboratki, odam tovush manbaining «ko‘ndalang» o‘lchamlarini, hamda uning «chuqurli-gini», ya’ni tovush to‘lqini yo‘nalishi bo‘yicha tovush manbaining o‘lchamlarini «sezadi». Tinglovchi osongina u yoki bu musiqa asbobining orkestrda joylashgan joyini aniqlay oladi. Boshqacha kilib aytganda ikki quloq bilan tinglash **akustik istiqbol**ni yaratadi.

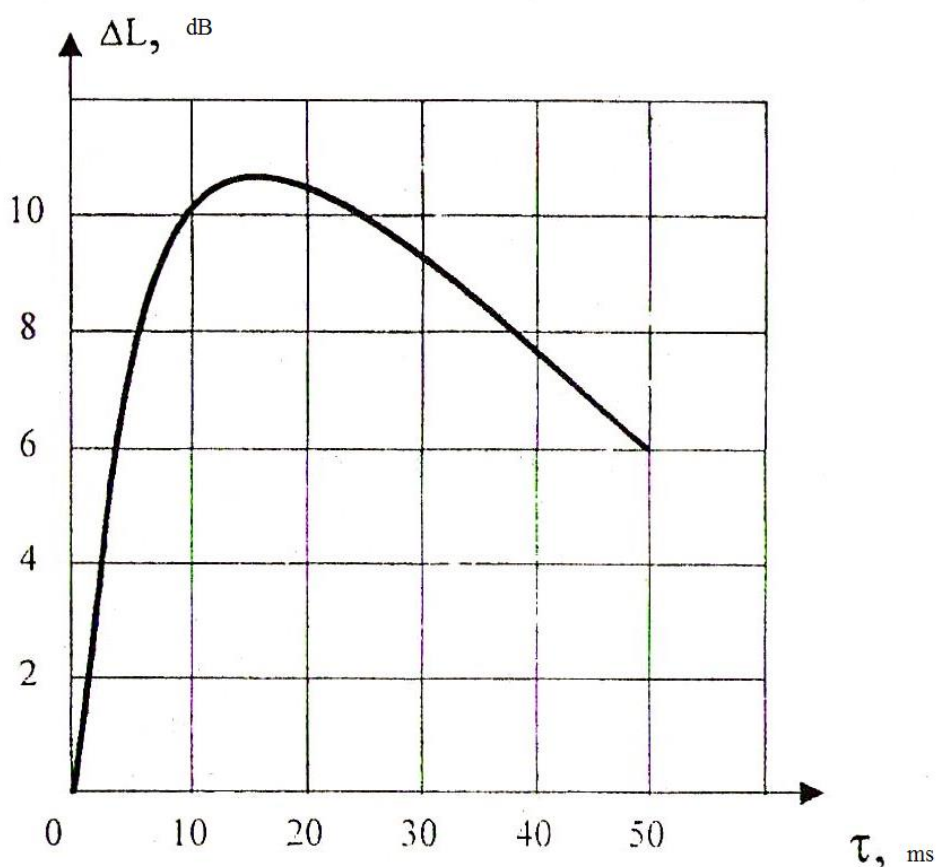
Agarda odam eshittirishni ikkita turli joyda joylashgan va oralari tinglovchiga yaqin bo‘lgan bir xil tovush manбайдan eshitsa, tovush manbalar sathi bir xil bo‘lganda mavhum tovush manbai, go‘yo shu ikki tovush manbalari o‘rtasida joylashgandek tuyuladi.

Manbalar sathi bir xil bo‘lmaganda mavhum manba sathi balandroq tovush manbai tomon siljigandek tuyuladi. Mavhum manba joylashgan joyni tovush manba’lari hosil qilayotgan jadallikka nisbatan aniqlash mumkin (jadalliklar nisbati taxminan mavhum manba va haqiqiy manbalar oralig‘i nisbatiga teng).

Agarda tinglovchi tovush manбайдan (masalan, radiokarnaydan) bitta eshittirishni turli masofalarda eshitsa, yoki undan bir xil masofada joylashgan ikki manbaining biridan kelayotgan signal ikkinchisidan kelayotgan signalga nisbatan biroz kechiksa, unda asosiy va kechikkan manbalar sathi teng bo‘lganda mavhum manba asosiy manba joylashgan

yerda joylashgandek tuyuladi. Boshqacha qilib aytganda kechikkan signalning, qo‘shilishi tovush jarangdor-ligini oshirsa ham: uning manbai go‘yo yo‘qdek tuyuladi. Demak, asosiy signal kechikkan signalni (agar ularning sathi bir xil bo‘lsa) butunlay bosadi. Agarda kechikkan signal sathini asta-sekin oshirsak, ikkala tovush manbai hatto, kechikish vaqti 50 ms dan kam bo‘lganida ham alohida - alohida eshitaladi.

1.15-rasmda kechikkan signal sathining ortishi va ushlanish vaqti orasidagi bog‘liqliq egri chizig‘i keltirilgan. Ordinata o‘qi bo‘yicha asosiy va kechikkan sathlar farqi berilgan. Ushlanish vaqti 15÷20 ms bo‘lganda ikkala signal birdek eshitalishi uchun kechikkan signal sath bo‘yicha 11 dB ga oshirilishi kerak.



1.15- rasm. Kechikkan signalning qaytarilishi mavhum signal manbaini aniqlashga ta'siri

Kechikish vaqti 50 ms bo‘lganda asosiy va kechikkan manbalar sathlari farqi 6 dB tashkil etadi. Bu bog‘lanish ko‘pgina olimlar tomonidan, jumladan, batafsil Xaas tomonidan o‘rganilgan. Shunint uchun 1.15 - rasmdagi egri chiziq **Xaas egri chizig‘i** deb ataladi. Yuqorida bayon etilgan xususiyatlar **stereoakustik effekt** va akustik



istiqbol yaratish uchun ishlatiladi, ya'ni stereofonik eshittirishlarda qo'llaniladi.

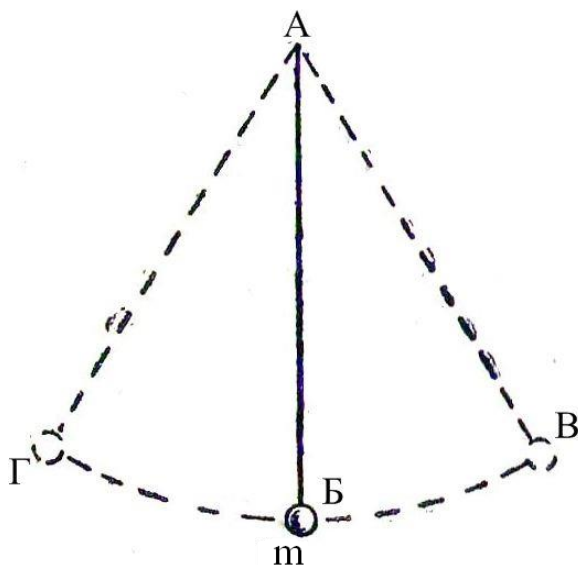
### Nazorat savollari

1. Akustika fani nimani o'rganadi?
2. Akustika fanining asosiy tarkibiy qismlarini tushuntiring.
3. Odam eshitish a'zosining asosiy qismlarini sanab o'ting.
4. Odam eshitish a'zosini tavsiflovchi asosiy parametrlarni sanab o'ting.
5. Odam eshitish a'zosining chastota diapazoni nimaga teng?
6. Odam eshitish a'zosining dinamik diapazoni nimaga teng?
7. Chanoqning ekvivalent – elektr sxemasini chizing va tushuntiring.
8. Ton balandligi intervallarini tushuntiring.
9. Tovush balandligi va balandlik sathi o'rtasida qanday bog'lanish bor?
10. Tovushning teng balandlik egri chiziqlarini tushuntiring.
11. Shovqin o'lchagichning struktura sxemasini chizing tushuntiring.
12. Niqoblash hodisasining mohiyati nimadan iborat, radioeshitti-rishda undan qanday foydalaniladi?
13. O'z-o'zini niqoblash deb nimaga aytiladi?
14. Binaural effektning mohiyati nimadan iborat?
15. Akustik soya sodir bo'lish sabablarini tushuntiring.
16. Xaas effektini tushuntiring.

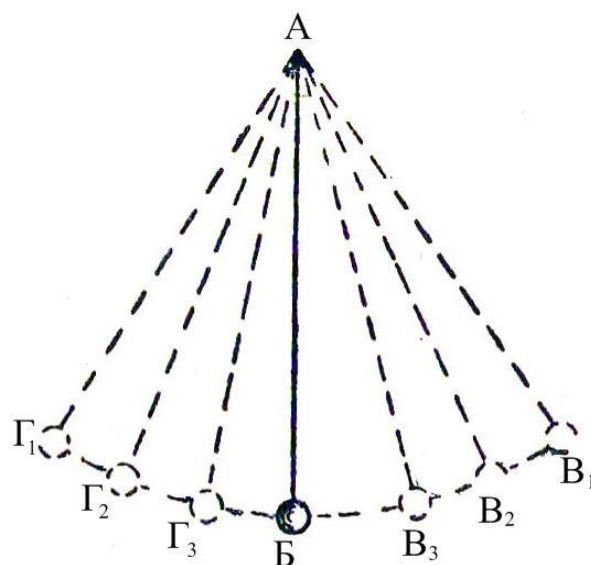
## 2 bob. Tovush tebranishlari

### 2.1. Tebranishlar haqida tushuncha

Odam tovush eshitsu, bu uning qulog'iga atrof muhit zarracha tebranishlari ta'sir etadi degani. Bu tebranishlar tovush tebranishlari yoki oddiy, tovush deb ataladi. Tebranish ma'lum vaqt oralig'ida takrorlanuvchi harakatga aytiladi. Bunday harakatning oddiy misoli sifatida mayatnikning tebranishini olish mumkin (2.1-rasm).



2.1-rasm. Mayatnikning tebranishi



2.2-rasm. Mayatnikning so'nish tebranishi

Ipga osilgan massasi  $m$  bo'lgan teng sharni qo'limiz yordamida B nuqtadan V nuqtaga ko'chiramiz. So'ng sharni qo'limizdan chiqaramiz. Erkin holdagi shar og'irlik kuchi ta'sirida dastlabki (B) holatiga tomon harakatlanadi. Bunday harakatlanishda shar inersiya kuchi ta'sirida B nuqtadan o'tib chap tomonga siljiydi. Qandaydir G nuqtada sharning inersiya kuchi og'irlik kuchi bilan tenglashib, shar to'xtaydi va teskari o'ng tomonga harakatlana boshlaydi. Yana dastlabki muvozanat holatdan o'tib, shar o'ng tomonga siljiydi, va avvalgi harakat takrorlanadi va h.k.

Agar ishqalanish kuchi bo'lmaganda shar cheksiz tebranar edi, unda uning B nuqtadan G nuqtagacha va uning B nuqtadan V nuqtagacha bosib o'tgan masofasi teng bo'lar edi. Tashqi kuch ta'sir etmaganda energiyaning so'nishi hisobiga har bir keyingi tebranish amplitudasi ilgarigisidan kichikroq bo'ladi, natijada tebranishlar so'nuvchi tebranishlarga aylanadi.

Mayatnikning muvozanat holatidan eng katta og‘ishi B G yoki B V, yoyi tebranish amplitudasi deb ataladi, mayatnik bitta to‘la tebranishi uchun (mayatnikni B nuqtadan V nuqttagacha, V nuqtadan G nuqttagacha va teskari B nuqttagacha) kerak bo‘lgan vaqt **tebranish davri** deb ataladi va T bilan belgilanadi. So‘nmaydigan tebranishlarda tebranish amplitudasi o‘zgarmas, so‘nuvchi tebranishlarda esa, tebranish davri o‘zgarmas qoladi, chunki so‘nuvchi tebranishlarda mayatnikning tebranish amplitudasi pasaygan sari uning tebranish tezligi ham pasayadi. Mayatnikning so‘nuvchi tebranishi 2.2-rasmida ko‘rsatilgan.  $V_1 V_2 V_3$  va  $G_1 G_2 G_3$  nuqtalar sharning ketma-ket og‘ish holatiga mos keladi, bu nuqtalarda uning harakat yo‘nalishi o‘zgaradi. Ko‘rinib turibdiki  $BV_1$  yoyi  $BG_1$  yoydan katta,  $BG_1$  yoyi  $BV_2$  yoydan katta,  $BV_2$  yoyi  $BG_2$  yoydan katta va h.k. Agarda biz so‘nmaydigan tebranishlarni hosil qilmoqchi bo‘lsak unda tebranuvchi jismga muhit qarshiligini, ishqalanish kuchini yengishga sarflaydigan energiyani tashqi mabadan to‘ldirishimiz kerak. Boshqacha qilib aytganda, mayatnikka har gal qo‘shimcha energiya berib, uning tebranish amplitudasini birday saqlab turmog‘imiz kerak. So‘nmaydigan tebranishlar misoli tariqasida soat mayatnigi tebranishini keltirishimiz mumkin, unda ishqalanishga sarflanadigan energiya soat murvatini burash bilan tiklanadi.

Tebranuvchi jism 1 sekunda sodir etgan tebranishlar soni, **tebranishlar chastotasi** deb ataladi va  $f$  harfi bilan belgilanadi, o‘lchov birligi Gs. Tebranishlar chastotasi, tebranish davriga teskari bo‘lgan kattalik

$$f = \frac{1}{T}, \text{Gs} \quad (2.1)$$

## 2.2 Ta’riflar

**Tovush to‘lqini** deb, elastik muhitda o‘zgaruvchan qo‘zg‘aluvchanlikni tarqalish jarayoniga aytiladi, **tovush tebranishlari** deb esa, havo zarrachalarining shu qo‘zg‘alish kuchi ta’sirida siljishiga aytiladi, Bu jarayon sodir bo‘ladigan fazo **tovush maydoni** deb ataladi.

Tovush tebranishlari mexanik tebranishlarning xususiy ko‘rinishidir. Suyuq va gazsimon muhitlarda tovush tebranishlari **bo‘ylama tebranishlarga** ega, ya’ni muhit zarrachalari to‘lqin tarqalishi yo‘nalishi bo‘ylab harakatlanadi. Qattiq jismlarda esa, bo‘ylama tebranishlardan tashqari **ko‘ndalang tebranishlar** ham sodir bo‘ladi ya’ni, muhit

zarrachalari to‘lqin tarqalishi chizig‘iga perpendikulyar harakatlanadi. Tovush to‘lqinlarining tarqalish yo‘nalishi **tovush nuri**, bir xil fazali yonma - yon zarrachalarni birlashtiruvchi sirt **to‘lqin fronti** deb ataladi. Odatda, to‘lqin fronti tovush nuriga perpendikulyar. Umumiy holda to‘lqin fronti murakkab shaklga ega, ammo amaliyotda to‘lqin frontlari: **yassi, sharsimon va silindrik shaklga** ega bo‘ladi.

Tovush to‘lqinlari **tovush tezligi** deb ataluvchi malum bir tezlikda tarqaladi.

Agarda  $T$  tebranish davri,  $\lambda$  tovush tezligi va  $f$  tovush chastotasi bo‘lsa, unda to‘lqin uzunligi

$$\lambda = cT = \frac{c}{f}, \text{M} \quad (2.2)$$

Aloqa va eshittirishda qo‘llaniladigan tovush tebranishlari chastotasi  $16 \div 20.000$  Gs oralig‘ida yotadi. **Bosim** deb, birlik yuzaga ta’sir etayotgan kuchga aytiladi. **Bosim**  $r$  bilan belgilanadi va o‘lchov birligi  $\text{N/m}^2$  yoki Pa.

$$p = \frac{F}{S}, \text{Pa} \quad (2.3)$$

bunda  $G$  -jismga ta’sir etayotgan kuch;  $S$  - kuch ta’sir etayotgan yuza. **Tovush bosimi** deb maydonning ma’lum nuqtasidagi oniy yig‘indi va atmosfera bosimlarining ayirmasiga aytiladi.

$$r(t) = p_{\Sigma} - p_0 \quad (2.4)$$

bunda  $r(t)$ -tovush bosimi;  $r_{\Sigma}(t)$  - maydonning ma’lum nuqtasidagi oniy yig‘indi bosim;  $r_0$ -atmosfera bosimi.

Muhit zarrachalari zichlashgan joyda  $r_{\Sigma}(t)$  atmosfera bosimidan katta va ishorasi musbat, siyraklashgan joyda esa, atmosfera bosimidan kichik va ishorasi manfiy.

Akustikada odatda amplitudasi 100 Pa dan oshmaydigan bosim bilan ish ko‘riladi. Agarda atmosfera bosimi  $1,01 \times 10^5$  Pa ligini inobatga olsak, tovush bosimi qanchalik kichik ekanligiga iqror bo‘lamiz.

Texnik hisoblarda tovush bosimining amplituda qiymati emas, balki effektiv qiymati inobatga olinadi.

**Tebranma tezlik**, zarrachalarning muvozanat holatiga nisbatan siljish tezligidir. Bu kattalikni tovush tezligi bilan adashtirish kerak emas. **Tovush tezligi** - bu manbaga yaqin bo‘lgan muhit zarrachalari qo‘zg‘alishining manbadan uzoqdagi zarrachalarga tarqalish tezligi. Bunda energiyaning bir nuqtadan ikkinchi nuqtaga ko‘chishi amalga oshadi.

Agarda muhit zarrachalarining qo‘zg‘almas nuqtaga nisbatan oniy siljishi  $x = X_m \cdot e^{j\omega t}$  bo‘lsa, unda tebranma tezlik

$$V = \frac{dx}{dt} = j\omega X_m \cdot e^{j\omega t} = j\omega x, \quad (2.5)$$

bunda  $X_m$  - zarrachalarning maksimal siljish amplitudasi.

Texnik hisoblarda tebranma tezlik, bosim singari effektiv qiymatlarda o‘lchanadi.

**Tovush quvvati** - bu tovush to‘lqini, birlik vaqtda butun to‘lqin fronti yuzasi orqali tarqalishi yo‘nalish bo‘yicha ko‘chirayotgan energiya. Tovush quvvati o‘zining fizik xususiyatlariga ko‘ra mexanik quvvatdir. Ma’lumki, quvvat birlik vaqtda bajarilgan ish. Elektroakustikada bajarilgan ish deb, muhit tomonidan nurlatgich-ga ta’sir etayotgan kuchga qarshi bajarilgan ishga aytiladi.

$$P = \frac{dA}{dt} = \frac{Fdx}{dt} = FV = pSV, \text{Br} \quad (2.6)$$

bunda  $R$  - tovush quvvati;  $A$  - ish;  $F$  - muhit tomonidan nurlatgichga ta’sir etayotgan kuch;  $x$  - nurlatgichning siljishi;  $r$  - tovush bosimi,

**Jadallik yoki tovush kuchi** - to‘lqin frontining birlik yuzasidan birlik vaqtda o‘tayotgan tovush energiyasi oqimi.

$$I = \frac{P}{S} = \frac{pSV}{S} = pV, \text{Vt/m}^2 \quad (2.7)$$

bunda  $I$  - tovush kuchi;  $S$  - to‘lqin fronti yuzasi.

**Tovush energiyasining zichligi** - birlik hajmga to‘g‘ri keladigan o‘rtacha tovush energiyasi. U  $\epsilon$ , bilan belgilanadi, o‘lchov birligi  $[\text{Dj/m}^3]$ .

$$I = \epsilon c \text{ yoki } \epsilon = \frac{I}{c} \quad (2.8)$$

bunda  $S$  - tovush tezligi.

**Harakat tenglamasi.** Tovush maydoni ikkita parametr: tovush bosimi  $r$  va tebranma tezlik  $V$  bilan tavsiflanadi. Bular o‘zaro qanday bog‘langanli-gini ko‘rib chiqamiz. Buning uchun  $dS$  maydonchalar bilan chegaralagan elementar havo qatlamini ajratamiz. Qatlam qalinligini  $dx$  deb belgilaymiz.

Faraz qilaylik, ajratilgan qatlamga chap tomondan  $r$  bosim, o‘ng tomondan esa  $r+dp$  ta’sir etsin. Mos holda qatlam tomonlariga ta’sir etayotgan kuchlar:  $F_1=p dS$ ;  $F_2=(p+dp)dS$  teng bo‘ladi.

Qatlamga tezlik beruvchi natijaviy kuch kuchlar ayrimasiga teng;

$$dF = F_2 - F_1 = dpds \quad (2.9)$$

Inersiya qonuniga asosan bu kuch teskari ishorali inersiya kuchiga teng;

$F_{in} = -ma$ , bunda  $a = \frac{dV}{dt}$  tezlanish;  $m = \rho dSdx$  qatlam massasi;  $\rho$  - havo muhitining zichligi.

$$dF = F_{in} \text{ yoki } dp dS = \frac{dV}{dt} \rho dSdx \quad (2.10)$$

$dS$  ga qisqartirganimizdan so'ng:

$$\frac{dp}{dx} = -\rho \frac{dV}{dt} \quad (2.11)$$

Shunday qilib, teskari ishora bilan olingan bosim gradienti muhit zichligi va tezlanish ko'paytmasiga teng. Bu tenglama **harakat tenglamasi** deb ataladi va har qanday shakldagi to'lqinlarning tovush bosimi va tebranma tezligini bog'laydi.

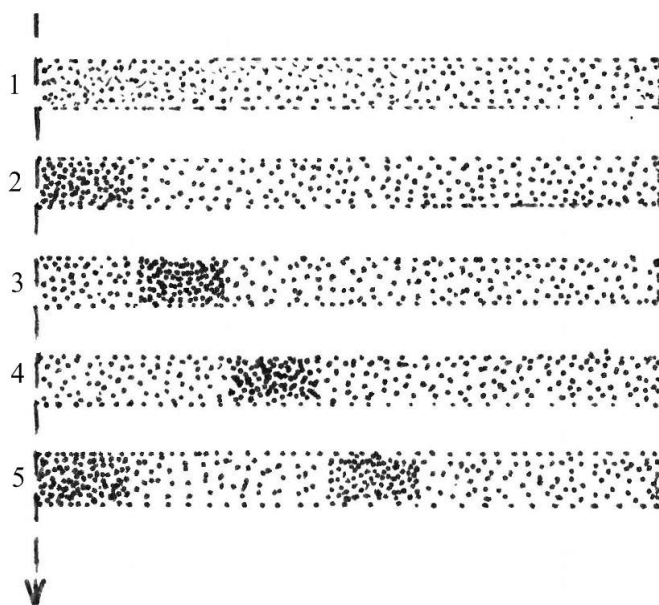
Frontlarining shakli bo'yicha tovush to'lqini yassi va sferik to'lqinlarga ajraladi.

## 2.4. Tovush tebranishlari

Suvning yuqori qatlam tebranishlari yuqori va pastga, ya'ni tebranishlar tarqalishi yo'nalishiga perpendikulyar tebranadi. Tovush tebranishlari birmuncha boshqacharoq, aynan tebranishlar tarqalishiga mos yo'nalishda bo'ladi.

Birinchi turdagi tebranishlar **ko'ndalang**, ikkinchisi - **bo'ylama** tebranish deb ataladi. Bo'ylama tebranishlarning hosil bo'lishini aniqlash uchun quyidagi misolni ko'rib chiqamiz: aytaylik qator material-havo malekulalari, suv yoki boshqa modda zarrachalari mavjud (tovush tebranishlari har qanday elastik muhitda tarqaladi) va bu zarrachalar bir – birlaridan teng masofada va turg'un muvozanatda joylashgan (2.3.1-rasm).

Agarda birinchi zarrachani turtib chapdan o'ngga siljitsak, u ikkinchi zarrachani turtadi, ikkinchi zarracha - uchinchisini turtadi, va h.k.



2.3-rasm

Shunday qilib, bir nechta birinchi zarrachalar yaqinlashib zichlashadi (2.3.2-rasm) O'ng tomonga ma'lum masofagacha siljib zarrachalar dastlabki holatga qaytishga intiladi, siljish kuchi natijasida hosil bo'lgan energiya keyingi zarrachalarga o'tadi, ular oldingi zarrachalar singari o'zaro zichlashadi shunday qilib, zarrachalarning zichlashishi o'ng tomonga suriladi, avval zichlashish bo'lgan joyda, zarrachalar siyraklashadi (2.3.3-rasm). Keyingi zichlashish va siyraklashish 2.3.4 va 2.3.5-rasmlarda ko'rsatilgan.

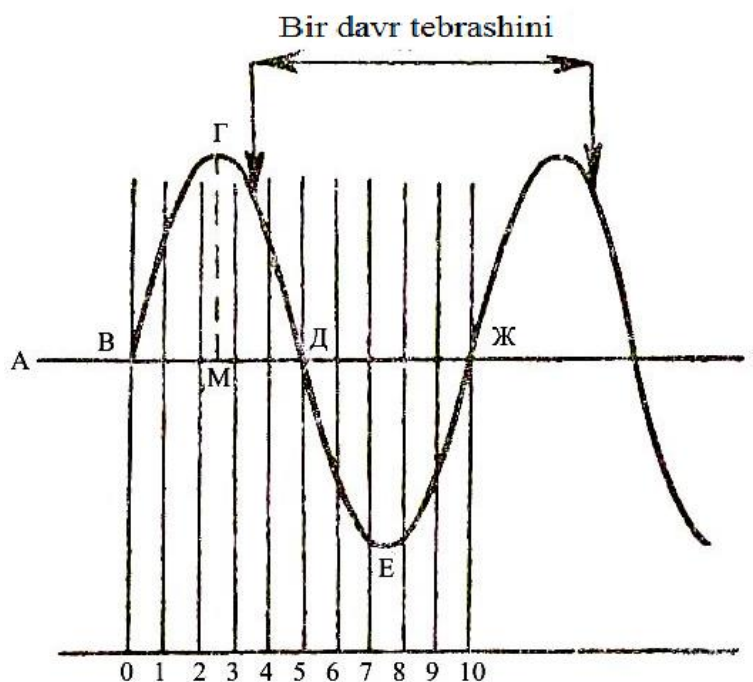
Biz zarrachalarning chapdan o'ngga va o'ngdan chapga muvozanat holati oldida harakatlanishini ko'ramiz. Zichlashish va siyraklashishning barchasi bir tomonga yo'nalgan to'lqinni tashkil etadi.

Ko'rib chiqilgan misoldan real voqealariga o'tsak, tovush tebranishlari havoda tarqalib, havo zarrachalarining ketma-ket zichlashishi va siyraklashishi ta'kidlab o'tamiz. Tovush to'lqinlari tarqalishi yo'nalishida o'rnatilgan sezgir asbob tovush bosimining davriy o'zgarishini qayd etadi. Boshqacha aytganda, mavjud nuqtadagi o'zgarmas bosim, vaqti-vaqti bilan goh oshib (siqilib), goh pasayib (siyraklashib) turadi. Bosim o'zgarishi qiymati **bosim amplitudasi** ( $r_0$ ) deb ataladi, uning o'lchov birligi Paskal (Pa). Ko'p hollarda **effektiv bosim** ( $r$ ) deb ataluvchi o'lchov birlik qo'llaniladi va u bosim amplitudasi bilan quyidagicha bog'liq:

$$p = \frac{p_0}{\sqrt{2}}, \text{ Pa} \quad (2.12)$$

## 2.5. Sinusoidal tebranishlar

Tebranishlar jarayonini grafik usulida tasvirlash mumkin. Buning uchun absissa o'qi (gorizontal chiziq) bo'yicha chapdan o'ngga tebranishlar sodir bo'layotgan vaqtni, ordinata o'qi bo'yicha esa (vertikal chiziq) har bir vaqt uchun tebranuvchi mayatnikning muvozanat holatidan og'ish qiymatini (shar siljiyotgan yoy uzunligini) belgilaymiz. 2.4-rasmda AV chiziq mayatnikning muvozanat holatiga mos.



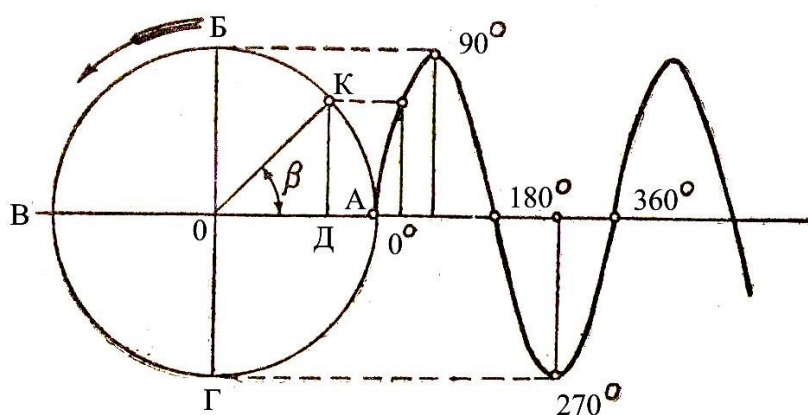
2.4- rasm. Oddiy sinusoidal tebranish

Og'ishlar shu chiziqdan yuqori va past tomon sari sodir bo'ladi. Misol uchun tbranishlar chastotasi 1 sekundiga 100 marta yoki qabul qilingan belgilanish bo'yicha 100 Gers tebranishni ko'rib chiqamiz. Faraz qilaylik, vaqt  $t=0$  teng bo'lganda V nuqta tebranuvchi jismning harakatsiz (tinch) holatiga mos. Vaqtning keyingi onlarida jism tezlikni asta – sekin yo'qotib G nuqtaga yetadi, va bu  $t = 1/4$  davr vaqti, ya'ni 0,0025s mos keladi. MG bo'lak tebranish amplitudasi. So'ng jism yana muvozanat holatiga (D) harakatlanadi va bu holatga sanoq boshlangan vaqtdan  $\frac{1}{2}T = 0,005$  s o'tgandan so'ng yetadi. Mulohazani shu yo'sinda davom ettirib pastki maksimal og'ish  $t = 3/4T = 0,0075$  s so'ng

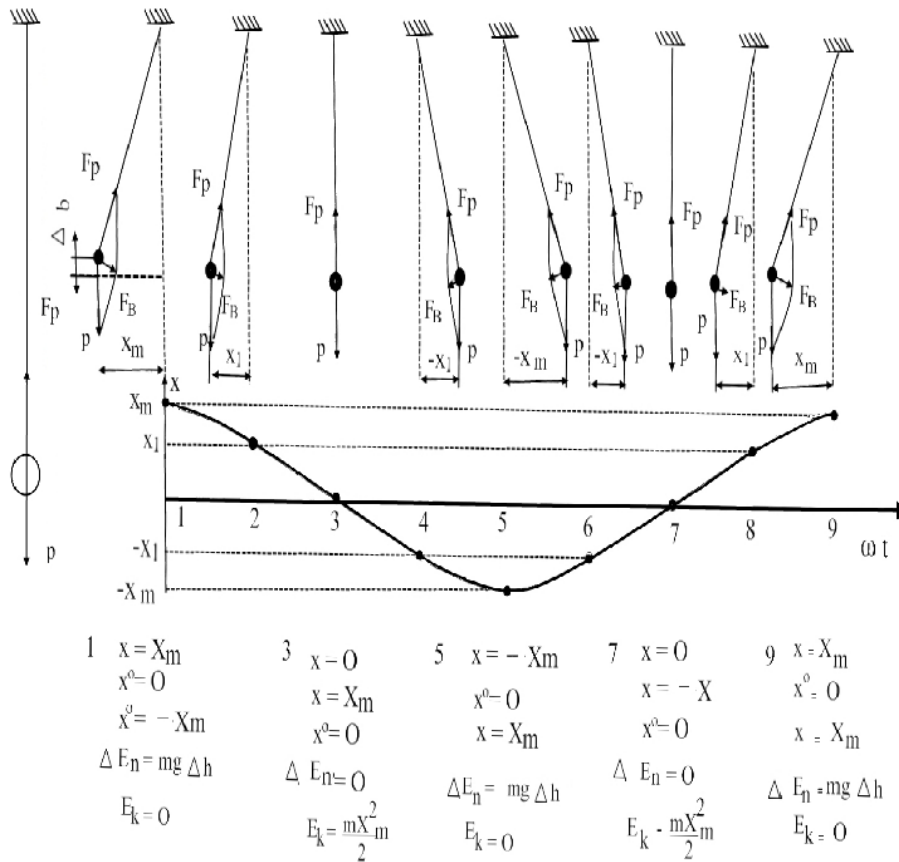


erishiladi. Jismning to‘liq tebranishi J nuqtaga yetganda tugaydi. Tabiiyki tebranishning boshlanishi jismning istalgan holatni, uning tugashi esa, og‘ish kattaligi, yo‘nalishi va harakat tezligi bo‘yicha birinchisiga aynan o‘xshash boshqa holatni hisoblash mumkin. 2.5-rasmda keltirilgan egri chiziq shakli eng oddiy tebranish turiga mos bo‘lib **sinusoida** deb ataladi. Sinusodani ordinata o‘qi bo‘yicha (2.5-rasm)  $\beta = KOA$  burchak sinusini (KD chizig‘iga proporsional) ketma-ket ordinata o‘qi bo‘yicha K nuqtani strelka bo‘yicha bir tekis yo‘nalishi sharti bilan hosil qilish mumkin. 2.4 va 2.5–rasmlarni solishtirib shuni ko‘ramizki, 2.5-rasmda absissa o‘qi bo‘yicha 2.4-rasmdagi t vaqtga proporsional  $\beta$  burchak qo‘yilgan.

$\beta$  qiymat tebranishlar **fazasi** deb ataladi.



2.5-rasm. Sinusoidal tebranish hosil bo‘lishiga oid

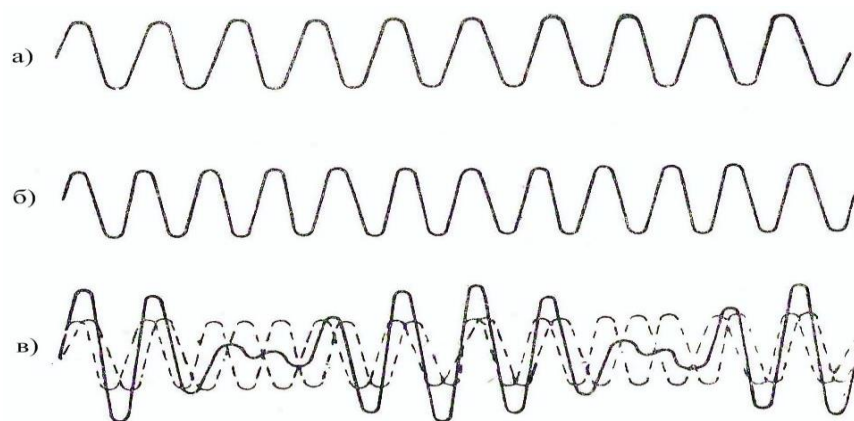


2.6-rasm. Sinusoidal tebranish hosil bo'lishiga oid yana bir misol

### 2.6. Tepkili tebranishlar

Bir vaqtda bir necha tovushlarni qabul qilish qo'shimcha eshitish hodisalariga sabachi bo'ladi. Balandligi va tembri bo'yicha bir xil ikkita tovush eshitish a'zoimiz asosiy membranasining bir bo'lagini qo'zg'atadi va ikkala tovush, eshitish a'zoimizda qo'shilib ketadi. Ikkita tovushning bir-biridan balandligi bo'yicha ozgina farqlanishi asosiy membraning qo'shni qismi-ni qo'zg'atadi va biz bitta tovushni eshitamiz. Ammo bu holda **tebranish tepkili**, ya'ni eshitiladigan tovush amplitudasi va chastotasining davriy (vaqti-vaqti bilan) o'zgarishi ro'y beradi.

Tepkili tebranishlarning kelib chiqish sabablarini 2.7-rasmda ko'satilgan chastotalari bo'yicha bir-biriga yaqin bo'lgan ikkita tizim to'lqinlarining jamlanishida ko'rib chiqamiz.



2.7-rasm. Tepkili tebranishlar

2.7a-rasmda ajratilgan bo‘lakda 10 to‘lqin, 2.7b-rasmda shu bo‘lakda 12 to‘lqin tebranishlari mavjud, bundan ikki tizim tebranish chastotalari farqiga teng son bo‘lagida ikkita tepkili tebranish 2.7v-rasm (uzluksiz chiziq) hosil bo‘ladi.

Ikkala tovush chastotalari ayirmasi farqi oshganda biz har bir tovushni alohida-alohida eshitamiz. Tez-tez tepkilanish yoqimsiz xirillashga olib keladi. Ayniqsa chastotasi sekundiga 30 marta tebranish juda yoqimsizdir. Chastotalar farqi oshganda tepkili tebranish kamroq seziladi va nihoyat butunlay sezilmaydi.

## 2.7. Tebranishlarning to‘lqinsimon tarqalishi

Hovuzdagi suvga kichik toshni tashlaymiz. Tosh tushgan joyda halqasimon to‘lqin paydo bo‘ladi va u tezda tarqala boshlaydi. Tarqalayotgan to‘lqindan so‘ng kengayayotgan halqasimon chuqurcha paydo bo‘ladi, so‘ngra yana halqasimon dolg‘a (do‘nglik), chuqurcha paydo bo‘ladi va h.k. Halqasimon do‘nglik va chuqurchalarning barchasi **to‘lqin** deb nomlanadi. To‘lqinlar tosh tushgan joydan har tomonga bir xil tezlikda tarqala boshlaydi. Agarda hovuz yuzasi tekis va toza bo‘lsa, u holda bizga go‘yoki hovuzdagi suv tosh tushgan joydan ko‘chayotgandek tuyuladi. Agarda hovuzdagi suv yuzasida biron - bir cho‘p yoki barglar bo‘lsa, unda biz hovuz yuzasidagi suv xarakatlanmay, shunchaki yuqori va past tomonga tebranayotganini yaqqol ko‘ramiz. Bunda, suv yuzasidagi barglarning to‘lqin o‘tishi vaqtida ko‘tarilishi va tushishi, ammo o‘z joyidan qo‘zg‘almasligi yaqqol ko‘rinadi.

Tosh tushgan joydagi suv zarrachalarining muvozanat holatidan chiqishi, qo‘shni qatlamdagi suv zarrachalarining muvozanat holatidan chiqishiga olib keladi. Keyingi tebranishlar biroz kechishi bilan barcha

tebranish jarayonlarini takrorlab, oʻzidan keyingi qatlam zarrachalariga oldingi qatlam zarrachalaridan olgan energiyaning bir qismini uzatadi va h.k. Bayon etilgan jarayon **tebranishlarning toʻlqinsimon tarqalishi** nomini olgan. Bir sekund davomida tebranishlar tarqalishi masofasi tebranishning **tarqalish tezligi** deb ataladi va  $s$  harfi bilan belgilanadi. Ikki nuqta orasidagi bir xil masofa **toʻlqin uzunligi** deb ataladi va grekcha  $\lambda$  (lyambda) harfi bilan belgilanadi.

Shunday qilib, tovush tebranish tezligi, tebranish chastotasi va toʻlqin uzunligi oʻrtasida quyidagi bogʻliqlik mavjud:

$$S = f \cdot \lambda, \quad (2.13)$$

yaʼni tebranish tarqalish tezligi tebranish chastotasi va toʻlqin uzunligi koʻpaytmasiga teng.

## 2.8. Tovush tebranishlari energiyasi

Tovush tebranishlari amplitudasi yoki effektiv bosim qanchalik katta boʻlsa, tebranish tarqalishida uzatiladigan **energiya** shunchalik koʻp boʻladi. Bir sekundda tovush tebranishlari tarqalishiga perpendikulyar boʻlgan, bir kvadrat santimetr yuzadan oʻtayotgan energiya miqdori **tovush kuchi** deb ataladi. Tovush kuchi va effektiv bosim oʻrtasida quyidagi bogʻliqlik mavjud:

$$I = \frac{p^2}{\rho c}, \quad (2.14)$$

Bunda:  $I$ - tovush kuchi,  $p$ - effektiv bosim,  $\rho$ - havo zichligi va  $s$ - tovushning havodagi tezligi, tovush kuchi birligi  $\frac{\text{vatt}}{\text{cm}^2 \cdot \text{c}}$

Havo harorati va bosimi normal boʻlganda  $\rho s$  koʻpaytmasi taxminan 41 ga teng.

## 2.9. Tovush tebranishlarining tarqalish tezligi

Tovush tarqalish tezligi tovush tarqalayotgan muhitning fizik xususiyatlari, yaʼni zichligi va elastikligiga bogʻliq.

Tovush tezligi havo harorati  $0^{\circ}$  va moʻtadil sharoitda sekundiga taxminan 330 metrga teng. Havo harorati  $+15^{\circ}\text{S}$  oshganda tovush tezligi sekundiga taxminan 340 metrni tashkil etadi.

Quyidagi jadvalda ayrim materiallarda tovush tarqalish tezligi keltirilgan.

T/r	Material nomi	Tovush tarqalish tezligi, m/s
1.	Shisha	5600
2.	Alyumin	5100
3.	Temir	4900
4.	Qo'rg'oshin	1300
5.	Suv	1430
6.	Vodorod	1280

### 2.10. Tovushning qaytishi

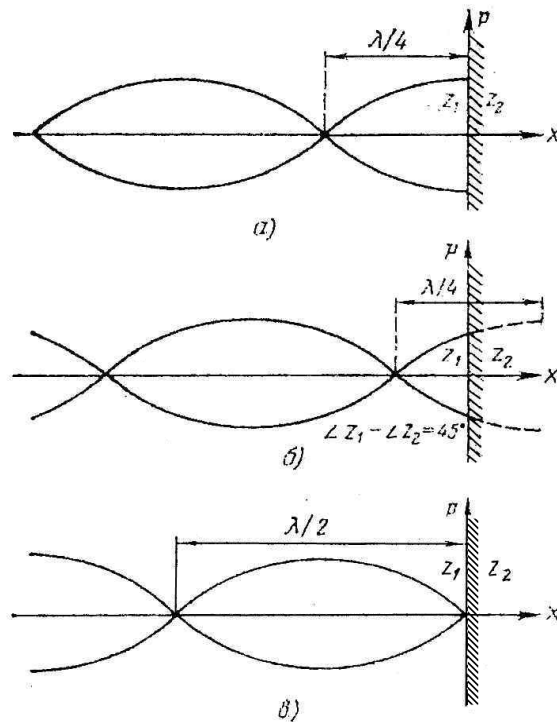
Agarda tovush to'liqini o'z yo'lida qandaydir to'siq yoki boshqa parametrli muhitga duch kelsa, unda tovush to'liqinining qaytishi kuzatiladi. Qaytishning samaradorligi qaytish koeffitsienti bilan tavsiflanadi. Akustikada qaytish koeffitsienti deb, qaytgan tovush to'liqin intensivligining  $I_{qayt}$  tushayotgan to'liqin intensivligi  $I_{tush}$ , nisbatiga aytiladi, ya'ni  $\alpha_{qayt} = I_{qayt}/I_{tush}$ . Qaytarishda tushayotgan va qaytgan tovush to'liqini bosimlari o'rtasida faza siljishi paydo bo'ladi.

Ikkala muhitning qarshiligi aktiv bo'lsa, unda faza siljishi nolga teng (qaytaruvchi muhitning qarshiligi birlamchi muhit qarshiligidan katta), yoki  $180^\circ$  (qaytaruvchi muhitning qarshiligi birlamchi muhit qarshiligidan kichik). Bir yoki ikkala akustik qarshiliklar reaktiv tarkibga ega bo'lsa, unda faza siljishi  $0^\circ$  yoki  $180^\circ$  o'rtasida bo'ladi.

Tovush qaytganda bosim bo'yicha siljish fazasi nolga teng bo'lsa (atrof muhit akustik qarshiligi birlamchi muhit qarshiligidan akcha katta), unda muhitlar chegarasida tovush bosimining do'ngligi (2.8a-rasm), tebranish tezligi esa, tugun hosil qiladi. Ikkala muhitning akustik qarshiliklari nisbati teskari bo'lganda, tovush bosimi uchun siljish fazasi  $180^\circ$ , muhit chegarasida tovush bosimining tuguni (2.8v - rasm) va tebranish tezligining do'ngligi hosil bo'ladi.

Agarda tovush bosimi bo'yicha qaytarishda faza siljishi nol va  $180^\circ$  ga farqlansa, unda tugun va do'nglik mos holda muhitlarni bo'lib turuvchi chegara yuzasidan siljiydi.

2.8b - rasmda siljish fazasi  $90^\circ$  bo'lgan holat ko'rsatilgan.



2.8 - rasm. Qaytgan tovush bosimi amplitudalarining turli faza siljishdagi taqsimoti:

- a) faza siljishsiz;
- b) faza siljishi  $90^\circ$ ;
- v) faza siljishi  $180^\circ$ .

## 2.11. Tovush to‘lqinlarni jamlash va to‘lqinlar interferensiyasi

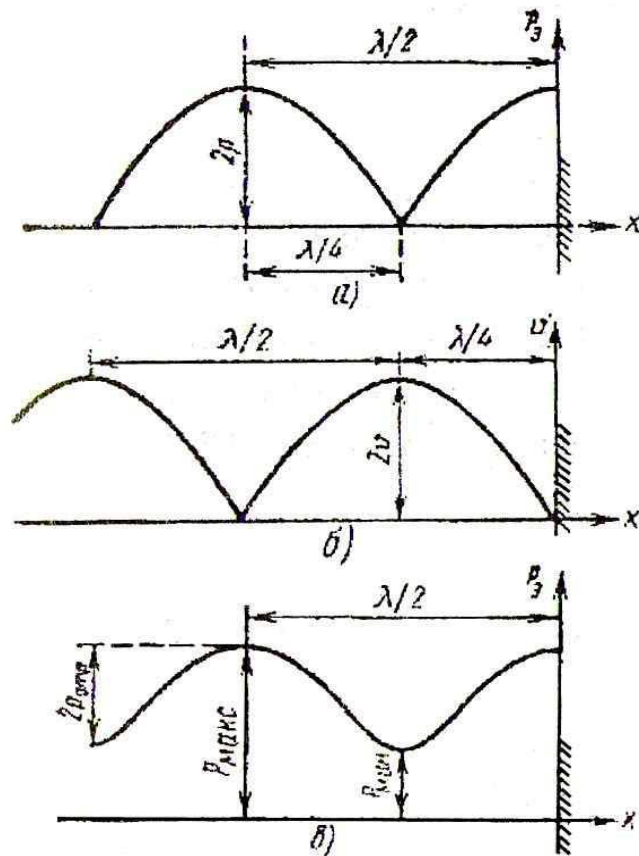
Ko‘pincha elastik muhitda bir emas, birnecha manba to‘lqinlari tarqaladi. Bunda to‘lqin superpozitsiyasi, ya’ni to‘lqin tarqalishi boshqa to‘lqinlar bo‘lmagan holdagidek kuzatiladi. Haqiqatan ham, bir necha to‘lqinlar havoda bir-biriga halaqit bermasdan tarqalishi mumkin. Muhitda murakkab tovush maydoni hosil bo‘ladi. To‘lqinlarni jamlashning turli holatlaridan eng oddiyi va muhim ahamiyatga ega bo‘lgani chastotasi bir xil ammo, amplituda va tarqalish yo‘nalishi turlicha bo‘lgan to‘lqinlarni jamlashdir. Ularni jamlaganda tovush interferensiyasi paydo bo‘ladi. Bu hodisa quyidagidan iborat, tovush to‘lqinlari ko‘rilayotgan maydonning ayrim nuqtalarida, shu nuqtalarga ko‘rilayotgan to‘lqinlar bir xil fazada yetadi va to‘lqin tebranishining kuchayishi kuzatiladi; agarda ushbu to‘lqin tebranishlari qarama-qarshi fazada bo‘lsa, unda muhitning bunday uchastkalarida to‘lqin harakati susayadi yoki butunlay yo‘qoladi. Boshqacha qilib aytganda, bir xil

uzunlikdagi to‘lqinlar qo‘shilganda tebranishlarning kuchayishi yoki susayishi **to‘lqin interferensiyasi** deb ataladi.

Barqaror interferensiya manzarasini hosil qilish uchun, kogerent to‘lqin mabalari kerak, ya’ni faza siljishsiz bir xil chastota nurlatuvchi mabalar kerak.

Agarda ikkita bir xil amplitudali tovush to‘lqinlari qarama - qarshi yo‘nalishda tarqalayotgan bo‘lsa, unda do‘nglik va tugunli turg‘un to‘lqin hosil bo‘ladi. Qo‘shni tugunlar va do‘ngliklar orasi yarim to‘lqin uzunligiga teng (2.9-rasm), tugun va do‘nglik oralig‘i esa, chorak to‘lqin uzunligiga teng. Do‘nglikda tovush bosimi amplitudasi ikkilangan yuguruvchi to‘lqin amplitudasiga, tugunda esa, amplituda nolga teng. Bosim va tebranish tezligi do‘ngligi bir-biri bilan mos kelmaydi, balki ular bir-biridan chorak to‘lqin oralig‘ida bo‘ladi (2.9 - rasm a va b). Xuddi shunday, do‘nglikda tebranish tezligi amplitudasi ikkilangan qiymatga ega.

Turg‘un to‘lqinlarda energiya oqimi nolga teng, shuning uchun ularni butkul energiya yoki tovush bosimining kvadrati bilan tavsiflaydilar. To‘g‘ri va teskari to‘lqin amplitudalari teng bo‘lmaganda turg‘un to‘lqin, qaytgan to‘lqin va qisman amplitudasi qaytgan to‘lqin amplitudasiga teng to‘g‘ri to‘lqin yig‘indisi natijasida sodir bo‘ladi. To‘g‘ri to‘lqinning qolgan qismi yuguruvchi to‘lqin hosil qiladi (2.9 v-rasm).



2.9- rasm. Interferensiya vaqtida tovush bosimi va tebranish tezligining taqsimlanishi:

- a) bir xil amplitudali tovush bosimi uchun;
- b) tebranish tezligi uchun;
- v) turli amplitudali tovush bosimi uchun.

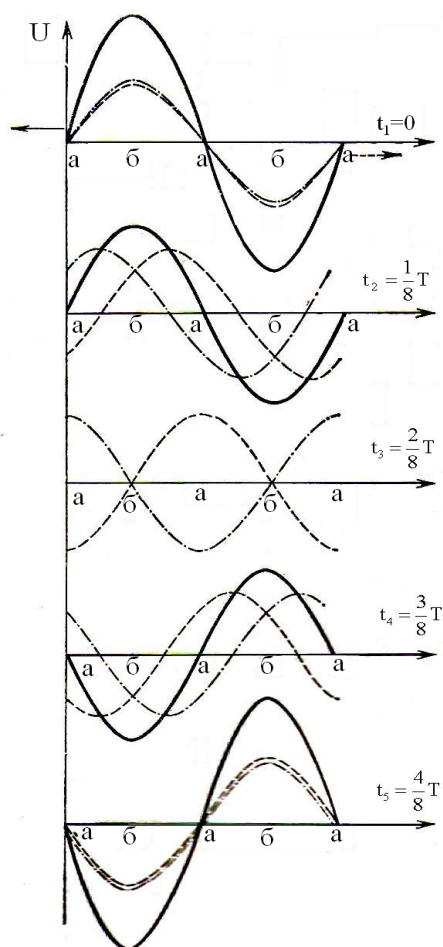
Bir xil amplituda va chastotaga ega bo'lgan, ammo bir-biriga qarama-qarshi tomon yo'nalgan to'lqin jamlanishining yana bir xususiy holini ko'rib chiqamiz (2.10-rasm).

Faraz qilaylik,  $t=0$  vaqtda ikkala to'lqinning fazalari bir xil. Undan tashqari, shtrix liniyalı to'lqin o'ng tomonga, shtrixpunktirli to'lqin chap tomonga tarqaladi. Dastlabki vaqtda muhitning barcha nuqtalari tebranish bo'lmayotgan  $\alpha$  nuqtadan tashqari (siljish nolga teng) ikkilangan siljishga ega.  $t_2 = \frac{T}{8}$  to'lqin manzarasi o'zgaradi, chunki bu vaqt ichida shtrixli to'lqin  $\frac{1}{8}\lambda$  qiymatga o'ng tomonga siljidi, boshqa to'lqin esa shunday masofaga chap tomonga siljidi. Har bir zarrachaning umumiy siljishini aniqlash natijaviy to'lqin holatini olish imkonini beradi.



Rasmdan ko‘rinib turibdiki, bu vaqtda ham  $\alpha$  nuqta zarrachalari tinch holatda qolmoqda. Qolgan zarrachalarning holati o‘zgargan. Bir-biridan  $\frac{T}{8}$  vaqt orlig‘ida bo‘lgan  $t_3, t_4, t_5$  vaqt jarayonlarini kuzatishni davom ettirsak, har bir vaqt uchun to‘lqin yig‘indisi shaklini olish mumkin. Grafikdan shu narsa ko‘rinib turibdiki,  $\alpha$  nuqtada hamma vaqt tebranish yo‘q,  $\beta$  nuqtada zarrachalar maksimal amplitudada tebranadi.

Yig‘indi to‘lqinning harakatsiz nuqtalari **tugunli** deb aytiladi. Tebranishlar jadal bo‘layotgan nuqtalar **do‘nglik nuqtalari** deb ataladi.



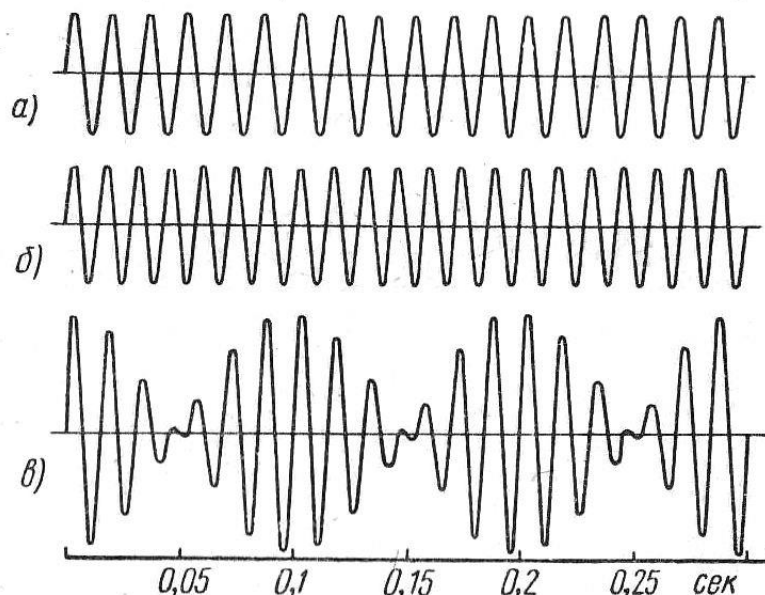
2.10-rasm. To‘lqinlarning jamlanishiga oid

Do‘ngliklar tugunlar o‘rtasida joylashgan. Bunday holdagi to‘lqin jarayoni **turg‘un to‘lqin** deb ataladi.

Turg‘un to‘lqin holatida yuguruvchi to‘lqinning har bir tarkibi bir xil energiyani ko‘chiradi, ammo qarama-qarshi tomonga. Natijada, tovush intensivligi nolga teng. Turg‘un to‘lqin maydon energiyasini tovush energiyasi zichligi bilan ifodalash ma‘qul. Havoda turg‘un to‘lqin paydo bo‘lishi tovush maydonida energiyani notekis

taqsimlanishiga olib keladi. Real tovush maydonida ancha murakkab interferensiyalar ro'y beradi. Ular xonada tovushni eshitishga va elektroakustik apparaturalarning ishlashiga ta'sir ko'rsatadi.

Tebranish to'lqinlarni jamlashni yana bir misolda ko'rib chiqamiz. Tebranish chastotalari 60 va 70 Gs to'lqinlarni qo'shganimizda shrtacha chastotasi 65 Gs teng bo'lgan tovush tebranishni olamiz (2.11-rasm).

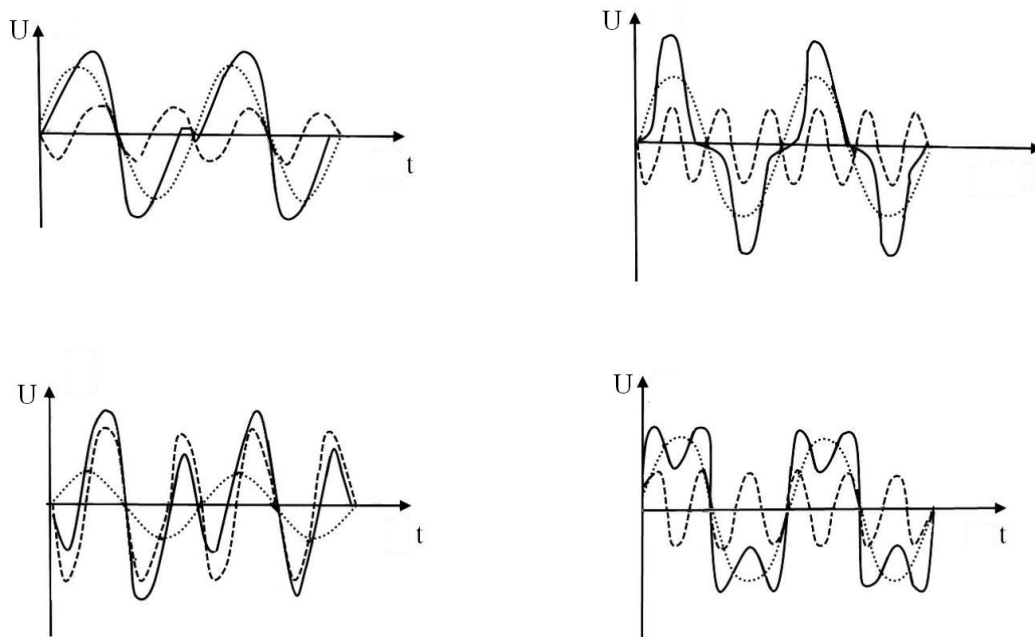


2.11 – rasm. Tebranishlarni qo'shganida “tepkili” tebranish hosil bo'lishiga oid

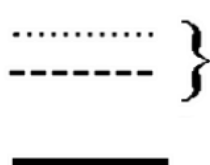
Bunday tebranish “tepkili” tebranish deb ataladi. Rasmdan ko'rinib turibdiki, bunday murakkab tebranish amplitudasi davriy o'sish va so'nish xususiyatiga ega. Tepki chastotasi  $f$ , ya'ni amplitudaning bir sekundda o'zgarish soni, ikkita tebranishlar chastotasi ayirmasiga bog'liq va uning miqdori quyidagicha aniqlanadi:  $f = |f_1 - f_2|$ , bunda ayirma  $|f_1 - f_2|$  “tepkili” tebranishlar soni ikkita  $f_1$  va  $f_2$  tebranish chastotalari ayirmasining absolyut qiymatiga bog'liq bo'lib,  $f_1 > f_2$  va  $f_2 > f_1$  shartlarda bir xil bo'ladi. 2.11v-rasmda bir sekundda 10 tepkili tebranish beradigan yig'indi tebranish keltirilgan.

“Tepki” o'rtacha chastotasi  $\omega = \frac{\omega_1 + \omega_2}{2}$  teng bo'lgan tovush kuchining o'sishi va susayishi bilan kuzatiladi. Tepkili tebranish eshitish a'zoimizda notekis (“to'lqinsimon”) tovush hissini paydo qiladi. Musiqada bunday tebranishni “vibratsiya” yoki “titrash” deb ham ataydilar. Vibratsiya ijro uslubi hisoblanib, tovush o'zgarishi va jozibadorligini oshiruvchi alohida tembr (rang) beradi.

Tovush, ayniqsa musiqa tovushlari vibratsiyasiz jonsiz, kam ta'sirchan tuyuladi.



2.12 – rasm. Teng chastotali garmonik tebranishlarni jamlashga oid



jamlanuvchi tebranishlar

yig'indi tebranish

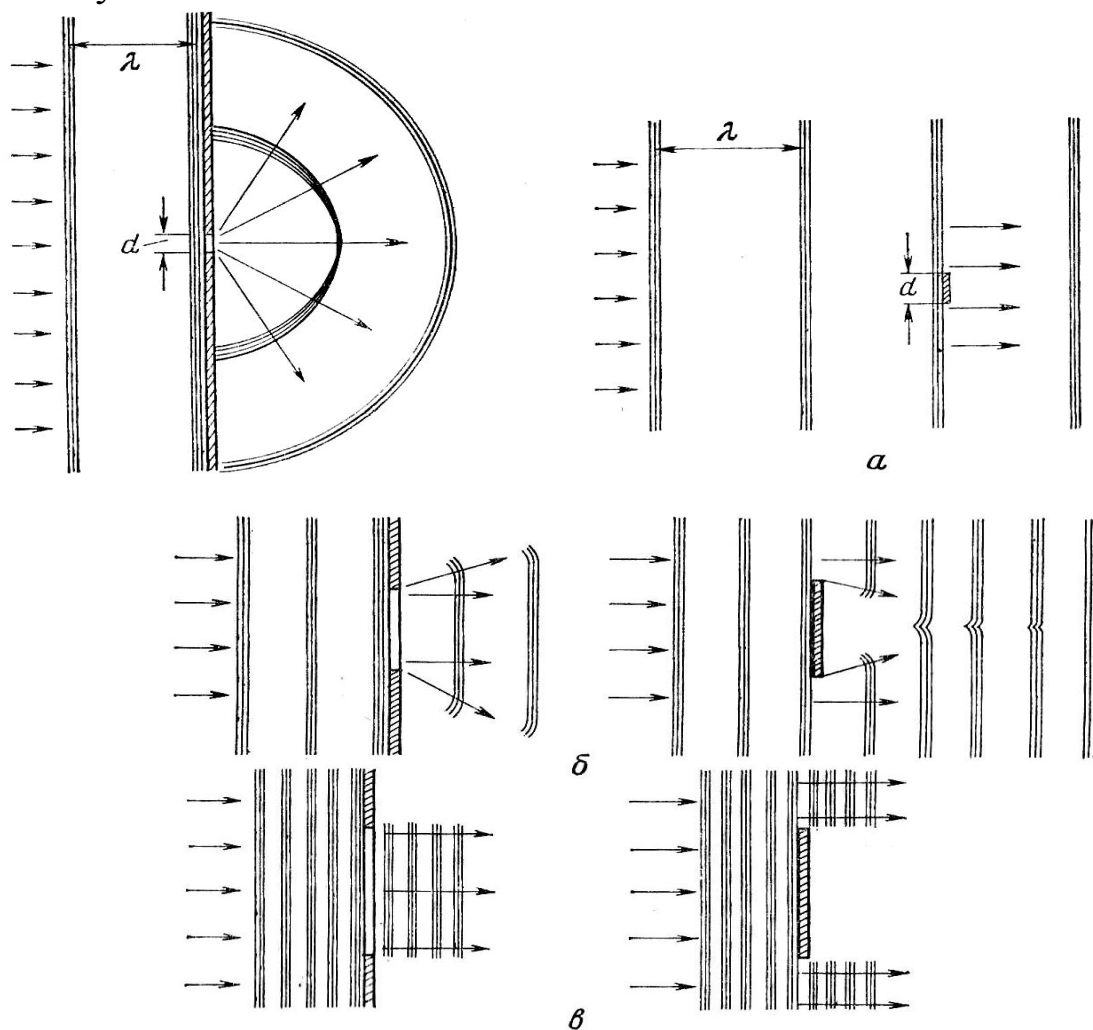
Akustikada ikkita ovozni o'zaro ohangdoshligini sozlashda (unison) beqiyos ahamiyatga ega. Unisonda, ya'ni ikkita tovush balandligi mutloq mos bo'lganda (amplitudalari bir xil bo'lgan ikkita tebranish to'liqlari chastotalari mos bo'lganda) tepki yo'qoladi, chastotalari o'zgarganda yana paydo bo'ladi, ayniqsa tebranish amplitudalari  $A_1 = A_2$  bo'lganda, chunki "teпки" paytida tebranish amplitudasi keskin:  $2A$  dan nolgacha o'zgaradi. Tovush kuchi mos holda eng katta qiymatdan nolgacha o'zgaradi. Tovush kuchining bueday o'zgarishini qulog'imiz aniq eshitadi.

Amalda ikkita ovozni, bitta ovoz chastotasini o'zgartirish bilan unison sozlashda "teпки nol" bo'lishga erishguncha, ya'ni u mutloq yo'qolgunga qadar harakat qilinadi.

Teng chastotali garmonik tebranishlarni jamlash 2.12 - rasmda keltirilgan.

## 2.11. Tovush difraksiyasi

Yuqorida (§ 1.10) ta'kidlaganimizdek tovush to'liqini tarqalishi yo'nalishida biron-bir to'siq bo'lsa, u holda tovush to'liqini shu to'siqdan qaytadi. Agarda to'siq o'lchami tovush to'liqini uzunligidan kichik bo'lsa, u holda tovush to'liqini to'siqni aylanib o'tib o'z yo'nalishi bo'yicha tarqaladi. Bu hodisa **difraksiya** deb ataladi (2.13-rasm). Elektroakustika va radioeshittirishda radio tinglovchining boshiga teng o'lchamdagi to'siqlar yuqori chastota tovush to'liqlarini tarqalishiga xalaqit beradi va past chastota to'liqlariga hech qanday ta'sir ko'rsatmaydi.

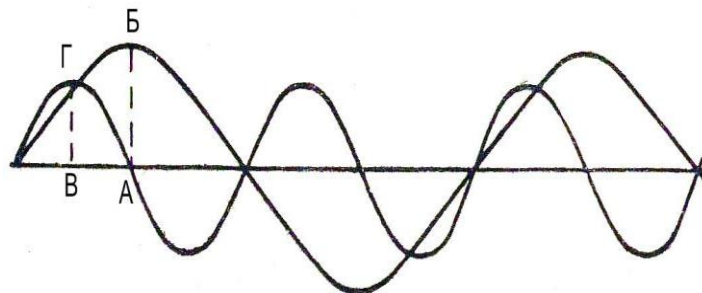


2.13 – rasm. Tovush to'liqlarni teshikli to'siqqa yoki to'siqdan o'tishi

## 2.12. Murakkab tebranishlar

Agarda bir yoki bir necha tomondan bir vaqtda bir necha tovush tarqalsa, ularning har biri fazoning tovush tarqalayotgan nuqtasida boshqa tovushlar bor yo'qligidan qat'iy nazar ularga bog'liq bo'lmagan holda tarqaladi. Boshqacha qilib aytganda bir manbadan chiqayotgan tovushni tarqalishida ishtirok etayotgan havo zarrachalari boshqa manbadan chiqayotgan tovushni tarqalishida ham shunday qatnashadilar, har bir tovush havo zarrachalari go'yo muvozanat holatda turgandagidek tarqaladi. Shunday qilib, havo zarrachalarining holati har onda unga ta'sir etayotgan to'lqin kuchlari yig'indisi bilan aniqlanadi. Bunday to'lqinlar **murakkab to'lqinlar** deb ataladi.

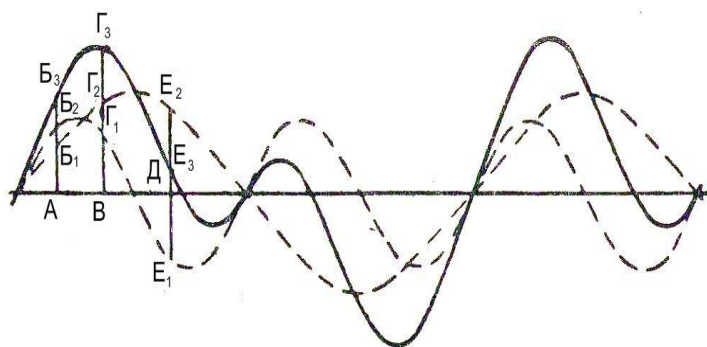
Misol tariqasida bir tomonga yo'nalayotgan, chastotalari turlicha bo'lgan ikkita sinusoidal signaldan murakkab signal tashkil bo'lishini grafik asosida ko'rib chiqamiz. 2.14-rasmda ikkita tebranish tizimining sinusoidal signallari ko'rsatilgan: birinchi tizim signalining amplitudasi (AB) ikkinchi tizim signalining (VG) amplitudasidan ancha katta, chastotasi esa ikki marta kichik.



2.14-rasm. Murakkab to'lqinlar

Birinchi tizim signalning har bir to'lqinga ikkinchi tizimning ikkita to'lqini to'g'ri keladi.

Murakkab to'lqin shakli ikki tizimning o'zaro ta'siri natijasi bo'lib absissa o'qi bo'yicha har bir nuqta uchun ordinata o'qidagi to'lqin amplitudalari qiymatini geometrik qo'shish natijasida olinadi (2.15-rasm).



2.15-rasm. Murakkab to‘lqinlarni qo‘shish

$AB_3$ - zarrachaning murakkab to‘lqindagi holati.

$$AB_3 = AB_2 + AB_1;$$

$$VG_3 = VG_2 + VG_1;$$

$DE_3 = DE_1 - DE_2$ , chunki  $DE_2$  ning og‘ishi qarama-qarshi tomonga yo‘naltirilgan. 2.15- rasmda murakkab to‘lqin shakli uzluksiz egri chiziq bilan ko‘rsatilgan. Shunday usul bilan turli chastota va amplitudali sinusoidal signallarni qo‘shib murakkab to‘lqinlarni hosil qilish mumkin.

Biz tebranishlarning paydo bo‘lishi va tarqalishi haqida gap yuritganimizda faqat oddiy yoki sinusoidal tebranishlarni ko‘rib chiqdik. Ammo amalda bunday turdagi tebranishlar juda kam uchraydi. Deyarli barcha tovush manbalari (nutq, ashula, musiqa) juda murakkab tebranish shakllariga ega. Shuning uchun ularni yuqorida ko‘rganimizdek, tebranishlarni qo‘shish bilan emas, balki murakkab tebranishlarni tarkiblarga ajratish bilan shug‘ullanishga to‘g‘ri keladi.

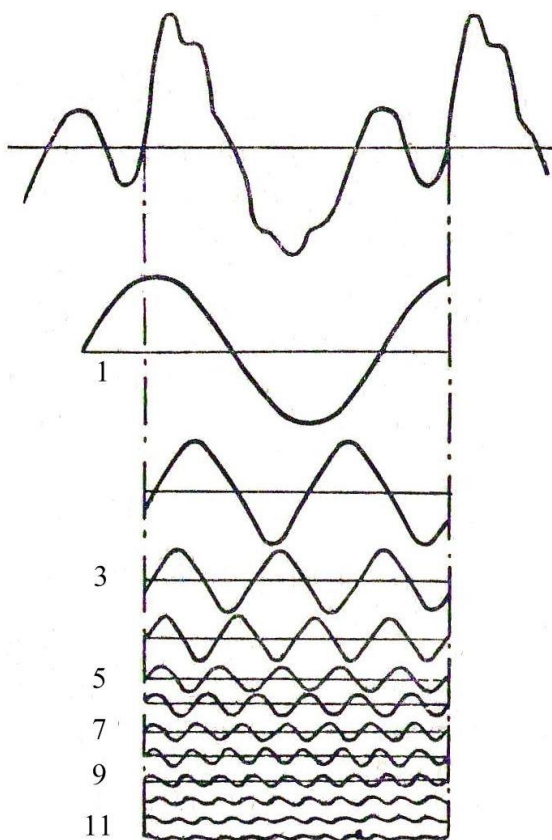
Tebranishlar qanchalik murakkab bo‘lmasin u takrorlanadi. Bunday takrorlanadigan tebranishlar **davriy tebranishlar** deb ataladi.

**Nodavriy tebranishlar** ham mavjud. Nodavriy tebranishlarning davriy tebranishlardan farqi shundaki, nodavriy tebranishlarning bir davri qachon tugashi va qachon yangisi boshlanishi noma’lum.

Ma’lumki, har qanday murakkab davriy tebranishlarni qator oddiy sinusoidal tebranishlarga ajratish mumkin. Ularning chastotalari bir-biriga nisbatan 1:2:3:4:5:6 va h.k. nisbatda bo‘ladi. Bunday tarkibiy qismlar **obertonlar** yoki **garmonikalar**, eng past tarkibiy qismlar esa, **asosiy ton** deb ataladi. 2.16-rasmda murakkab tebranishlarni uning tarkibiy qismlariga (komponentlarga) ajratish ko‘rsatilgan.

Vertikal uziq chiziqlar bilan tebranishning bir davri ajratilgan. Rasmdan ko‘rinib turibdiki garmonikalar raqami tebranishlar chastotasiga proporsional.

Nodavriy tebranishlarni tarkibiy qismlarga ajratish anchagina murakkab. Nodavriy tebranishlarning tarkiblari chastota bo'yicha bir - biriga o'zaro oddiy son nisbatda emas.



2.16-rasm. Murakkab to'liqlarni ularning tarkiblariga ajratish

### 2.13. Tovush manbalari va rezonans

Ma'lumki havoda tovush hosil qilish uchun havo zarrachalariga qandaydir kuch ta'sir etib, havo qatlamlarini harakatga keltirish va o'zgaruvchan siqilish va siyraklashish holatiga keltirish kerak. Musiqa asboblari va odam ovozi, hayvonot olami, tabiat mo'jizalari: momaqaldiroq, kuchli shamol va b.q. lar tovush manbai hisoblanadi. Ular havo zarrachalarini harakatga keltirib ovoz tebranishlarini hosil qiladi.

Musiqa asboblari va odam ovozi elastik tizimga o'xshashdir. Sim torli musiqa asboblari go'yo trubadagi havo ustuni kabi xonandaning ovoz mushaklari esa, tashqi energiya ta'sirida (ijrochi qo'li, xonanda o'pkasi yordamida) tebranish qobiliyatiga ega. Bu tebranishlar ushbu tizimlarga xos tavsiflar bilan aniqlanadigan xususiy chastota bilan

tebranadi. Masalan, simli tor musiqa asboblarning xususiy tebranish chastotasi: simning uzunligi, diametri, tortilish tarangligi, solishtirma og'irligi, materiali va b.q. bog'liq.

Manbadan tarqalayotgan tovush kuchi, manba quvvatiga bog'liq. Tovush manbai **quvvati** deb, manba 1 sekund davomida nurlatayotgan tovush energiyasiga aytiladi. Quvvat o'lchov birligi  $1 \text{Vatt} = 10^7 \frac{\text{эрг}}{\text{с}}$ .

Elastik tizim tebranganda unda turg'un to'lqin paydo bo'ladi. Misol tariqasida shuni aytish kerakki, ikki tomoni biriktirilgan tor simi chekkalarida tugun, o'rtasida esa do'nglik hosil bo'ladi.

Agarda biron-bir elastik tizimga tovush to'qinlari ta'sir etsa va uning chastotasi elastik tizim chastotasiga teng bo'lsa unda elastik tizim tebranaboshlaydi. Bunday holat **birga tebranish** yoki **rezonans** deb ataladi. Bunga misol tariqasida Gelmgols rezonatorini keltirish mumkin. Gelmgols rezonatori arxitektura akustikasida keng qo'llaniladi va uning tuzilishi, ishlash prinsipi haqida akustik tebranish tizimlari bobida kengroq ma'lumot beramiz.

## 2.14. Turg'un to'lqinlar

Agarda uzun va tomonlari parallel shisha idishga suv to'ldirib suvning yuzasi qo'zg'atilsa va idishning qisqa yon devoridan ikkinchi yon devorigacha to'liq yarim to'lqin joylashsa u holda **turg'un to'lqin** hosil bo'lishining guvohi bo'lamiz. Bu hodisani shunday izohlash mumkin: to'lqinlar idishda bo'ylama harakatlanmaydi, suvning barcha yuzasi zonalarga taqsimlanadi, shu bilan birga ayrim zonalarda galma-galdan goh do'nglik, goh botiq paydo bo'la boshlaydi, boshqa zonalarda suvning yuzasi deyarli harakatsiz qoladi.

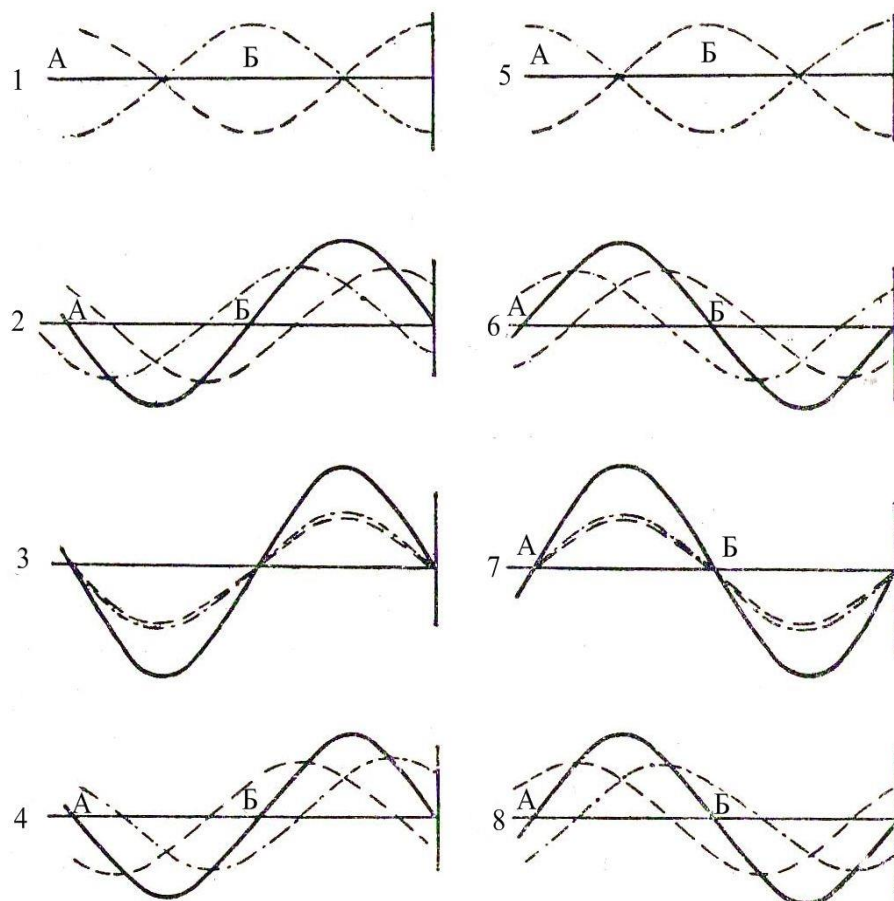
Do'nglik va botiq paydo bo'lgan zonalar turg'un to'lqin do'ngligi va nisbatan tinch zonalarda esa turg'un to'lqin tuguni paydo bo'ladi.

Idishning qisqa devorlari ikki tomonida albatta tugunlar bo'ladi. Ikkita qo'shni tugun yoki do'nglik orasidagi masofa yarim to'lqin uzunligiga teng.

Turg'un to'lqin hosil bo'lishining sababi idishning qisqa devoridan qaytgan to'lqinlarga unga qarama-qarshi kelayotgan to'lqinlar ta'sir qiladi.

2.17-rasmda nuqtali uzuq chiziq bilan suvli idishda chapdan o'ngga ketma-ket yo'nalayotgan to'lqin holati ko'satilgan.





2.17-rasm. Turg'un to'liqlarning qo'shilishiga oid

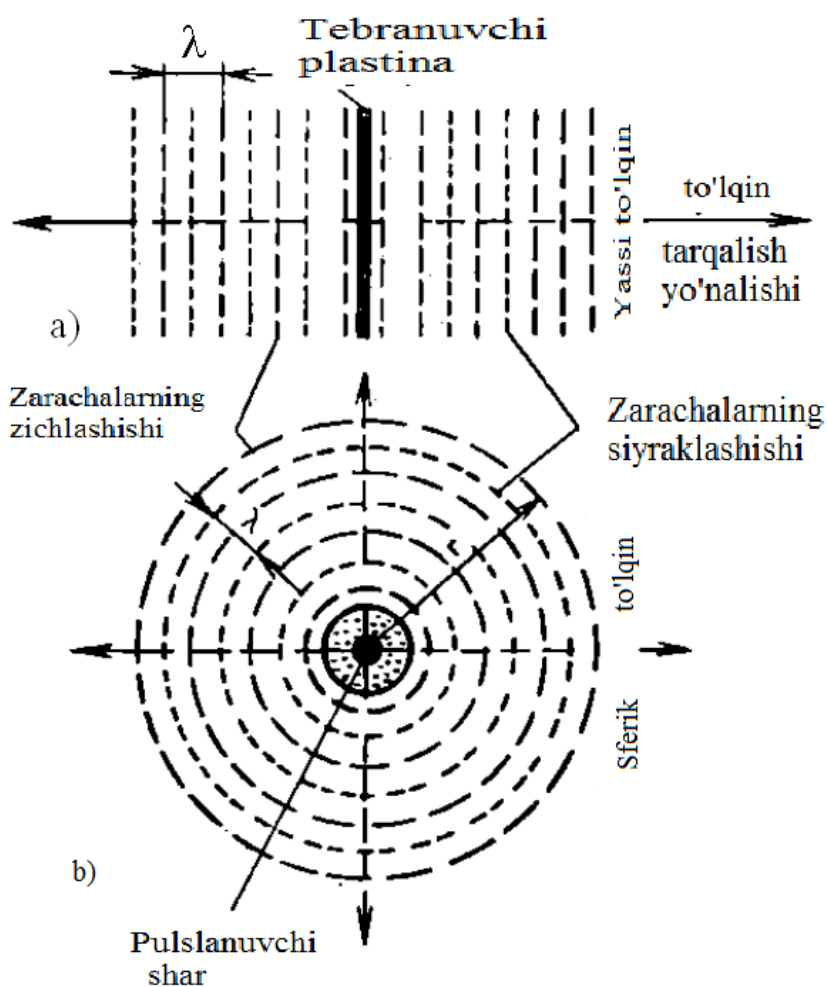
Qaytgan to'liqin uzoq chiziqchalar bilan belgilangan. Agarda tushayotgan to'g'ri va qaytgan to'liqin amplitudalarini qo'shsak natijaviy uzluksiz chizikli to'liqin olamiz, 2.17.1 va 2.17.5 rasmlarning barchasida bu chiziq yuza chizig'iga mos keladi. 2.17.2 va 2.17.8-rasmlarda har xil burchak fazalarda to'g'ri (uzuq chiziq), qaytgan to'liqin (nuqtali uzuq chiziq) va ularning yig'indi amplituda qiymatlari (uzluksiz chiziq) ko'rsatilgan. Shuni aytish lozimki, barcha rasmlarda bir-biridan yarim to'liqin uzunligida joylashgan A va B nuqtalarda yig'indi uzluksiz chiziq yuza chizig'idan chetga chiqmadi. Bu, ushbu nuqtalarda tugun mavjudligi va suv yuzasi tinch holatda ekanligidan dalolat beradi. Ikkita tugun oralig'ida esa, jarayon jadal kechadi - bu do'nglik.

Turg'un to'liqlar arxitektura akustikasi masalalarida muhim rol o'ynaydi.

## 2.15. Yassi to‘lqin

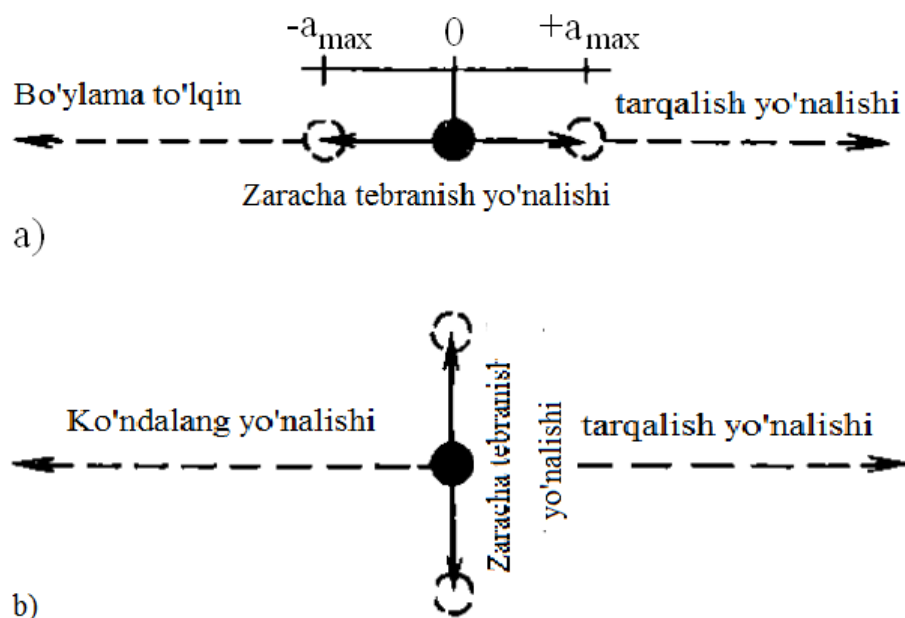
Tebranuvchi havo zarrachalarining tarqalishi quyidagi sxema bo‘yicha amalga oshadi: muhitning bitta zarrachasi unga yaqin bo‘lgan qo‘shni zarrachani tebranishli harakatga keltiradi, so‘ngra bu jarayon zanjir bo‘yicha boshqa zarrachalarga tarqaladi. Shuni inobatga olish kerakki, zarracha deganda o‘l-chamlari tovush to‘lqiniga nisbatan kichik, shuning bilan barobar molekula o‘lchamlariga nisbatan ancha katta bo‘lgan muhit elementi tushuniladi, demak bu elementni bir jinsli deyish mumkin.

Bunday jarayon natijasida zarrachalarning zichlashishi va siyraklashishi bilan almashinadigan tovush to‘lqini paydo bo‘ladi (2.18-rasm).



2.18-rasm. Tovush to‘lqini: a) yassi; b) sharsimon

Muhitda tebranishni qoʻzgʻatish usuliga bogʻliq holda toʻlqinlarni quyidagi turlarga ajratish mumkin: **yassi tovush toʻlqinlari** ( katta oʻlchamli yassi tebranuvchi sirt), **silindrik tovush toʻlqinlari** (radial tebranayotgan silindrning yon sirti) va sferik (sharsimon) tovush toʻlqinlar (tebranish manbai oʻlchamlari katta boʻlmagan, yaʼni tovush manbai nuqta) yoki bunday manba sifatida pulslanuvchi shar boʻlishi mumkin. Silindrik va sferik (sharsimon) toʻlqinlar tovush manбайдan sezilarli uzoqlashganda yassi toʻlqinga aylanadilar. Tebranish zarrachalari yuzasining toʻlqin tarqalish yoʻnalishiga nisbatan joylashishiga bogʻliq holda boʻylama va koʻndalang toʻlqinlarga ajratiladi 2.19-rasm.



2.19-rasm. Tovush toʻlqini: a) boʻylama; b) koʻndalang

Agarda zarracha tebranishlari toʻlqin tarqalish yoʻnalishiga mos kelsa unda **boʻylama toʻlqin** sodir boʻladi. **Koʻndalang toʻlqin** zarrachalar toʻlqin tarqalish yoʻnalishiga perpendikulyar yuzada tebranganida sodir boʻladi (tor, prujina, plastina va membranalarining tebranishi).

**Demak, yassi tovush toʻlqin** deb, front sirti toʻlqin tarqalishiga perpendikulyar boʻlgan toʻlqinga aytiladi. Toʻlqin frontiga perpendikulyar boʻlgan tovush nurlari bir-biriga parallel boʻladi. Bu shuni koʻrsatadiki tovush energiyasi fazoda sochilmasdan, gʻuj boʻlib

tarqaladi, ya'ni biz yo'nalgan nurlanish holatini kuzatamiz. Yassi to'liqin nurlatgich o'lchamlari nurlanuvchi to'liqin uzunligidan katta bo'lgandagina yuzaga kelishi mumkin. Bu shart radiokarnay yuqori chastotalarda ishlaganda bajariladi. Devorlari qattiq trubaga radiokarnaynlarni yuklab yassi to'liqin sun'iy ravishda hosil qilish mumkin. Nurlatgich to'liqin uzunligidan kichik bo'lganda ham truba devorlari to'liqin tarqalishiga yo'l bermaydi.

Yassi to'liqin xususiyatlarini bilish uchun bosim va tebranma tezlik o'rtasidagi bog'liqlikni aniqlaymiz. Faraz qilaylik, nurlatgich qattiq porshen ko'rinishida bo'lib  $X$  o'qi bo'ylab tebranadi va yassi to'liqin tarqatadi.

Garmonik tebranishlar nurlatayotgan manba sirti yaqinidagi nuqtada tovush maydoni quyidagicha aniqlanadi:

$$p = p_m \cdot e^{j\omega t} \quad (2.14)$$

Nurlatgichdan  $X$  masofadagi nuqtada bosim faza bo'yicha  $\tau = \frac{x}{c}$  vaqtga kechikadi va unda yassi to'liqin uchun tovush bosimi

$$p = p_m \cdot e^{j\omega(t-\tau)} = p_m \cdot e^{j(\omega t - kx)} \quad (2.15)$$

bunda,  $k$  - to'liqin son.

$$k = \frac{\omega}{c} = \frac{2\pi}{\lambda} \quad (2.16)$$

$c = \frac{\omega}{k} = \frac{x}{\tau}$ , inobatga olsak, unda (2.12) va (2.13) ko'ra  $\omega\tau = kx$ .

Koordinatalari ixtiyoriy bo'lgan  $X$  nuqtadagi tovush bosimini uyidagicha ifodalash mumkin:

$$p = p_m \cdot e^{j(\omega t - kx)} \quad (2.17)$$

Tebranish tezligi ifodasini olish uchun harakat tenglamasi  $dV = -\frac{1}{\rho} dp$  dan foydalanib,  $p = p_m \cdot e^{j(\omega t - kx)}$  va  $k = \frac{\omega}{c}$ , qiymatlarini qo'yib tovush tebranish tezligi formulasini olamiz

$$V = \frac{p_m}{\rho c} e^{j(\omega t - kx)} \quad \text{yoki} \quad V = \frac{p}{\rho c} \quad (2.18)$$

Tovush bosimi va tebranish tezligi o'rtasidagi bog'lanish yassi to'liqinlarning xususiyatlarini aniqlaydi.

1. Tovush bosimi va tebranish tezligi amplitudalari tovush manbaidan uzoqlashgan sari kamaymaydi. Shunga mos holda muhit

zarrachalarining siljishi ham o'zgaraydi. Buni fizik nuqtai nazaridan quyidagicha tushuntirish mumkin: to'liq tarqalmaganligi sababli to'liq fronti maydoni masofa o'zgarishi bilan o'zgaraydi, shuning uchun istalgan masofada birlik to'liq fronti maydoniga bir xil qiymatdagi energiya to'g'ri keladi.

2. Yassi to'liqda tovush bosimi va tebranish tezligining fazalari teng.

3. Tovush bosimi (muhit zarrachalarining zichlashish va siyraklashish oblasti) yassi to'liqlarda nurlatgichdan uzoqdagi zarrachalarning nurlatgich yaqinidagi zarrachalarga nisbatan faza bo'yicha kechikishi hisobiga paydo bo'ladi, chunki, energiya cheklangan tezlikda ko'chadi.

$$\rho c = \frac{p}{v} - \text{solishtirma akustik qarshilik deb ataladi.}$$

Bu kattalikni, quyidagicha belgilaymiz

$$z_0 = \rho c = \frac{p}{v} \quad (2.19)$$

Texnik hisoblar uchun  $z_0 = 1,23 \times 340 = 418 \text{ kg/m}^2\text{s}$  qabul qilingan.

Fizik nuqtai nazaridan  $z_0$  nurlatgichning birlik yuzasiga ko'rsatayotgan qarshiligi. Agarda bu kattalik nurlatgichning butun yuzasiga ko'paytirilsa, unda muhitning reaksiya qarshiligi, boshqacha qilib aytganda, nurlanish qarshiligi hosil bo'ladi.

$$z_R = z_0 S = \rho c S = \frac{p}{v} S = \frac{F}{v} \quad (2.20)$$

Yassi to'liqlarda bosim va tebranish tezligi o'rtasida faza siljishi bo'lmaganligi uchun nurlanish qarshiligi aktiv kattalik.

Tovush kuchi (2.6) formulasini qo'yidagi ko'rinishda

$$I = p v = \frac{p^2}{z_0} = v^2 z_0 \text{ ifodalaymiz} \quad (2.21)$$

Amplituda qiymatlariga o'tib,

$$I = \frac{P_m^2}{2z_0} \quad (2.22)$$

Manba nurlatayotgan akustik quvvat aktiv va u quyidagicha ifodalanadi:

$$P = IS = v^2 z_0 S = v^2 z_R \quad (2.23)$$

## 2.16. Sferik to‘lqinlar

Sferik (sharsimon) to‘lqin fronti gumbaz shaklida bo‘lib, tebranish manbai o‘lchami juda kichik, natijada tebranish manbai nuqta bo‘lib, tovush nurlari sferaning radiusi bilan mos.

Manbadan chiqayotgan va har tomonga tarqalayotgan tovushning to‘la quvvati, tovush manбайдan uzoqlashgan sari, muhitning qovushqoqligi va molekular sochilishni, inobatga olmaganida o‘zgarmaydi, ya’ni  $r_a = \text{sonst}$ . Tovush intensivligi manbadan uzoqlashgan sari kvadratik qonun bo‘yicha kamayadi  $I_r = I_1 Fr^2$ , bunda  $I_1$ -manbadan bir o‘lcham oraliqdagi tovush jadalligi;  $r$  - to‘lqin frontining shu markazgacha bo‘lgan masofasi. Tovush bosimi shar to‘lqinlarda masofa oshishi bilan giperbolik qonun bo‘yicha pasayadi  $p_r = p_1/r$ , bunda  $r_1$  - tovush manbai markazidan bir to‘lqin uzunligi masofasidagi tovush bosimi.

Sferik to‘lqinning solishtirma akustik qarshiligi qo‘yidagicha ifodalanadi

$$Z_A = \rho c \left[ \frac{k^2 r^2}{1 + k^2 r^2} + i \frac{kr}{1 + k^2 r^2} \right] \quad (2.24)$$

Akustik qarshilikning aktiv tarkibi

$$r_R = \rho c \frac{k^2 r^2}{1 + k^2 r^2} \quad (2.25)$$

Reaktiv tarkibi

$$X_R = \rho c \frac{kr}{1 + k^2 r^2} \quad (2.26)$$

Qarshilik moduli

$$|Z_A| = \rho c \cos \psi \quad (2.27)$$

ya’ni, sferik to‘lqinning akustik qarshiligi, yassi to‘lqin akustik qarshiligidan katta emas.

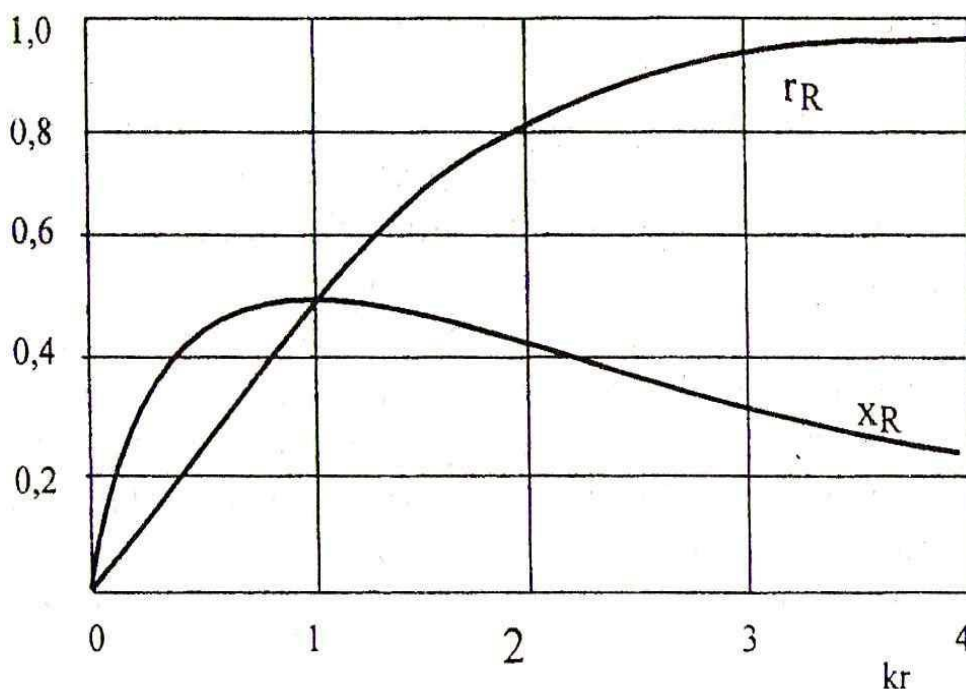
Reaktiv qarshilik inersion qarshilik bo‘lib, birga tebranuvchi massa qarshiligi xarakteriga ega.

Har bir turdagi nurlatgichlar uchun o‘lchamsiz  $r_R \cdot X_R$  koeffitsientlarni chastotaga bog‘liqligi turli ko‘rinishga ega. Tepkili shar tavsifi 2.20- rasmda ko‘rsatilgan.

Agarda nurlanish qarshiligining aktiv tarkibi, ya'ni  $r_R > X_R$  shart bajarilsa, nurlanish samaradorli hisoblanadi. Koeffitsientlarning tengligi samarador nurlanish chegarasini aniqlaydi.

Tepkili shar uchun samarador nurlanish chegarasi 2.20 - rasimga asosan

$kr = 1$ . Bunda  $k = \frac{\omega}{c}$  to'liq son, y holda 2.20 - rasmdan ko'rinib turibdiki, nurlanishning reaktiv tarkibi  $X_R$  avvaliga chastotaga proporsional o'zgaradi.

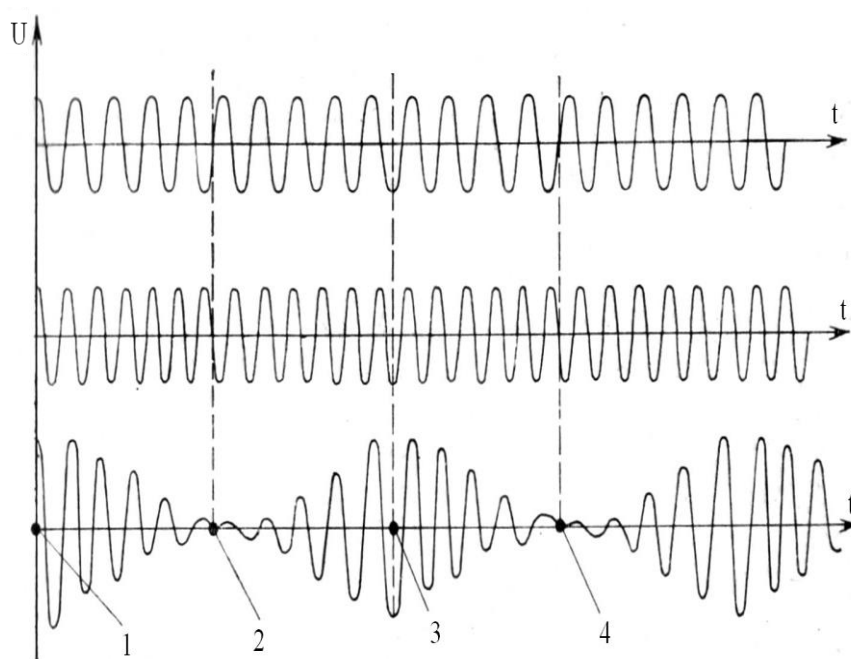


2.20 - rasm. Tepkili sharning o'lchamsiz aktiv va reaktiv koeffitsientlari tarkibining chastota tavsifi

Aslida shunday bo'lishi ham kerak, chunki,  $X_R = \omega m_R$ . Ammo  $X_R$  maksimumga erishib, keyin nolga intiladi. Bu o'zgarish chastota oshganda to'liq uzunligi kamayishi bilan tushuntiriladi. Bu holda yaqin zona band etadigan hajm ham kamayadi, demak muhitning birga qo'zg'aluvchi massasi ham chastota oshishi bilan nolga intiladi.

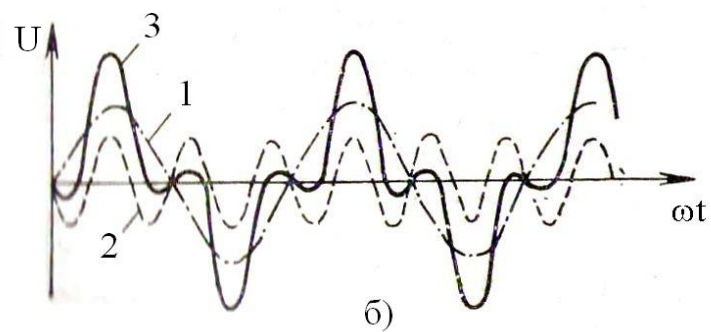
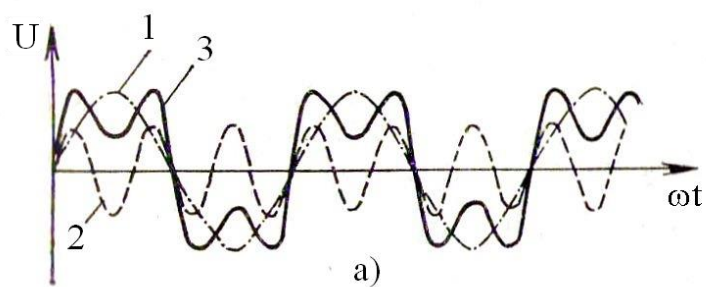
## Nazorat savollari

1. Tovush maydonini tavsiflaydigan asosiy: tovush tezligi, to'liq uzunligi, tovush bosimi, tovush quvvati, tovush kuchi, tovush energiyasining zichligi tushunchalarni tushuntiring.
2. Tepkili tebranishlarning sodir bo'lish sabablarini tushuntiring.
3. Tovush difraksiyasi hodisasini tushuntiring.
4. Rezonans xodisasini tushuntiring.
5. Teng chastotali garmonik tebranishlar qanday jamlanadi?
6. 2.21- rasmni tushuntiring.
7. 2.22- rasmni tushuntiring.

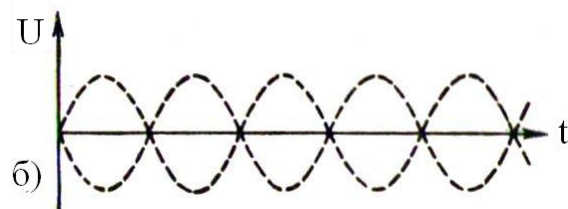
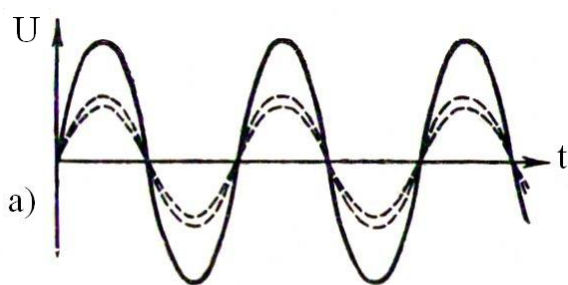


2.21- rasm. Yaqin chastota tebranishlarni jamlashga oid

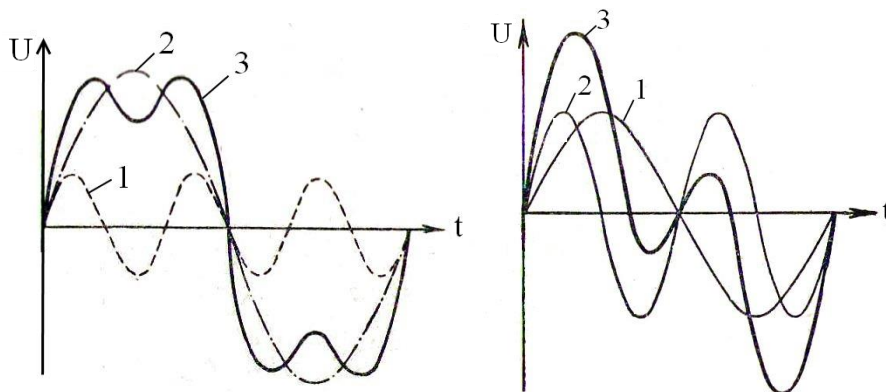




2.22 – rasm. Karrali chastota tebranishlarni jamlashga oid



2.23 – rasm. Tebranish amplitudasi va davri bir xil tebranishlarni jamlashga oid



2.24 – rasm. Karrali chastota 2.25- rasm. Davri 1: 3 nisbatdagi tebranishlarni jamlashga oid tebranishlarni jamlashga oid

8. 2.23- rasmni tushuntiring.

9. 2.24- rasmni tushuntiring.

10. 2.25- rasmni tushuntiring.

11. Murakkab to‘lqinlar haqida tushuncha bering.

12. Murakkab to‘lqinlar tarkibiy qismlarga qanday ajratiladi?

13. Yassi to‘lqinlar tarqalishining qanday xususiyatlarini bilasiz?

14. Sferik to‘lqin tarqalishining qanday xususiyatlarini bilasiz?

15. Sferik to‘lqinda yaqin zona o‘lchami qanday aniqlanadi?

16. Nima hisobiga sferik to‘lqinda, yaqin zonada bosim va tebranish tezligi paydo bo‘ladi?

17. Turg‘un to‘lqinlarning paydo bo‘lish sharti nimadan iborat?

18. «Nurlanish qarshiligi» nima, tushuntiring.

19. «Muhitning birga qo‘zg‘aluvchi massa»si nimani anglatadi?

## 3 bob. Tovush signallari

### 3.1. Ta'riflar

Tovush signallari birlamchi va ikkilamchi signallarga bo'linadi. Birlamchi signallarga: musiqa asboblari, ashula, nutq; musiqa va badiiy nutq eshittirishlarida qo'llaniladigan fonogramma signallari (poezd shovqini, dengiz shov-shuvi, shamol hushtagi va b.q) kiradi. Aloqa va eshittirish traktlarini baholaganda shunday faraz qilinadiki, har bir akustik signal har doim tasodifiy va o'zida hajmiga mos axborot tashiydi. Tinglovchilarga bu signallar axborot emas, balki estetik xuzur bahshida etadi. Musiqa signallarining ko'p uchastkalari davriy tavsifga ega bo'lsa ham katta vaqt oralig'ida ularni tasodifiy deb ko'rish mumkin. Shuning uchun tovush signallari parametrlarini ularning sathi bo'yicha, chastota diapazoni va vaqti bo'yicha taqsimlanishiga qarab aniqlaydilar.

Ikkilamchi signallarga, elektroakustik qurilmalar yordamida qayta eshittiriladigan signallar, ya'ni elektroakustik aloqa va eshittirish traktlaridan o'tgan va mos holda parametrlari o'zgargan birlamchi signallar kiradi.

### 3.2. Dinamik diapazon

Har qanday eshittirish jarayonida akustik signalning sathi uzluksiz o'zgaradi, shu bilan barobar uning o'zgarish diapazoni keng. Tovush signallarini tahlil qilish uchun signallarning kvazimaksimal  $L_{maks}$  va kvaziminimal  $L_{min}$  sathlar tushunchasi kiritilgan. Ularni berilgan signal sathidan nisbiy vaqt bo'yicha oshishi bilan aniqlanadi. Kvazimaksimal sathlar uchun bu vaqtni musiqa signalining 2%, nutq signalining 1% teng, kvaziminimal sathlar uchun mos holda 98 va 99% olishga kelishilgan. Aynan shunday qiymatlarni  $L_{maks}$  va  $L_{min}$  uchun tanlash, signallarning o'tkir cho'qqi va cho'kmalari amalda eshitilmasligiga asoslangan.

Signalning maksimal va minimal sathlari ayirmasi **dinamik diapazon** deb ataladi.

$$D=L_{maks}-L_{min} \quad (3.1)$$

Ayrim tovush signallari uchun dinamik diapazon 3.1 jadvalda keltirilgan.

Signal turi	Dinamik diapazon, dB
Diktor nutqi	25÷35
Badiiy o‘qish	35÷45
Telefon orqali so‘zlashuv	35÷45
Katta bo‘lmagan ansambllar	45÷65
Simfonik orkestr, 40-45 ijrochi	75÷55
Rok-musiqa	118 gacha
Reaktiv samolyot motori, 3m masofada	120

Signalning dinamik diapazonini tovush uzatish kanali dinamik diapazoni  $D_k$  bilan solishtirish kerak:

$$D_k = 20 \lg \frac{U_{\text{HOM}}}{U_{\text{III}}} - (\Delta N_1 + \Delta N_2), \text{ dB} \quad (3.2)$$

bunda,  $U_{\text{sh}}$  - kanaldagi shovqin sathi, mkV;  $U_{\text{nom}}$  - nominal kuchlanish, V;

$\Delta N_1$  - shovqin va halaqitlarni bosuvchi signal sathi, dB (odatda 10 dB dan kam emas);  $\Delta N_2$  - ortiqcha yuklama qiymat (3÷6) dB.

3.1-jadvaldan ko‘rinib turibdiki, tabiiy signallarni uzatish uchun yuqori sifatli apparaturalar talab etiladi. Ko‘pchilik hollarda birlamchi akustik signal dinamik diapazoni analogli aloqa va eshittirish vositalarining imkoniyatlaridan yuqori. Shuning uchun ularni ishlatishdan oldin dinamik diapazonini siqish lozim yoki uzatish traktlarida paydo bo‘ladigan sezilarli buzilishlarga ko‘nikish kerak.

Amalda zallarda bevosita ijro etiladigan dasturlarning dinamik diapazoni (eshittirishlarning tabiiy dinamik diapazoni) taxminan quyidagi qiymatlarga ega:

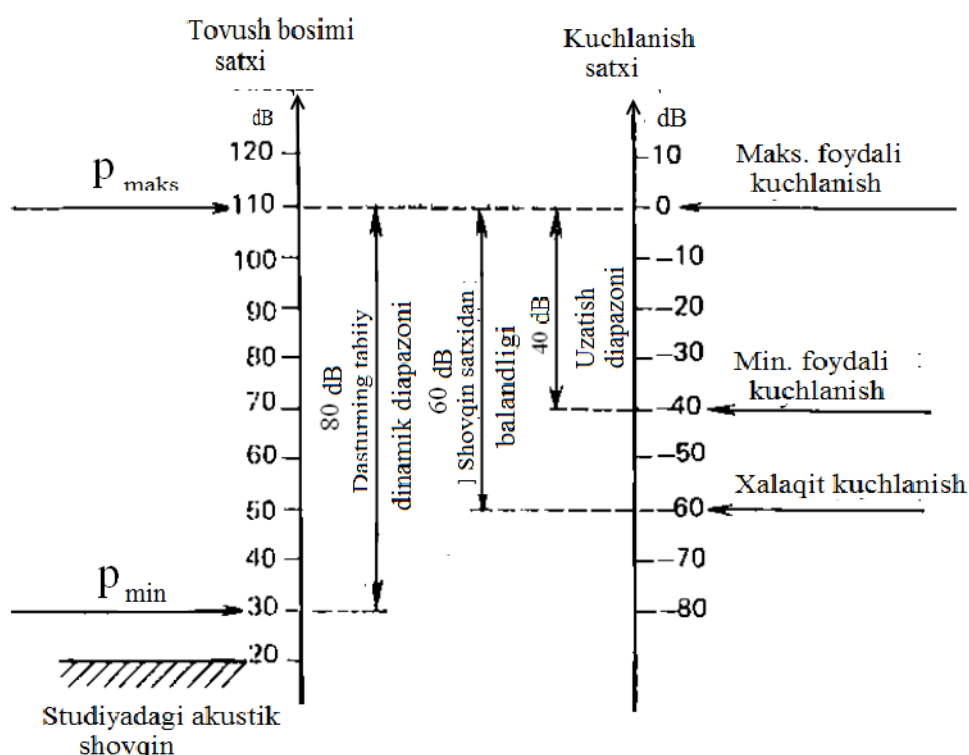
- katta simfonik orkestrlar uchun 80 dB;
- katta bo‘lmagan guruh ijrochilari uchun 60 dB;
- nutq eshittirishlarda 50 dB.

Tabiiyki, eshittirishlar elektroakustik qurilmalar orqali tovush bosimi yoki tebranish tezligiga mos bo‘lgan kuchlanish uzatiladi. Tovush bosimining eng katta qiymatiga maksimal  $U_{\text{mak}}$  kuchlanish to‘g‘ri keladi. Bu kuchlanishni uzatish qurilmalari buzmasligi kerak. Tovushlarning tabiiy va elektroakustik qurilmalardan uzatiladigan dinamik diapazoni 3.1-rasmda keltirilgan. Kuchlanishning maksimal qiymati qurilmaning nochiziqli buzilishlari bilan cheklanadi. Elektroakustik apparatning chiqishidagi minimal kuchlanish shu

qurilmaning xususiy shovqini bilan belgilanadi. Elektroakustik qurilmaning maksimal foydali kuchlanish qiymati uning xususiy shovqin sathidan taxminan 30÷60 dB yuqori.

Eshittirish dasturining tabiiy dinamik diapazoni (50-80 dB) ni, foydali signalni xususiy shovqindan (30-60 dB) oshishini oddiy taqqoslash shuni ko'rsatadiki, elektroakustik uzatish qurilmasi eshittirishning barcha tabiiy dinamik diapazonini tiklay olmaydi.

Shunday qilib, elektroakustik qurilmalar orqali eshittiriladigan dasturlarning dinamik diapazoni uzatiladigan dasturlarning tabiiy dinamik diapazonidan farqlanadi.



3.1 – rasm. Tovushlarning tabiiy va elektroakustik qurilmalardan uzatiladigan dinamik diapazoni

### 3.3. O'rtacha sath

Akustik signal jadalligining o'rtacha sathini eshitish a'zosi bilan (o'rtacha sub'ektiv), yoki uzoq vaqt oraliqlari uchun o'rtacha statistik (o'rtacha davomiy), yoki inersionligi katta bo'lmagan o'lchov asbobi bilan aniqlash mumkin (o'rtacha ob'ektiv). Ikkilamchi signal uchun o'rtacha sathni sezgi a'zo bilan aniqlash kifoya, birlamchi signal uchun barcha o'rtacha sathlarni bilish zarur chunki, bu signallar bizga

eshittirish va aloqa apparaturalari tizimi orqali o‘tadi. O‘rtacha signal sathlarni o‘lchash asbobining inersionligini o‘zgartirish yo‘li bilan o‘lchash mumkin. Signalning oniy quvvati noldan amplituda qiymatigacha o‘zgarishini hisobga olgan holda, o‘rtacha ob‘ektiv sathni o‘lchovchi asbobning minimal vaqt doimiyliigi, signalning maksimal yarim davr tebranishidan ( $f=30$  Gs uchun,  $T_{maks}/2=17$  ms) oshmasligi kerak. Chunki, eshitish a‘zosining doimiy vaqti o‘rtacha 150 ms, u holda o‘rtacha sathni sezgi a‘zo bilan aniqlash uchun vaqt doimiysi 150 ms atrofida bo‘lishi kerak.

Signal sathining davomiyligini oshirish uchun, o‘lchash asbobining o‘rtacha interatsiya vaqti: nutq uchun 15s va musiqa uchun 1 min. olish kerak.

O‘rtacha akustik signal sathi quyidagicha ifodalanadi

$$L_{\dot{y}_{pr}} = 10 \lg \frac{I_{\dot{y}_{pr}}}{I_0}, \text{ dB} \quad (3.3)$$

Kvazimaksimal va o‘rtacha sathlar ayirmasi **pikfaktor** deb ataladi:

$$P = L_{maks} - L_{o'rt} = N_{el..maks} - N_{el.o'rt} \quad (3.4)$$

Pikfaktor, kanalni ortiqcha yuklanishdan saqlash uchun signalning uzatish sathi belgilangan maksimal sathidan qancha kam olinishini ko‘rsatadi. Musiqa signallari uchun pikfaktor 20 dB va undan yuqori, nutq signallari uchun 12 dB dan oshmasligi kerak. Bu ma‘lumotlar akustik qayta ishlanmagan, shu jumladan xonaning akustik xususiyatlari ta‘sir etmagan signallar uchun taalluqlidir.

### 3.4. Chastota diapazoni va spektrlar

Eshittirish va aloqa tizimlarida qo‘llaniladigan birlamchi tovush manbaidan chiqadigan akustik signal odatda, uzluksiz o‘zgaradigan shakl va spektr tarkibga ega. Spektrlar yuqori va past chastotali, diskret va uzluksiz bo‘lishi mumkin. Har bir tovush manbaida, xatto orkestrdagi skripkaning ham tovushiga xos ohang beradigan xususiy spektrlari bor. Bu ohangni **tembr** deb ataydilar. Skripka tembri, trambon tembri, organ tembri va h.k musiqa asboblari tembrlari degan tushuncha bor, shuningdek jarangdor va bo‘g‘iq ovoz tembrlari mavjud bo‘lib birinchisi signalning yuqori chastotali tarkiblarini chizib o‘tadi, ikkinchisi esa, uni bostiradi. Birinchi navbatda har bir turdagi tovush manbalari uchun o‘rtacha spektr qiymati qiziqish uyg‘otadi, buzilishlarni baholash uchun esa, davomli vaqt oralig‘idagi (15 s axborot signallari uchun va 1 min.

badiiy signallar uchun) spektr o'rtachalashtirilgan. O'rtachalashtirilgan spektr odatda, uzluksiz va shakli bo'yicha nisbatan tekis bo'ladi.

Uzluksiz spektrlar spektral zichlikning chastotaga bog'liqligi bilan tavsiflanadi (bu bog'liqlikni energetik spektr) deb ataydilar.

Qulay bo'lishi uchun spektr zichligini baholashda logarifmik o'lchov kiritilgan. Bu o'lchamni **spektral zichlik sathi** yoki **spektral sath** deb ataydilar.

Spektral sath  $B = 10 \lg \frac{J}{I_0}$ , bunda,  $I_0 = 10^{-12} \text{ Vt/m}^2$  - nolinchi sathga mos jadallik. Ko'pincha spektral zichlik o'rniga spektrni tavsiflash uchun oktava, yarim oktava va uchdan bir oktava chastota polosalarida o'lchangan jadallik va jadallik sathlaridan foydalaniladi.

Signal spektri ma'lum bo'lsa, uning yig'indi jadalligini aniqlash mumkin. Uchdan bir oktavali polosa uchun siektr jadalligi sathlarda berilgan bo'lsa, unda bu sathlarni (har bir polosadagi) jadallikka o'tkazish  $I_{\text{okt}} = I_0 10^{0.1L_{\text{okt}}}$  va barcha jadadliklarni qo'shish kifoya. Barcha  $I_{\text{okt}}$  yig'indisi hamma spektrlar uchun yig'indi jadallik  $L_{\Sigma}$  ni beradi. Yig'indi sath

$$L_{\Sigma} = 10 \lg \frac{I_{\Sigma}}{I_0} \quad (3.5)$$

Akustik signalning chastota diapazonini spektral sathlarning chastotaga bog'liqligidan aniqlash mumkin. Buni spektral sathlarning pasayishidan yoki eshitish yo'li bilan aniqlash mumkin. 75% tinglovchilar uchun eshitish diapazoni chegaralanishining sezilishi **sub'ektiv chegara** deb hisoblanadi. 3.2-jadvalda birqancha birlamchi akustik signallarning chastota diapazonlari keltirilgan.

3.2- jadval

Tovush manbai	Chastotalar diapazoni, Gs
Erkak tovushi	100÷ 7000
Ayol tovushi	200÷9000
Royal	100÷5000
Skripka	200÷15000
Nay	250÷14000
Tarelkalar	400÷12000
Nog'ora	65÷3000
Bas-truba	50÷6000
Organ	20÷15000
Oyoq tovushi	100÷10000
Qarsaklar	150÷15 000

Agarda spektrlar, u yoki bu tomonga tekis ogʻsa, unda ularni yana moyillik bilan, yaʼni spektr sathlarining past yoki yuqori chastotalar tomon oʻrtacha ogʻishi bilan baholaydilar. Masalan, nutq spektri 6 dB/okt yuqori chastota tomon ogʻishga moyilligi bor.

Ayrim hollarda, akustik signallar qatoriga akustik shovqinlarni ham qoʻshadilar. Nutq shovqinlariga bir vaqtda bir necha kishi gaplashishi natijasidagi shovqinlar kiradi.

### 3.5. Signalning birlamchi parametrlari

Har bir odam oʻziga xos tarzda nutq tovushlarini talaffuz etadi. Nutq tovushlarini talaffuz etish qoʻshni tovushlarga urgʻu berish va boshqa omillarga bogʻliq. Cheklangan sondagi umumlashtirilgan nutq tovushlarini amalga oshirilishi **fonema** deb ataladi. Fonema bu odam aytmoqchi boʻlgani, **nutq tovushi**-bu, odam talaffuzi. Fonema tovushga nisbatan **grafema** deb ataluvchi namunaviy xarf rolini oʻynaydi. Nutq tovushlari jarangdor va boʻgʻiqlarga boʻlinadi. Jarangdor tovushlar tarang boʻlib turgan tovush mushaklari ishtirokida paydo boʻladi: oʻpkadan chiqayotgan havo oqimi natijasida tovush mushaklari vaqti - vaqti bilan siljiydi, natijada uzuq-uzuq havo oqimi paydo boʻladi. Tovush mushaklari yordamida hosil boʻlayotgan havo oqimi impulslarini davriy deb hisoblasa boʻladi. Impulslarning mos holdagi takrorlanishini **asosiy tonning tovushi**  $T_0$  deb ataydilar. Unga teskari boʻlgan kattalikni **asosiy tonning chastotasi**  $f_0 = 1/T_0$  deb ataydilar.

Asosiy ton chastotasining oʻzgarishi **intonatsiya** deb ataladi. Har bir odamda oʻziga xos asosiy ton chastotasining oʻzgarish diapazoni va oʻzining intonatsiyasi bor. Intonatsiya odamlarni farqlashda juda katta ahamiyatga ega. Asosiy ton, intonatsiya, ogʻzaki «uslub» va tovush tembri odamlarni aniqlashda xizmat qiladi.

Nutq tovushlarini talaffuz qilishda til, lablar, tishlar, pastki jagʻ, tovush mushaklari har bir fonema uchun maʼlum holatda yoki harakatda boʻlishi kerak. Bu harakatlarni **nutq aʼzosining artikulyatsiyasi** deb ataladi.

Tovushlarni talaffuz qilganda nutq trakti orqali tonal impuls signali yoki shovqin yoki ikkalasi ham birgalikda oʻtadi. Nutq trakti artikulyatsiya aʼzolari yordamida bir qator murakkab akustik filtrlarni tashkil qiladi. Buning natijasida bir xil egib oʻtayotgan tonal yoki



shovqin spektrlari bir qator maksimum va imumlarga ega bo'lgan spektrlarga aylanadi.

Spektrning maksimumi **formanta**, minimum yoki nol qiymatlari - **antiformanta** deb ataladi. Spektrning egilishi har bir fonema uchun shaxsiy va ma'lum shaklga ega. Nutqlarni talaffuz qilganda nutq spektri uzluksiz o'zgaradi, natijada formant o'zgarishlari bo'ladi. Nutqning chastota diapazoni  $70 \div 7000$  Gs oralig'ida.

### 3.6. Ikkilamchi signal

Ideal holatda ikkilamchi signal birlamchi signalni aniq qayta eshittirishi kerak, ammo bunday aniqlik hamma vaqt kerak emas, chunki odam eshittirishdagi noaniqliklarni sezmasligi mumkin. Undan tashqari amalda bunday aniqlikni ta'minlash yoki saqlash ancha mushkul. Badiiy eshittirishlarda, televidenie va ovoz yozishda moslikka imkoniyat boricha harakat qilish kerak, unda tinglovchilarda hosil bo'ladigan tovush eshinishi, tinglovchi aynan shu tovushni akustik sharoitlari yaxshi bo'lgan joyda eshitganiga mos bo'lsin. Eshittirishning axborot vositalari va telefon aloqasi uchun bu moslik faqatgina nutq aniqligini ta'minlash bilan keyinchalik esa, eshittirish sifatini oshirish bilan bog'liq. Faqat shu hollardagina ikkilamchi signalni birlamchi signalga mosligini ta'minlash zarur. Ikkala holatda ham iqtisodiy ko'rsatkichlar alohida ahamiyatga ega.

Eshittirish aniqligining buzilishi turlicha bo'lishi mumkin. Ulardan ayrimlarini ko'rib chiqamiz.

Akustik kelajakning yo'qolishi. Tovush signalini bir kanalli tizimdan uzatganda, xonada bir necha mikrofonlar bo'lishiga qaramay eshitish bir quloq bilan tinglagandek tuyuladi. Eshitish a'zosi uchun tovush manbai har doim amaldagi ikkilamchi manbalarga nisbatan qandaydir o'rtacha holatda joylashgandek tuyuladi, chunki vaqt siljishi va tinglovchining ikkala qulog'idagi sathlar farqi birlamchi manbaning joylashgan joyiga bog'liq emas. Bu buzilishni qisman stereofonik uzatish tizimi, ya'ni signallarni ko'pkanalli uzatish tizimi yordamida tuzatish mumkin.

**Sathlarning siljishi.** Signallarni uzatish trakti bo'yicha irlamchi signal jarangdorligining absolyut sathi bo'yicha axborot berilmaganligi tufayli, tinglovchi ikkilamchi signal sathi to'g'risida o'zicha fikr yuritadi. Bundan tashqari qabul qilish tomonidagi apparaturaning

quvvati yetmasligi, hamda tinglash sharoiti o'zgarishi natijasida birlamchi signal sathini tiklab bo'lmaydi. Sathlarning siljishi birlamchi va ikkilamchi signallarning past va o'rta chastotali tarkiblarini nurlatayotgan radiokarnaylar o'rtasidagi nisbat o'zgarishiga olib kelishi mumkin. Chunki, ikkilamchi signal o'rtacha sathining birlamchi signal o'rtacha sathiga nisbatan yuqoriga siljishi past chastotali signallar tarkibini sub'ektiv ko'tarilishiga, pastga siljishi esa, ularning pasayishiga olib keladi.

**Tovush signali dinamik diapazonining cheklanishi:** Tovush signallarining dinamik diapazoni signal uzatish kanali dinamik diapazonidan katta bo'lganligi  $D_s \gg D_k$  sababli signallarni kanaldan buzilishlarsiz o'tkazish maqsadida, uzatish kanali boshlanishda siquvchi va tugashida kengaytiruvchilardan foydalaniladi. Uzatish kanalining dinamik diapazoni 40 dB ga teng. Shunday qilib, dinamik diapazoni 40 dB dan yuqori bo'lgan eshittirish signallarining dinamik diapazoni 40 dB **kompressor** yordamida siqiladi. Natijada signal sifati birmuncha o'zgaradi. Bu kamchilikni uzatish kanalining oxirida **kengaytiruvchi - ekspander** ulash bilan yo'qotiladi. Ekspander yordamida dinamik diapazonni kengaytirish apparaturani murakkablashuviga olib keladi.

**Chastota diapazonining cheklanganligi.** Yuqorida aytilgan akustik signallarni uzatish trakti barcha chastota diapazonini o'tkazmaydi, shuning uchun chastota diapazonini cheklash haqida fikr yuritiladi.

**Xalaqitlar.** Signalni uzatish vaqtida unga turli xalaqit va shovqinlar, shu jumladan elektr va akustik shovqinlar qo'shiladi. Akustik shovqinlar birlamchi tovush manbai joylashgan joyda va tinglovchi joylashgan joyda ham mavjud.

**Buzilishlar.** Birlamchi va ikkilamchi signallarning mos emasligining sababi keng ma'nodagi buzilishlardir. Odatda, buzilishlarni tor ma'noda tushunadilar va ularga: chiziqli, nochiziqli, parametrik va o'tuvchi buzilishlar kiradi. Ulardan ayrimlarini ko'rib chiqamiz.

### 3.7. Shovqin va xalaqitlar

Shovqin va xalaqitlarning ta'siri, ikkilamchi akustik signallarning kelib chiqishidan qat'iy nazar, ularni niqoblashga olib keladi. Shovqinlar, eshitish bo'sag'asini siljitadi, u agarda «tekis» bo'lsa, vaqtga bog'liq emas. Bu shovqinlarga turli fluktuatsiya shovqinlari

kiradi, masalan toshni maydalashdagi shovqni effekti, bir vaqtda bir necha odamlarning soʻzlashuv shovqinlari va h.k. kiradi.

Elektr shovqinlarning spektrlari bir tekis, akustik shovqinlarning spektrlari esa, nutq spektrlariga yaqinroqdir. Shuning uchun birinchisining eshitish boʻsagʻasi yuqori chastotalar tomon oʻsishga moyildir. Nutq shovqinlari eshitish boʻsagʻasida deyarlik chastotaga bogʻliq emas.

### 3.8. Chiziqli buzilishlar

Traktning uzatish koeffitsienti umumiy koʻrinishda aniqlanadi,

$$K = \frac{P_2}{P_1} = |K|e^{j\varphi} \quad (3.6)$$

bunda,  $r_1$  va  $r_2$ -traktning kirish va chiqishidagi tovush bosimlari;  $|K|$  -uzatish koeffitsienti moduli;  $\varphi$ -traktdagi faza siljishi. **Uzatish koeffitsienti** odatda chastotaga bogʻliq. Eshitish aʼzosi signallarning faza siljishiga taʼsir koʻrsatmaganligi sababli ularni tahlil etmaymiz va «uzatish koeffitsienti» iborasida uning modulini tushunamiz.

Uzatish koeffitsientining chastotaga bogʻliqligi uzatish traktning **chastota tavsifi** deb ataladi. U birlamchi signal chastotalari tarkibiga kiruvchi amplitudalar nisbatining oʻzgarishiga olib keladi. Bu buzilishlar subʼektiv birlamchi signalning tembri oʻzgargandek seziladi. Masalan, past chastota tarkiblari bostirilganda, eshittirishlar jarangdor boʻladi, yuqori chastota tarkiblari bostirilganda esa tovush boʻgʻiq boʻladi.

Buzilishlar chiziqli yoki amplituda - chastotali boʻlib, chastota tavsifining notekisligi bilan baholanadi

$$M = \frac{K_{\text{макс}}}{K_{\text{мин}}} \quad (3.7)$$

bunda,  $K_{\text{макс}}$  va  $K_{\text{мин}}$  berilgan chastota diapazonidagi maksimal va minimal uzatish koeffitsientlari.

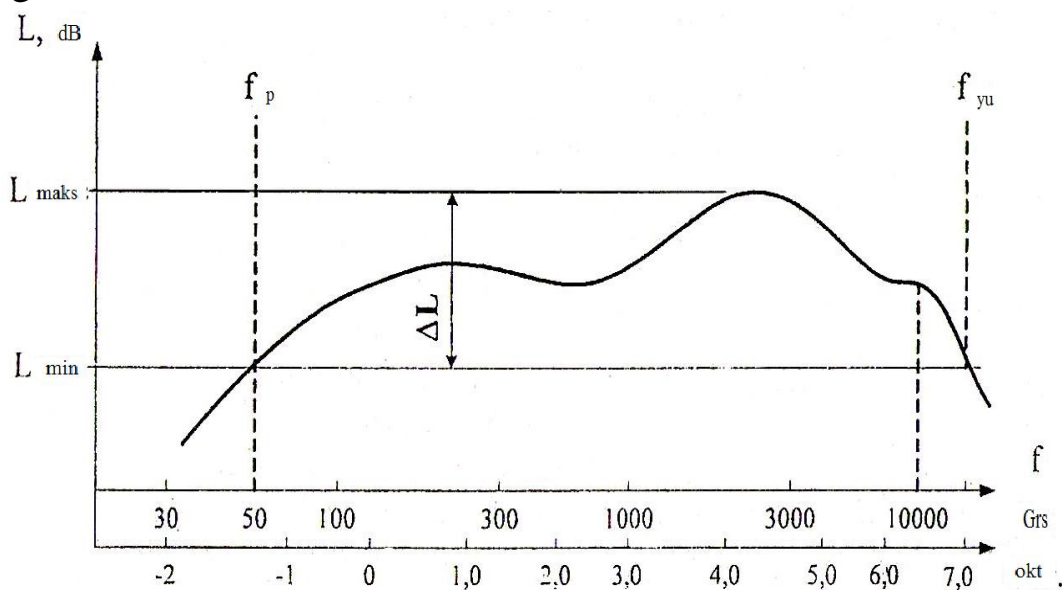
Notekislik, odatda logarifmik masshtabda oʻlchanadi, unda

$$\Delta L = L_{\text{макс}} - L_{\text{мин}} \quad (3.8)$$

Bu yerda  $L_{\text{макс}}$  va  $L_{\text{мин}}$  - ikkilamchi signalning maksimal va minimal sathlari.

3.2- rasmda uzatish trakti signalining tavsiflaridan biri keltirilgan. Amplituda - chastota tavsiflarini tahlil etganda, eni 1/8 oktavadan tor choʻqqi va choʻkmalar inobatga olinmaydi. Bu shart eshitish aʼzosining keng kritik polosalari hamda birlamchi signal tez oʻzgarganda uning

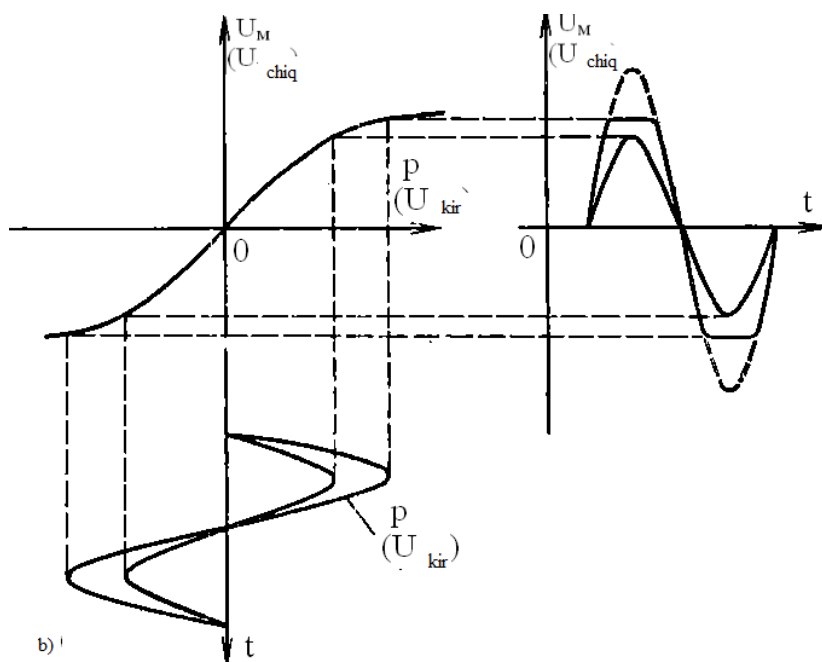
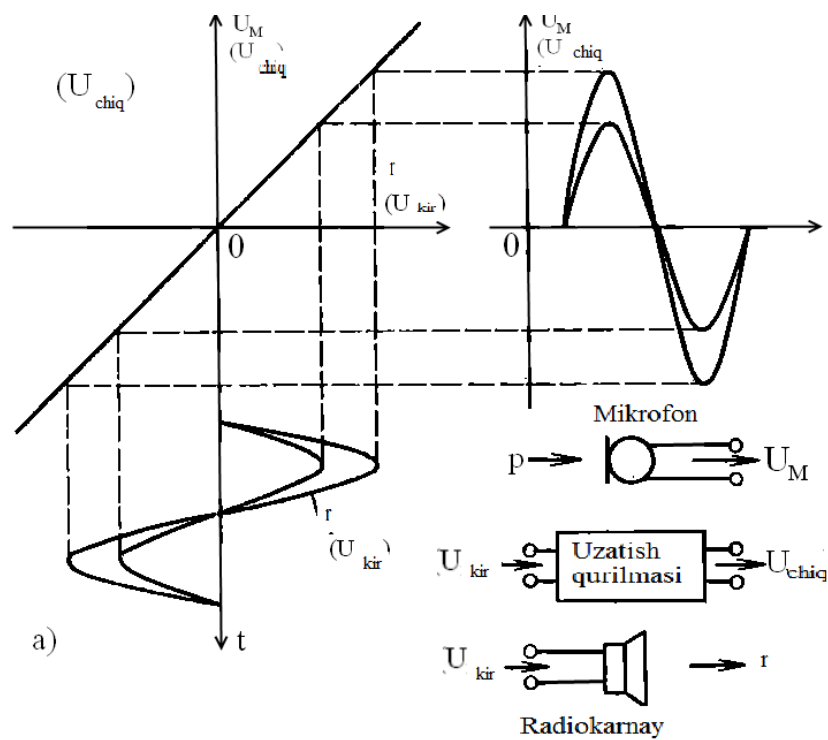
spektri kengayib, bu cho‘qqi va cho‘kmalar tekislanishi hisobiga kiritilgan.



3.2-rasm. Chastota diapazoni va chastota tavsifining notekisligini aniqlashga oid

Amplituda - chastota buzilishlari odatda, buzilishlarga moyil bo‘lgan zvenolarida paydo bo‘ladi. Chastota buzilishlarining normalari tajriba yo‘li bilan aniqlanadi. Past chastotali buzilishlar yuqori chastotali buzilishlarga nisbatan ko‘proq seziladi. Buzilishlar chastota korreksiyasi yo‘li bilan yo‘qotiladi.

Tovush bosimi o‘zgarishini elektr signalga o‘zgartirish va uzatish 3.3-rasmda ko‘rsatilgan.



3.3 – rasm. Tovush bosimi o‘zgarishini elektr signalga o‘zgartirish va uzatish :

a) chiziqli qurilma orqali o‘zgartirish; b) elektr signalga nochiziqli buzilishlar bilan o‘zgartirish

### 3.9. Nochiziqli buzilishlar

**Nochiziqli buzilishlar** deb tabiiy tovush manbai spektri tarkibida bo‘lmagan va eshittirish signalida yangi chastota tarkiblarini paydo bo‘lishi bilan bog‘liq buzilishlarga aytiladi.

Faraz qilaylik

$$u_{\text{квп}} = U_m (\cos \omega_1 t + \cos \omega_2 t) \quad (3.9)$$

Chiqishdagi signal

$$u_{\text{чнк}} = aU_m (\cos \omega_1 t + \cos \omega_2 t) + bU_m^2 \left[ 1 + \frac{1}{2} \cos 2\omega_2 t + \cos(\omega_1 + \omega_2)t + \cos(\omega_1 - \omega_2)t \right] \quad (3.10)$$

Bu ifodadan ko‘rinib turibdiki, asosiy chastota  $\omega_1$  va  $\omega_2$  lardan tashqari signalda yangi, asosiy chastotadan ikki marta katta  $2\omega_1$  va  $2\omega_2$  parazit tarkiblar, hamda  $\omega_1 \pm \omega_2$ , yig‘ma-ayirma tonlar paydo bo‘ldi.

Yig‘ma - ayirma tonlar birinchi hadli **kombinatsiya tonlari** deb ataladi, hosil bo‘lgan nochiziqli buzilishlar esa **kvadratik buzilish** deb ataladi. Nochizikli buzilishlar garmonika koeffitsienti bilan baholanadi:

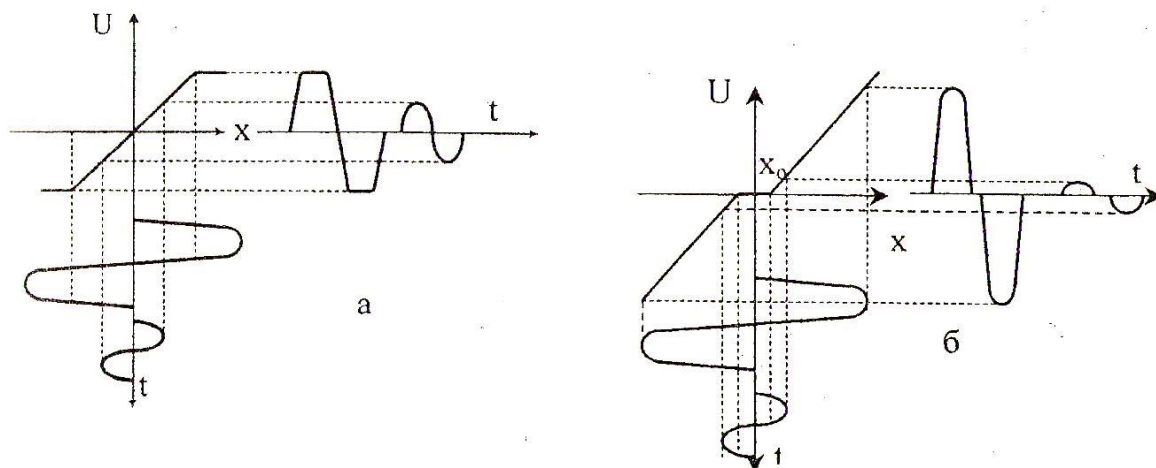
$$K_r = \frac{\sqrt{U_{m2}^2 + U_{m3}^2 + \dots}}{U_{m1}} 100\%, \quad (3.11)$$

bunda,  $U_{m1}$  - signalning asosiy tarkib amplitudasi.

Garmonika koeffitsientlarini baholashning turli usullari mavjud, bular: garmonika usuli, tonlar ayirmasi usuli.

Tajribalar shuni ko‘rsatdiki tinglovchi nosimmetrik buzilishlarni kamroq sezadi. Yuqoridan amplituda cheklanishi bilan bog‘liq buzilishlar, eshitishga kamroq ta‘sir etadi, markazdan cheklashda esa buzilishlar ko‘proq seziladi.

Nosimmetrik buzilishlar  $y=f(x)$  bog‘lanishning toq darajalarida, simmetrik buzilishlar-juft darajalarda paydo bo‘ladi.



### 3.4- rasm. Katta va katta bo‘lmagan signal amplitudalarining cheklanishi:

a) yuqoridan cheklash; b) pastdan (markazdan) cheklash

Tinglovchilar uchun ovozni qayta eshittirish sifati yetarlicha yuqori bo‘lishi uchun ovoz eshittirish elektr kanali traktlarining parametrlari GOST 11515 - 91 bo‘yicha belgilangan talablarga javob berishi lozim.

Tovush eshittirish elektr kanallari va traktlarining parametrlari sifatini me‘yorlashtirish shu kanal va tarktlarda signallarning ruxsat etilgan shovqin sathlarini sub‘ektiv-statistik ekspertiza yo‘li bilan aniqlashga asoslangan.

Buzilishlar quyidagi bosqichlar bilan belgilanadi:

**umuman sezilmaydigan buzilishlar**, 15% dan kam hollarda seziladi;

**amaliy sezilmaydigan buzilishlar**, 30% hollarda seziladi;

**ishonchsiz seziladigan buzilishlar**, 50% hollarda seziladi;

**ishonchli seziladigan buzilishlar**, 75% hollarda seziladi;

Buzilishlarning sezilishi hamda texnik - iqtisodiy ko‘rsatgichlariga qarab tovush jarangdorligining uch klassi belgilangan;

**oliy klass** - buzilishlar yuqori malakali ekspertlarga deyarlik sezilmaydi;

**birinchi klass** - buzilishlar yuqori malakali ekspertlarga ishonchsiz seziladi va oddiy tinglovchilarga amalda sezilmaydi;

**ikkinchi klass** - buzilishlar yuqori malakali ekspertlarga ishonchli seziladi va oddiy tinglovchilarga ishonchsiz seziladi.

Har bir klass aniq ruxsat etilgan buzilishlar bilan xarakterlanadi. Shu bilan birga quyidagi sifat parametrlarni reglamentlaydi:

- **uzatish chastotalari kengligi**;

- **amplituda - chastota tavsifining notekisligi**;

- **garmonikalar koeffitsienti**;

- **aniq sezilarli o‘tish halaqitlardan himoyalanganlik**;

- **stereofonik eshittirishda chap va o‘ng kanallardagi fazalar**

**farqi**;

- **chap va o‘ng kanallar o‘rtasidagi sathlar farqi**;

- **chiqish sathining nominal qiymatidan og‘ishi**.

## Nazorat savollari

1. Birlamchi tovush signalining qanday parametrlarini bilasiz?
2. Ikkilamchi tovush signallarini tushuntiring.
3. Tovush signalining dinamik diapazoni qanday aniqlanadi?
4. Tovush signallarining o'rtacha sathi qanday aniqlanadi?
5. Qanday shovqinlarni bilasiz, spektr tarkiblari nima bilan farqlanadi?
6. Chiziqli va nochiziqli buzilishlarning kelib chiqish sabablarini tushuntiring.
7. Asosiy ton, fonema, formanta, intonatsiya tushunchalarini tushuntiring.
8. Ikkilamchi signalda qanday turdagi buzilishlar sodir bo'lishi mumkin?
9. Eshittirish kanali va traktlari parametrlari sifatini normalash prinsipini tushuntiring.
10. Akustik signalning eshitilishiga chastota, nochiziqli va faza buzilishlari qanday ta'sir ko'rsatadi?



## 4 bob. Elektromexanik tizimlar va elementlar

### 4.1. Elektromexanik o'zgartirish

Eshittirish tovushlarini uzatish, ovoz eshittirish elektr kanali orqali amalga oshiriladi, ovoz eshittirish elektr kanalining boshida akustik energiyani elektr energiyaga o'zgartiradigan **o'zgartirgich–mikrofon** chiqishida esa, elektr energiyani akustik energiyaga o'zgartiradigan **o'zgartirgich - radiokarnay** o'rnatilgan. Signallarni bir shakldan ikkinchi shaklga o'zgartiradigan boshqa apparatlar turi ham mavjud. Masalan: grammofon plastinkasidagi yozuvni qayta eshittirganda adapter, ignaning mexanik tebranishini elektr kuchlanishga; quloq telefoni, quloq eshitish yo'lakchasida telefonga berilgan tovush chastota tonini tovush bosimiga o'zgartiradi.

Signallarni bir turdan ikkinchi turga o'zgaradigan apparatlar **elektromexanik o'zgartirgichlar** deb ataladi.

Agarda o'zgartirgich, elektr energiyani mexanik yoki akustik energiyaga yoki akustik aylantirsa bu - **o'zgartirgich-dvigatel**. Agarda, o'zgartirgich mexanik energiyani elektr energiyaga o'zgartirsa, bunday o'zgartirgich **o'zgartirgich - generator** deb ataladi.

**O'zgartirgich-dvigatelga radiokarnaylar, o'zgartirgich-generatorga mikrofonlar** misol bo'la oladi. Elektroakustika fanining asosiy vazifasi tuzilishi va belgilanishi turlariga qarab tovush chastota tebranishlarini elektromexanik o'zgartiruvchi asboblarni loyihalash va hisoblashdan iborat.

O'zgartirgichlarning umumiy nazariyasi to'rt qutbliklar nazariyasiga asoslanadi.

### 4.2. Chiziqli o'zgartirgichlarning umumiy tenglamasi

Akustik signallarni elektr signallarga va aksincha, elektr signallarni akustik signallarga o'zgartirish eshittirish kanalining uzatish va qabul qilish tomonlarida amalga oshiriladi. Yuqorida aytilgandek, bunday o'zgartirishlarni amalga oshiradigan apparatlar, **elektromexanik o'zgartirgichlar** deb ataladi, ya'ni mexanik tebranishlarni elektr tebranishlarga aylantiradigan o'zgartirgichlar - **generator**, elektr tebranishlarni mexanik tebranishlarga aylantira o'zgartirgichlar-**dvigatel** deb ataladi.

Signallarni o'zgartirish nochiziqli buzilishlarga olib kelmasligi uchun, eshittirish texnikasida qo'llaniladigan elektromexanik o'zgartirgichlar yetarli aniqlikda chiziqli o'zgartirish shartini qanoatlantirishi kerak. Bu shart vaqt bo'yicha o'zgaruvchan qiymat, o'zgartirgichning ikki tomonidagi elektr va mexanik signallar o'zaro chiziqli tenglamalar bilan bog'langan.

Shartli ravishda o'zgartirgichning aynan o'zgartirishni amalga oshiradigan qismiga bir tomondan kuchlanish ulash, ikkinchi tomonini tashqi kuch ta'sir etish yoki mexanik yuklama ulash uchun muallaq sterjni bo'lgan qurilma sifatida qabul qilamiz (4.1 - rasm). Bunday qurilmaning ishlash prinsipi vaqt bo'yicha to'rt qutblikning qiymatlari o'zgarishi bilan belgilanadi: elektr tomonida kuchlanish  $V$  va tok  $I$ , mexanik tomonida esa, kuch  $G'$  va tebranish tezligi  $U$ .



4.1- rasm. Elektromexanik o'zgartirgichning umumiy sxemasi

Bunda tok  $I$  va kuchlanish  $V$  yo'nalishlari o'zgartirgichning kirish qismidan chiqish tomoniga yo'nalgan bo'lsa ishorasi musbat agarda, kuch o'zgartirgich tomon yo'nalgan bo'lsa, ishorasi - musbat, kuchlanishning yo'nalishi, o'zgartirgichning elektr tomoni qismi bo'lganda, yo'nalish soat strelkasiga mos bo'lsa – musbat, agarda elektr tomoni chiqish qismi bo'lsa va soat strelkasiga teskari bo'lganda - musbat deb qabul qilinadi. Demak, o'zgartirgichning 4.1-rasmdagi ko'rinishida chap tomoni kirish va uning o'ng tomoni chiqish qismi hisoblanadi.

Statsionar rejimda, hamma o'zgaruvchan ( $U, I, F, V$ ) qiymatlar vaqt bo'yicha, ya'ni  $e^{j\omega t}$  o'zgarsa, ular o'rtasidagi chiziqli nisbatlarni algebraik tenglama ko'rinishida yozish mumkin.

$$\left. \begin{aligned} U &= Zi + K_1 V \\ F &= zV + K_2 i \end{aligned} \right\} \quad (4.1)$$

Tenglamadagi koeffitsientlar ma'nosini aniqlaymiz.

(4.1) tenglamadan

$$Z = \left( \frac{U}{I} \right)_{V=0} \quad (4.2)$$

Z tormozlangan (to'xtatilgan) o'zgartirgichning to'la elektr qarshiligi (umumiy holda kompleks), ya'ni o'zgartirgichning mexanik tomoni to'xtatilganda ( $V=0$ ) elektr tomonining to'la qarshiligi.

(4.1) tenglamadan

$$z = \left( \frac{F}{V} \right)_{i=0} \quad (4.3)$$

z - o'zgartirgichning to'la mexanik qarshiligi (umumiy holda kompleks), ya'ni o'zgartirgichning elektr tomoni salt yurishi rejimida ( $i=0$ ) mexanik tomonining to'la qarshiligi.

(4.1) tenglamadan

$$K_1 = \left( \frac{U}{V} \right)_{i=0}, K_2 = \left( \frac{F}{i} \right)_{V=0} \quad (4.4)$$

qiymatlar qurilma bajarayotgan elektromexanik o'zgartirishni belgilaydi va **elektromexanik bog'lanish koeffitsientlari** deb ataladi. Elektromexanik bog'lanish koeffitsientlari, energiyalar-ning o'zgartirilish ko'lamini aniqlaydi.

Ko'pchilik elektromexanik o'zgartirgichlar qaytariluvchan, ya'ni ular o'zgartirishni ikki tomonlama bajaradi. Qaytarilmaydigan o'zgartirgichlar turi kam, ularga ko'mirli mikrofonlar misol bo'laoladi.

**Ishlash prinsipiga qarab o'zgartirgichlar induktivli va sig'imli turlarga** bo'linadi.

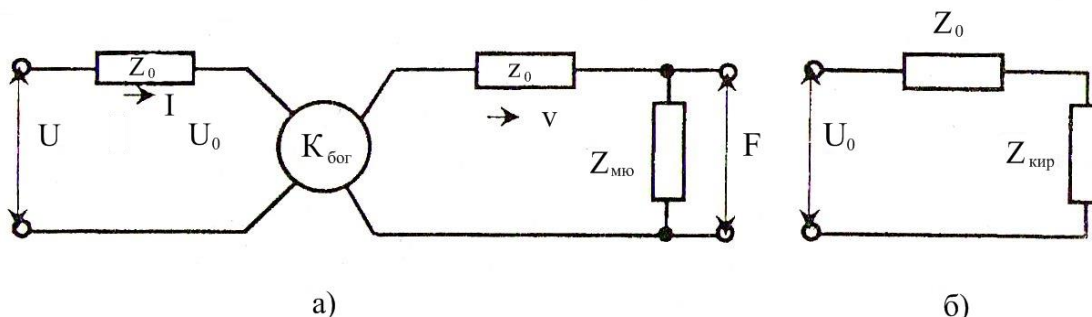
**Induktivli o'zgartirgichlarda** siljitivchi kuch toklarning o'zaro ta'siri tufayli paydo bo'ladi, elektr yurituvchi kuch esa, magnit oqimi o'zgarishiga bog'liq.

**Sig'imli o'zgartirgichlarda** siljitivchi kuch zaryadlarning o'zaro ta'siri natijasida paydo bo'ladi, hosil bo'lgan o'zgaruvchan kuchlanish esa, sig'imlarning o'zgarishi natijasidir.

**Pezelektir o'zgartirgichlarni** alohida guruhga kiritadilar ammo, rasmiy ravishda ular sig'imli turdagi o'zgartirgichlarga kiradi

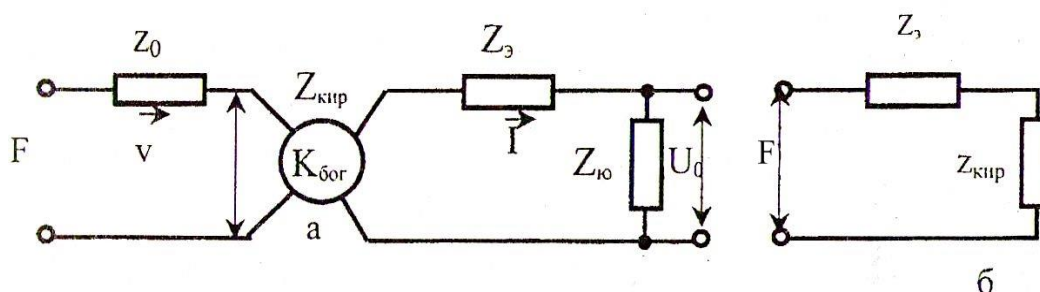
### 4.3. O'zgartirgichning ekvivalent sxemalari

O'zgartirgich - dvigatelning umumiy ekvivalent sxemasi 4.2a-rasmda keltirilgan.  $K$  o'zgartirgich bo'lib, uning chap qismi o'zgartirgichning elektr sxemasini ko'rsatadi,  $K$  ning o'ng tomoni esa o'zgartirgichning mexanik ekvivalent sxemasi. 4.2b-rasmda ikkita: elektr  $Z_0$  va kiritilgan  $Z_{kir}$  qarshilikdan iborat elektr - ekvivalent sxema keltirilgan.



4.2-rasm. O'zgartirgich-dvigatelning a-umumiy, b-elektr-ekvivalent sxemalari

O'zgartirgich - generatorning ekvivalent sxemasi 4.3- rasmda keltirilgan.



4.3-rasm. O'zgartirgich - generatorning ekvivalent sxemalari: a -umumiy; b - mexanik

Generatorning mexanik kirish qarshiligi quyidagicha ifodalana-nadi:

$$\frac{F}{V} = z + \frac{K^2}{Z + Z_H} = z + Z_{kir} \quad (4.5)$$

### 4.4. Elektromexanik o'xshatishlar usuli

Elektroakustik qurilmalarda murakkab **mexanik** yoki **mexanoakustik tebranish tizimlari** qo'llaniladi. Ularni mexanikaning oddiy - har bir elementi uchun tenglamalarni tuzish va yechish anchagina

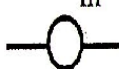


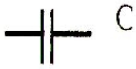
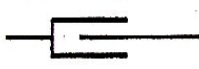
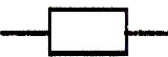

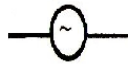

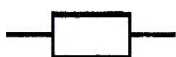
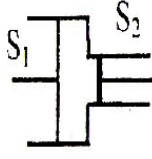
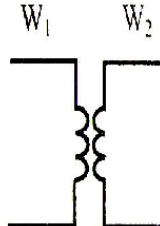
qiyinchilik tugʻdiradi. Murakkab tebranish tizimlarining texnik hisobi elektro-mexanik oʻxshatishlar usulini qoʻllaganda ancha soddalashadi. Bu usul asosida turli fizik tabiat - elektr va mexanik tebranish xodisalarini ifodalovchi tenglamalarning oʻxshashligi yotadi. Agar tenglamalar oʻxshash boʻlsa, ularning yechimi ham oʻxshash. Shuning uchun, u yoki bu mexanik masalaning yechimi elektrotexnik masala yechimi bilan oʻzgartirilishi mumkin.

Shunday qilib, **elektromexanik oʻxshatishlar** usulining asosi shundan iboratki, istalgan mexanik tebranish tizimini unga oʻxshash elektr sxema bilan almashtirish mumkin. Oʻxshash rezonans chastotalarni ham aniqlash mumkin: elektr zanjir uchun  $\omega_0 = \frac{1}{\sqrt{LC}}$ ,

mexanik zanjir uchun esa,  $\omega_0 = \frac{1}{\sqrt{mc}}$

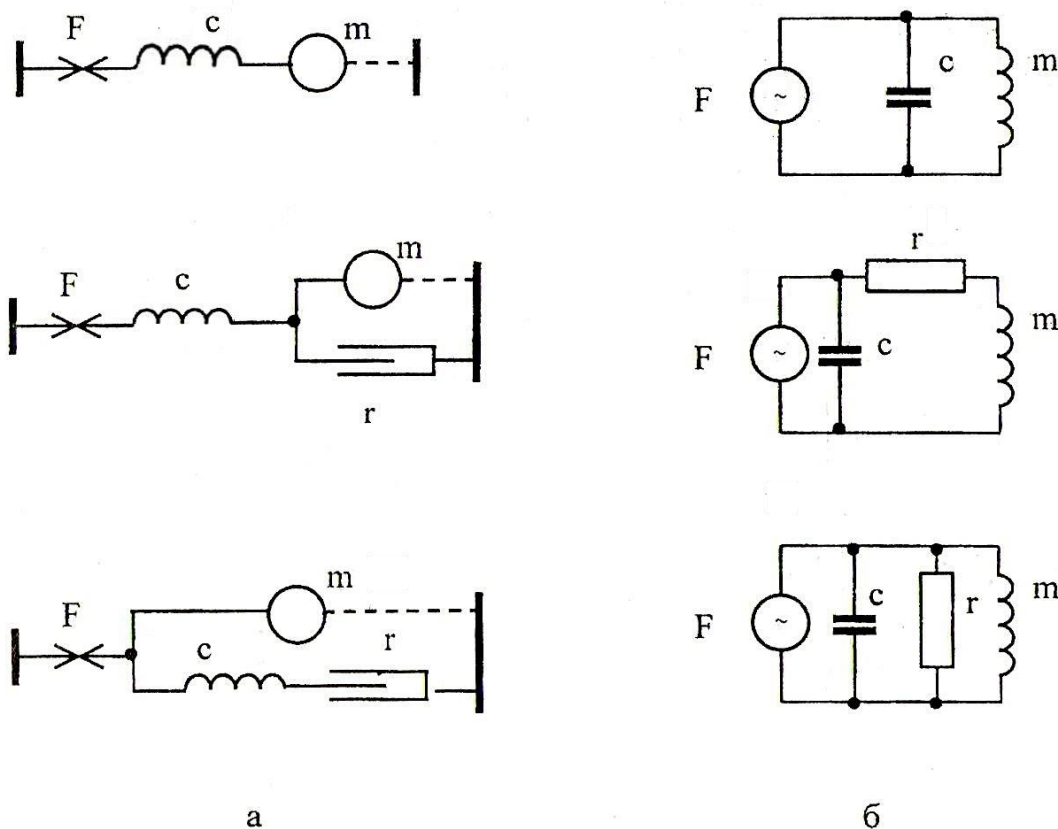
Demak, induktivlik, aktiv qarshilik va sigʻim mos holda massa, ishqalanish qarshiligi va egiluvchanlikka oʻxshash. Shuni aytish kerakki yuqoridagi oʻxshashlik rasmiy boʻlib, fizik maʼnoga ega. Elektr zanjirdagi induktivlik kuchlanish manbaini uzib - ulaganda tokning oniy oʻsishi va kamayishiga toʻsqinlik qiladi. Mexanik tizimlardagi massa ham xuddi shunday vazifani bajaradi. Jism inersionligi unga kuch taʼsir etganda tezlikning oniy oshishiga va toʻxtashiga toʻsqinlik qiladi. Elektr zanjirdagi aktiv qarshilik hisobiga energiyaning bir qismi issiqlik energiyasiga aylanadi. Ishqalanish boʻlganda mexanik energiyaning bir qismi ham issiqlik energiyasiga aylanadi. Kondensatordagi zaryadlangan energiya siqilgan prujinaga oʻxshash.

Barcha aytilganlarni elektromexanik oʻxshashlik 4.1-jadvalga kiritamiz. 4.1-jadvaldan koʻrinib turibdiki mexanik bogʻlanish-larning elektr tizimidagi oʻxshashliklari mavjud: mexanik elementlarnint zanjir usulida bogʻlanishi ikki qutblik elektr zanjirlarning parallel ulanishiga oʻxshash; mexanik tizimdagi tugun bogʻlanish elektr zanjirdagi ketma-ket ulanishga mos.

Nomi	Belgilanishi	Nomi	Belgilanishi
Massa	$m$ 	Induktivlik	$L$ 
Eguluvchanlik	$C$ 	Sig'im	$C$ 
Ishqalanish	$r$ 	Aktiv Qarshilik	
Kuch	$F$ 	EYUK kuchlanish	$E, U$ 
Teburanish tezligi	$v$	Tok	$I$
Kompleks mexanik qarshilik	$Z$ 	Kompleks elektr qarshilik	$Z$ 
Akustik transformator	 $n = \frac{S_2}{S_1}$	Elektr transformatori	 $n = \frac{W_2}{W_1}$

4.1-jadval

4.4- rasmda keltirilgan oddiy mexanik tizimlarning elektr - ekvivalent sxemalarini tuzish qiyinchilik tug'dirmaydi. Murakkab mexanik tizimlar uchun umumiy qoidalarga rioya qilgan holda elektr - ekvivalent sxemasini behato tuzish lozim.

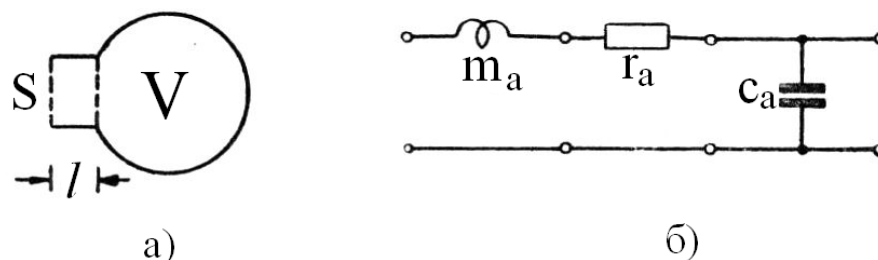


4.4-rasm. Oddiy mexanik modellarning elektr-ekvivalent sxemalari

#### 4.5. Akustik tebranish tizimi

Mexanik tebranish tizimlaridan tashqari elektroakustik o'zgartkichlarda **akustik tebranish tizimlari** deb ataluvchi tizimlar qo'llaniladi. Ulardagi ayrim elementlar gazsimon muhitdan iborat. Akustik tizimlar bo'shliq, kanallar, hajm rezonatorlari turida bo'lib, birgalikda murakkab qurilmalarni tashkil etadi, o'zining harakati bilan rezonans konturlari, filtrlar va b.q. o'xshaydi. Akustik tebranish tizimining oddiy misoli sifatida kolba shaklidagi **Gelmgols rezonatorini** aytish mumkin (4.5-rasm).

Rezonator **parametrlari tarqalgan tizimni** ifodalaydi. Ammo, rezonatorning o'lchamlari unga ta'sir etayotgan to'lqin uzunligidan kichik bo'lganda, unda bunday tizimni, **parametrlari mujassamlangan tizim** deb qarash mumkin.



a) b)  
4.5-rasm. Gelmgols rezonatori a) va b)-uning elektr - ekvivalent sxemasi

Rezonator hajmi  $V$  va koʻndalang kesimi  $S$  teng, boʻgʻiz uzunligi  $l$  boʻlgan kolba idishdan iborat. Kolbadagi havo shartli ravishda ikki boʻlakka boʻlinadi: bir qismi idish tubida, qolgan qismi esa rezonator boʻgʻizida deb faraz etiladi.

Rezonatorning barcha havo massasi  $m$  kolbaning boʻgʻizida, elastikligi esa uning tubida mujassamlangan, kolba boʻgʻizidagi havo massasi amalda siqilmaydi va qattiq porshen kabi harakatlanadi deb faraz qilamiz. Bunday porshenning harakatlanishida uning devori bilan havo zarrachalari oʻrtasida ishqalanish  $r$  paydo boʻladi. Rezonatorning tubida joylashgan havo elastiklik hususiyatiga ega, yaʼni egiluvchanlik  $C_v$  rolini bajaradi. Bunday taqsimlash faqat taxminiydir, chunki rezonator tubidagi havoning bir qismi inersial qarshilikka ega. Ammo,  $\frac{S_1}{S}$  nisbat katta boʻlgandagina bunday taxmin qoniqarlidir, chunki tebranish kinetik energiyasining asosiy qismi rezonator boʻgʻizida boʻladi.

Shuning uchun olingan oldingi natijalar akustik tebranish tizimlari uchun ham haqlidir. Masalan, rezonatorning mexanik rezonans chastotasi

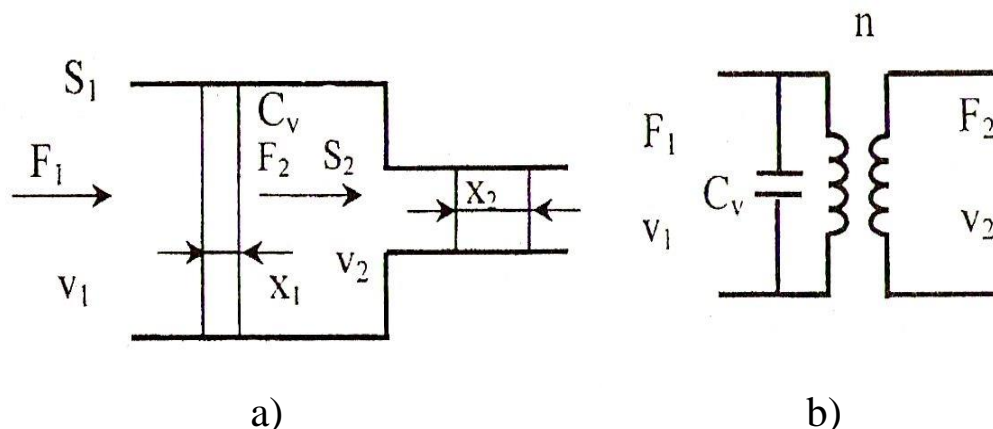
$$\omega_0 = \frac{1}{\sqrt{m_a c_v}} \text{ teng.}$$

Rezonatorlar amalda koʻp qoʻllaniladi. Uning aktiv qarshiligi qiymati va xarakteriga qarab qoʻllanilishi turlicha boʻlishi mumkin. Agar aktiv qarshiligini inobatga olmasak, unda rezonator tovush kuchaytirgich vazifasini bajaradi. Ishqalanish qarshiligi sunʼiy ravishda oshirilsa, unda rezonator tovush energiyasini yutuvchi xususiyatga ega boʻladi, ulardagi ishqalanish rezonator boʻgʻizini berkituvchi mato hisobiga oshadi.



Radioeshittirish va televidenie studiyalarida, arxitektura va qurilish inshootlarda, konsert zallarida keng qoʻllaniladigan rezonansli tovush soʻndirgichlarning ishlashi shu prinsipga asoslangan.

**Akustik transformator.** Koʻpincha elektroakustik apparatlar konstruksiyasida tebranuvchi havo oqimini oʻzgaruvchi yuza kesimi taʼminlaydigan qurilmalar qoʻllaniladi. Oddiy koʻrinishda bunday qurilmani ikkita ideal turli yuzadagi oʻzaro tutash kameradagi havo hajmi orqali bogʻlangan porshen sifatida koʻrish mumkin.



4.6 rasm. a) akustik transformator va b) uning elektr-ekvivalent sxemasi

Faraz qilaylik yuzasi  $S_1$  teng porshen (4.6a -rasm)  $F_1$  kuch taʼsirida  $v_1$  tezlikda tebranadi. U siqib chiqarayotgan havo oqimi  $v_1 S_1$  hajmiy tezlikka ega. Kameradagi havoning siqilishi inobatga olmagan holda barcha siqib chiqarilgan havo oqimi  $S_2$  kesim yuzasidan oʻtadi, shunday qilib,  $v_1 S_1 = v_2 S_2$  yoki:

$$\frac{v_2}{v_1} = \frac{S_1}{S_2} = n \quad (4.5)$$

Kameradagi birinchi porshenning  $x$  qiymatga siljishi natijasida, tashqi kuchni muvozanatlashtiruvchi ortiqcha  $R_{\text{tov}}$  bosim hosil boʻladi, u  $F_1 = P_{\text{tov}} S_1$  teng.

Bu bosim kameraning barcha devorlariga taʼsir etadi, shu jumladan  $S_2$  porshenga ham. Shuning uchun  $F_1 = P_{\text{tov}} S_2$ .

Ammo:  $p_{\text{tov}} = \frac{F_1}{S_1}$  teng boʻlgani uchun  $F_2 = \frac{F_1 S_2}{S_1}$  yoki:

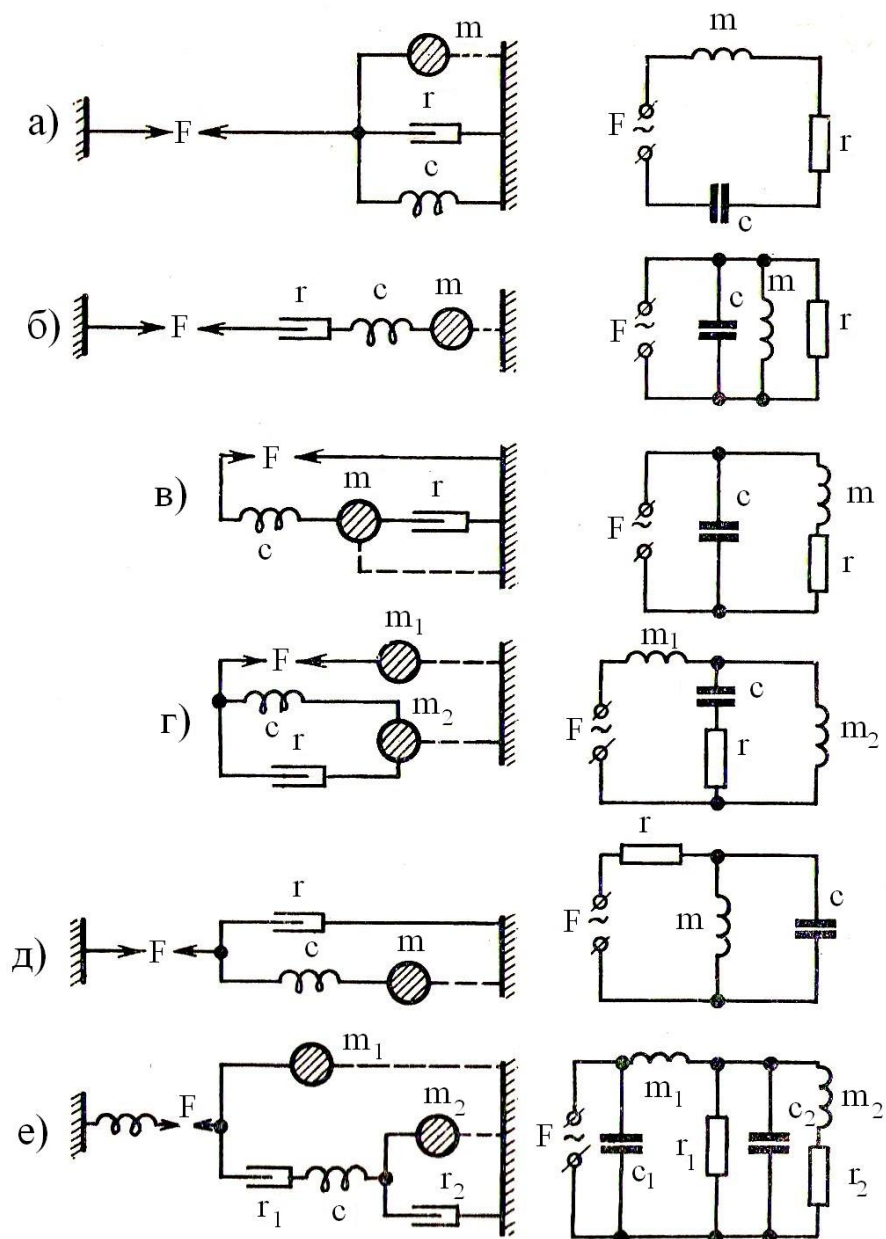
$$\frac{F_2}{F_1} = \frac{S_2}{S_1} = n \quad (4.6)$$

Olingan qiymatlar 4.4b-rasmdagi elektr transformatoridagi nisbatlarga mos.

Elektr transformatori o‘ramlari analogi bo‘lib, akustik kameraning yuzasi hisoblanadi. Shunday qilib kamera, kuch va tezliklarning **akustik transformatori** hisoblanadi. Amalda kameradagi havo siqiladi, demak, harakatlanayotgan  $S_1$  porshendan havo zarrachalari  $S_2$  yuzaga kameradagi havo hajmining elastikligi orqali o‘tadi. Bu elastik element akustik transformatorning elektr analogi sxemasida transformatorning birlamchi, yoki ikkilamchi o‘ramiga parallel ulanishi mumkin. Elektr transformatorida bir necha ikkilamchi o‘ram bo‘lganligi kabi akustik kamerada ham bir necha chiqish teshiklari bo‘lishi mumkin.

### Nazorat savollari

1. Elektromexanik o‘zgartirgichning umumiy sxemasini chizing, differensial tenglamasini yozing va tushuntiring.
2. Elektr zanjiri va mexanoakustik tebranish tizimlari uchun rezonans chastota formulalarini yozing va tushuntiring.
3. O‘zgartirgich-dvigatel elektr-ekvivalent sxemasini chizing va ishlash prinsipini tushuntiring.
4. O‘zgartirgich - generatorning mexanik-ekvivalent sxemasini chizing va ishlash prinsipini tushuntiring.
5. Elektromexanik o‘xshashlik uslubi prinsipini tushuntiring.
- 6.4.7a- rasmni tushuntiring.
- 7.4.7b- rasmni tushuntiring.
- 8.4.7v- rasmni tushuntiring.
- 9.4.7g- rasmni tushuntiring.
- 10.4.7d- rasmni tushuntiring.
- 11.4.7e- rasmni tushuntiring.



- 4.7-rasm. Mexanik elementlarning ulanishi va ularning elektr analogi
12. Akustik transformatorning elektr va mexanik transformator-lardan qanday farqi bor?
13. Gelmgols rezonatorining elektr-ekvivalent sxemasini chizing va ishlash prinsipini tushuntiring.
14. Akustik transformatorning ishlash prinsipini tushuntiring.

## 5 bob. Mikrofonlar

### 5.1. Mikrofonlarning klassifikatsiyalari va texnik tavsiflari

Elektroakustik signal uzatishning asosiy maqsadi uni tabiiylikicha qayta eshittirishdir. Tovush eshitish taassurotlari faqatgina tovush bosimiga bogʻliq boʻlmasdan, balki toʻlqin fronti egriligiga ham bogʻliq. Shuning uchun tovushni qayta eshittirish nuqtasida tovush bosimi va toʻlqin fronti egriligini tabiiylikicha saqlanishiga erishish zarur. Toʻlqin frontining egriligi oʻtish jarayonlari xarakterini belgilaydi, chunki, ularning egrilik radiusi qanchalik kichik boʻlsa, yaqin tovush maydoni shunchalik kuchliroq va past chastotaning nisbiy kuchi shunchalik katta boʻladi. Yoʻnalganlik taassurotini hosil qilish uchun esa, bir necha uzatish kanallaridan foydalanish kerak yoki eshittirishlarni bir necha radiokarnaylar orqali uzatish lozim. Toʻlqin fronti egriligini inobatga olmasak, bu holda, tinglovchilar oʻtish jarayonlariga munosabatlarini bildirishlari uchun oʻrnatilgan radiokarnaylardan eshittirishlarni bevosita tinglagandagi masofalarga mos ravishda joylashishlari kerak. Ammo, mikrofonlarning sifatli boʻlishi uchun yana bir qator omillar kerakki, ulardan biri, foydali kuchlanishni shovqin kuchlanishiga boʻlgan nisbati.

Har qanday mikrofonning vazifasi fazoning qandaydir nuqtasida tovush maydonini xarakterlaydigan parametrlarni, elektr kuchlanishi yoki tokiga oʻzgartirishdir.

Mikrofonlarning koʻpdan-koʻp turlari mavjud boʻlib, ular radioeshittirish va televidenie tizimlarida, telefoniya, ovozlashtirish, tovush kuchaytirish, ovoz yozish va b.q. qoʻllaniladi. Mikrofon har qanday elektroakustik va radioeshittirish traktlarining birinchi va eng asosiy elementlaridan hisoblanib, u eshittirish kanalining sifat koʻrsatkichini belgilaydi.

**Mikrofonlar, bir - birlaridan quyidagi koʻrsatkichlari bilan farqlanadi:**

- akustik tebranishlarni elektr tebranishlariga oʻzgartirish usuli bilan;
- tovush tebranishlarini mikrofon diafragmasiga taʼsir etish usuli bilan;
- yoʻnalganlik diagrammasi, hamda belgilanishi bilan.

**Akustik tebranishlarni oʻzgartirish usuli boʻyicha mikrofonlar:**

- elektrodinamik (gʻaltakli va tasmali);
- kondensatorli (sigʻimli, shu jumladan elektretli);
- elektromagnitli;

- pezoelektrik;
- ko‘mirli;
- tranzistorli turlariga bo‘linadi.

**Mikrofon diafragmasiga tovush tebranishlarining ta‘siri bo‘yicha:**

tovush qabul qilgich; tovush gradienti qabul qilgich va kombinatsiyalangan turlariga bo‘linadi.

**Mikrofonlar yo‘nalganlik diagrammasi bo‘yicha:**- yo‘nalmagan (doira);

bir tomonlama yo‘nalgan – kardioda, superkardioda, giperkardioda, ikki tomonlama yo‘nalgan (sakkizsimon va kosinusoidali) turlariga bo‘linadi.

Mikrofonlarning asosiy texnik ko‘rsatkichlarni ko‘rib chiqamiz.

**Sezgirlik** - erkin tovush maydonda mikrofon akustik o‘qi bo‘yicha, akustik o‘qidan 1m masofada mikrofon membranasiga ta‘sir etayotgan  $r_{tov}$  tovush bosimi mikrofon chiqishida rivojlantirayotgan U kuchlanishni shu bosimga nisbati bilan aniqlanadi:

$$E = \frac{U}{p_{TOB}}, \left[ \frac{mB}{\Pi a} \right] \quad (5.1)$$

Sezgirlik kuchlanishning salt yurishi holatida yoki yuklamadagi nominal kuchlanish qiymati bo‘yicha aniqlanadi. Mikrofonning nominal yuk qarshiligi sifatida 1000 Gs chastotadagi uning ichki qarshiligi moduli qabul qilingan.

O‘lchash sharoitlariga qarab mikrofon sezgirligini erkin maydon va diffuziya maydoni bo‘yicha belgilaydilar.

**Erkin tovush maydoni** deb, to‘g‘ri tovush maydoni ustunlik qiladigan, qaytgan to‘lqinlar bo‘lmagan, bo‘lsa ham kam miqdorda bo‘lgan maydonlarga aytiladi.

**Diffuziyali tovush maydoni** - bu shunday maydonki, undagi har bir nuqtada tovush energiyasi zichligi bir xil va uning turli yo‘nalishlariga bir vaqtda bir xil energiya oqimi yo‘naladi, bir jinsli va izotrop maydon yig‘indilaridan iborat.

**Sezgirlik sathi** - 1 V/Pa nisbatda ifodalangan sezgirlik.

**Sezgirlikning standart sathi**-1V/Pa tovush bosimda nominal  $R_{nom}$  qarshilikda rivojlanayotgan, desibellarda o‘lchanadigan kuchlanishning  $P_0=1$  mVt quvvatga mos kuchlanishga nisbati, ya‘ni  $R_{tov}=1$  Pa ga teng bo‘lgandagi mikrofonning nominal yuklanishga berayotgan quvvat sathi.

$$N_{ct} = 20 \lg \frac{U_{HOM}}{\sqrt{R_{HOM} P_0}} = 20 \lg \frac{E_{HOM}}{\sqrt{R_{HOM} 10^{-3}}} \quad (5.2)$$

**Yoʻnalganlik diagrammasi** - mikrofonga tovush  $\theta$  burchak ostida tushganda oʻlchangan sezgirligi  $E_{e_0}$  uning oʻqi boʻyicha sezgirligiga nisbati bilan baholanadi:

$$D_0 = \frac{E_0}{E_{\check{y}k}}, \quad (5.3)$$

Mikrofonning yoʻnalganlik tavsiflari qutb koordinatalarida chiziladi va bunday grafik **yoʻnalganlik diagrammasi** deb ataladi.

Mikrofonning yoʻnalganligi hisobiga uning diffuziya maydoni boʻyicha sezgirligi  $E_{dif}$  oʻqi boʻyicha sezgirligidan kichik. Bu kamayishni hisobga olish uchun **yoʻnalganlik koeffitsienti** kiritilgan.

$$\Omega = \frac{E_{\check{y}k}^2}{E_{dif}^2} \quad (5.4)$$

Desibellarda ifodalangan yoʻnalganlik koeffitsienti, **yoʻnalganlik indeksi** deb ataladi:

$$Q_m = 10 \lg \Omega \quad (5.5)$$

Yoʻnalganlik indeksi mikrofonning ikkita tovush manbalaridan: biri mikrofon oʻqida joylashgan va boshqasi tarqalgan tovush toʻlqinlari manbai rivojlantirayotgan quvvat sathlari farqini koʻrsatadi (agarda ikkalasi mikrofon joylashgan joyda bir xil bosim yaratsa). Boshqacha qilib aytganda, yoʻnalganlik indeksi mikrofon oʻqidan oʻtayotgan signalga nisbatan shovqinning bostirilishini koʻrsatadi.

**Diffuziya maydonidagi sezgirligi** - bu mikrofonning oʻqi boʻyicha sezgirligini yoʻnalish koeffitsientining ildiz osti qiymati nisbatiga teng, yaʼni

$$E_{dif} = \frac{E_0}{\sqrt{\Omega}} \quad (5.6)$$

yoʻnalganlik tavsifi qanchalik oʻtkir boʻlsa, shunchalik diffuziya maydonidagi sezgirligi kichik, yaʼni reverberatsiyalanuvchi tovushga boʻlgan sezgirligi kichik.

Mikrofonning **front boʻyicha sezgirligi** - bu old yarim fazodan tushayotgan tovushlarga boʻlgan integral sezgirlik.

$$E_{\phi} = \frac{E_0}{\sqrt{\Omega_{\phi}}} \quad (5.7)$$

$$\Omega_{\phi} = \frac{2}{\int_0^{\frac{\pi}{2}} D^2(\theta) \sin \theta d\theta} \quad (5.8)$$

«front/orqa tomon» sezgirligining farqi mikrofon akustik o‘qi bo‘yicha sezgirligini  $Y_{e180^\circ}$  sezgirligiga nisbati:

$$Q_{\phi/180^\circ} = 20 \lg \frac{E_{\ddot{y}_K}}{E_{\text{opk tomon}}} \quad (5.9)$$

Shuni aytib o‘tish lozimki, mikrofoniga hech qanday signal ta’sir etmaganda ham uning chiqishidagi kuchlanish nolga teng emas. Mikrofon chiqishidagi mavjud kuchlanish atrof muhit zarrachala-rining fluktuatsiyasi va mikrofon elektr qismidagi issiqlik shovqinlari bilan belginaladi.

Mikrofonning xususiy shovqin sathini akustik kirishiga keltirilgan, o‘lchamlari ekvivalent tovush bosimi  $R_{\text{shov}}$  sathi sifatida aniqlaydilar, ya’ni u mikrofoniga ta’sir etganda, mikrofon chiqishidagi kuchlanish  $U_{\text{shov}}$  mikrofonning kirishida tovush to‘lqinlari bo‘lmagandagi rivojlantirayotgan kuchlanish nisbatiga teng:

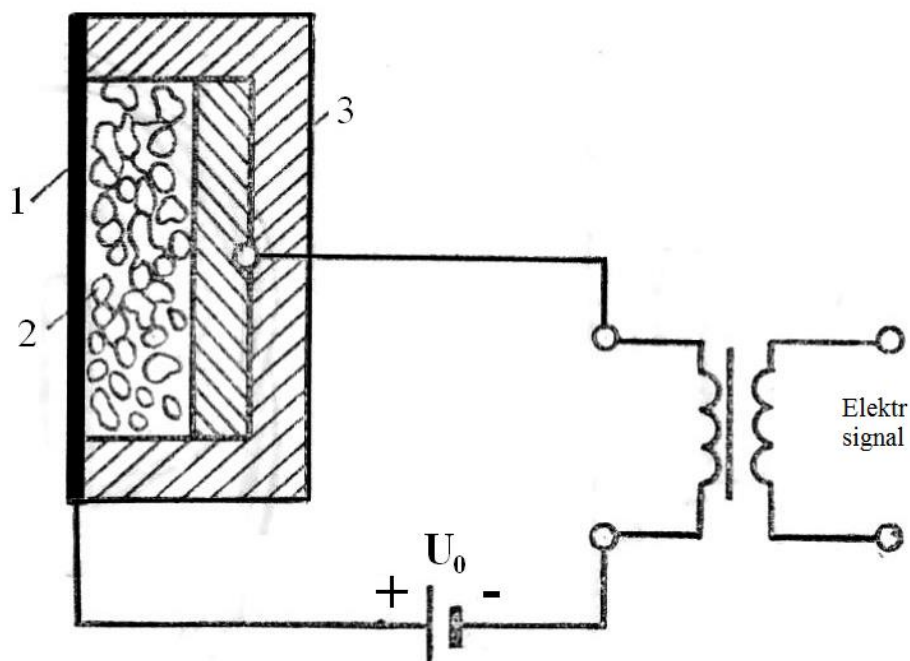
$$P_{\text{shov}} = \frac{U_{\text{shov}}^2}{E_0} \quad (5.10)$$

$$\text{yoki, } L_{\text{shov}} = 20 \lg \frac{P_{\text{shov}}}{p_0}, \text{ bunda } p_0 = 2 \cdot 10^{-5} \text{ Pa}$$

Yuqorida qayd etilgan ko‘rsatkichlardan tashqari mikrofon yana boshqa ko‘rsatkichlar jumladan, chastota diapazonida berilgan chastota tavsifi notekisligi bilan ham farqlanadi.

### **Mikrofonlarning ishlash prinsipini qisqacha ko‘rib chiqamiz.**

Tovush qabulqilgichlar orasida keng tarqalgani bu ko‘mirli – mikrofondir. Ko‘mirli mikrofonning ishlash prinsipi (5.1-rasm) diafragma tovush bosimi ta’sir qilganda ko‘mir kukunining aktiv qarshiligi o‘zgarishiga asoslangan.



5.1-rasm. Ko‘mirli mikrofonning konstruktiv sxemasi:  
1-diafragma; 2-ko‘mir kukuni; 3-ko‘zg‘almas elektrod

Diafragma bosim ta‘sirida tebranaboshlaydi, bu tebranishlar chastotasiga mos holda ko‘mir kukuni 2 zarrachalarining siqilish kuchi o‘zgaradi. Qo‘shimcha  $U_0$  manbadan ko‘mir kukunli kapsyul 2 va transformatorning birinchi chulg‘ami orqali o‘zgarimas tok o‘tadi. Aktiv qarshilikning o‘zgarishi natijasida 1 va 3 elektrodlar o‘rtasidagi aktiv qarshilik va transformatorning birinchi g‘altigidan oqayotgan tok diafragma tebranishlariga mos holda o‘zgaradi, transformatorning ikkinchi chulg‘amida o‘zgaruvchan kuchlanish - elektr signali paydo bo‘ladi. Ko‘mirli mikrofonlar ta‘sir etadigan mexanik yuklamalarga nisbatan mustahkam, yuqori sezgirliги bilan xarakterlanadi ( $1V/Pa$ ), chiqish energiyasi unga tushayotgan tovush energiyasidan taxminan 10 barobar ko‘p.

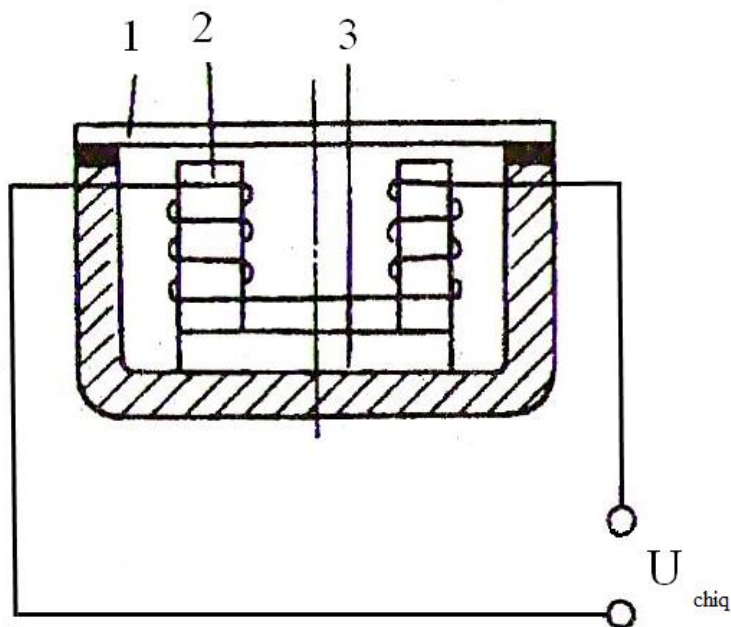
Amalda  $U_0$  kuchlanish  $0,5V$  dan oshmasligi kerak aks holda elektr yoyi ko‘mir kukunini kuydirib yuboradi.

Ko‘mirli mikrofonning to‘la qarshiligi (qo‘llanilishiga qarab) bir necha yuz omni tashkil etadi. Buning evaziga ko‘mirli mikrofonlar liniyalarga bevosita, kuchaytirgichsiz ulanishi mumkin, bu uning asosiy afzalligi hisoblanadi. Kamchiligi sifatida chastota tavsifining notekisligi va u bilan bog‘liq bo‘lgan noxiziqli buzilishlarning kattaligini aytish mumkin. Ko‘mirli mikrofonning bu kamchiliklari



tufayli yuqori sifatli tovush eshittirish, ovoz yozish va o'lchashlarda undan foydalan-maydilar. Bu turdagi mikrofonlar hozirgi vaqtda ham maishiy telefon apparatlarda keng qo'llaniladi.

Ko'mirli mikrofonlardan keyin **elektromagnit** mikrofoni ixtiro etilgan (5.2- rasm).



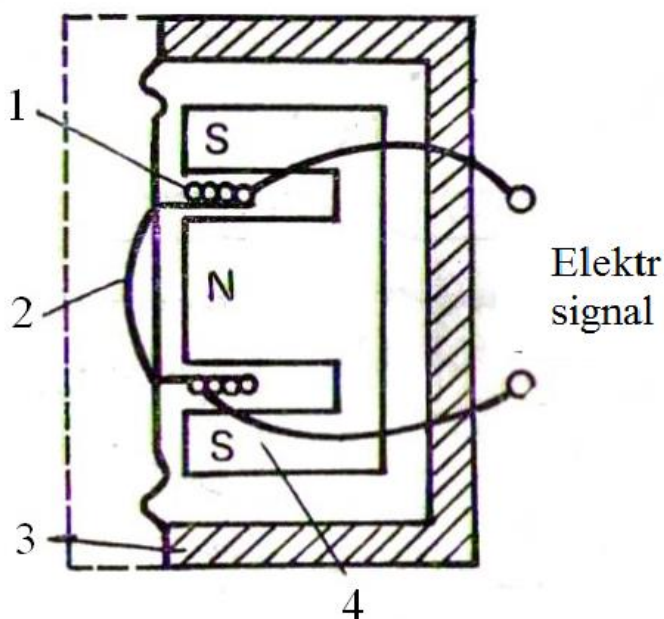
5.2-rasm. Elektromagnit mikrofon konstruksiyasi:  
1-diafragma; 2-g'altak; 3-qo'zg'almas elektrod

Elektromagnit mikrofonlarning ishlash prinsipi tovush bosimi 1 diafragma ta'sir etganda diafragma bilan magnet o'zagi 2 o'rtasida magnet oqimi o'zgarishi natijasida, o'zaka o'ralgan g'altakda EYuK paydo bo'lishiga asoslangan. Diafragma tebranganda diafragma bilan magnet o'zagi qutblari oralig'i o'zgaradi, natijada magnet oqimi o'zgaradi. Bu oraliq diafragma tebranganda o'zgaradi va magnet oqimini modulyatsiyalaydi. Magnet o'zagiga o'ralgan g'altakdan oqayotgan tok diafragma tebranishlariga mos holda o'zgaradi natijada mikrofon chiqishida o'zgaruvchan kuchlanish - elektr signali paydo bo'ladi.

Tovush eshittirishda **elektrodinamik** mikrofonning eng ko'p tarqalgan ikkita: g'altakli va tasmali turlari qo'llaniladi. G'altakli elektrodinamik mikrofon, halqasimon magnet tizimi tirqishida qo'zg'aluvchi g'altak 1 diafragma 2 bilan mustahkam biriktirilgan. Diafragma tovush bosimi ta'sir etganda u qo'zg'aluvchi g'altak bilan birgalikda vertikal tebranadi (5.3- rasm).

Natijada, g'altak o'zgaras magnet 4 va magnet o'zagi orasidagi magnet kuch chiziqlarni kesib o'tadi va g'altakdan oqayotgan tok diafragma tebranishlariga mos holda o'zgaradi natijada, mikrofon chiqishida o'zgaruvchan kuchlanish - elektr signali paydo bo'ladi.

G'altakli elektrodinamik mikrofon konstruktiv mustahkam, ishlashi barqaror, chastota diapazoni keng, ammo chastota tavsifining notekisligi nisbatan katta.



5.3-rasm. Elektrodinamik mikrofon konstruksiyasi:  
1-g'altak; 2-diafragma; 3-korpus; 4-o'zgaras magnet

G'altakli elektrodinamik mikrofonning konstruktiv bosim qabul qilgich, bosim gradienti qabul qilgich va kombinatsiyalangan turlari mavjud.

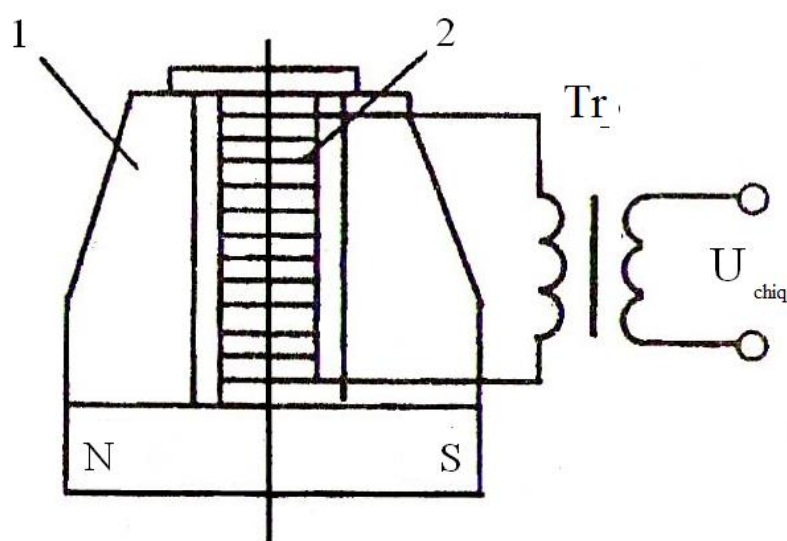
**Tasmali elektrodinamik mikrofonning tuzilishi** g'altakli mikrofondan bir muncha farqlanadi. Magnet tizimi stakansimon ikki qutbli 2 o'zgaras magnetdan iborat bo'lib, ular, orasida yengil va ingichka (2 mkm) gofrlangan (qat-qat buklangan) alyumin tasma 3 tortilgan (5.4 - rasm). Tasmaning ikki tomoni tovush bosimi uchun ochiq (bosim gradienti qabul qilgich). Tasmaga tovush bosimi ta'sir etganda u tebranadi va o'zgaras magnet kuch chiziqlarini kesib o'tadi, natijada tasmaning uchlarida kuchlanish paydo bo'ladi.

Tasmaning qarshiligi kichik bo'lganligi sababli, ulovchi simlarda tushish kuchlanishini kamaytirish maqsadida, tasma uchlaridagi kuchlanish, unga bevosita yaqin joylashtirilgan kuchaytiruvchi transformatorning (Tr) birlamchi o'ramiga uzatiladi va

transformatorning ikkinchi o‘ramida o‘zgaruvchan kuchlanish - elektr signali paydo bo‘ladi.

Tasmali elektrodinamik mikrofonlarning konstruktiv: bosim qabul qilgich, bosim gradienti qabul qilgich va kombinatsiyalangan turlari mavjud. Tasmali mikrofon yuqori sezgirlikka ega, chastota diapazoni keng va chastota tavsifining notekisligi juda kichik, bu uning asosiy afzalligi.

Tasmali mikrofonning kamchiligi, o‘lchamlarining nisbatan kattaligi (transformator tasmaga bevosita ulangan), yupqa diafragma ikki tomondan ochiq bo‘lganligi sababli uni “yelvizak” dan qo‘rqadi deyishadi va ochiq maydonlarda ishlatish tavsiya etilmaydi.



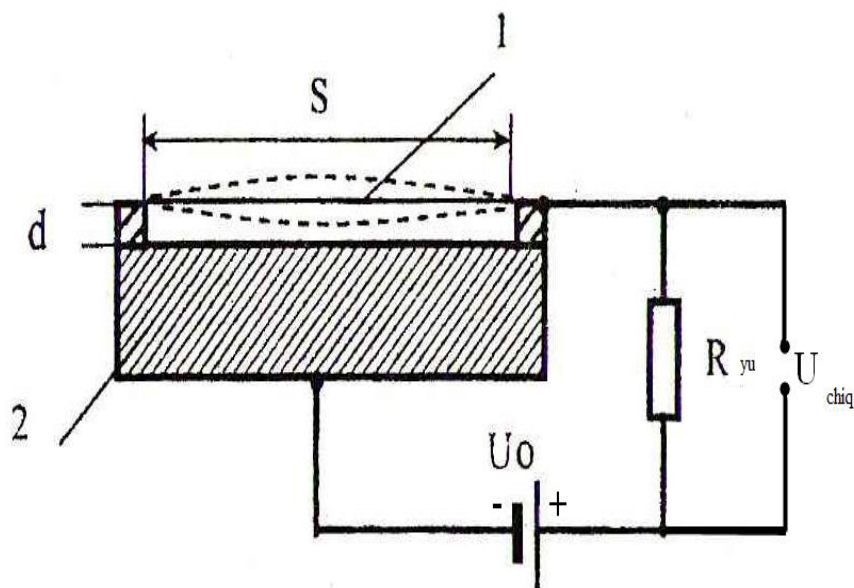
5.4-rasm. Tasmali elektrodinamik mikrofon konstruksiyasi:  
1-o‘zgarmas magnet; 2-gofrlangan alyumin tasma

Shu sababli bu turdagi mikrofonlar ko‘proq televidenie studiyalarida kadruga tushmasligi oldini olib, “turna”ga ilib foydalaniladi.

Zamonaviy elektroakustika traktlarida eng ko‘p qo‘llaniladigan mikrofonlar bu - **kondensatorli (sig‘imli) mikrofonlardir**. Kondensatorli mikrofonlar quyidagicha ishlaydi (5.5- rasm).

Tarang tortilgan membrana 1 tovush bosimi ta‘sirida qo‘zg‘almas elektrodga 2 nisbatan tebranadi. Parametrlari yuqori bo‘lishligi talab etiladigan kondensatorli mikrofonlarning membranasi qalinligi  $5 \div 20$  mkm yuqori polimerli (ftorplast, lavsan) materialdan tayyorlanib unga tilla suvi purkaladi.

Membrana qoʻzgʻalmas elektrod bilan birgalikda elektr kondensatorning elektrodlari hisoblanadi. Kondensator elektr zanjirga oʻzgarimas tok manbai  $U_0$  va aktiv yuk qarshiligi  $R_{yu}$  ga ketma-ket ulanadi.



5.5-rasm. Kondensatorli mikrofon konstruksiyasi:  
1-diafragma; 2-oʻzgarimas magnet

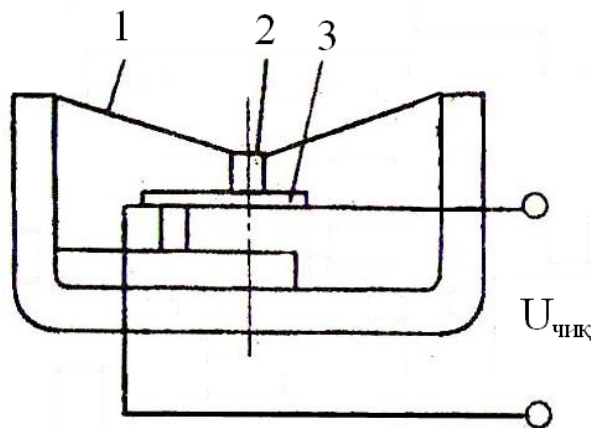
Tovush bosimi taʼsirida membrana tebranishi natijasida kondensatorning sigʻimi oʻzgaradi, elektr zanjirda oʻzgaruvchan tok paydo boʻladi va  $R_{yu}$  qarshilikda tushish kuchlanishi hosil boʻladi, bu kuchlanish mikrofonning chiqish kuchlanishi hisoblanadi. Kondensatorli mikrofon keng chastota diapazonida yuqori sezgirlikka ega boʻlib, chastota tavsifi deyarlik gorizontol. Kondensatorli mikrofonlar radioeshittirish va televidenie studiyalarida keng qoʻllaniladi.

Kondensatorli mikrofonlarning kamchiligi sifatida uning bahosi yuqoriligini, hamda alohida taʼminot manbai talab etilishini taʼkidlash zarur. Bu kamchiliklar uning qoʻllanilish imkoniyatlarini birmuncha cheklaydi.

Kondensatorli mikrofonlarning konstruktiv: bosim qabul qilgich, bosim gradienti qabul qilgich va kombinatsiyalangan turlari mavjud.

**Elektretli mikrofon** kondensatorli mikrofonga oʻxshash, ammo, qoplam potentsiallari farqi tashqi manbadan taʼminlanmaydi, aksincha membrana yoki qoʻzgʻalmas elektrodni elektr zaryadlash natijasida erishiiladi. Membrana va qoʻzgʻalmas elektrod elektr zaryadlarni uzoq muddat saqlab turish xususiyatiga ega boʻlgan materiallardan tayyorlanadi.

**Pezamikrofonlarning** (5.6-rasm) ishlash prinsipi quyidagicha: membrana 1 ga ta'sir etayotgan tovush bosimi 2 sterjen orqali pezelement 3 ga ta'sir etadi. Pezelement deformatsiyalanadi, natijada element qoplamida musbat va manfiy kuchlanish paydo bo'ladi. Peza mikrofonlar keyingi yillarda keng qo'llaniboshladi.



5.6–rasm. Pezamikrofon konstruksiyasi

**Tranzistorli mikrofonlarning** ishlashi qo'zg'aluvchi, diafragma birlashtirilgan uchlik nayza bir vaqtning o'zida yarim o'tkazgichli triodning emitteri hisoblanib, tovush bosimi ta'sirida emitterning o'tish qarshiligi o'zgarishiga asoslangan. Bunday mikrofonlar anchagina sezgir bo'lsada, ammo qo'llanishda barqaror emas, hamda tor va notekis chastota tavsifga ega. Shuni aytish kerakki, ko'mirli va tranzistorli mikrofonlar releli o'zgartirgichlar turiga kiradi va ular qaytariluvchan emas.

## 5.2. Mikrofon - elektromexanik o'zgartirgich

Mikrofon sezgirligi (5.1) formulaga asosan mikrofon chiqishidagi kuchlanishni unga ta'sir etayotgan tovush bosimi nisbatiga teng:

$$E = \frac{U}{P_{\text{TOB}}}$$

Mikrofon yuk qarshiligiga ishlaganda uning chiqishidagi kuchlanish:

$$U = U_0 \frac{Z_{\text{IOK}}}{Z_0 + Z_{\text{IOK}}} \quad (5.11)$$

Salt yurishidagi kuchlanish:

$$U_0 = Kv \quad (5.12)$$

O‘z navbatida

$$v = \frac{F}{Z_0 + Z_{\text{кир}}}, \quad (5.13)$$

$$\text{Kiritilgan qarshilik } Z_{\text{кир}} = \frac{|K^2|}{Z_0 + Z_{\text{юк}}}$$

Mikrofonga ta’sir etuvchi kuch erkin tovush maydonidagi tovush bosimiga proporsional

$$F = a_{\text{тоб}} \quad (5.14)$$

Bunda  $a$  - **akustik xarakteristika** deb ataluvchi va yuza o‘lchov birligiga ega bo‘lgan proporsionallik koeffitsienti.

Oraliq matematik o‘zgartirishlarni tushirib, mikrofon sezgirligini quyidagicha ifodalaymiz:

$$E = a \frac{K}{Z_0 + Z_{\text{кир}}} + \frac{Z_{\text{юк}}}{Z_0 + Z_{\text{юк}}} \quad (5.15)$$

Bundan tashqari mikrofon sezgirligini quyidagi nisbatlar ko‘paytmasi holida ham ifodalash mumkin:

$$E = \frac{U}{P_{\text{тоб}}} = \frac{U}{V} \cdot \frac{V}{F} \cdot \frac{F}{P_{\text{тоб}}} \quad (5.16)$$

$$\frac{F}{V} = \varphi_{\text{мех}} = \frac{K}{Z_0 + Z_{\text{кир}}} - \text{mexanik xarakteristika};$$

$$\frac{U}{V} = \varphi_{\text{эл}} = \frac{Z_{\text{юк}}}{Z_0 + Z_{\text{юк}}} - \text{elektr xarakteristika};$$

$$\frac{F}{P_{\text{тоб}}} = \alpha = \varphi_{\text{ак}} - \text{akustik xarakteristika.}$$

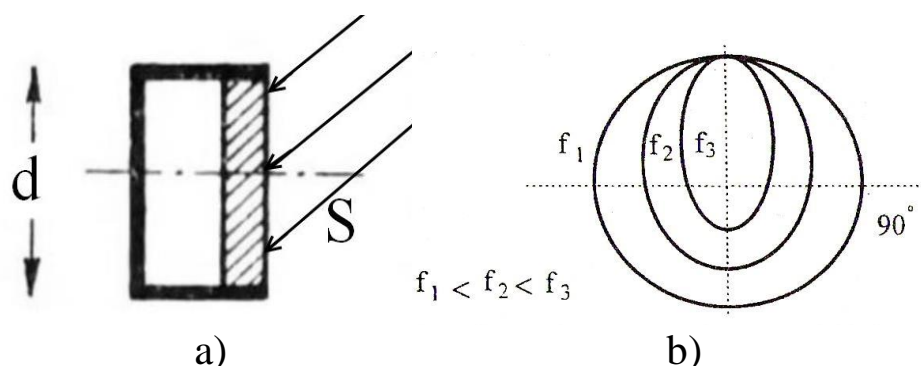
Bu qiymatlarni (16) formulaga qo‘ysak, mikrofonning umumiy sezgir-ligini aniqlaydigan quyidagi formulani olamiz:

$$E = \varphi_{\text{ак}} \cdot \varphi_{\text{мех}} \cdot \varphi_{\text{эл}} = \varphi_{\text{ак}} \cdot \frac{K}{Z_0 + \frac{K^2}{Z_0 + Z_{\text{юк}}}} \cdot \frac{Z_{\text{юк}}}{Z_{\text{юк}} + Z_0} \quad (5.17)$$

#### 5.4. Mikrofon - tovush qabul qilgich

Mikrofonlarning akustik qismi tuzilishiga qarab ular: **tovush bosimi qabul qilgich**, **tovush bosimi gradienti qabul qilgich** va

**kombinatsiyalangan** mikrofonlarga bo‘linadi. Bosim qabul qilgichning xarakterli xususiyatlaridan biri shuki, uning qabul diafragmasi ta’sir etuvchi tovush to‘lqinlari uchun birgina - frontal tomondan ochiq (5.7-rasm).



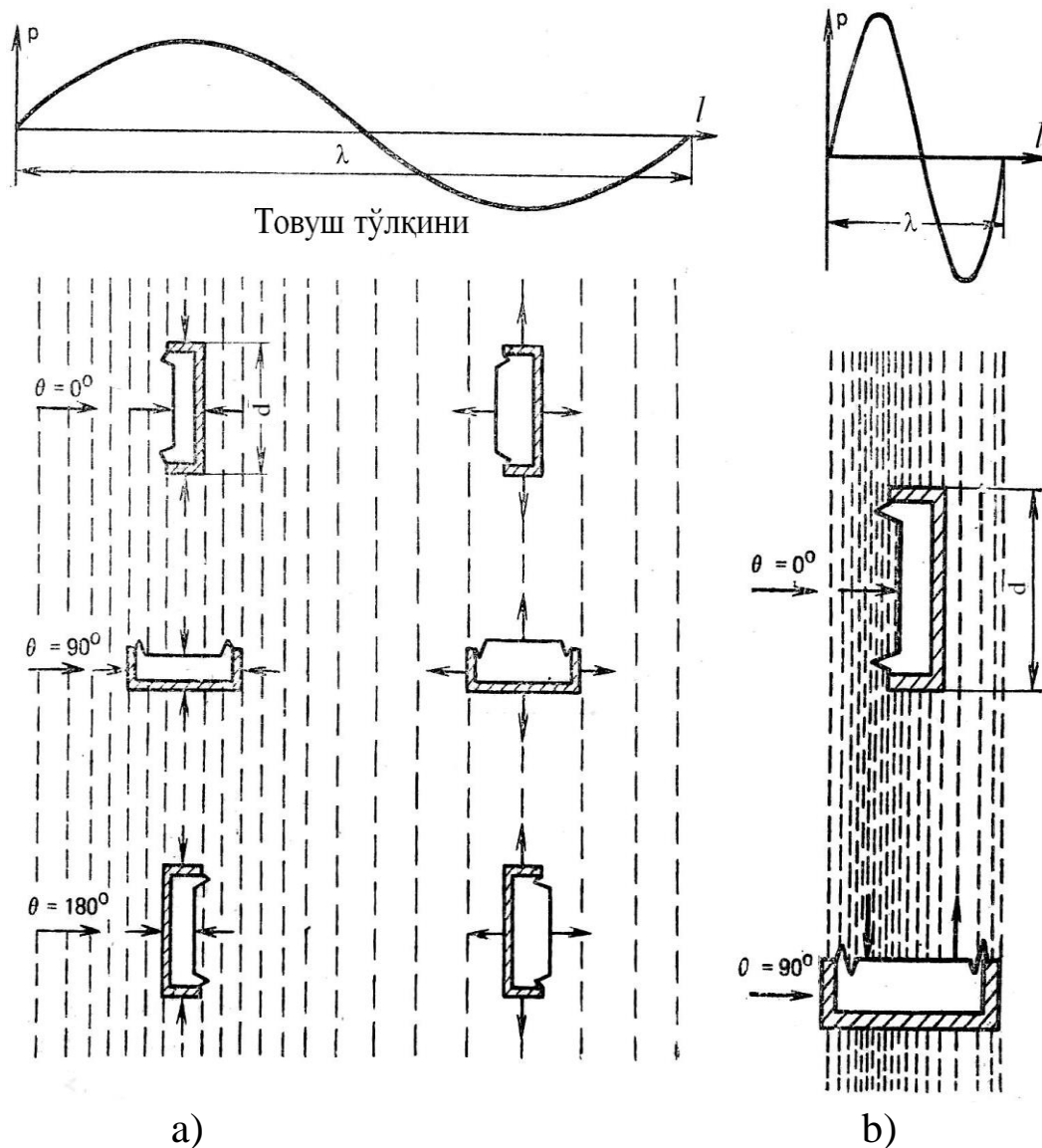
5.7- rasm. Mikrofon bosim qabul qilgich a) va b) uning turli chastotalarda yo‘nalganlik diagrammasi

Mikrofonlar, joylashgan tovush maydon manzarasini o‘zgartirmasligi uchun mikrofon o‘lchamlari ularga ta’sir etayotgan tovush to‘lqin uzunligidan ancha kichik bo‘lishi kerak, ya’ni  $d \ll \lambda$ . Bunda mikrofon diafragmasiga ta’sir etayotgan kuch quyidagicha aniqlanadi  $F = pS$ , bunda  $r$ - tovush bosimining effektiv qiymati, Pa;  $S$ - diafragmaning aktiv yuzasi,  $m^2$ ;  $F$ - diafragmaga ta’sir etayotgan effektiv kuch, H.

Bu kuch tovush to‘lqini mikrofon markazi tomon yo‘naltirilganda musbat va teskari, tovush to‘lqini mikrofon markazidan yo‘naltirilganda manfiy qiymatga ega bo‘lib, mos holda diafragmani qo‘zg‘atadi. Bu sharoitda bosim qabul qilgich yo‘nalmagan xarakteristikali mikrofonni ifodalaydi. Yuqori chastotalarda diafragmaning o‘lchami to‘lqin uzunligi bilan barobar bo‘lganda to‘lqin interferensiyasi hodisasi ro‘y beradi va diafragmaga ta’sir etayotgan kuch  $F = (1 - 2)r_{tov}S$  teng bo‘ladi. Shuning bilan birga bosim qabul qilgich diagrammasi yo‘nalgan bo‘laboshlaydi (5.7b-rasm). Yuqorida keltirilgan  $d \ll \lambda$  bajarilish sharti 5.8 va 5.9-rasmlarda yaqqol ko‘rsatilgan.

$\theta = 0^\circ$  qiymatdan boshqa burchak ostida tushayotgan tovush to‘lqinlari uchun diafragmaning barcha yuzasidagi bosim birdek bo‘lmaydi. Masalan, mikrofonni  $\theta = 90^\circ$  burganda (5.9 rasm) diafragmaga bir vaqtda ham musbat ham manfiy tovush bosimi ta’sir etadi. Unda diafragmaga ta’sir etadigan natija kuch nolga teng bo‘ladi va

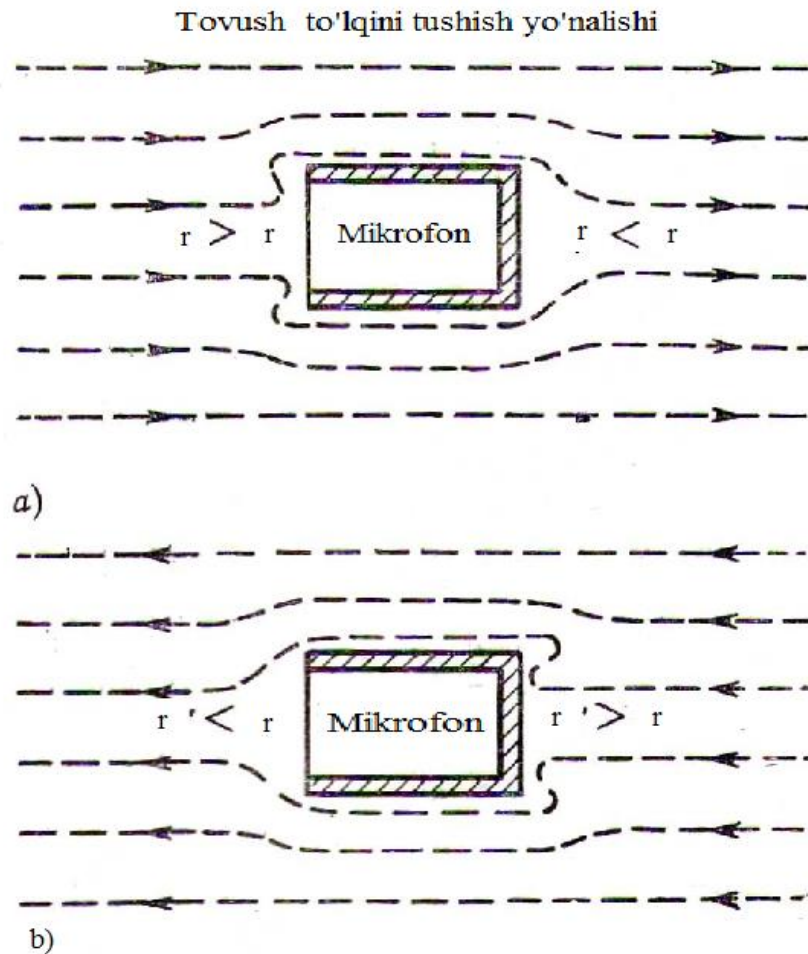
diafragma tebranmaydi. Bundan tashqari, mikrofonni yuqori chastota tovush maydonida joylashtirilishi shu maydonni deformatsiyalanishiga olib keladi.



5.8-rasm. a) Bosim gradienti  $d \ll \lambda$ ; b). Bosim gradienti  $d \approx \lambda$  tovush maydonida tovush maydonida

Bunda mikrofon o'ziga xos to'siq bo'lib, undan tovush to'lqinlari qisman qaytadi, bir qismi esa uni aylanib o'tadi. Bu hodisa, suv oqimiga to'siq qo'yganga o'xshash. Bu, bevosita to'siq oldida suv sathining oshishiga va to'siq orqasida suv sathining pasyishiga olib keladi(5.10-rasm).





5.10-rasm. Tovush maydonidagi mikrofondagi tovush to'liqini old va orqa tomondan tushganda maydon deformatsiyasi

Bundan shunday xulosa kelib chiqadi, mikrofon diafragmasi oldidagi tovush bosimi  $r'$  dastlabki tovush bosimi  $r$  dan farq qiladi. Odatda  $r'/r$  nisbati birdan farqlanadi va mikrofon o'lchami hamda tushayotgan tovush to'liqini burchagiga bog'liq bo'ladi.

Past chastotalar uchun, ya'ni to'liqin uzunligi katta bo'lganda, tovush to'liqini tushish burchagining ahamiyati yo'q. Bunda tovush to'liqini mikrofonni erkin aylanib o'tib diafragmada bir xil bosim hosil qiladi. Chastota oshgan sari, ya'ni to'liqin uzunligi diafragma o'lchamidan kichik bo'lganda  $r'/r$  nisbat birdan katta bo'ladi. Natijada diafragmaning qaytarish xususiyati hisobiga diafragmaning old tomonida tovush bosimi xatto ikki martagacha  $r'/r = 2$  oshishi mumkin. Yuqori chastotalarda diafragma oldidagi bosimning oshish hodisasi mikrofon sezgirligini yuqori chastotalarda pasayishini kompensatsiyalashda foydalaniladi.

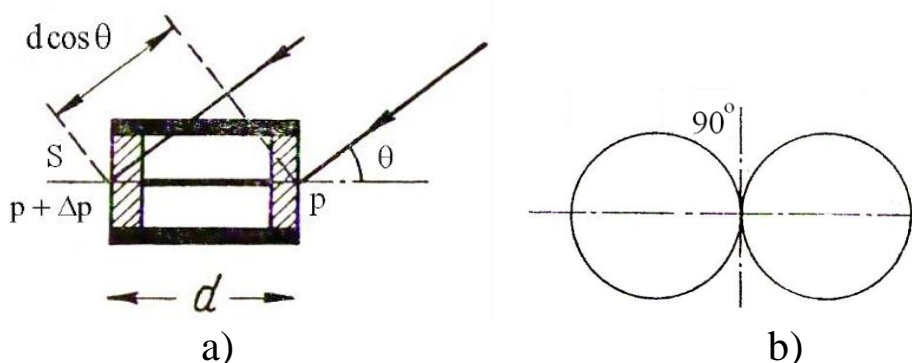
Tovush bosimi diafragma burchak ostida tushganda, diafragmaning turli nuqtalari bir fazada qo'zg'almay, turli fazalarda qo'zg'aladi.

Bu holda diafragma ta'sir etuvchi yig'indi kuch kamaya boradi va mikrofon yo'nalganlik xususiyatiga ega bo'la boshlaydi (5.7b- rasm). Shunday qilib, tovush bosimi qabul qilgich mikrofon uchun chastota oshishi bilan sezgir-ligi va yo'nalganlik diagrammasining oshishi xarakterlidir.

Endi **mikrofon - tovush bosimi gradienti qabul qilgichni** ko'rib chiqamiz. Bunday mikrofonning diafragmasi o'lchamlari cheklangan ekranda joylashgan deb faraz etish mumkin (5.11a- rasm). Diafragma ikkala tomondan ochiq bo'lganligi uchun unga tovush kuchlari farqi ta'sir etadi.

Masofa farqi esa:

$$\Delta r = d \cos \theta \text{ teng.} \quad (5.18)$$



5.11 -rasm. Bosim gradienti qabul qilgich a) va b) uning yo'nalganlik diagrammasi

Mikrofonning yo'nalganlik diagrammasi «sakkizsimon» ko'rinishda (5.11b-rasm). Mikrofon akustik o'qi bo'yicha tarqalayotgan tovush to'lqinlariga sezgir bo'lib, akustik o'qiga perpendikulyar bo'lgan to'lqinlarni qabul qil-maydi ya'ni  $\theta = \pi/2$  (5.11a - rasm).

Past chastotalarda mikrofon diafragmasiga ta'sir etayotgan kuch, asosan front va front orti to'lqinlari amplitudasi farqi bilan aniqlanadi.

Yuqori chastotalarda, faza farqlari kattaroq bo'lib, amplitudalarning o'zgarishi kam. Shuning uchun diafragmaning ikki tomonidagi bosimlar farqi tebranishlar fazasi farqi bilan aniqlanadi. Tovush manbaidan yaqin

masofalarda standart mikrofon-lar uchun past chastotalarda sezgirlik yuqori chastotalardagiga qaraganda yuqori. **Demak, mikrofon - bosim gradienti qabul qilgichlarni tovush manbai yaqiniga joylashtirish mumkin emas, bunda mikrofon past chastotalarni «chizib» o‘tadi.** Bunday joylashtirilganda zarur hollarda mikrofon kuchaytirgichga mos holdagi korreksiya kiritiladi.

**Kombinatsiyalangan mikrofonlar** deb, ikki yoki uchta umumiy chiqishga ega bo‘lgan bazaviy mikrofonlarga aytiladi. Bazaviy mikrofonlarning kichik tizimlarini birlashtirish turlicha elektr, elektromexanik yoki mexanik ko‘rinishda bo‘lishi mumkin.

**Elektr kombinatsiyalangan mikrofonlar:** biri bosim qabul qilgich, ikkinchisi bosim gradienti qabul qilgichdan iborat, ikkita mikrofonning birgalikda ishlashini ko‘rib chiqamiz.

Faraz qilaylik, bosim qabul qilgichning sezgirligi  $Ye_1$ , bosim gradienti qabul qilgichning sezgirligi  $Ye_2 \cos \theta$ . Ularni ketma-ket ulab sezgirligi  $Ye_0$  ga teng bo‘lgan qabul qilgichni olamiz.

$$E_0 = E_1 + E_2 \cos \theta \quad (5.19)$$

Bunday qabul qilgichning akustik o‘qi bo‘yicha sezgirligi

$$E_0 = E_1 + E_2 \quad (5.20)$$

$q = \frac{E_2}{E_0}$  - bosim gradientining umumiy sezgirlikni tashkil etishdagi

hissasini aniqlovchi parametrni kiritib, kombinatsiyalangan bosim qabul qilgichning sezgirligini aniqlaymiz:

$$E_0 = E_0(1 + q + q \cos \theta) \quad (5.21)$$

Bunday qabul qilgichning yo‘nalganlik diagrammasi:

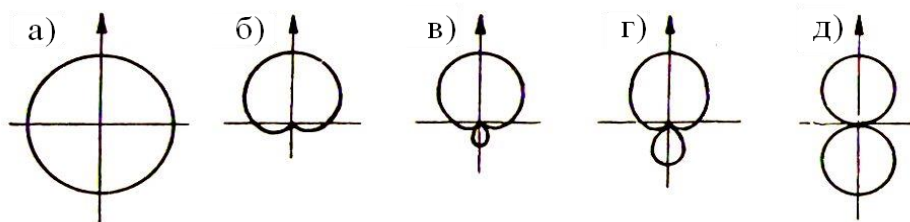
$$D_\theta = \frac{E_\theta}{E_0} = 1 + q + q \cos \theta \quad (5.22)$$

Qabul qilgich umumiy sezgirlik  $Ye_0$  hosil qilishdagi umumiy ulushini aniqlovchi  $q = \frac{E_2}{E_0}$  - parametrni kiritib, uni  $0 \div 1$  qiymatlar

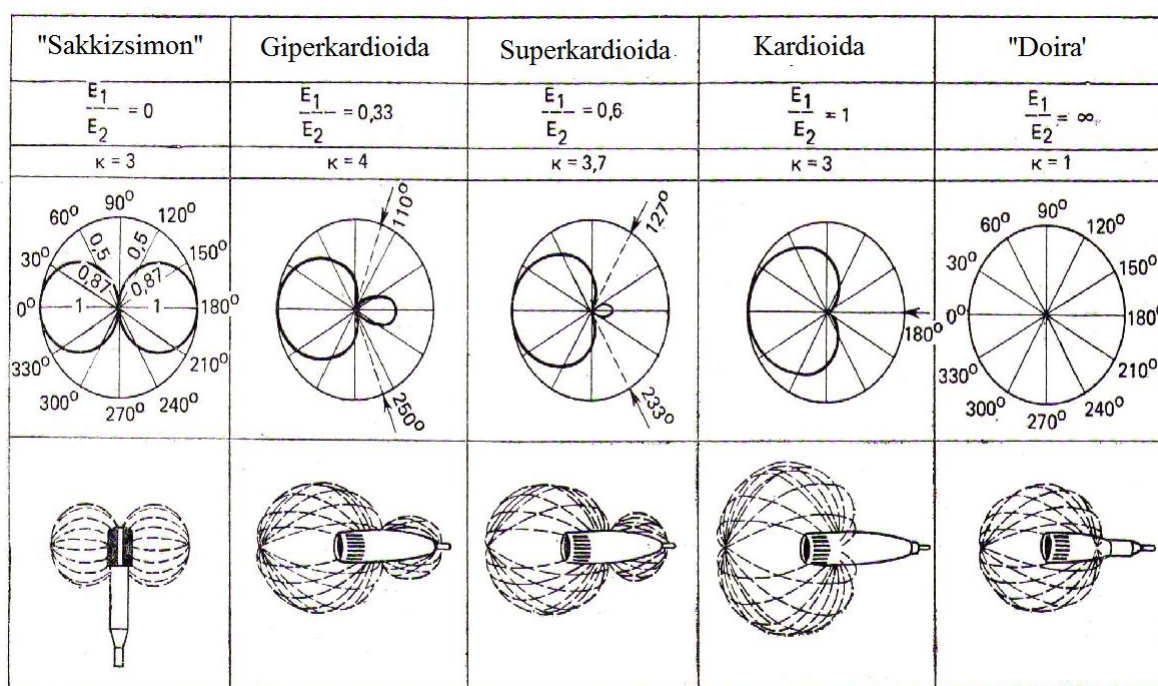
orasida o‘zgartirish yo‘li bilan turli yo‘nalganlik diagrammalarni olish mumkin. Masalan,  $q = 0$  bo‘lganda mikrofon bosim qabul qilgich sifatida ishlaydi va yo‘nalganlik diagrammasi doira (5.12a-rasm) shaklida bo‘ladi.  $q = 0,5$  qiymatda:  $E_1 = E_2$  yo‘nalganlik diagrammasi:

$$D_\theta = \frac{1}{2}(1 + \cos \theta) \quad (5.23)$$

ifodalanadi va kardioida (5.12b-rasm) ko‘rinishida bo‘ladi.  $q = 1$  teng bo‘lganda doira (5.12a);  $q = 0,63$  qiymatda superkardioida (5.12v);  $q = 0,75$  qiymatda giperkardioida (5.12g) va  $D_{\theta} = \cos \theta$ , sakkizsimon yo‘nalganlik diagrammalarni (5.12d-rasm) olish mumkin.



5.12 – rasm. Mikrofonning yo‘nalganlik diagrammalari  
a)-doira; b)-kardioida; v)-superkardioida; g)-giperkardioida; d)-sakkizsimon

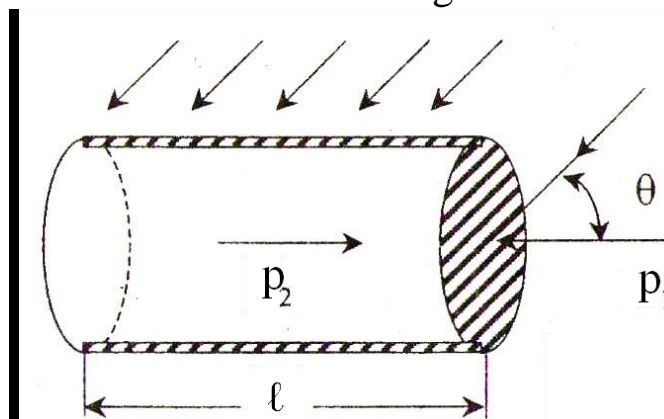


5.13-rasm. Elektr kombinatsiyalangan mikrofonning  $q$  parametri bo‘yicha yo‘nalganlik diagrammalari

**Chiziqli mikrofonlar** kombinatsiyalangan mikrofonlar guruhiga kiradi. Bunday mikrofon “**pistolet**” mikrofon deb ham ataladi. Chiziqli mikrofonlar guruhining natijaviy yo‘nalganlik tavsifi alohida mikrofonlarning yo‘nalganlik tavsiflari ko‘paytmasiga teng.

Mikrofonlarning bunday xususiyatlari o‘ta yo‘nalgan xarakteristikalarini olish imkonini beradi.

**Akustik kombinatsiyalangan mikrofonlar.** Bunday mikrofonlarning akustik tizimlari shunday tuziladiki, ta'sir etayotgan kuch ikki tarkibiy qismga bo'linib, bittasi tovush to'lqinining tushish burchagiga bog'liq bo'lmagan xolda, ikkinchisi esa  $\cos \theta$  proporsional. Bunday mikrofonning sxemasi  $\delta$  uzunlikdagi trubaga joylashtirilgan diafragma ko'rinishida 5.14- rasmda keltirilgan.



5.14- rasm. Bir tomonlama yo'naltirilgan qabul qilgichning sxematik ko'rinishi

Diafragmaning tebranishi  $F=F_1-F_2$  kuchi ta'sirida bo'ladi. Diafragmaning ikki tomoniga ta'sir etuvchi  $F_1$  va  $F_2$ , kuchlar bir-biridan fazalari bilan ajralib turadi.

Bunday qabul qilgichning yo'nalغانlik tavsifi  $D=(1+\cos \theta)$  geng. Trubkaning ochiq qismi va uzunligini o'zgartirib istalgan ko'rinishdagi yo'nalغانlik diagrammasiga ega bo'lgan mikrofonni olish mumkin.

#### 5.4. G'altakli elektrodinamik mikrofon

**G'altakli elektrodinamik bosim qabul qilgich mikrofonning** soddalashtirilgan konstruktiv tuzilishi 5.15a - rasmda ko'rsatilgan. Mikrofon magnit va qo'zg'aluvchi tizimlardan tashkil topgan. Magnit tizimi silindr shaklidagi doimiy magnitdan 1 tashkil topgan va unga qalin po'lat disk shaklidagi gardish biriktirilgan. Pastki gardish 2 ning markazida kern deb ataluvchi dumaloq sterjen 3(magnit o'zak) joylashtirilgan, yuqori gardish 4 ning markazida kern 3 dan katta diametrli dumaloq oyna bor. Unda halqasimon tirqish mavjud bo'lib undagi magnit maydoni radial yo'nalishga ega. O'zgarmas magnit yuqori koersitivli qorishmadan tayyorlangan bo'lib, gardish va kernlar

kam uglerodli yuqori magnit o‘tkazuvchanlik xususiyatiga ega bo‘lgan po‘latdan tayyorlangan.

Mikrofonning qo‘zg‘aluvchi tizimi yengil diafragmadan 5 iborat bo‘lib, unga qattqlik berish maqsadida qubbasimon shaklda yasalgan. Diafragma gofrlangan yoqa 6 orqali yuqori gardishga biriktirilgan va markazlashtirilgan shayba vazifasini bajarib diafragmani faqat vertikal o‘q bo‘yicha erkin siljishiga imkoniyat beradi. Diafragma bilan g‘altak 7 qattiq biriktirilgan va u ham radial maydonda joylashgan. Diafragma tovush bosimi ta’sirida tebranganda, g‘altak radial magnit maydoni chiziqlarini kesib o‘tadi va uning qisqichlarida EYuK paydo bo‘ladi. Har qanday mikrofonning ishlash prinsipini uning sezgirligini tahlil etishdan boshlaymiz. G‘altakli mikrofon sezgirligi formulasi:

$$E_{\theta} = \frac{Bla}{Z_0 + \frac{B^2 l^2}{Z_0 + Z_{\text{IOK}}}} \cdot \frac{Z_{\text{IOK}}}{Z_0 + Z_{\text{IOK}}} \quad (5.24)$$

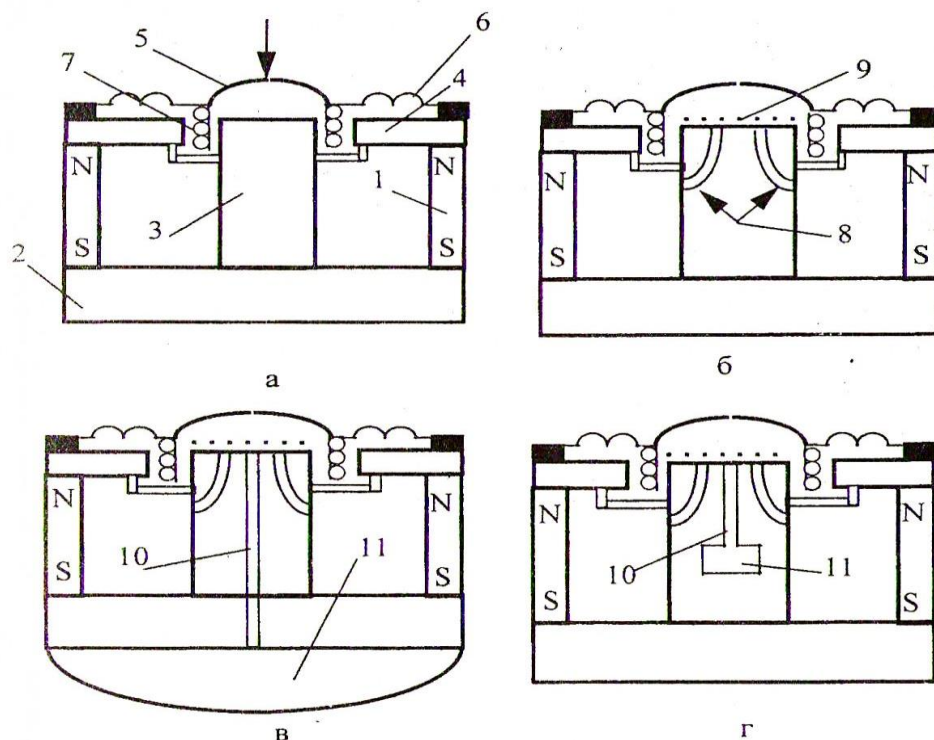
Mikrofon yuklamasi  $Z_{\text{yuk}}$  sifatida odatda mikrofon kuchaytirgichining kirish qarshiligi olinadi, xususiyl qarshiligi esa:  $Z_0 = R_r + j\omega L_r$ , bunda;  $R_r$  va  $L_r$  - g‘altakning aktiv va induktiv qarshiliklari.

G‘altak odatda kam sonli o‘ramlarga ega, shuning uchun uning elektr qarshiligini aktiv deb hisoblaymiz, ya’ni:  $Z_0 \approx R_r$

Mikrofonning o‘lchamlari unga ta’sir etayotgan tovush to‘lqin uzunligidan kichik bo‘lgan chastotalarda uning akustik tavsifi  $\varphi_{\text{ak}} = S$ , yuza o‘lchamga

ega. Yuqorida aytilganlarga asosan mikrofonning sezgirligi:

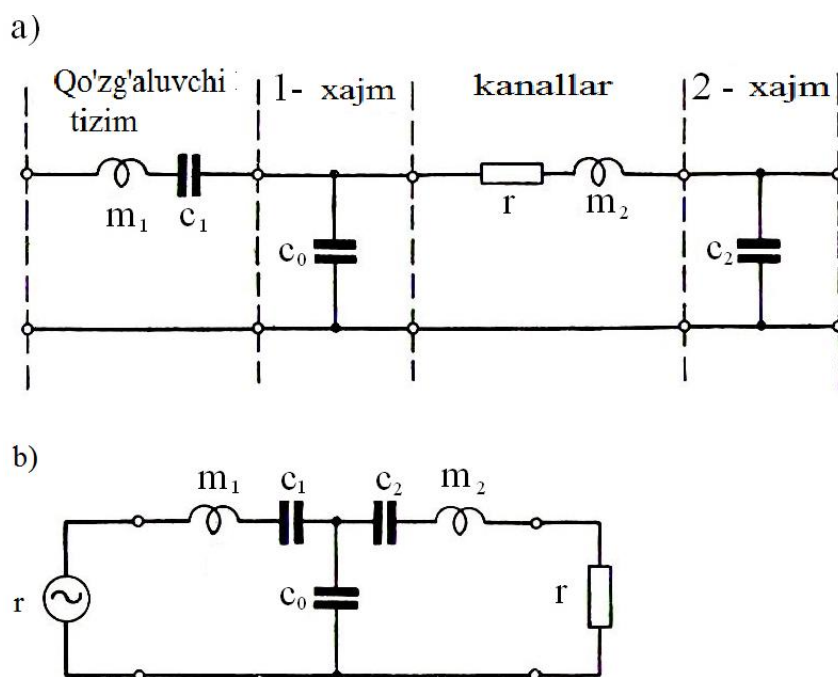
$$E_{\theta} = \frac{1}{2} \frac{BIS}{Z_0 + \frac{B^2 l^2}{2R_r}} \quad (5.25)$$



5.15- rasm. Gʻaltakli elektrodinamik mikrofon-bosim qabul qilgich konstruksiyalari

5.16-rasmda koʻrilayotgan mikrofonning elektr oʻxshashlik sxemasi keltirilgan. Bunda  $S_1$  va  $S_0$ -diafragmaning ilinish va uning ostidagi havo hajmining egiluvchanligi;  $m_1$  -diafragma massasi;  $r_1$  - siljувchi tizimning aktiv yoʻqolishlari. Sezgirlikning keltirilgan chastota tavsifi katta notekislikka ega,  $C_1$  va  $S_0$  ketma-ket ulanganligi sababli rezonans chastotasi yuqori.

Shuni aytish kerakki koʻrib chiqilgan mikrofon sezgirligi kichik. Sezgirlikni oshirish maqsadida kernda qoʻshimcha kanallar 8 ochiladi va shu yoʻl bilan diafragma osti hajmi magnit ichi hajmi bilan tutashtiriladi (5.15b-rasm). Kanallar 8 va magnit ichi hajmlari, Gelmgols rezonatorini tashkil etadi va ularning parametrlari:  $m_2$  - havo massasi;  $r_2$  - kanaldagi aktiv qarshilik va  $S_2$  -kanaldagi havo hajmining egiluvchanligi. Mikrofonning elektr oʻxshashlik sxemasi 5.15v - rasmda va Gelmgols rezonatori parametrlari  $r_2$ ,  $s_2$ ,  $m_2$  bilan oʻzgartirilib transformatsiya koeffitsienti orqali hisoblangan sxema 5.15g- rasmda keltirilgan.



5.16- rasm. G'altakli mikrofonning elektr o'xshashlik sxemasi

Sxemadan ko'rinib turibdiki, o'xshashlik sxema T-simon nosimmetrik filtrning zvenosini tashkil etadi. Filtr parametrlari simmetrik bo'lganda (5.16b-rasm), uning chastota tavsifi  $\omega_n \frac{1}{\sqrt{m_1 c_1}}$  dan

$\omega_{yo} = \omega_n \sqrt{1 + \frac{2c}{c_0}}$  gacha bo'lgan chastota diapazonida tekis bo'ladi.

Rezonans hodisalarini yo'qotish maqsadida kernga ipak mato 9 yopishtirish yo'li bilan  $r_2$  qarshilikni oshiradilar.

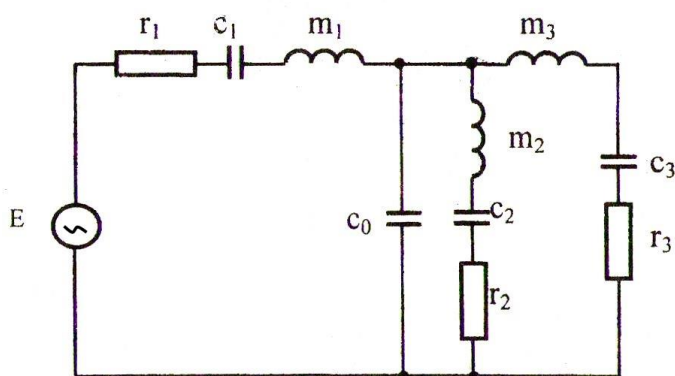
Past chastotalarda chastota tavsifining pasayishi mikrofonning qo'zg'aluvchi tizimi bilan bog'liq, pasayishini diafragma massasi va uning egiluvchanligini oshirish evaziga kamaytirish mumkin. Ammo, mikrofon sezgirligini oshirish maqsadida, diffuzorning massasini uning konstruksiyasi yo'l qo'ygan kichik qiymatda olinadi. Mikrofonni silkinishlarga chidamli bo'lishiga erishish, diafragma egiluvchanligini oshirish, chastota diapazonini kengaytirishdagidek natija bermaydi. Haqiqatan, bu diffuzorning o'ta qayishqoqligiga olib keladi va tasodifiy turtkilar magnet gardishi va o'zagi o'rtasidagi tirqishda joylashgan g'altakni og'ishiga sababchi, bo'ladi.

Shuning uchun mikrofon chastota tavsifining pastki chegarasi taxminan 300 Gs gacha tekis bo'lishiga intiladilar.



Bu chegarani pastga tomon kengaytirish uchun qo‘shimcha korreksiyalovchi elementlar kiritiladi. Shunday korreksiyalarning ikkita varianti 5.15 v,g- rasmlarda ko‘rsatilgan.

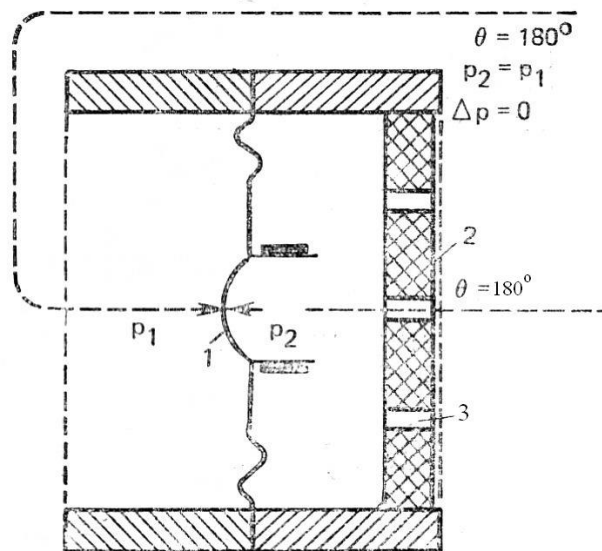
Birinchi variantda (5.15v - rasm) magnitning markaziy sterjnida kanal 10 ochiladi, undagi havo massasi  $m_3$ . Kanal magnet ortidagi  $S_3$  egiluvchanlik qo‘shimcha hajm 11 ga qo‘shiladi. Bu qo‘shimcha rezonator past chastotaning pastki  $\omega_1$  chegarasiga sozlanadi va shu yo‘l bilan pastki chastota chegarasi kengaytiriladi. 5.15g - rasmda ko‘rsatilgan konstruksiya ham xuddi shunday ishlaydi. Keng chastota polosasi talab etilganda bir necha shunday rezonatorlardan, foydalanib tekis chastota tavsifini olish maqsadida ularni  $\omega_1$  dan pastki chastotalarga sozlaydilar. Bunday mikrofonning elektr - ekvivalent sxemasi 5.17 - rasmda ko‘rsatilgan. Elementlarni mos holda tanlash yo‘li bilan pastki chastota chegarasini 50÷80 Gs gacha pasaytirish mumkin.



5.17- rasm. Past chastotalarda qo‘shimcha korreksiya qo‘llanilgan g‘altakli elektrodinamik mikrofonning elektr-ekvivalent sxemasi

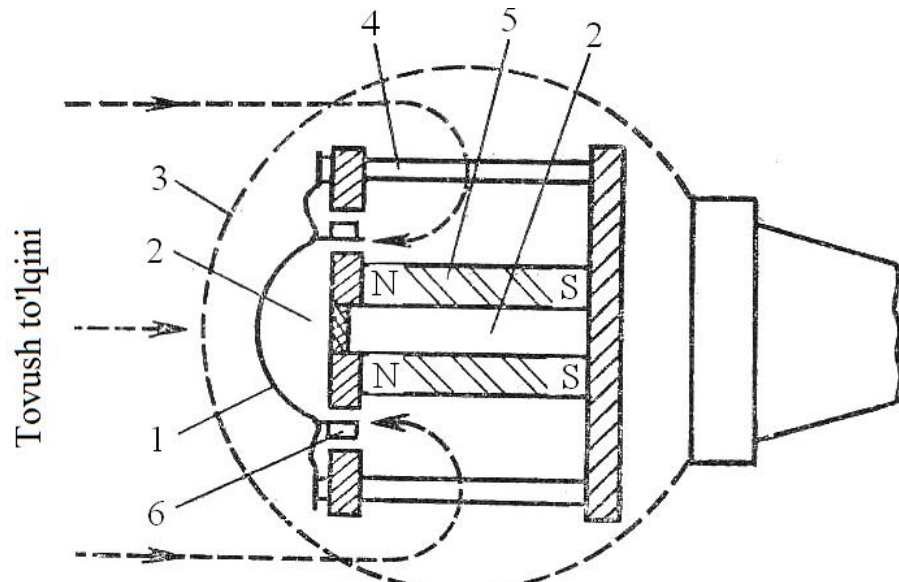
Elektrodinamik g‘altakli mikrofonning asosiy afzalliklari: konstruksiyasining ishonchliligi, chastota diapazonining kengligi, alohida ta‘minot manbaining yo‘qligi, uzun mikrofon kabeli bilan ishlashi mumkinligi. Kamchiligi - murakkab korreksiya tizimi qo‘llanilishiga qaramay, ishchi chastota diapazonda katta notekislikka ega.

Endi bir tomonlama yo‘nalganlik diagrammasi kardioidali elektrodinamik mikrofonning ishlash prinsipini ko‘rib chiqamiz. Bir tomonlama yo‘nalgan elektrodinamik mikrofonni, bosim gradienti qabul qilgichni membranaga orqa tomondan ta‘sir etuvchi tovush to‘lqinini qo‘shimcha kechiktiruvchi akustik tizim bilan qo‘shimcha jihozlash natijasida olish mumkin (5.18-rasm).



5.18-rasm. Bir tomonlama yoʻnalgan elektrodinamik mikrofon:  
 1-diafragma tovush gʻaltagi bilan; 2- akustik kechiktiruvchi tizim;  
 3- akustik kechiktiruvchi tizim teshiklari

Agarda membraning old va orqa qismlariga tushayotgan tovush toʻlqinining kechikish vaqti (mos holda  $\Delta t_1$  va  $\Delta t_2$ ) shunday tanlangan  $\Delta t_1 = \Delta t_2$  boʻlsa, tovush toʻlqini membranaga orqa tomondan tushganda ( $\theta = 180^\circ$ ) unda membraning ikki tomoniga taʼsir etayotgan bosim qiymati va ishorasi boʻyicha ham bir xil boʻladi, bosimlar farqi  $\Delta p$  esa, nolga teng boʻladi. Bunday holda membrana tebranish harakatida boʻlmaydi, mikrofon sezgirligi esa nolga teng boʻladi. Oʻsha shartlarda ammo, tovush toʻlqini membranaga old tomondan  $\theta = 0^\circ$  burchak ostida tushganda bosimning bir qismi kechikmasdan, membraning orqa tomoniga  $-\Delta t_1 + \Delta t_2$  vaqtga kechikib taʼsir etadi. Unda xar onda membraning old va orqa tomoniga ishorasi turlicha boʻlgan bosim taʼsir etadi va natijada kuchlar turli tomonga yoʻnalgan boʻladi. Tovush toʻlqini shunday yoʻnalishda tushganda diafragma siljiydi va mikrofon sezgirligi maksimal qiymatga ega boʻladi. Membranaga tovush toʻlqini boshqa burchak ostida tushganda bosimlar farqi va sezgirlik kardioida boʻyicha oʻzgaradi. Akustik kechikish tizimini membraning orqa tomoniga tovush toʻlqinlari oʻtadigan teshiklar, membrana ostidagi va mikrofon korpusidagi havo kameralari tashkil etadi (5.19-rasm).



5.19-rasm. Bir tomonlama yoʻnalgan elektrodinamik gʻaltakli mikrofon kesimi:

1-membrana; 2-rezonans kamera; 3-toʻr; 4- oʻzgaras magnetda teshiklar; 5-xalqasimon oʻzgaras magnet; 6-gʻaltak

Barcha chastotalar (tonlar) uchun bir tomonlama yoʻnalgan diagrammani olish uchun, tovush toʻlqinining kechikish sharti barcha chastotalar polosasi uchun bir xil boʻlishi kerak.

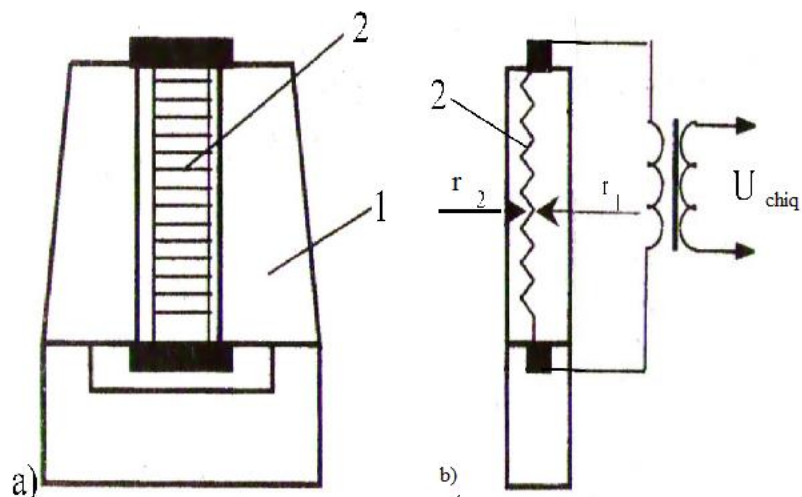
### 5.5. Tasmali mikrofon

Tasmali mikrofonning ishlash prinsipi gʻaltakli mikrofon ishlash prinsipiga oʻxshaydi, ammo konstruktiv tuzilishi tubdan farq qiladi (5.20-rasm). Magnet tizimi taqasimon shaklda boʻlib, magnet qutblari uchlari 1 da yupqa gofrlangan tasma 2 joylashtiriladi. Tasma magnet maydonining kuch chiziqlariga parallel joylashgan.

Mikrofonning oʻzi tovush manbaiga nisbatan shunday joylashadiki, akustik toʻlqin yaratayotgan kuch tasma yuzasiga perpendikulyar yoʻnalgan boʻlishi kerak.

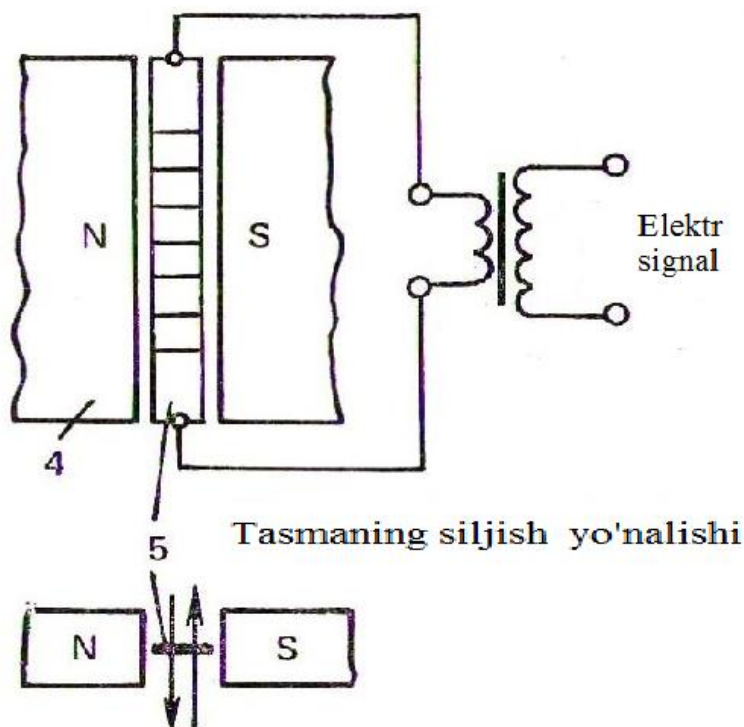
Tasmaga tovush toʻlqini ikki tomondan taʻsir eta oladi, shuning uchun u ikkala tomondagi tovush bosimi ayirmasi taʻsirida tebranadi, shunday qilib, u tovush bosim gradienti qabul qilgichdir. Tasma radial magnet maydonda tebranib, magnet maydoni kuch chiziqlarini kesib oʻtadi va uning qisqichlarida akustik signalni aks ettiruvchi EYuK induksiyalanadi. Tasmali mikrofon induktiv turdagi oʻzgartirgich. Mikrofon oʻlchami unga taʻsir etayotgan toʻlqin uzunligidan kichik

bo'lganda, uning yo'nalganlik diagrammasi sakkizsimon ko'rinishda bo'ladi. Mikrofon konstruksiyasi ichki qarshilik  $R_I$  ni yuklama qarshilik  $R_{yu}$  bilan moslashtiruvchi mikrofon transformatorini o'z ichiga oladi. Transformator bevosita mikrofon yoniga o'rnatilib kabel yordamida kuchaytirgichga ulanadi. Mikrofon konstruksiyasi shoyi mato tortilgan perforatsiyalangan g'ilof bilan qoplanadi.



5.20-rasm. Tasmali bosim gradienti qabul qilgich konstruksiyasi: a) old tomondan ko'rinishi: 1-o'zgarmas magnet; 2-tasma; b) yon tomondan ko'rinishi

5.21-rasmda tasmali bosim gradienti qabul qilgich konstruksiyasining yana bir ko'rinishi ko'rinishi va ishlash prinsipi keltirilgan.



5.21-rasm. Tasmali bosim gradienti qabul qilgich:

1-o'zgarmas magnet; 2-tasma; 3-transformator

Tasmali tovush bosim gradienti qabul qilgich mikrofonining sezgirligi quyidagi formula orqali aniqlanadi:

$$E_0 = \frac{\omega S d}{C_{\text{TOB}}} \cos \theta \cdot \frac{Bl}{Z_0 + \frac{B^2 l^2}{Z_0 + Z}} \cdot \frac{Z_{10}}{Z_0 + Z_{10}} \quad (5.26)$$

Formuladan ko'rinib turibdiki, mikrofon sezgirligi chastotaga proporsional.

Mikrofon sezgirligi chastotaga bog'liq bo'lmasligi uchun quyidagi ikki shart bajarilishi kerak:

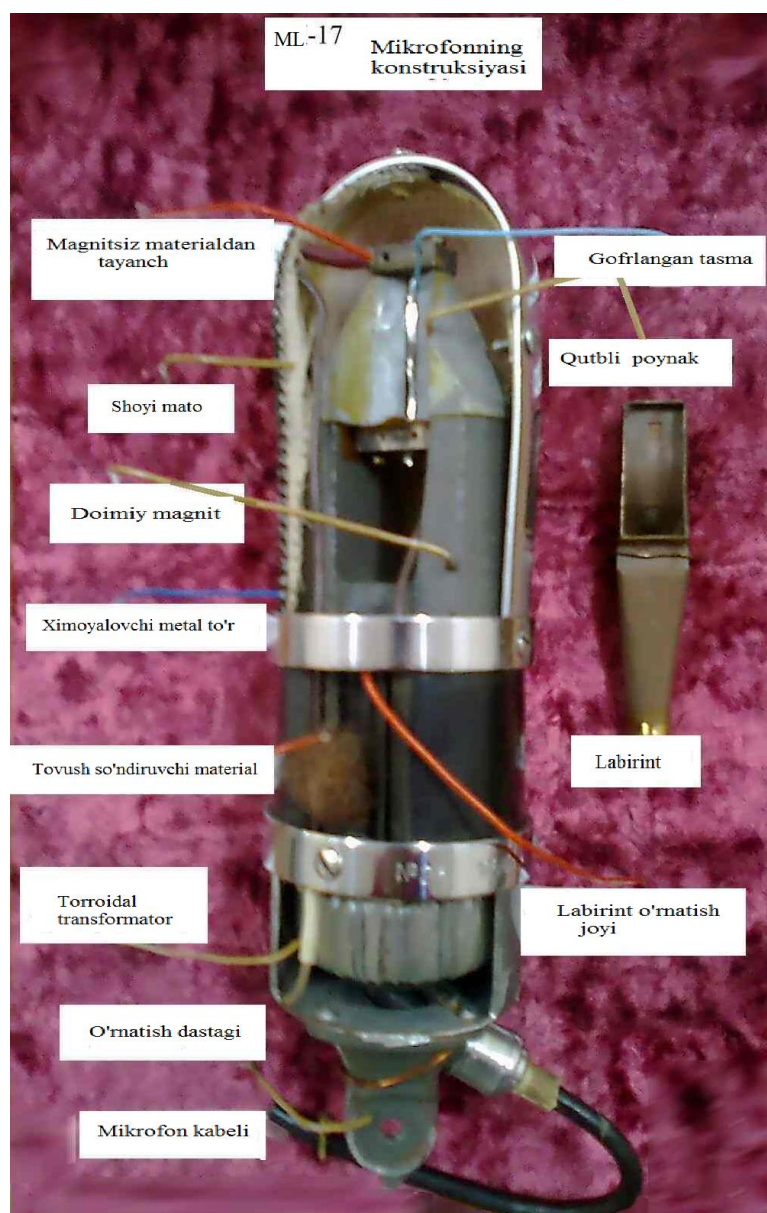
$$1. \omega_0 \ll \omega ; 2. \frac{B^2 l^2}{2R} \ll \omega m \quad (5.27)$$

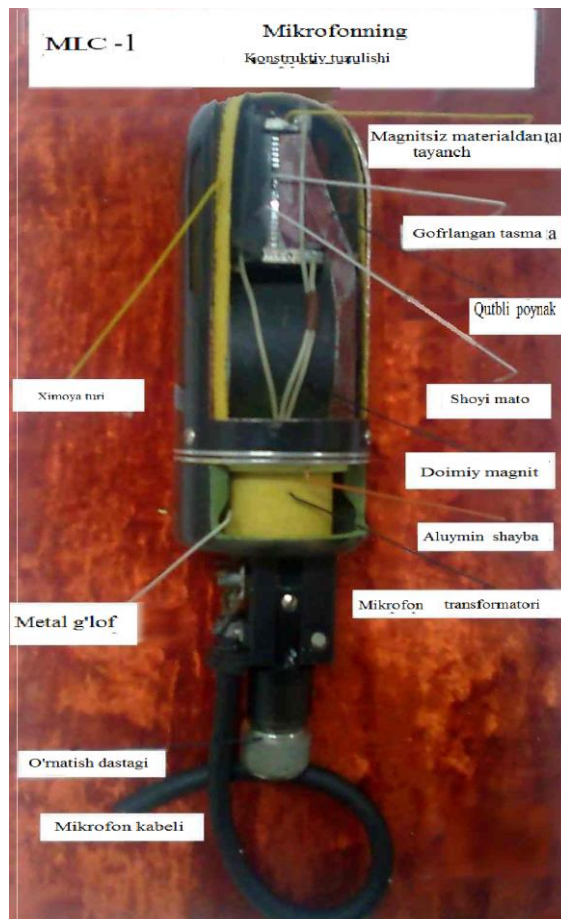
Birinchi shartni bajarilishi juda oson, buning uchun tasmaning elastikligini oshirish kerak, uni gofrlaydilar va shu yo'l bilan tasmaning rezonans chastotasi 10÷15 Gs gacha pasayadi. Bu ko'rsatgich mikrofon paski qabul qilish chastotasidan ham past.

Mikrofon sezgirligini tasmaning yuzasini oshirish yo'li bilan erishish hech qanday natija bermaydi, chunki tasma yuzasining oshishi uning massasini oshishiga olib keladi, u o'z navbatida egiluvchanlikni

kamaytiradi hamda mikrofon o'lchamlarini oshiradi. Ikkinchi shart, nisbatan o'rta va yuqori chastotalarda oson bajariladi. Past chastotalarda chastota tavsifining berilgan pasayishi tirqishdagi induksiyaning tanlash yo'li bilan erishiladi.

Tasmali mikrofonning eng nozik tomoni shundaki, tasma kuchsiz shamol ta'sirida uzilishi mumkin. Shu sababli bu turdagi mikrofon «yelvizak» dan qo'rqadi deyishadi. Shuning uchun bu turdagi mikrofonlar xonalarda va binolar ichida foydalaniladi. Ko'proq telestudiyalarda qo'llaniladi.



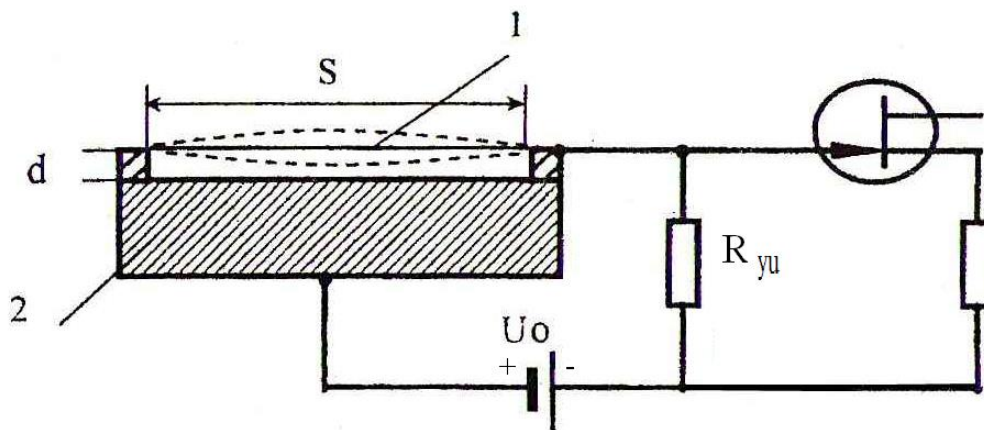


5.22 - rasm. Tasmali ML – 17 va MLS – 1 mikrofonlarning qirqim ko‘rinishi

## 5.6. Kondensatorli va elektretli mikrofonlar

Kondensatorli mikrofon (5.23-rasm) konstruktiv kondensatordan iborat bo‘lib bitta elektrodi qo‘zg‘almas massiv 1, ikkinchisi esa, yupqa tarang tortilgan membrana 2 dan tashkil topgan. Kondensatorga yuqori 30-35 mOmlilik qarshiligi  $R_{yu}$  orqali qutblovchi  $U_0$  kuchlanish ulanadi.

Membrana tebranganda  $S_k$  kondensator sig‘imi o‘zgaradi, zaryad o‘zgarmas bo‘lgani uchun undagi kuchlanish o‘zgaradi. Bu qo‘shimcha kuchlanish membranaga tovush bosimi ta‘sirida paydo bo‘lgan EYuKdir. Mikrofondan noxiziq buzilishlar paydo bo‘lmasligi uchun  $U_0 \gg U_{\sim}$  sharti bajarilishi kerak.



5.23-rasm. Kondnsatorli mikrofon konstruksiyasi

Kondensatorli mikrofon sezgirliqi quyidagi formula orqali aniqlanadi

$$E = \frac{U_0 S c}{d \left(1 - \frac{\omega^2}{\omega_0^2}\right) \sqrt{1 + \frac{1}{(\omega R_{\text{yo}} C_0)^2}}}, \text{ Pa} \quad (5.28)$$

Kondensatorli mikrofonning sezgirliqi chastotaga bog‘liq bo‘lmasliqi sharti quyidagicha:

$$1). R_{\text{yo}} \gg \frac{1}{\omega C_0} ; 2). \omega_0 \gg \omega \quad (5.29)$$

Bunda  $\omega_0$  va  $\omega$ -mikrofon ishchi diapazonining pastki va yuqori chastotalari.

(5.29) shartlarining bajarilishi xususiyatlarini ko‘rib chiqamiz. Birinchi shart chastota diapazonining pastki chegarasida bajarilishi qiyin. Agarda, pastki chegara chastotasi  $\omega = \frac{1}{R_{\text{yo}} C_0}$  deb olinsa, bu

chastotada sezgirlik o‘rta chastotalardagiga nisbatan 3 dB ga pasayadi. Mikrofonning sig‘imi  $S_0$  kichik bo‘lganligi tufayli  $R_{\text{yu}}$  juda katta bo‘ladi, Masalan,  $S_0=100 \text{ pF}$  va  $f=50 \text{ Gs}$  bo‘lganda,  $R_{\text{yu}} = 30 \text{ mOm}$  ga teng.  $R_{\text{yu}}$  bunday katta qiymatga ega bo‘lishi mikrofonning xususiy shovqin sathining katta bo‘lishiga olib keladi. Ikkinchi shartning bajarilishi uchun tebranish tizimining xususiy rezonans chastotasi juda yuqori bo‘lishi talab etiladi. Qo‘zg‘aluvchan tizimning massasini kamaytirish maqsadida u, juda yupqa (20÷25 mkm) dyuraluminiy folgadan yoki yuqori polimerli organik plyonkadan tayyorlanib molekular tilla suvi purkaladi. Mikrofon xususiy rezonans chastotasini membranani tarang tortish hisobiga oshirish mumkin. Ammo, membrana yupqa (20 ÷ 25

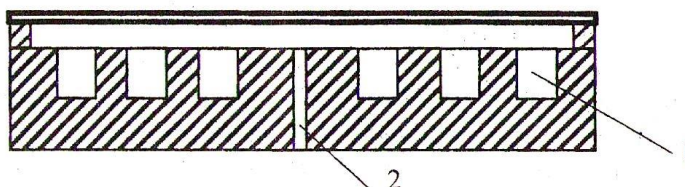


mkm) bo'lganligi tufayli birinchidan, uni tarangligi cheklangan. Ikkinchidai, membrana tarangligini oshishi uning egiluvchanligini susayishiga, o'z navbatida bu mikrofon sezgirligini pasayishiga sababchi bo'ladi.

Bunday qarama - qarshilik kondensatorli mikrofon konstruksiyasida murosali hal etiladi. Talab etilayotgan kichik bukiluvchanlik havo hajmining qayishqoqligi hisobiga erishiladi. Odatda kondensatorli mikrofon hajmi berk bo'ladi, ammo tashqi atmosfera bosimi tirqish d ta'sir qilmaydi (shu jumladan mikrofon sezgirligiga ham), bu hajm tashqi muhit bilan qo'zg'almas elektrodda kapillyar kanallar ochish bilan tutashtiriladi. Shunday qilib, kondensatorli mikrofon hajmi bosimi tashqi atmosfera bosimi bilan muvozanatlashtiriladi. Kondensatorli mikrofonning kichik sezgirligi, yuqori xususiy shovqin sathiga to'g'ri kelmaydi. Sezgirlikni oshirish maqsadida qo'zg'almas elektrodda taroqsimon (5.24 – rasm) kesimlar 1 va kapillyar kanallar 2 ochiladi.

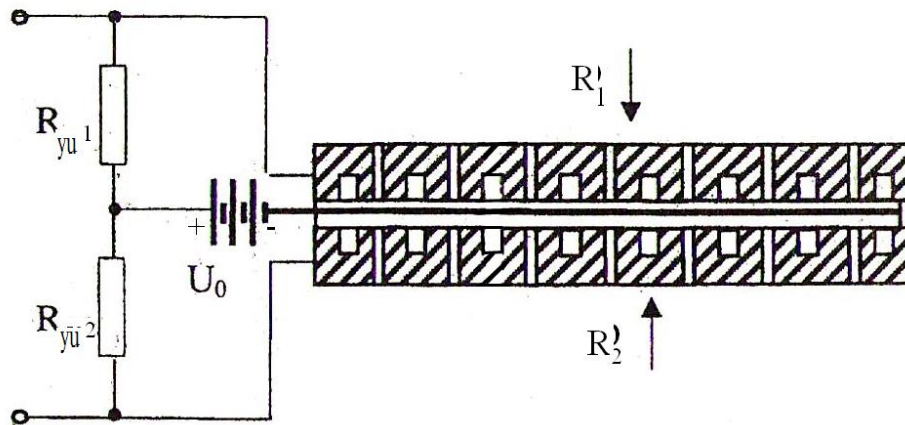
Shu yo'l bilan kondensator sig'imini o'zgartirmay membrana osti hajmini 10 martagacha oshirish mumkin, bu mikrofon sezgirligini 20 dB oshirish demakdir.

Kondensatorli mikrofonlarning sifat parametrlari yaxshi, sezgirlikning chastota xarakteristikasi keng chastota diapazonida tekis. Ammo konstruksiyasi ancha murakkab va tannarxi esa qimmat.



5.24-rasm. Mikrofon kapsuli qirgimi

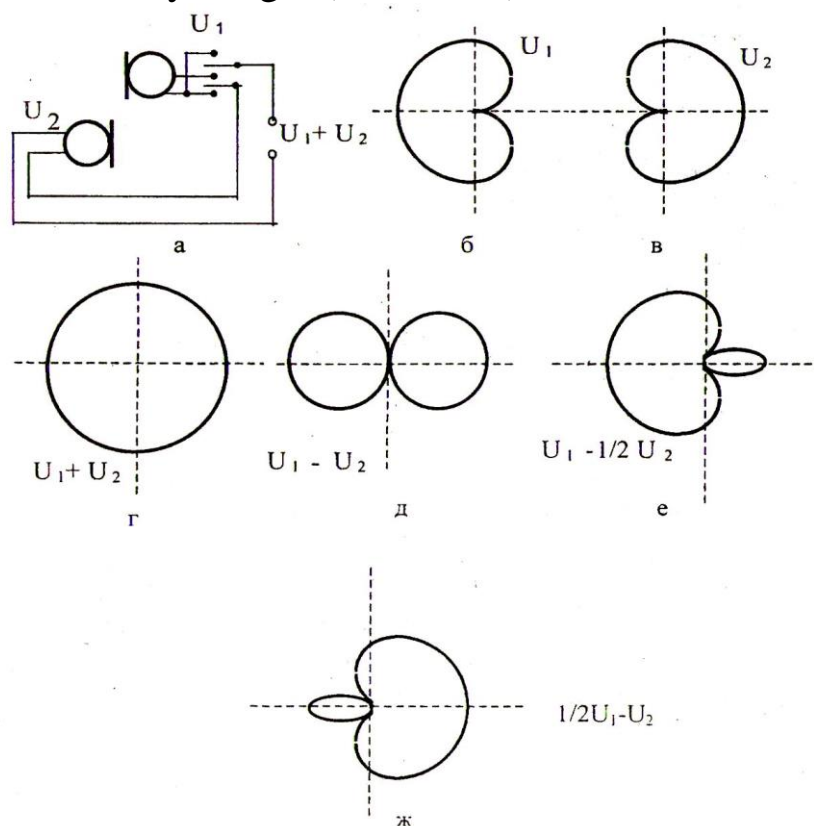
Yana bir kamchiligi, alohida ta'minot manbai kerakligida, shu bois qo'llanilishi biroz cheklangan. Kondensatorli mikrofonlar bosim, bosim gradienti qabul qilgich va kombinatsiyalangan turlarida ishlab chiqiladi. Kondesatorli bosim gradienti qabul kilgich mikrofon konstruksiyasi 5.25-rasmda ko'rsatilgan.



5.25-rasm. Kondensatorli bosim gradienti qabul qilgich mikrofon

### 5.7. Elektr kombinatsiyalangan mikrofonlar

Ilgari soʻz yuritilgan elektr kombinatsiyalangan mikrofonlar-ning bir necha turlarini koʻrib chiqamiz. Faraz qilaylik qarama - qarshi tomonga yoʻnaltirilgan, yoʻnalganlik diagrammasi kardiodali ikkita bir xil mikrofon kombinatsiyalangan(5.26-rasm).



5.26-rasm. Elektr kombinatsiyalangan mikrofon va uning yoʻnalganlik xarakteristikalari

Akustik o‘qlari bir-biriga nisbatan  $180^{\circ}$  bo‘lganligi uchun birining  $\Theta$  to‘lqin tushish burchagiga nisbatan chiqish kuchlanishi quyidagi nisbat bilan aniqlanadi:

$$u_1 = U_0 \frac{1 + \cos \theta}{2} \quad (5.29)$$

Ikkinchisi esa:

$$u_2 = U_0 \frac{1 + (\cos \theta + 180^{\circ})}{2} \quad (5.30)$$

Ularning yig‘indisi:

$$u = u_1 + u_2 = U_0 \frac{2 + \cos \theta + (\cos \theta - 180^{\circ})}{2} \quad (5.31)$$

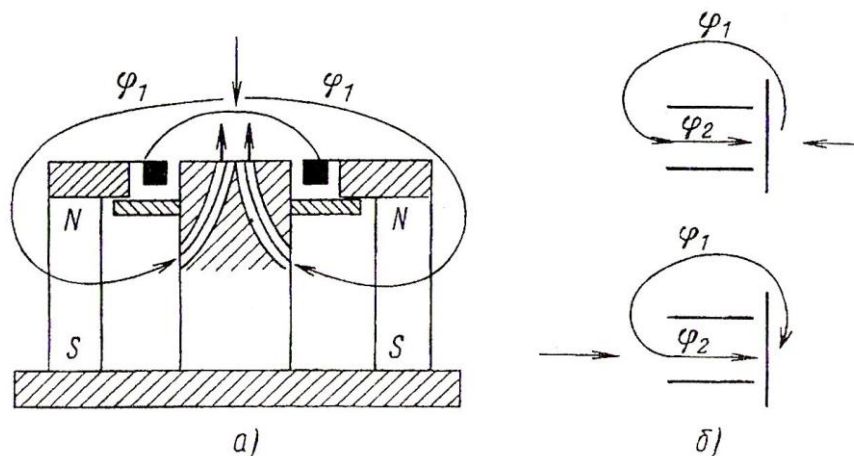
ayirmasi:

$$u = u_1 - u_2 = U_0 \cos \theta \quad (5.32)$$

Chiqish kuchlanishlari qo‘shilganda, tizim diagrammasi yo‘nalmagan ko‘rinishrinishda (5.23g-rasm), kuchlanishlar ayirilganda esa, tizim diagrammasi yo‘nalganlik xususiyatiga ega bo‘ladi (5.26d- rasm).

Birinchi yoki ikkinchi mikrofonni o‘chirganimizda, chiqish kuchlanishlari teng bo‘lmaganda, yoki chiqish kuchlanishlarini ayirganimizda bir qator oraliq yo‘nalganlik diagrammalarini olish mumkin. Ulardan ayrimlari 5.26e, j - rasmda keltirilgan. Mikrofonlarning akustik o‘qini  $180^{\circ}$  emas  $90^{\circ}$  burib kuchlanishlar  $u_1$  va  $u_2$  maksimumiga  $90^{\circ}$  burchak oralig‘ida erishish mumkin.

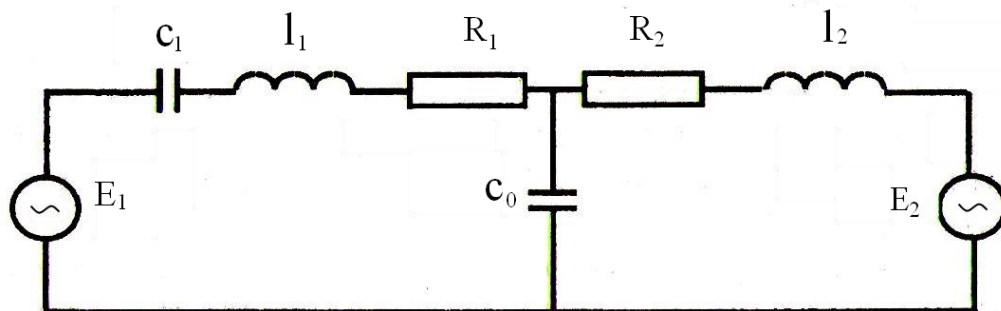
Mikrofonlarning kombinatsiyalangan yo‘nalganlik diagrammalarini olish uchun alohida asosiy mikrofonlardan foydalanish zarur emas, turli xarakteristikadagi mikrofonlarni bitta akustik - mexanik tizimda mujassamlashtirish mumkin. Kardioida xarakteristikali akustik kombinatsiyalangan mikrofonning sxemasi 5.27-rasmda keltirilgan. Mikrofon - bosim qabul qilgichdan, farqli ravishda, doimiy magnit to‘liq silindr shaklida emas, alohida o‘zak shaklida yasalgan. Bu holda tovush maydoni mikrofonning old tomonigagina ta’sir etib qolmasdan, to‘lqin mikrofonni aylanib, kerndagi tor kanallardan o‘tib, diafragma ostidagi hajmda tovush bosimi hosil qiladi. Shuni aytish lozimki, kerndagi kanallar mikrofon chastota tavsifini korreksiyalash uchun emas, tovush to‘lqinlarini uzatish uchun xizmat qiladi.



5.27- Kardioda xarakteristikali akustik kombinatsiyalangan elektrodinamik mikrofon konstruksiyasi a) va b) ishlash prinsipi

Mikrofonning konstruktiv parametrlari shunday tanlab olinadiki, tovush to'liqini frontal ( $\Theta=0^\circ$ ) tushganda, fazalar farqi  $\varphi = 180^\circ$  yoki unga yaqin bo'lib, uning ikki tarkibi qo'shiladi.

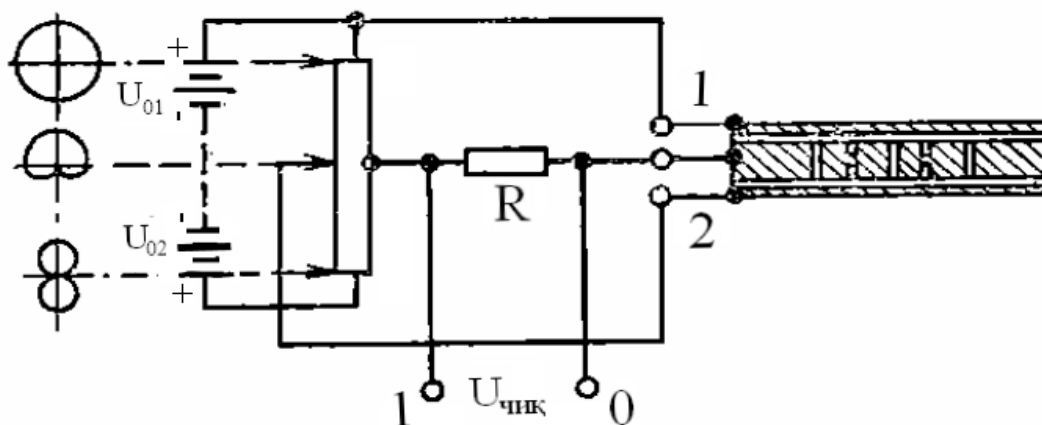
Tovush to'liqini mikrofonning orqa tomonidan tushib, ta'sir etganda diafragma ta'sir etayotgan bosim bir-biriga qarama - qarshi yo'naladi va ularning yig'indisi nolga teng bo'ladi. Yuqorida bayon etilgan mikrofonning elektr - ekvivalent sxemasi 5.28-rasmda keltirilgan.



5.28- rasm. Akustik kombinatsiyalangan g'altakli mikrofonning elektr - ekvivalent sxemasi

Bunday qabul qilgichlarning yo'nalganlik diagrammasi kardiodaga yaqin. Fazalar farqi  $\varphi_1$  va  $\varphi_2$  chastotaga bog'liq bo'lganligi uchun  $\varphi_1 = \varphi_2$  shartning bajarilishi qiyin, shuning uchun to'liqin orqa tomondan tushganda sezgirlik nolga teng bo'lmaydi. Bunday turdagi mikrofonlar uchun sezgirlikning «front-front orti» farqi 12÷15 dB tashkil etadi.

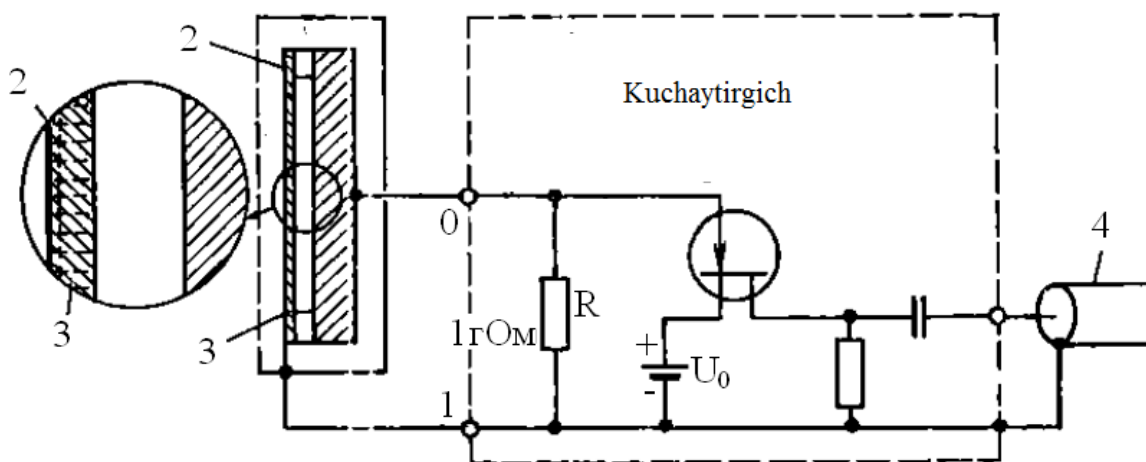
Ikkita membranali kapsuladan foydalanish mikrofonning yo'nalganlik diagrammasini boshqarish imkoniyatini beradi (5.29-rasm). Qutblovchi kuchlanish yo'nalganlik boshqargichi vazifasini bajaruvchi potensimetrga ulanadi.



5.29-rasm. Yoʻnalganlik diagrammasi masofadan boshqariladigan kondensatorli mikrofon

Qoʻzgʻalmas elektrod potensiometr oʻrtasiga rezistor  $R$  orqali ulanadi. Chap membrana taʼminot manbaining musbat qutbiga ulangan. Oʻng membrana potensiometrning turli nuqtalariga ulanishi mumkin. 1 nuqtaga ulanishi yoʻnalmagan mikrofonga mos, 3 nuqtaga ulanishi esa, ikki tomonlama yoʻnalgan mikrofonga mos. 2 holatda membrana qoʻzgʻalmas elektrod olayotgan elektr potensialini oladi, shuning uchun u elektr aktiv boʻlmaydi, uning yoʻnalganlik diagrammasi kardioida shaklida boʻladi.

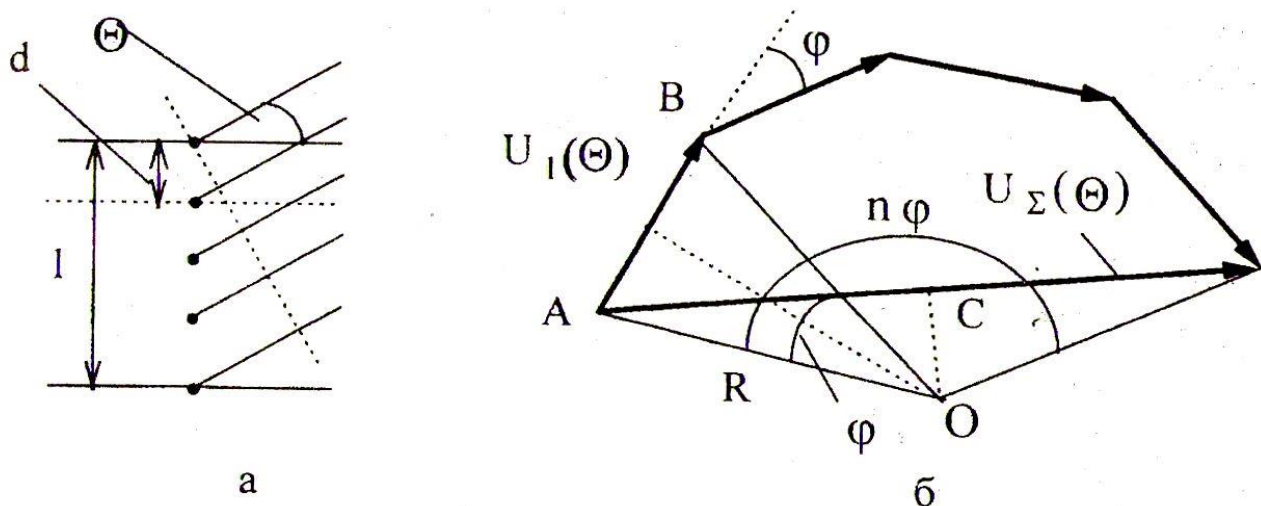
Kondensatorli mikrofon sxemasi 5.30-rasmda keltirilgan.



5.30- rasm. Kondensatorli mikrofon sxemasi

## 5.8. Tovush signallarini qabul qiluvchi oʻtkir yoʻnaltirilgan mikrofonlar

Ayrim xollarda, tovush kuchaytirishni tashkil etishda o'tkir yo'naltirilgan mikrofonlarni qo'llash zarurati tug'iladi. Bu masalaning yechimi chiziqli mikrofonlar guruhini yaratish orqali hal etiladi. Bunday mikrofonlar n bir xil mikrofonlardan iborat bo'lib, ular bir chiziqda bir-biridan d masofada joylashgan. Bu vaziyat yuqori sifatli tovush eshittirishni keskin og'irlashtiradi. Bunday vaziyatdan yuqori fazoviy tanlovchanlik xususiyatlariga ega bo'lgan mikrofonlarni qo'llash bilan chiqish mumkin. Bunday mikrofonlar **o'tkir yo'naltirilgan mikrofonlar** deb ataladi. Chiziqli guruh mikrofonlari 5.31a-rasmda keltirilgan.



5.31- rasm. Chiziqli guruh mikrofonlari

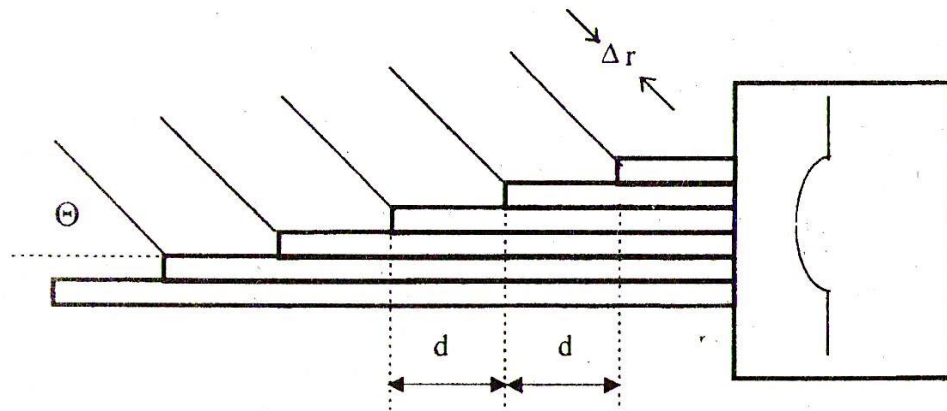
Bunday mikrofonlar guruhining yo'nalغانlik xususiyatlari shakllanishini ko'rib chiqamiz. Mikrofonlar ketma-ket ulanadi.

Agar, tekis tovush to'lqini akustik o'qi bo'yicha yo'nalغان bo'lsa, unda alohida mikrofonlar kuchlanishi o'rtasida faza siljishi bo'lmaydi va yig'indi kuchlanish

$$U_{\Sigma 0} = nU_{1\text{max}} \quad (5.33)$$

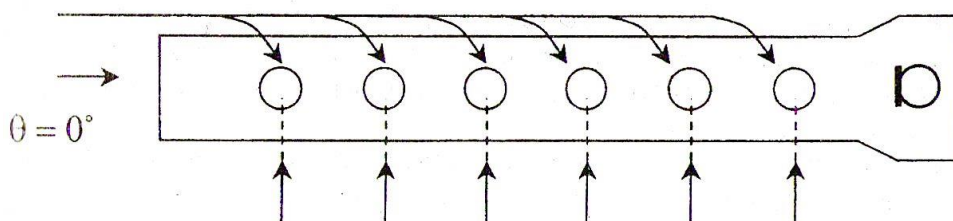
Simmetriya o'qiga perpendikulyar yuzadagi yo'nalغانlik diagrammasi bitta mikrofonning yo'nalغانlik diagrammasiga o'xshash.

Chiziqli guruh mikrofonlarini **naysimon** yoki **pistolet** mikrofonlar deb ham ataydilar. Uning sxematik tuzilishi 5.32- rasmda ko'rsatilgan.



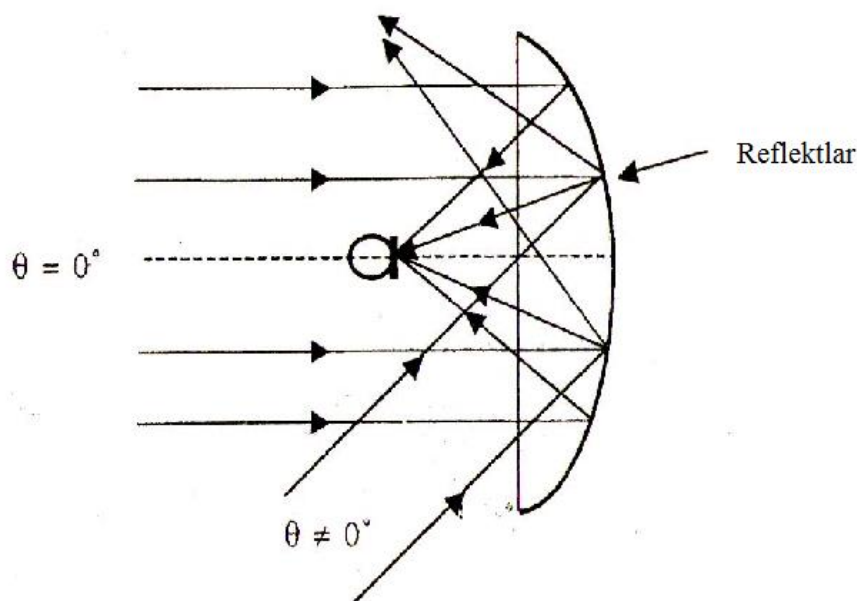
5.32- rasm. Naysimon mikrofonning tuzilishi

Interferensiya turidagi oʻtkir yoʻnaltirilgan mikrofonning boshqa koʻrinishi 5.33-rasmda koʻrsatilgan. Mikrofon teshikli naycha yoki uning orqa koʻndalang kesimida yoʻnaltirilmagan yoki bir tomonlama yoʻnaltirilgan kapsula joylashtirilgan.



5.33-rasm. Oʻtkir yoʻnaltirilgan yuguruvchi toʻlqin mikrofon sxemasi

Naycha teshigi mato yoki gʻovak material bilan biriktiriladi. Yoʻnalganlik diagrammasi naycha teshikchalaridan oʻtayotgan parsial tovush toʻlqinlarning interferensiyasi hisobiga erishiladi. Tovush fronti naycha oʻqiga parallel holda siljiganda barcha parsial toʻlqinlar siljuvchi element-membranaga bir xil fazada keladi. Naycha uzunligi toʻlqin uzunligidan katta boʻlganda, uning yoʻnalganligi sezilarli oshadi. Shuning uchun uzunligi 1 metr va undan ortiq boʻlganda yoʻnalganlik past  $150 \div 200$  Gs chastotalarda faqat kapsula bilan belgilanadi. Amaldagi oʻtkir yoʻnaltirilgan mikrofonlardan reflektorli mikrofonlarni aytish mumkin. Bunday mikrofonlarda kapsula parabolik qaytargich fokusida joylashtiriladi.



5.34 rasm. Reflektor turidagi o‘tkir yo‘naltirilgan mikrofon

Parabolaning xususiyatlariga asosan, qaytarilgan tovush to‘lqin-lari kapsula joylashgan yer parabola fokusida yig‘iladi. Ularning fazasi bir xil. Parabola o‘qiga burchak ostida tushayotgan I tovush to‘lqinlari reflektor yordamida tarqatiladi, natijada ular mikrofonga tushmaydi.

Reflektor tizimida yo‘nalganlik diagrammasi interferensiya tizimidagiga qaraganda ko‘proq chastotaga bog‘liq va amalda past chastotada yo‘nalmagan diagrammadan, yuqori chastotada tor yo‘nalganlikkacha o‘zgaradi.

## 5.9. Radiomikrofonlar

Azal-azaldan mikrofonlarni ishlatish bilan bog‘liq bo‘lgan muammo, bu mikrofonlarning apparaturalarga bo‘lgan «bog‘liqligi» - mikrofon kabellari artistlarga, jurnalistlarga, video va tovush operatorlariga, ovoz rejissyorlariga ko‘pgina tashvish keltiradi. Shuning uchun yigirma yillar ilgari paydo bo‘lgan radiomikrofonlar tovush uzatish va eshittirish masalalarini hal etishda qo‘l keladi. Hozirgi vaqtda ko‘pgina radiomikrofonlar tizimi mavjud bo‘lib, ular radiosignallarni uzatish hamda konstruksiyalari bilan farqlanadi. Ko‘p tarqalgan radiomik-rofonlar turiga uzatkich va antenasi «qo‘l» mikrofonni g‘ilofida joylashtirilgan radiomikrofondir. Bunday mikrofonlar asosan konsert eshittirishlarida qo‘llaniladi. Teatr-konsert eshittirishlarida bosh mikrofonlari ko‘p qo‘llaniladi, unda uzatkich belbog‘ga birlashtirilgan yoki cho‘ntakda bo‘lib ijrochi qo‘llari maksimal bo‘sh bo‘lib qoladi.



Keyingi paytlarda bunday mikrofonlarni ijrochining bevosita ogʻziga yaqin joylashtirilganligi guvohi boʻlyapmiz. Bunday xolat oʻz-oʻzidan akustik uygʻonishni bartaraf etishda juda qoʻl keladi.

Radiomikrofonlarning boshqa turi musiqa asbobi mikrofonlaridir. Bunday mikrofonlar musiqa asbobiga (saksafon, truba) yoki elektrogitaraga biriktirilib uzatkichning chiziqli kirishiga ulanadi. Radiomikrofonlarning yana boshqa bir turi - bu **yoqa mikrofonlaridir**, ularning asosiy qoʻllanilishi, televideniya, tok-shoularda, video tasvirga olishda, turli prezentatsiyalarda ishlatiladi. Bu mikrofonlarning oʻlchamlari juda kichkina boʻlib ular qistirgich sifatida biriktiriladi. Uzatkich esa, belbogʻda yoki choʻntakka joylashtiriladi. Koʻp radiomikrofonlarda radiokanalda chastota modulyatsiyasi uslubi qoʻllaniladi. Oddiy radiomikrofonlar 170÷220 MGs chastota diapazonida ishlaydi. Bu diapazonda bir vaqtning oʻzida 8 tagacha tizimni ishlatish mumkin.

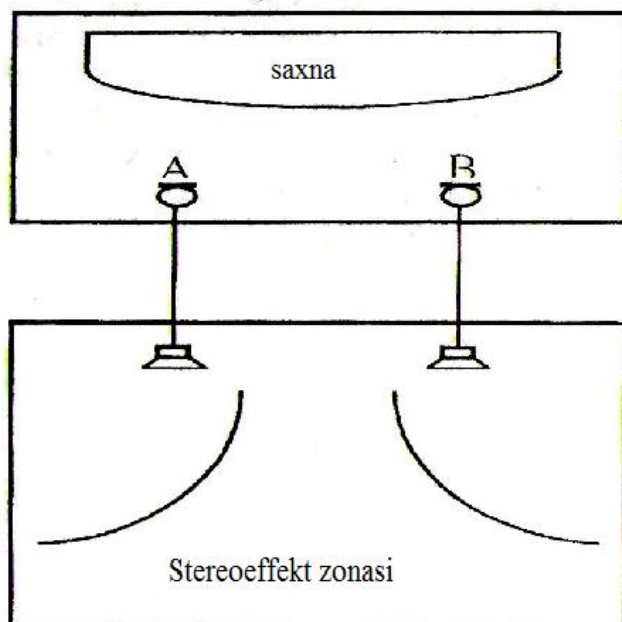
Murakkab va qimmat tizimlar esa, yuqoriroq 1 GGs gacha boʻlgan chastota diapazonida ishlaydi. Ularning texnik yechimi ancha murakkab boʻlib, bir vaqtning oʻzida 15 va undan ortiq tizimni ishlatish mumkin. Uzatkichning quvvati odatda 50 mVt boʻlib, uni aniq qabul qilish masofasi 100÷150 metrni tashkil etadi.

Oddiy radiomikrofonlar odatda bitta antennaga ega. Ammo, bu chastota diapazonida radiotoʻlqinlar turli jismlardan, devor va b.q kabilardan qaytib murakkab interferensiya hosil qiladi, shu sababli qabul qilish joyida «sokinlik» zonasi paydo boʻladi. Shuning uchun murakkabligi va qimmatligiga qaramasdan ikki antennali tizimlar ishlatiladi, Ularning ishlash prinsipi shunday, agarda bitta antenna «sokinlik» zonasida boʻlsa, ikkinchisi fazoda birinchisi bilan ajratilgan holda ishonchli qabul qilishni davom ettiradi.

### **5.10. Mikrofonli stereofonik tizimlar**

Stereoeffekt ikkita omildan iborat: chap va oʻng quloqqa keluvchi signallarning turli vaqti va bu signallarning turlicha jadalligi. Bir qarashda bu ikki omil **AV tizimida** amalga oshiriladigandek, bu tizimda bir xil tavsifli A va V mikrofonlari xonaning ikki tomoniga simmetrik oʻrnatiladi (5.35-rasm). Mikrofon chiqishidagi signallar alohida kabellar orqali xonadagi tinglovchiga nisbatan chap va oʻng tomonda joylashgan radiokarnaylarga keladi.

Stereofonik effekt tovush manbaiga yaqin turgan mikrofon qabul qilgan tovush sathi shu tovushni qabul qilgan ikkinchi mikrofon sathidan kattaligi, hamda vaqt bo'yicha o'zishi hisobiga erishiladi. Bu sathlar nisbati va vaqt siljishi stereoeffekt zonasida turuvchi tinglovchilar uchun radiokarnaylar orqali eshittiruvchi tovushlarda ham mos ravishda saqlanadi.



5.35- rasm. AV mikrofonli stereofonik tizim

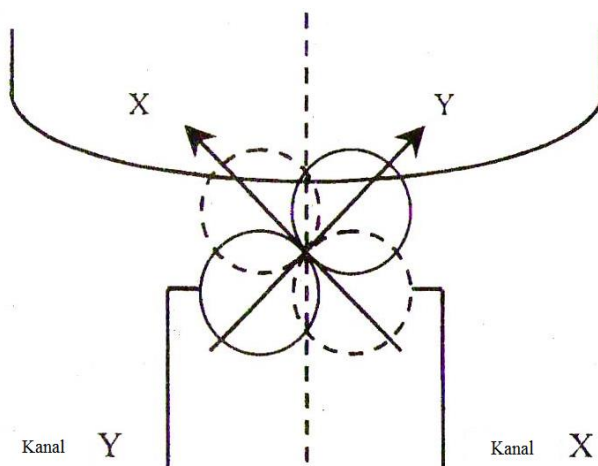
Radiokarnaylar yaqinida bu zona radiokarnaylar o'qi oldida mujassamlanadi va undan uzoqlashgan sari kengaya boradi. Mikrofonlar o'rtasidagi tovush manbaining siljishi natijasida mikrofonlar qabul qilayotgan sathlar nisbati va tovushlarning vaqt siljishi ham o'zgaradi. Shunga mos ravishda tovushlarni tinglash xonalarida qayta eshittirish sharoitlari ham o'zgaradi. Odam eshitish a'zosiga bu radiokarnaylar o'rtasidagi mavhum manbaining siljishidek tuyuladi.

AV stereofonik tizimining asosiy kamchiligi shundaki, ikkita stereofonik signallarning yig'indisi monofonik eshittirishda to'la moslashmaydi. Ammo, ko'rinib turibdiki A va V mikrofonlari qabul qilgan signallarni qo'shganda, chastota buzilishlari bo'lishi shart, bu buzilishlar tovush manбайдan mikrofonlargacha bo'lgan masofa farqi va interferensiya effekti bilan bog'liq. Masofa farqi faza siljishini  $180^\circ$  gacha burishi mumkin, bunda monofonik signalda shu tovush chastotasi umuman bo'lmaydi.

Interferensiya effektlarini yo‘qotish uchun **qo‘shma mikrofonlar** tizimi ishlab chiqilgan, ularda stereoeffekt signallar sathining farqi hisobiga shakllanadi. Buday tizimlarda mikrofonlar turli va turlicha belgilangan yo‘nalish diagrammalariga ega bo‘lishi kerak.

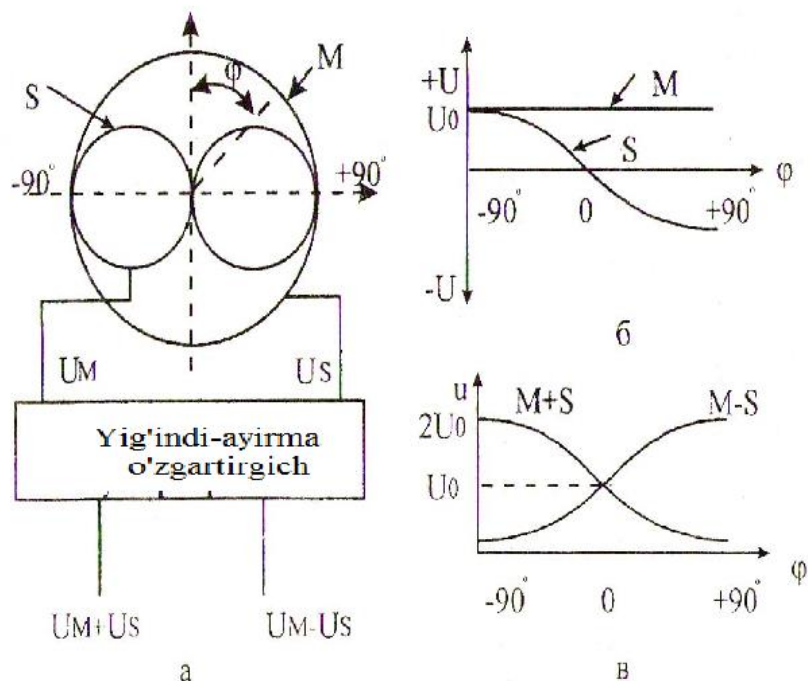
XU tizimda (5.36-rasm) ikkita bir xil tavsifli va yo‘nalganlik diagrammasi sakkizsimon mikrofon bir nuqtada shunday joylashganki, ularning yo‘nalganlik diagrammasi o‘qlari  $90^\circ$  tashkil etadi. Mikrofonlar chap va o‘ng kanal radiokarnaylari bilan bog‘langan. Bunda stereofonik effekt mikrofonlarning tovush manбайдan kelayotgan tovush to‘lqinlariga turlicha sezgirligi hisobiga erishiladi.

XU tizimi (5.36-rasm) AV tizimiga qaraganda ancha moslashuvchanroq ammo, sahna markazida joylashgan tovush manbalari bir muncha baland tovushga ega va monofonik eshittirishlarda ular tinglovchilarga yaqinroq joylashgandek tuyuladi. XU tizimi sahnada qo‘zg‘almaydigan ijrochilarni yozishda qo‘llaniladi, sahna markazidagi ijrochilar esa, mikrofondan uzoqroqda joylashtiriladi.



5.36- rasm. XU mikrofonli stereofonik tizim

Tovushni MS usulida uzatishda mikrofonlar XU usulidagidek sahna markazida joylashtiriladi. Biroq bu holda mikrofonlardan bittasi yo‘naltirilmagan; ikkinchisi yo‘naltirilgan, bo‘lib yo‘nalganlik diagrammasi «sakkizsimon» shaklda bo‘ladi (5.37a-rasm)



5.37- rasm. MS mikrofonli stereofonik tizim

Mikrofonlar chiqishidagi kuchlanishlarning tovush kelish burchagiga bo‘lgan bog‘liqligi 5.37b- rasmda ko‘rsatilgan. M kanal mikrofonni kuchlanishi doimo o‘zgarmas, S kanal mikrofonni chiqishida esa kuchlanish tovush kanali yo‘nalishi  $-90^\circ$  va  $+90^\circ$  bo‘lganda maksimal, qiymatga ega.

Tovushlarni qayta eshittirishda chap radiokarnayga ikkala mikrofondan yig‘indi ( $U_m+U_s$ ) kuchlanishlar, o‘ng radiokarnayga esa - ayirma kuchlanishlar ( $U_m - U_s$ ) beriladi. Chap va o‘ng kanal stereofonik signallarning bo‘linishi qo‘shma - ayirma o‘zgartirgich yordamida amalga oshiriladi. Qo‘shma-ayirma o‘zgartirgichning ishlashi 5.37v- rasmda ko‘rsatilgan.

MS tizimi aniq afzalliklarga ega. M kanali to‘laqonli monofonik kanaldir, shunday qilib MS tizimi to‘laligicha monofonik kanal bilan mosdir.

### 5.11. Mikrofonlarni ishlatish xususiyatlari

Mikrofonlar belgilanishi bo‘yicha uchta katta guruhga bo‘linadi: maishiy magnet yozuv apparatlar uchun; professional maqsadlar uchun va maxsus belgilanishi bo‘yicha.

Professional mikrofonlar ham belgilanishi bo'yicha qo'yidagilarga ajratiladi: ovoz yozish va uzatish, musiqa va badiiy nutqlarni yozish studiyalari telekinostudiyalardan uzatish uchun; tovush va musiqa kuchaytirish tizimlari uchun; akustik o'lchovlar uchun; dispatcher aloqasi uchun.

Undan tashqari mikrofonlar konstruktiv yechimi va signal manbaiga nisbatan joylashishi bo'yicha:

- pol ustidagi ustunchaga o'rnatilgan;
- stolda yoki minbarda o'rnatilgan;
- ichiga o'rnatilgan (masalan, yig'ilishlar stoli);
- estrada solistlari uchun (qo'l mikrofonlari);
- yoqa mikrofonlari (kiyimga biriktiriladigan);
- radiomikrofonlar;
- inshoatdan uzoq masofada joylashganda reportaj olib borish yoki xujjatli tasvirlarga tushirishda qo'llaniladigan (o'ta yo'naltirilgan mikrofonlar);
- qatlam chegarali mikrofonlari (RZM-mikrofonlari).

Mikrofonlarni tanlashda ularning ishlash sharoitlarini bilmasdan turib biron-bir tavsiya berish juda qiyin, chunki ma'lum konstruktiv yechimdagi mikrofon boshqa sharoitlarga va belgilanishiga mutloq to'g'ri kelmasligi mumkin.

**Studiya mikrofonlarining ekspluatatsiyasi.** Tovush yozish va televidenie eshittirish studiyalari yuqori elektroakustik parametrlarga ega bo'lgan keng polosali mikrofonlar bilan ta'minlangan bo'lishi shart. Shuning uchun studiyalarda yo'nalgan, diagrammalari o'zgaradigan keng chastota va dinamik diapazonli kondensatorli mikrofonlar ko'llaniladi. Undan tashqari kondensator mikrofonlarining sezgirligigi dinamik mikrofonlarga qaraganda 5-10 marta yuqori bo'lib, eshitiladigan o'tish buzilishlari deyarlik yo'q, chunki qo'zg'aluvchi tizimning rezonans chastotasi yuqori chastota chegarasiga yaqin bo'lib, juda kichik asllikka ega.

Shuning uchun ovoz yozish studiyalari va ovoz yozish tizimlarida , universal mikrofonlar sifatida kardiodali yo'nalganlik diagrammaga ega bo'lgan kondensatorli mikrofonlar KM 84, KM 184 (Neman), C460B (AKG) va MKE-13m (M-mikrofonlar) qo'llaniladi. Kondensatorli mikrofonlarning kamchiligi sifatida alohida ta'minot manbai va u bilan bog'liq bo'lgan kuchlanish bloki zarurligi, sezgirligi haroratning keskin o'zgarishi va namlikka bog'liqligini ham aytish kerak. Haroratga

bog'liqligi shundaki, mikrofonga bevosita ulangan kuchaytirgichning kirish qarshiligi  $0,5 \div 2$  GOM, shuning uchun namlik katta bo'lganda bu qarshilik kamayadi, natijada past chastotalar susayib, shovqin sathi oshadi. Shu sababli kondensatorli mikrofonlarni ochiq havoda deyarlik qo'llamaydilar.

Mikrofonlarni studiyalarda odatda pol ustunchalariga yoki «laylak» tayoqchalarga o'rnatadilar. Mikrofonlar studiyalarda yozuv vaqtida qo'zg'atilmaydi, tayoqchalar esa, mustahkam etib amartizatorlarga o'rnatiladi. Mikrofonlarni o'rnatishga bo'lgan ko'p talablar odatda ko'z bilan chamalanadi. Masalan, televidenie yozuvida kadrda tushishi mumkin bo'lgan mikrofon o'lchamlari katta bo'lmasligi, qoplamalari yaltiroq bo'lmasligi kerak. Televidenie rang tasvirlarni aniq kafolatli uzatish kerak. Kadrdan tashqarida ko'chma mikrofonlar qo'llaniladi. Ko'chma mikrofonlarni eshittirish davomida joylaridan qo'zg'atish mumkin bo'lganligi uchun ularni shamoldan saqlash, titrash va silkinishlardan himoyalashning maxsus chora-tadbirlari ko'riladi. Tovush manbaigacha bo'lgan nisbatan uzoq masofa va katta shovqin odatda yo'nalgan yoki o'ta yo'nalgan mikrofonlarni qo'llashni taqozo etadi.

**Bir tomonlama yo'nalgan mikrofonlar** ijrochilar keng burchakda tashkil etib joylashganlarida va yozuv vaqtida bir necha mikrofonlardan foydalanib alohida guruhlarini ajratish zarurati bo'lganda va shuningdek tashqi shovqinlarni yozuv jarayoniga ta'sirini kamaytirish maqsadida qo'llaniladi.

**Ikki tomonlama yo'naltirilgan mikrofonlar** duet yozuvlarda, ashulachi va akkompaniator muloqatlarda, kichik musiqa tarkibidagi yozuvlarda, hamda shovqin manbai yo'nalishini susaytirish yuqsadlarida qo'llaniladi. Bu vaziyatda mikrofonlar shovqin manbaiga yoki to'lqin qaytaruvchi yuza zonalariga minimal sezgirlikdagi yo'nalishda o'rnatadilar.

**Yo'nalganlik diagrammasi «sakkizsimon» mikrofonlar** ham yakkaxon xonandani yoki alohida musiqa asboblarini ajratish zarura bo'lganda ijrochiga bevosita yaqin joylashtiriladi. Bunda tovush manbaidan yaqin masofalarda tovush to'lqinlarining doirasimonli natijasida ro'y beradigan «**yaqin zona effekti**» foydalaniladi. Mikrofonning birinchi va ikkinchi akustik kirishlariga fazalarigina emas, balki amplitudalari ham boshqa bo'lgan signallar ta'sir etadi. Bu effekt

ko'proq «sakkizsimon» diagrammali mikrofonlarda namoyon bo'lib, boshqalarida umuman kuzatilmaydi.

**Yo'naltirilmagan mikrofonlar** xonada bir necha mikrofonlar o'rnatilib yozuv jarayoni olib borishda, umumiy akustik muhitni uzatish uchun qo'llaniladi, shuningdek nutq, ashula va musiqalarni tovush kuchli so'ndirilgan xonalarda, turli uchrashuvlarni yozish uchun ham qo'llaniladi.

Keyingi paytlarda shunday yozuvlar uchun ko'proq RZM mikrofonlari qo'llanilmoqda. Ovoz rejissyorlari orasida RZM abbreviatura mikrofon turining belgilanishi sifatida o'rtnashib qoldi. Uni birnecha ; alternativ nomlari, masalan «boundary-mikropone» yoki «chegara qatlam mikrofon» kabi nomlari mavjud.

Ma'lumki, mikrofon to'lqin qaytaruvchi yuzaga yoki to'siqqa yaqin joylashgan bo'lsa, unda qo'shimcha amalda yo'qotib bo'lmaydigan chastot tavsifining **taroqsimon effekti** paydo bo'ladi. RZM mikrofonlar chastota tavsifining taroqsimon effektini yo'qotadi, chunki ular to'lqin tovushlarni yangicha prinsipda qabul qiladi. Tovush chegaraga yetgan zahoti (devor, stol, pol) uning oldida 4 - 5 millimetrli tovush qatlami paydo bo'ladi. Shu qalinlikda to'g'ri va qaytgan signallar kogerent, fazalari saqlangan holda qo'shiladilar. RZM mikrofonlarda o'zgartirgich shu bosim zonasi chegarasida joylashgan, shu bois faza interferensiyasi paydo bo'lishini yo'qotadi. Bunday mikrofonlarni yo'nalganlik diagrammasi mikrofon joylashgan yuza yo'nalishi va o'lchamlariga bog'liq bo'lib yarim doiraga yaqin. «Chegara qatlami» mikrofoniga misol tariqasida S562VL (AKG) va MK 403 (Nevaton) keltirish mumkin.

RZM mikrofonlari dekoratsiyalarda yaxshi niqoblanib, stolda o'rnatilganligi sezilmaydi. Chegara qatlamda tovush bosimining oshishi, mikrofon sezgirligini 6 dB oshiradi.

RZM mikrofonlarining jaranglashi boshqalarnikidan ajralib turadi. Birinchidan, ijrochilardan uzoqda bo'lganda ularga tiniq tembr xos va diffuziya maydonining signal qiymati katta. Ikkinchidan, signal tushish burchagiga bog'liq bo'lmagan tekis amplituda chastota tavsifiga ega.

RZM mikrofonlari tovush manbaiga yaqin joylashgan yo'naltirilmagan mikrofonlarga qaraganda ko'proq sub'ektiv jarangroq tovushni beradi. Va nihoyat, ijrochi qo'zg'alganda uning tembri an'anaviy texnika yozuvlaridagiga qaraganda kamroq o'zgaradi. Gap shundaki, tovush signalini qabul qilish joyida signalning chastota tavsifi

doimo cho‘qqi va cho‘kmalardan iborat bo‘ladi. Agarda, tovush manbai mikrofoniga nisbatan siljiyboshlasa, mikrofoniga tushayotgan tovush va birinchi tovush qaytarilishi fazalari nisbati ham o‘zgaradi. Natijada, tavsif cho‘qqi va cho‘kmalari surilaboshlaydi va **tembr o‘zgarish effektini** beradi. Ikkita RZM mikrofonidan yaxshi stereomikrofon hosil qilish mumkin.

Alohida guruhni «**kamera ustida**» **mikrofon** tashkil etadi. Videokameralarda odatda nisbatan katta bo‘lmagan yengil, yo‘nalganligi kardioda diagrammasidan o‘tkirroq mikrofonlar qo‘llaniladi. Misol sifatida MKE-24 va MKE-25 (Mikrofon-M) mikrofonlarini aytish mumkin.

**Tovush kuchaytirish tizimlarida mikrofonlarning ishlash xususiyat-larii.** Professional-musiqqa, tovush kuchaytirish tizimlari, teatr, konsert zallaridan eshittirishlarni translyatsiya qilish uchun yana bir guruh mikrofonlar qo‘llaniladi. Tovush kuchaytirish tizimlarida mikrofonlarning ishlash xususiyatla-ridan biri ayrim chastotalarda (parazit teskari aloqa natijasida mikrofonlarning o‘z-o‘zidan uyg‘onishidir bu hodisa mikrofoniga qaytarilgan to‘lqin tovushlari to‘g‘ridan-to‘g‘ri radiokarnaydan ship, devor va boshqa yuzalardan kelishi natijasida sodir bo‘ladi. Bular odatda zalni ovozlashtirishdagi tovush bosimini cheklaydi. Tizimning barqarorligini oshirish, signalni maxsus elektron qayta ishlash quyida ko‘riladigan bir necha oddiy yo‘llar bilan amalga oshiriladi.

1. Mikrofonni birlamchi signalga maksimal yaqinlashtirish (ijrochiga, notiqqa, musiqqa asbobiga), ya’ni yoqa va qo‘l mikrofonlarni qo‘llash tavsiya etiladi. Ta’kidlab o‘tamiz, yoqa mikrofonlari odatda yo‘naltirilmagan, shuning uchun ularni notiqqa yaqinlashtirilishi ularning chastota tavsiflariga ta’sir etmaydi.

2. Notiqni va mikrofonni radiokarnaydan hamda tovush qaytaruvchi yuzalardan imkoniyati boricha uzoqlashtirish zarur.

3. Mikrofonning yo‘nalganlik diagrammasini to‘g‘ri tanlash va uning ishchi o‘qini shovqin manbai, hamda radiokarnay va tovush kolonkalariga nisbatan to‘tri yo‘naltirish kerak.

Tovush quchaytirish tizimlarida va televidenie translyatsiyasida kichik mikrofonlardan ko‘proq foydalanilishi maqsadga muvofiqdir.

Konsert zallarida, estrada, tribunalarida katta halaqitlar va vibratsiyalar bo‘lishi ehtimoli bor, shuning uchun ko‘p mikrofon ustunlari tebranish yutgichlarga ega. Bunday mikrofonlarda tebranishga



qarshi maxsus choralar koʻriladi: mikrofon kapsulasi amortizatsiyalanadi yoki mikrofon gʻilofidan ajratiladi, past chastotalarni qirquvchi elektr filtrlar qoʻllaniladi.

Yevropaning (AKG, Sennheiser, Vevdynamik), amerikaning (Yelectro-Voice, Shure), rossiyaning Bayton - 2 firmalari shunday mikrofonlarni ishlab chiqaradi. Shuni aytish kerakki, dinamik mikrofonlar kondensatorli mikrofonlarga qaraganda tebranishlarga ancha chidamli.

Nutqlarni kuchaytirish tizimida (konferenszal, majlislar zali, dramteatrlar va b.q.) asosiy mezon boʻlib tembrni toʻgʻri uzatish emas nutqning aniqligi hisoblanadi, shuning uchun mikrofonlar-ning chastota diapazonini 100÷10000 Gs bilan cheklash va past chastotalarda 300÷400 Gs boshlab 10÷12 dB pasayishiga qoniqish hosil qilish kerak. Bunday mikrofonlarga D541, D558V, D590, S580 (AKG) va MD-91, MD - 96, MD-97 (Mikrofon -M) misol boʻla oladi. Chastota diapazonini yana ham siqish 500÷5000 Gs nutq aniqligiga zarar yetkazmagan holda notiq tovushi tembrini sezilarli oʻzgarishiga olib keladi, bu esa yuqori sifatli tovush kuchaytirishda unchalik zarur emas. Shuning uchun chastota diapazoni 500÷5000 Gs va undan tor boʻlganda bunday mikrofonlardan faqat aloqa qurilmalarida, tovush tembrini saqlash unchalik ahamiyatga ega boʻlmagan, faqatgina harakatlar maʼnosini, komandalarni toʻgʻri uzatish uchungina foydalanadilar.

**Yoqa mikrofonlari.** Alohida guruh mikrofonlariga koʻkrak yoki yoqa mikrofonlari kiradi. Ular televidenie va tovush kuchaytirish tizimlarida qoʻllaniladi.

Yoqa mikrofonlari odatda bosim qabul qilgich boʻlib, ular yengil va oʻlchamlari kichik va kiyimga maxsus biriktiriladigan moslamaga ega (5.36-rasm). Bu mikrofonlar turiga SK97 - 0 (AKG), MKE10 (Sennheiser), KMKE400 (Nevaton) va b.q. kiradi.

Bu mikrofonlarning afzalliklari va kamchiliklari bor. Birdan-bir afzalligi shundaki, bu notiqning erkinligi, mikrofonning foydali tovush manbaiga yaqinligi.



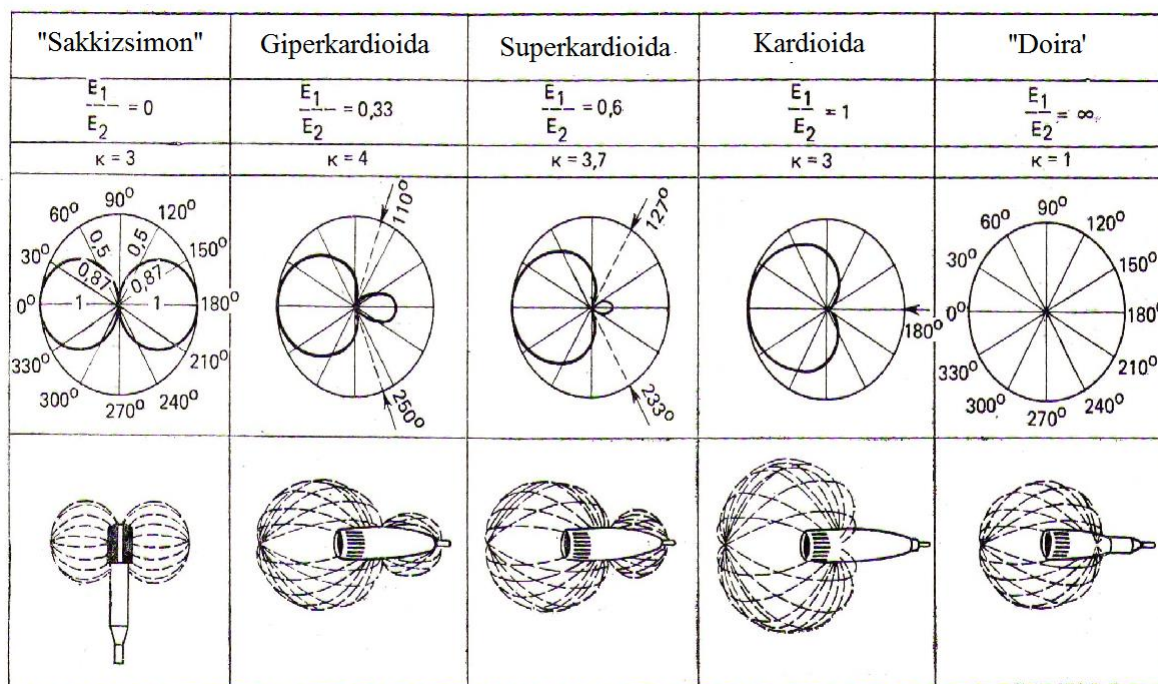
5.38-rasm. Yoqa mikrofon

Kamchiligi - mikrofonni ko'krak qafasiga yaqinligi, bu past chastotalarning rangiga ta'sir ko'rsatadi. Ko'pchilik hollarda manba bloki notiq'larga noqulayliklar yaratadi. Mikrofon kabellari kiyimlarga ishqalanib shovqin hosil qiladi. Undan tashqari bunday mikrofonlarni qo'llashda psixologik noqulayliklar ham mavjud.

**Ochiq havoda ishlash uchun mo'ljallangan mikrofonlar** har qanday havoda ishlashga mo'ljallangan bo'lishi kerak: yomg'ir, qor, shamol va h.k. Shu maqsadlarda odatda dinamik mikrofonlar qo'llaniladi. Ular boshqa turdagi mikrofonlarga qaraganda chidamliroq. Shamolga qarshi chidamliligini oshirish maqsadida, ular shamolga qarshi qalpoqcha bilan jihozlanadi. Bu mikrofonlarda alohida ta'minot manbaining bo'lmasligi ularning afzalligidir. Ko'chalarda reportajlar olib borish uchun qo'l mikrofonlaridan foydalanish maqsadga muvofiqdir, chunki ular shamol va tasodifiy turtkilarga chidamli. Bunday mikrofonlarga misol tariqasida G'-115 (Sopu) va MD -83 (Mikrofon -M) keltirish mumkin. Ochiq joyda tovush kuchaytirishda yuqoridagi sabablarga ko'ra yo'nalgan mikrofonlardan foydalanish afzal, shu aytish lozimki mikrofonlarga qor, yomg'ir tegmasligi kerak (ayvoncha yoki kichik budka bo'lishi kerak).

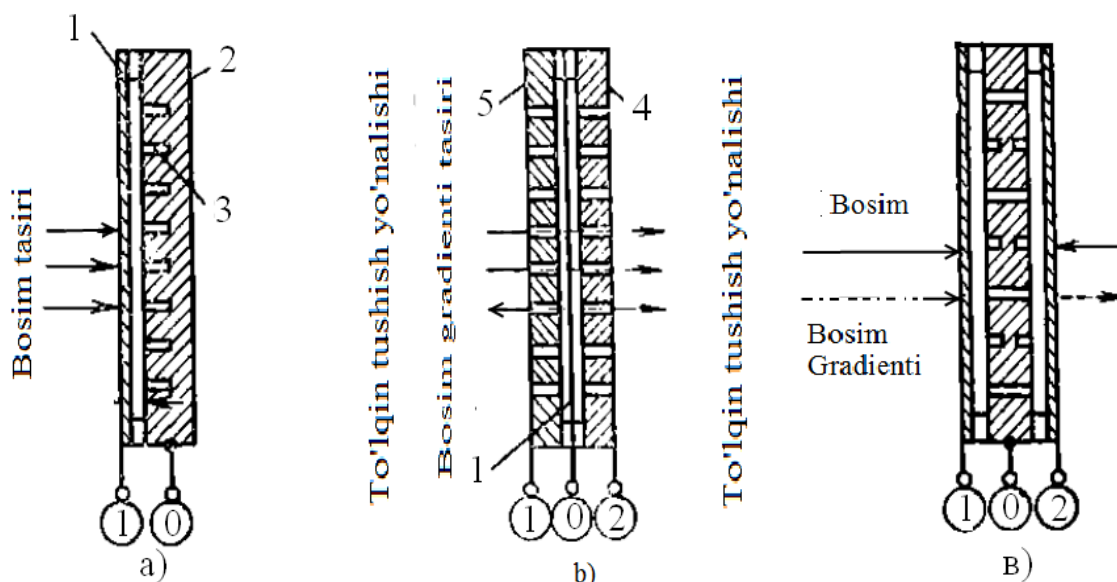
Nazorat savollari

1. Mikrofonlar qanday klassifikatsiyalanadi va qanday asosiy texnik tavsiflarini bilasiz?
2. Bosim qabul qilgich va bosim gradienti qabul qilgichlarni tushuntiring.
3. Elektr va akustik kombinatsiyalangan mikrofonlarning tuzilishini tushuntiring.



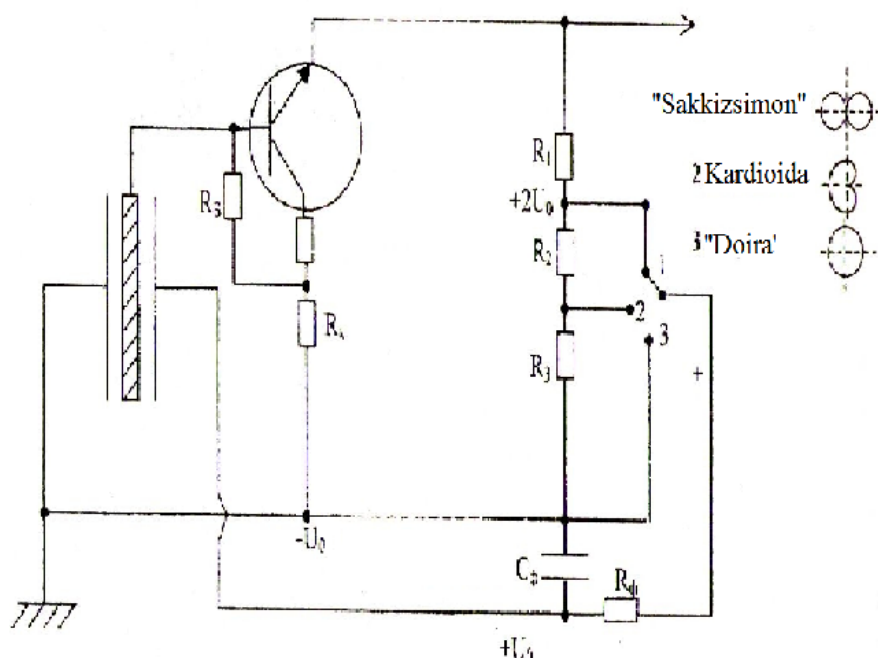
5.39-rasm

4. G'altakli mikrofonning tuzilishi va ishlash prinsipini tushuntiring.
5. G'altakli mikrofon sezgirligining chiziqli chastota tavsifini shakllantirish mexanizmini tushuntiring.
6. Tasmali mikrofonning tuzilishi va ishlash prinsipini tushuntiring.
7. Tasmali mikrofon bosim gradienti qabul qilgich qo'zg'aluvchi qismining xususiy chastotasi tanlash nimaga asoslangan?
8. Kondensatorli mikrofonning ishlash prinsipini tushuntiring.
9. 5.40 a-rasmdagi mikrofonning ishlash prinsipini tushuntiring?
10. 5.40 b-rasmdagi mikrofonning ishlash prinsipini tushuntiring?
11. 5.40 v-rasmdagi mikrofonning ishlash prinsipini tushuntiring?



5.40-rasm

12.5.41-rasmdagi yo'nalganlik diagrammasi boshqarilidigan kondensatorli mikrofonning ishlash prinsipini tushuntiring?



5.41-rasm

13. Mikrofonning o'tkir yo'nalganlik xususiyatlariga erishish prinsipini tushuntiring.

14. RZM mikrofonlarning ishlash prinsipini tushuntiring

15. AV mikrofonli stereofonik tizimning ishlash prinsipini tushuntiring.

- 16.XU mikrofonli stereofonik tizimning ishlash prinsipini tushuntiring.
- 17.MS mikrofonli stereofonik tizimning ishlash prinsipini tushuntiring
- 18.Mikrofonlarni ishlatish prinsipi qanday?

## 6 bob. Radiokarnaylar

### 6.1. Radiokarnaylarning asosiy texnik tavsiflari

**Radiokarnaylar** - elektr tebranishlarni akustik tebranishlar-ga aylantiradigan o'zgartirgich-dvigatel. Radiokarnaylarning ko'p turlarida elektr energiya akustik energiyaga o'zgartiriladi. Rele prinsipiga asoslangan, shunday radiokarnaylar turi borki, (masalan, pnevmatik radiokarnaylar) ularda akustik yoki mexanik tebranishlar ta'sirida havo oqimining doimiy energiyasi akustik energiyaga o'zgartiriladi. Radiokarnaylarning ishlashi quyidagi texnik ko'rsatgichlar bilan baholanadi.

**Nominal quvvat  $R_{nq}$**  - mexanik va issiqlik chidamliligi va berilgan qiymatidan katta bo'lgan noxiziqli buzilishlar bilan cheklangan radiokarnay kirishiga beriladigan maksimal elektr quvvat. U, odatda, radiokarnay pasportidagi qiymatdan kichik. Bunday quvvat ta'sirida radiokarnay uzoq vaqt ishlaganda buzilmasligi kerak.

Tovush bosimi bo'yicha radiokarnayning chastota tavsifi - erkin maydonda radiokarnay ishchi markazidan ma'lum masofadagi nuqtada rivojlan-tirayotgan tovush bosimining chastotaga bog'liqligi tushuniladi.

**Akustik (ishchi) markaz** - nurlatgich nurlatish tirqishining geometrik simmetriya markazi. Radiokarnaylarning akustik o'q odatda, geometrik simmetriya o'qi bilan mos. Ishchi markazda nurlatish maksimal qiymatga ega. Murakkab nurlatgichlar uchun ishchi markaz uning xarakteristikasida ko'rsatiladi. Radiokarnayning effektiv eshittirish chastota diapazoni va xarakteristikasining notekisligi ishchi o'qida o'lchangan amplituda - chastota xarakteristikasi bo'yicha aniqlanadi.

**O'rtacha tovush bosimi  $R_{o'rt}$**  - erkin maydonda berilgan nuqtada ma'lum chastota diapazonida radiokarnay rivojlantirayotgan tovush bosimining o'rtacha kvadrat qiymati.

**O'rtacha standart tovush bosimi  $R_{st}$**  - ishchi o'q markazidan 1m masofada radiokarnay kirishiga 0,1 Vt quvvatga teng kuchlanish berilganda, nominal chastota diapazonida radiokarnay rivojlantirayotgan o'rtacha tovush bosimi.

**Xarakteristik sezgirlik  $Ye_x$**  - ishchi markazdan 1m masofada radiokarnay kirishiga 1,0 Vt quvvatga teng kuchlanish berilganda, nominal chastota diapazonida radiokarnay rivojlantirayotgan o'rtacha

tovush bosimini  $R_{o'rt}$  radiokarnay kirishiga berilayotgan elektr quvvati  $R_{el}$  ildiz osti nisbatiga teng.

$$E_x = p_{\dot{y}_{PT}} / \sqrt{P_{\dot{\varepsilon}_{II}}} = p_{HOM} / \sqrt{P_{HOM}} = p_{\dot{y}_{PT}} / \sqrt{0,1} \quad (6.1)$$

Xarakteristik sezgirlik bilan o'rtacha standart tovush bosimi to'g'ridan - to'g'ri bog'langan:

$$p_{CT} = E_x \sqrt{0,1} \quad (6.2)$$

**Kirish qarshiligi** -  $z_{kir}$  chastotaga bog'liq bo'lganligi uchun malumot-nomalarda **nominal elektr qarshilik** beriladi.

**Yo'nalganlik tavsifi** - erkin maydonda ishchi markazdan bir xil masofadagi nuqtada radiokarnay rivojlantirayotgan tovush bosimi  $R_\theta$ , radiokarnay ishchi o'qi va unga yo'naltirilgan burchagiga bog'liqligi. Odatda, bu tavsif ishchi o'qi bo'yicha tovush bosimiga nisbati bilan me'yorlanadi

$$D(\theta) = \frac{P_\theta}{P_{\dot{y}_K}} \quad (6.3)$$

**Nochizikli buzilishlar koeffitsienti** - berilgan chastotalarda radiokarnay kirishiga nominal quvvatga mos sinusoidal kuchlanish berib o'lchanadi.

**Foydali ish koeffitsienti** - radiokarnay nurlatayotgan akustik quvvat  $R_a$  ni radiokarnay kirishiga berilgan elektr quvvat  $R_{el}$  nisbatiga teng:

$$\eta = \frac{P_a}{P_{\dot{\varepsilon}_{II}}}, \% \quad (6.4)$$

**Akustik o'qi bo'yicha sezgirliqi** quyidagicha ifodalanadi:

$$E_{\dot{y}_K} = \frac{P_1}{U} = \frac{P_1}{v_M} \cdot \frac{v_M}{F} \cdot \frac{i}{U}, \quad (6.5)$$

bunda:

$\frac{P_1}{v_i}$  -akustik sezgirlik;

$\frac{v_i}{F} = \frac{1}{Z_i}$  -mexanik sezgirlik;

$\frac{F_i}{K_{\dot{\varepsilon}_{m6}}}$  - elektromexanik bog'lanish koeffitsienti;

$i/U = z_{el}$  -elektr tavsifi;

$Z_m$ -qo'zg'alish tizimining to'la mexanik qarshiligi;

$r_1$ -radiokarnaydan 1m masofadagi tovush bosimi;

$U$  -radiokarnay kirishiga berilayotgan kuchlanish.

**Radiokarnay energiyani o'zgartirish prinsipi bo'yicha:** elektrodinamik, elektrostatik va releli turlarga bo'linadi.

**Turlari bo'yicha:** diffuzorli, ruperli hamda yakka turdagi va guruhli radiokarnaylarga bo'linadi. Elektrostatik o'zgartirish turi bo'yicha: kondensatorli, elektretli va pezoradiokarnaylarga bo'linadi. Releli turiga pnevmatik radiokarnaylar kiradi.

## 6.2. Nurlatgich turlari

Shar to'lqinlar uchun qaytariladigan akustik quvvat quyidagi formula orqali aniqlanadi:

$$P_{ak} = V^2 Z_R = V^2 \rho c S (r_R + jX_R) \quad (6.6)$$

(6.6) formuladan ko'rinib turibdiki, nurlanish samaradorligi aktiv va reaktiv nurlanish qarshiligi tarkibiga bog'liq va ko'p jihatdan nurlatgichning chastota tavsifini belgilaydi. Nurlatgich qarshiligi tarkibining chastota tavsifi, nurlatgichning tuzilish shakli va akustik jihozlanishga bog'liq.

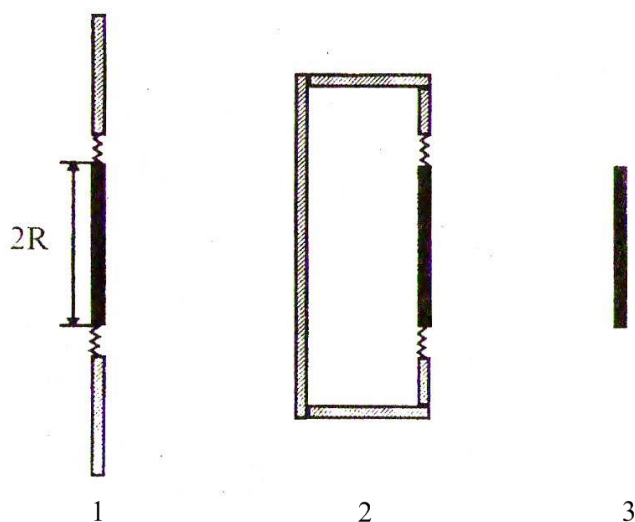
Nurlanish to'la qarshiligining nazariy hisobi murakkab matematik apparatni talab etadi. Aniq yoki taxminiy natijalarni ayrim ideallashtirilgan hollar uchungina olish mumkin. Misol tariqasida 6.1-rasmda uchta asosiy dumaloq shakldagi porshen turidagi nurlatgichlar keltirilgan.

6.1-rasmdagi 1 va 3 turdagi nurlatgichlar amalda deyarlik uchramaydi. Odatda cheklangan o'lchamlarda joylashtirilgan radiokarnaylar uchraydi. Bularga radioqabulqilgich va televizorda o'rnatilgan abonent radiokarnaylari kiradi.

To'lqin uzunligi katta bo'lgan past chastotalarda to'lqinlar uni osongina aylanib o'tadi. Shunday qilib, **to'lqin difraksiyasi** hisobiga nurlanish ikki tomonlama bo'ladi, bu uchinchi turdagi nurlatgichga mos keladi deb hisoblash mumkin.

Yuqori chastotalarda to'lqin uzunligi nurlatgich o'lchamlaridan kichik, bu holda difraksiya bo'lmaydi. Endi nurlatgich o'zining tomonlari bilan faqatgina o'zining yarim fazosiga nurlatadi, bu birinchi turdagi nurlatgichga xosdir.





6.1- rasm. Porshen turidagi nurlatgichlar

Nurlatgich turlari: 1 - cheksiz qattiq ekrandagi dumaloq porshen; 2- bir tomoni berk porshen; 3 - ikkala tomoni ochiq porshen.

Ikkinchi turdagi nurlatgich amalda 6.1- rasmda ko‘rsatilgandek ishlatiladi. Bu orqa tomoni berk yashikka joylashtirilgan radiokarnaydir.

6.2-rasmda nurlanish qarshiligi tarkiblarining chastota tavsiflari keltirilgan. Argument sifatida nurlatgich radiusini to‘lqin songa

ko‘paytmasidan foydalaniladi. Eslatamiz,  $k = \frac{\omega}{c}$ , shuning uchun

$$kR = \omega \frac{R}{c} = 2\pi \frac{R}{\lambda}$$

Agarda, nurlanish qarshiligida aktiv tarkib ustun bo‘lsa, nurlatish samarali bo‘ladi. Samarali nurlatish chegaralari  $g_R$  va  $x_R$  komponentlari qiymati tengligi bilan aniqlanadi. Keltirilgan grafiklarda birinchi turdagi nurlatgichlar uchun  $g_R$  va  $x_R$  komponentlar tengligi  $kR=1,38$  qiymatda bo‘ladi, ikkinisi uchun  $kR=1,85$ ; uchinchi uchun  $kR=2,05$ .

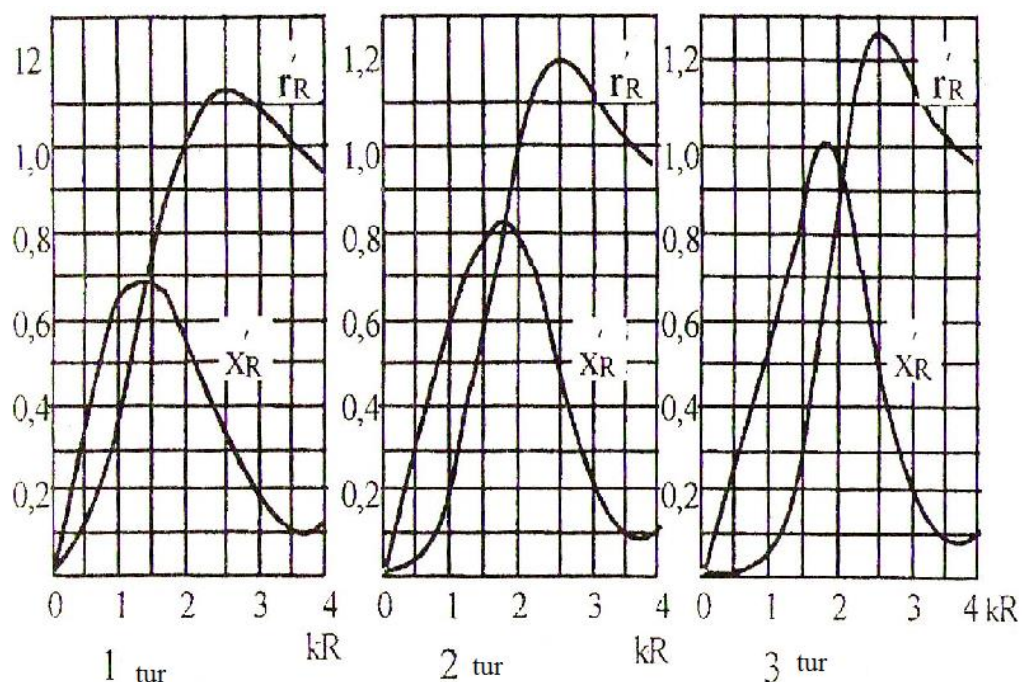
Nurlatgich radiuslari teng bo‘lgandagi nurlatish chastota chegaralari quyidagicha aniqlanadi.

$$1 \text{ turdagi: } kR = \frac{\omega_n R}{c} = 1,38 \quad \omega_n = 1,38 \frac{c}{R}$$

$$2 \text{ turdagi: } kR = \frac{\omega_n R}{c} = 2,05 \quad \omega_n = 2,05 \frac{c}{R}$$

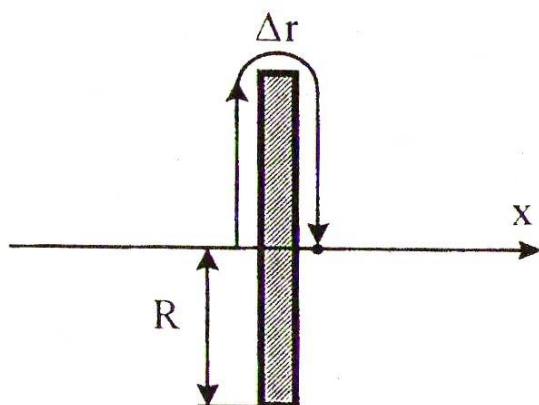
$$3 \text{ turdagi: } kR = \frac{\omega_n R}{c} = 2,05 \quad \omega_n = 2,05 \frac{c}{R}$$

$c$  - tovush tezligi, m/s.



6.2- rasm. Uch turdagi o'lcamsiz nurlatgich aktiv va reaktiv qarshilik tarkiblarining chastota tavsiflari

Keltirilgan formulalardan ko'rinib turibdiki, porshen radiuslari teng bo'lganda eng past chastotani birinchi turdagi nurlatgich nurlatar ekan. Past chastotani samarali nurlatish uchun nurlatgich radiusi katta bo'lishi kerak. Uchinchi turdagi nurlatgich samaradorligi eng kam bo'lgan nurlatgich, chunki u ikki tomonlama nurlatadi (6.3-rasm).



6.3-rasm. Uchinchi turdagi nurlatgichda difraksiya bo'lishiga oid

Bunda uning har bir old va orqa tomonida ikkita to'g'ri va teskari to'lqin hosil bo'ladi. Agarda porshen o'ng tomonga siljisa, unda bu tomonda muhit zarrachalari siqiladi. Shu paytning o'zida uning chap tomonida muhit zarrachalari siyraklashadi. Shunday qilib,

nurlatgichning ikki tomonida hosil bo'layotgan to'liqlar teskari fazada bo'ladi. Bu siljishni **boshlang'ich siljish** fazasi deb ataymiz  $\varphi_{\text{bosh}} = \pi$ .

O'ng yarim fazoga nurlanishni ko'rib chiqamiz. Difraksiya sharoitida teskari to'liq porshenni aylanib o'tib, to'g'ri to'liqqa qo'shiladi.

Natijalovchi bosim to'g'ri va teskari to'liq faza siljishi yig'indisiga bog'liq bo'ladi. Kuzatuv nuqtasini porshen yuzasining o'ng tomonida, uning o'qida olamiz. Teskari to'liq ushbu nuqtaga yetishi uchun porshenni aylanib qo'shimcha  $\Delta r = 2R$  masofani bosib o'tishi kerak.

Bu yo'lda teskari to'liqda qo'shimcha faza siljishi  $\varphi_{\text{qo'sh}} = k\Delta r$  teng bo'ladi. Umumiy faza siljishi  $\varphi_{\Sigma} = \varphi_{\text{bosh}} + \varphi_{\text{qo'sh}}$ .

Past chastotalarda  $R \ll \lambda$ , demak qo'shimcha faza siljishi

$$\varphi_{\Sigma} = k\Delta R = \frac{2\pi}{\lambda} 2R \cong 0 \text{ chunki, } R/\lambda \cong 0$$

Umumiy faza siljishi  $\varphi_{\Sigma} = \varphi_{\text{bosh}} + \varphi_{\text{qo'sh}} = \pi$ , ya'ni barcha chastota diapazonida to'liqlar teskari fazada bo'ladi va  $R \ll \lambda$ . Bunda teskari to'liq to'g'ri to'liqni «so'ndiradi». Bunday hodisa **akustik qisqa tutashuv** deb ataladi.

Chastota oshishi bilan shunday vaziyat paydo bo'ladiki,  $f_1$  chastotada teskari to'liqning qo'shimcha yo'li  $\Delta r$  yarim to'liq uzunligiga teng bo'ladi

$$\Delta r = \lambda/2. \text{ Shunda } \varphi_{\text{qo'sh}} = k\Delta R = \frac{2\pi}{\lambda} \frac{\lambda}{2} = \pi, \text{ umumiy faza siljishi}$$

$\varphi_{\Sigma} = \varphi_{\text{bosh}} + \varphi_{\text{qo'sh}} = 2\pi$ . Ikkala to'liq bir fazada bo'lib tebranishlarning kuchayishi kuzatiladi.

Chastotalarning keyingi oshishida  $f_2, f_3$  va b.q. chastotalarda:

$$f_2: \Delta r = \lambda; \quad \varphi_{\text{qo'sh}} = \frac{2\pi}{\lambda} \lambda = 2\pi; \quad \varphi_{\Sigma} = \varphi_{\text{bosh}} + \varphi_{\text{qo'sh}} = 3\pi \quad - \text{ to'liqlar}$$

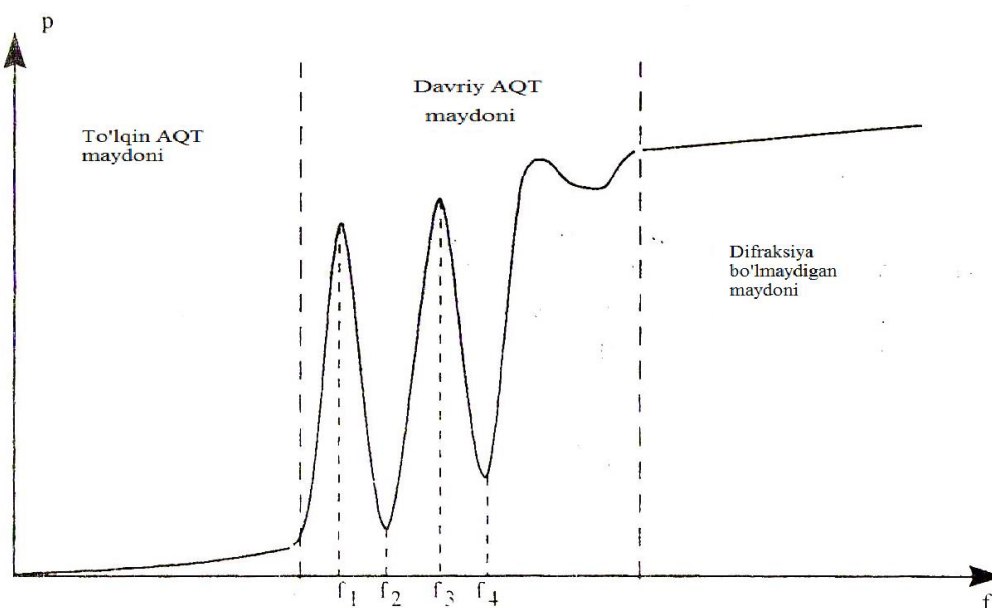
qarama-qarshi fazada bo'ladi va akustik qisqa tutashuv susayadi.

$$f_3: \Delta r = 3/2\lambda; \quad \varphi_{\text{qo'sh}} = \frac{2\pi}{\lambda} \frac{3}{2}\lambda = 3\pi; \quad \varphi_{\Sigma} = \varphi_{\text{bosh}} + \varphi_{\text{qo'sh}} = 4\pi \quad - \text{ to'liqlar}$$

bir xil fazada bo'lib, tebranishlar kuchayadi va h.k.

Nurlatgich o'lchamlari to'liq uzunligidan katta bo'lgan yuqori chastotalarda difraksiya bo'lmaydi va teskari to'liq porshenni aylanib o'tmaydi. Davriy akustik qisqa tutashuv yo'qoladi va bunday nurlatgich birinchi turdagi nurlatgichga aylanadi. Agarda, AQT holatni inobatga olganimizda nurlatgichning bosim chastota tavsifi 6.4 - rasmda ko'rsatilganidek bo'lar edi. Shunday qilib, oddiy, akustik jihozlanmagan

nurlatgich, akustik qisqa tutashuv natijasida past chastotalarni nurlata olmaydi. AQT yo‘qotish uchun turli usullardan:: ekran, yopiq yashik va fazainvertorlardan foydalaniladi



6.4- rasm. Uchinchi turda nurlatgichning akustik qisqa tutashuv hodisasiga oid

**Nurlatgichlarning yo‘nalganligi.** Avval cheksiz ekranda joylashtirilgan birinchi ikki turdagi nurlatgichlarning yo‘nalganlik xususiyatlarini ko‘rib chiqamiz. Nurlatgichning diametri bo‘yicha bir bo‘lakchani ajratib olamiz va uni  $d$  uchastkalarga bo‘lamiz (6.5 - rasm).

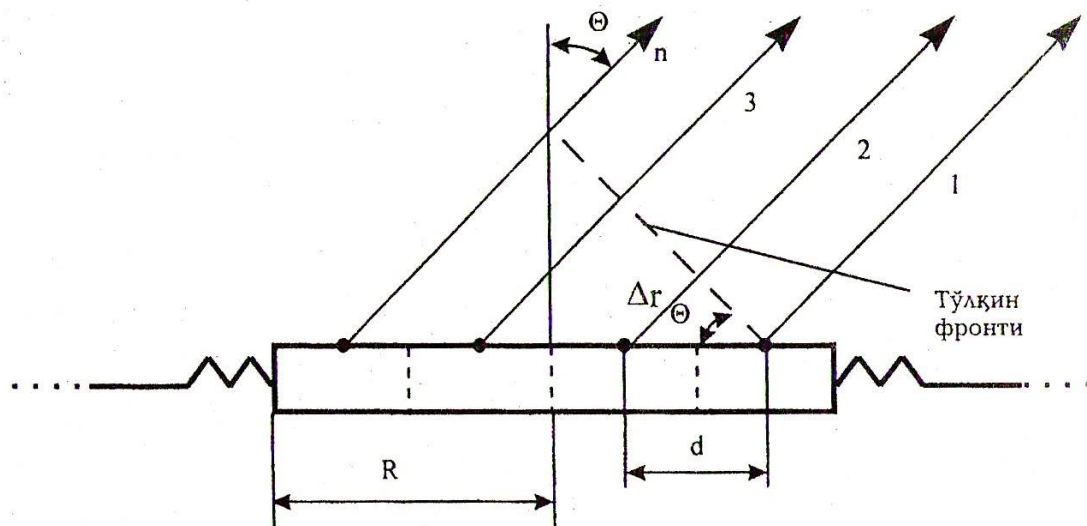
Ikkita holatni ko‘rib chiqamiz:

1. Kuzatuv nuqtasi akustik o‘qda ( $\Theta = 0$ ),  $r \gg R$  masofada joylashgan. Uchastkalarining alohida nuqtalaridan kelayotgan tovush to‘lqinlari, amalda bir xil yo‘l bosadi, demak ularning fazalari ham bir xil. Kuzatilayotgan nuqtadagi umumiy tovush bosimi  $p_{0\Sigma}$ ,  $r_i$  nuqtadagi bosimlarning arifmetik yig‘indisiga teng

$$p_{0\Sigma} = \sum_1^n p_i ,$$

bunda,  $n$  - uchastkalar soni.

2. Kuzatuv nuqtasi akustik markazidan bir xil masofada  $\Theta$  burchak ostida joylashgan. Endi tovush to‘lqinlari alohida uchastkalardan turli masofani bosib o‘tadi.



6.5- rasm. 1 va 2 turdagi nurlatgichlarning yo‘nalganligiga oid

Masalan, 1 va 2 nurlar farqi  $\Delta g = d \sin \Theta$  tashkil etadi.

Nurlar o‘rtasidagi faza siljishi :

$$\varphi = k \Delta r = \frac{2\pi}{\lambda} d \sin \Theta \text{ ga teng.}$$

Kuzatilayotgan nuqtadagi umumiy bosim  $p_{\Theta}$  bosimlarning geometrik yig‘indisiga teng bo‘ladi

$$p_{\Theta\Sigma} = p_{\Theta 1} + p_{\Theta 1} e^{j\varphi} + p_{\Theta 1} e^{j2\varphi} + p_{\Theta 1} e^{j3\varphi} + \dots$$

Buni vektorlar diagrammasi ko‘rinishida taxlil qilib chiqamiz. Natijalovchi vektor birinchi vektorning boshlanishini oxirgi vektorning uchi bilan bog‘laydi. Formuladan ko‘rinib turibdiki, to‘lqin tushish burchagi oshishi bilan siljish faza burchagi osha boradi, yig‘indi bosim esa kamayadi.

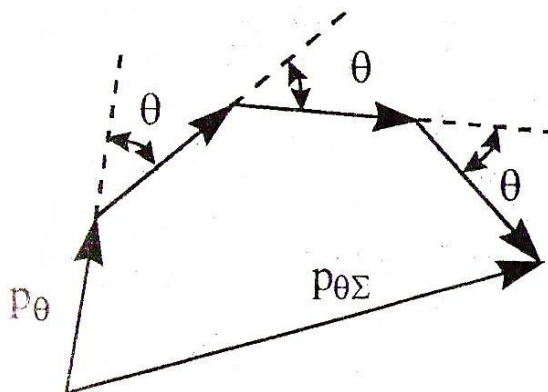
Ammo siljish fazasi  $d/\lambda$  ga ham bog‘liq. Past chastotalarda  $d \ll \lambda$  va  $d/\lambda \approx 0$ . Demak, to‘lqin nurlari o‘rtasida faza siljishi bo‘lmaydi. Bu  $d/\lambda$  nisbati qanchalik katta bo‘lsa, faza siljishi ham shunchalik katta bo‘ladi. Yig‘indi bosim to‘lqin tushish burchagi oshgan sari kamaya boradi va nurlatgich yo‘nalganlik xususiyatiga ega bo‘la boshlaydi.

6.7-rasmda nurlatgichning past va yuqori chastotalardagi yo‘nalganlik diagrammasi keltirilgan.

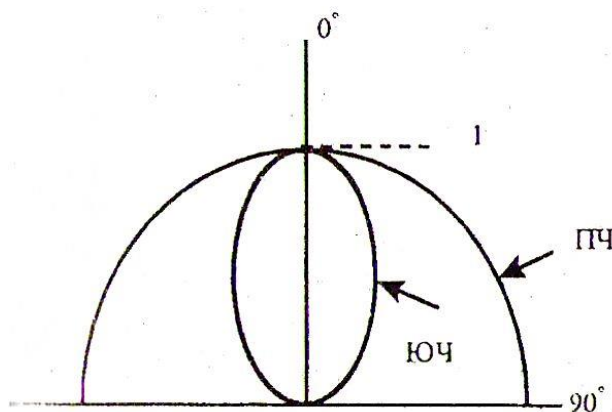
3 - turdagi nurlatgichning yo‘nalganlik diagrammasiga kelsak, 6.8-rasmdan ko‘rinib turibdiki, nurlatuvchi porshen joylashgan yuzada (AA yuzasi) nurlanish har qanday chastotada ham bo‘lmaydi. AA yuzadagi har qanday nuqtagacha ikkala to‘lqin uchun masofa bir xil, ya’ni  $r_1 = r_2$ .

To'g'ri va teskari to'lqinlar o'rtasidagi faza nolga teng, faqat boshlang'ich siljish  $\pi$  ga teng. Shuning uchun AA yuzasidagi har qanday nuqtada to'lqinlar teskari fazada to'qnashadi va bir-birini «so'ndiradi».

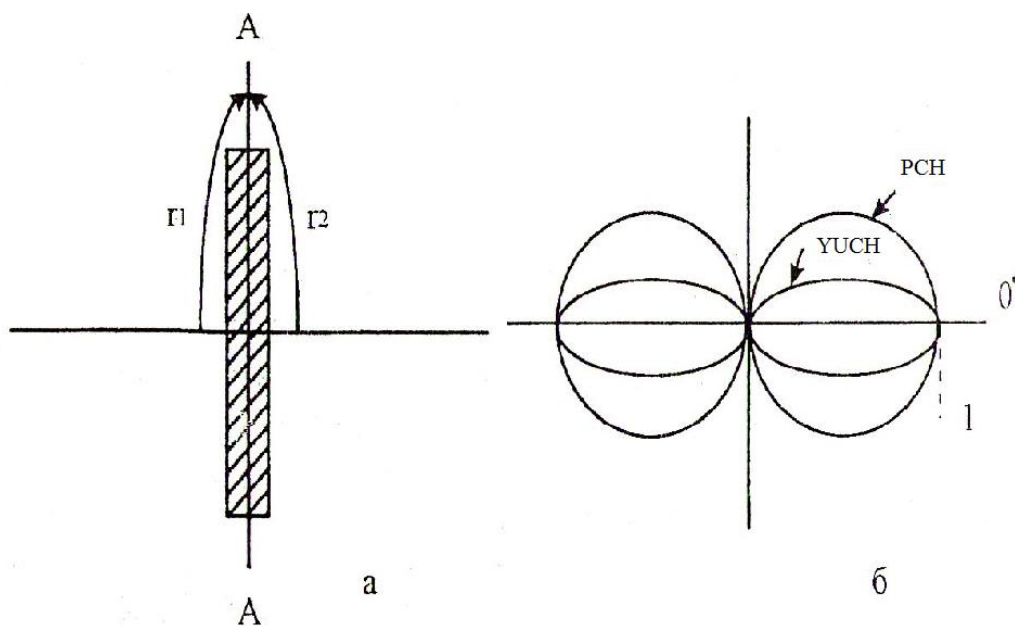
AA yuzaga perpendikulyar yuzada nurlanish samaradorli bo'ladi.  $kR \ll 1$  bo'lganda, yo'nalganlik diagrammasi sakkizsimon shaklda bo'ladi:  $D(\Theta) = \cos\Theta$ .  $R > \lambda$  yo'nalganlik diagrammasi bir tomonlama yo'nalgan nurlatgichlardan kam farq qiladi. Shuni aytish lozimki, yo'nalganlik diagrammasi har doim nurlatgich yotgan yuzaga simmetrik bo'ladi.



6.6 - rasm. Turli uchastkalardagi tovush bosimlarni qo'shishga oid



6.7-rasm. 1 va 2 turdagi nurlatgichlarning past va yuqori chastotalarda yo'nalganlik diagrammasi



6.8 - rasm. 3 turdagi nurlatgichning yoʻnalganlik xususiyatlariga oid

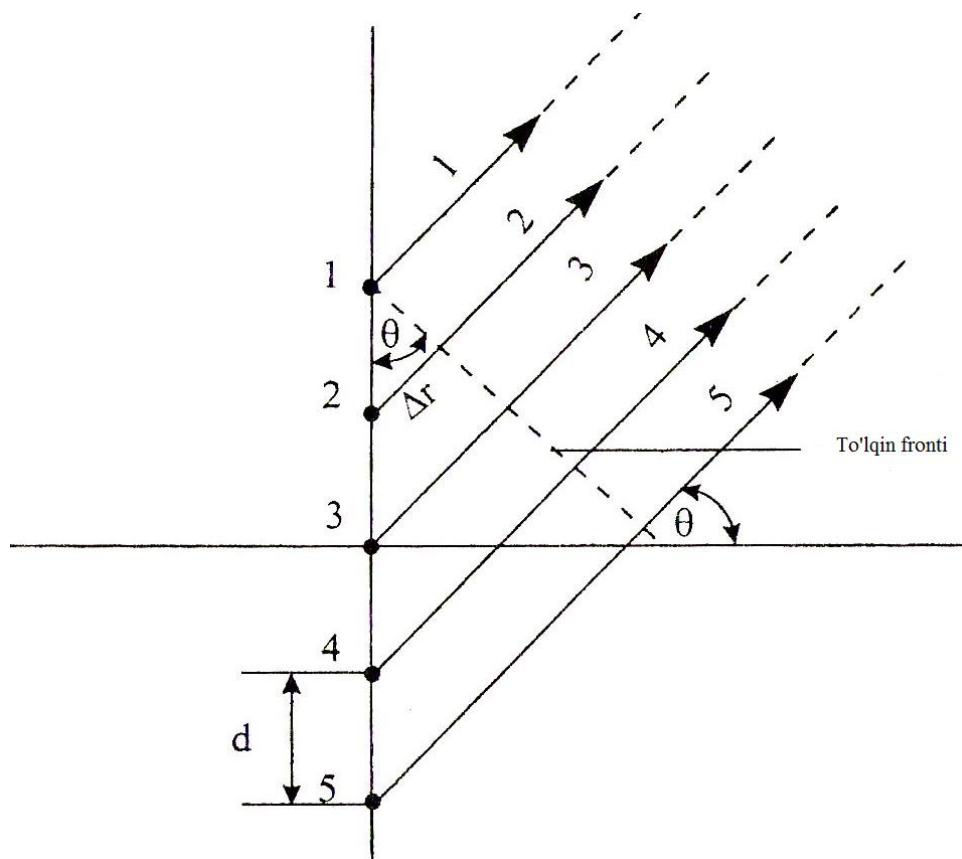
### 6.3. Chiziqli guruh nurlatgichlari

**Chiziqli guruh nurlatgichlar (tovush kolonkalari).** Nurlatgichning quvvatini va yoʻnalganlik diagrammasini oshirish maqsadida guruhli bir nechta bir xil (ikkitadan sakkiztagacha) maʼlum masofada vertikal liniyada joylashgan diffuzorli radiokarnaylar qoʻllaniladi. Ularning gorizontaal maydondagi yoʻnalganlik diagrammasi yakka radiokarnayning yoʻnalganlik diagrammasidan farq qilmaydi. Ammo, vertikal maydonda bunday guruhning yoʻnalganlik diagrammasi ayrim yakka radiokarnaylarning nurlanish interferensiyasi natijasida sezilarli kuchayadi.

6.9-rasmda chiziqli guruh nurlatgichlarning sxematik koʻrinishi keltirilgan.

Agarda, kuzatuv nuqtasini kolonkaning akustik oʻqida  $r \gg d$  masofada olsak, unda alohida kallaklarning  $r_i$  tovush bosimi bir xil fazada boʻladi. Demak, umumiy tovush bosimi  $R_{0\Sigma}$  alohida kallak bosimlarining arifmetik yigʻindisiga teng boʻladi:

$$P_{0\Sigma} = \sum_1^n P_i, \text{ bunda } n \text{ —guruhdagi kallaklar soni:}$$



6.9 - rasm. Tovush kolonkasining yoʻnalganlik diagrammasiga oid

Endi yoʻnalganlikni tovush kolonkasining akustik oʻqidan tashqarida burchak ostida tushayotgan toʻlqin fronti uchun koʻrib chiqamiz. Alohida kallaklardan kelayotgan tovush nurlari kuzatuv nuqtasigacha turli yoʻlni bosib oʻtadi. Masalan, 1 va 2 nurlar bosib oʻtgan yoʻl 6.9 - rasmga asosan:

$$\Delta r = d \sin \Theta \text{ teng.}$$

Nurlardagi faza siljishi:

$$\varphi = k\Delta r = \frac{2\pi}{\lambda} d \sin \Theta$$

Kuzatuv nuqtasidagi umumiy bosim alohida  $r_i$  bosimlarning geometrik yigʻindisiga teng, yaʼni :

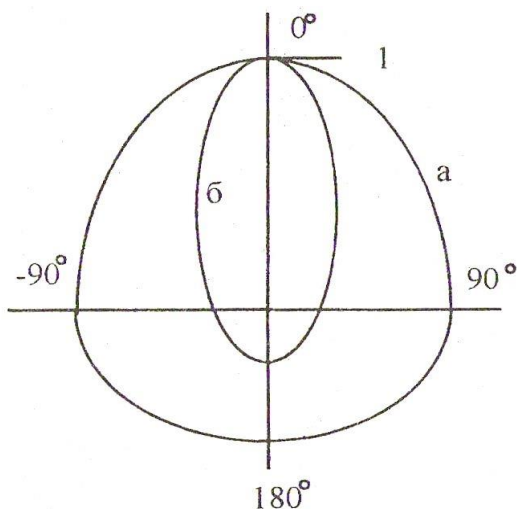
$$p_{\Theta\Sigma} = p_{\Theta 1} + p_{\Theta 1} e^{j\varphi} + p_{\Theta 1} e^{j2\varphi} + p_{\Theta 1} e^{j3\varphi} + \dots,$$

bunda  $r_{\Theta 1}$  - kuzatuv nuqtasida yakka qallak rivojlantirayotgan tovush bosimi. Tovush kolonkalarining oʻlchamlari past chastotalarda ham katta boʻlganligi sababli, u vertikal maydonda ham yoʻnalganlik xususiyatiga ega boʻladi.



Burchak  $\Theta$  oshishi bilan tovush bosimi  $r_{\Theta\gamma}$  kamayadi. Chastota oshishi bilan kolonka o'lchamining to'liq uzunligiga bo'lgan nisbati  $I=d(n-1)$  oshadi, natijada yo'nalganlik diagrammasi kuchayadi.

Yo'nalganlik diagrammasi yarim ellipsni eslatadi (6.10-rasm).



6.10 - rasm. Tovush kolonkaning gorizonta a) va b) vertikal yuzalardagi yo'nalganlik diagrammalari

Chastota oshishi bilan yo'nalganlik diagrammasi oshadi va nurlanuvchi maydon kamayadi. Gorizonta maydonda yuqori chastotalarda yo'nalganlik diagrammasini kengaytirish uchun kolonkaga yana qo'shimcha akustik o'qlari  $60^\circ$  ga burilgan bitta, ayrim hollarda ikkita kallak o'rnatiladi.

Agar yo'nalganlik diagrammani vertikal yuzada oshirish zarurati tug'ilsa, unda ikki yoki uchta tovush kolonkalarni ustma-ust o'rnatishga to'g'ri keladi. Yo'nalganlik diagrammasi o'tkir bo'lganligi sababli, kolonkani o'rnatish balandligi shunday tanlanadiki, kolonkaning akustik o'qi tinglovchi qulog'i yuzasiga nisbatan  $5-10^\circ$  tashkil etsin. Shunda, zalning birinchi qatorida tovush bosimi oshib ketmasligini nazorat etish kerak.

**Radial radiokarnaylar.** Ochiq maydonlarni ovozashtirishda (ko'cha, hiyobon, maydon va h.k.) ayrim hollarda doira shaklidagi yo'nalganlik diagramma kerak bo'ladi. Bunday yo'nalganlik diagramma bir guruh elektrodinamik radiokarnaylarni doira bo'ylab o'rnatish hisobiga erishiladi. Ularning akustik o'qi pastga qarab  $45^\circ$  ostida o'rnatiladi. Kallaklar soni odatda 4 tadan 6 tagacha olinadi. Bunday radiokarnaylarning pastki qismida odatda, doirasimon tovush qaytaruvchi to'siqlar o'rnatiladi.

## 6.4. Diffuzorli radiokarnaylar

Diffuzorli radiokarnaylardagi mexanik harakatlanuvchi tizim, ya'ni diafragma mexanik tebranishlarni akustik tovush tebranishlarga o'zgartirib uni atrof muhitga nurlatish vazifasini o'taydi. Shuning uchun diafragmani diffuzor, ya'ni sochuvchi deb, radiokarnayni esa, bevosita nurlatuvchi radiokarnay deb ataydilar. Diffuzor murakkab shaklga ega bo'lgani uchun uni porshen kabi tebranayotgan yassi diafragma o'xshatish mumkin, bunday o'xshashlikka diffuzorni radiokarnay g'ilofiga mos ravishda birlashtirish bilan erishiladi: birinchidan, diffuzor egiluvchan bo'lishi, ikkinchidan akustik o'qi bo'ylab tebranishi kerak.

Tovush to'lqinlarning nurlanish jarayoni sodda: diafragma o'zining tebranishida unga bevosita yondoshgan muhit zarrachalarini tebratib, unda o'zgaruvchan siqilish va siyraklashish hosil qilib, muhitning qo'shni qatlamiga uzatadi, natijada tovush tezligida harakatlanayotgan to'lqin paydo bo'ladi. Gazsimon (va suyuq) muhit uzluksizligi prinsipida diafragmaning tebranish tezligi  $v_d$  va unga yondoshgan muhit zarrachalari tezligi  $v_m$  bir xil bo'lishi kerak, ya'ni;  $v_d = v_m$ . Diafragma tebranishiga muhit qarshilik ko'rsatadi. Bu qarshilik **nurlanish ( $Z_{nur}$ ) qarshiligi** deb, ataladi. Nurlanish qarshiligi diafragmaning mexanik  $Z_{m_d}$  qarshiligiga qo'shiladi, ya'ni

$$\frac{F}{v_m} = Z_{m_d} + Z_{hyp} = Z_m \quad (6.7)$$

Nurlanish qarshiligi aslida muhit bilan radiokarnay nurlatgich yuzasi tutashgan joydagi tovush to'lqinining akustik qarshiligi

$$Z_{hyp} = \delta_{aR} S = R_{hyp} + jX_{hyp}, \quad (6.8)$$

bunda,  $S$ - nurlatgich yuzasi,  $\delta_{aR}$  — nurlatgich yaqinidagi muhitning solishtirma akustik qarshiligi. To'la nurlanish quvvati:

$$P_{hyp} = v_d^2 \cdot Z_{hyp} \quad (6.9)$$

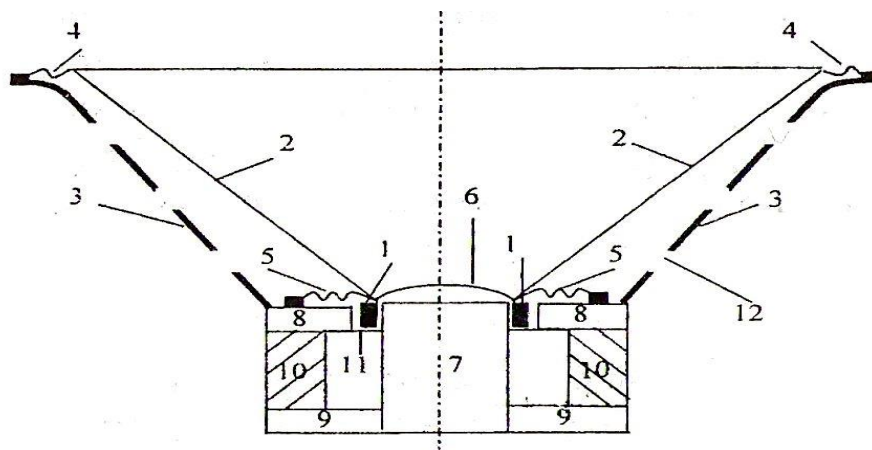
Umumiy holda nurlanish quvvati aktiv - cheksizlikka ketuvchi energiya quvvati va reaktiv - tovush maydonida hosil bo'lib energiya zahirasini belgilovchi tarkiblardan iborat.

Nurlanish qarshiligining reaktiv tashkil etuvchisi **inersion** (kiritilgan) **qarshilik**  $\omega m_{kir}$ , boshqacha qilib aytganda, kiritilgan havo massasi qarshiligi  $m_{kir}$  :

$$m_{\text{кир}} = \rho SR / \left( \frac{\omega^2 R^2}{c^2} + 1 \right) \quad (6.10)$$

Nurlatgichning massasi shu qiymatga oshgandek bo‘ladi va shuning uchun uni **birga qo‘zg‘aluvchi massa** deyilar.

Endi to‘g‘ridan – to‘g‘ri nurlatuvchi diffuzorli elektrodinamik radiokarnayning konstruktiv tuzilishi va ishlash prinsipi bilan tanishib chiqamiz. To‘g‘ridan-to‘g‘ri nurlatuvchi elektrodinamik radiokarnayning konstruktiv tuzilishi 6.11- rasmda keltirilgan.



6.11- rasm. To‘g‘ridan-to‘g‘ri nurlatuvchi elektrodinamik radiokarnayning konstruktiv tuzilishi

bunda: 1-tovush g‘altagi; 2-diffuzor; 3-diffuzor ushlagich (qobiq); 4-gofrirovkalangan ilgich; 5-gofrirovkalangan markazlash-tiruvchi shayba; 6- qubbasimon qalpoq; 7-magnit o‘zagi; 8,9- pastki va yuqori gardishlar; 10- o‘zgarmas magnet; 11-halqasimon tirqish; 12-orqa tomonga nurlatish tirqishi.

Diffuzorli elektrodinamik radiokarnayning ishlash prinsipi dinamikli mikrofon ishlash prinsipiga o‘xshash. Magnit o‘zak 7 va yuqori gardish 8 orasida halqasimon tirqish 11 bo‘lib, unda erkin, vertikal qo‘zg‘aluvchi tovush g‘altagi 1 joylashtirilgan. Radial magnet maydonda joylashgan simli g‘altak 1 dan o‘zgaruvchan tok o‘tkazilganda paydo bo‘ladigan ta‘sir kuch  $F=V\ell i$  teng, bunda  $V$  - halqasimon tirqishdagi tagnit induksiya;  $\ell$  - tovush g‘altagi simi uzunligi;  $i$  - tovush g‘altakdan oqayotgan tok.

Bu kuch tovush g'altagi 1 ning bir uchi qobiq 3 ning tashqi chekkalariga gofrirovkalangan ilgich bilan, ikkinchi uchi gofrirovkalangan markazlashtiruvchi «shayba» 5 bilan yuqori gardish 8 ga qattiq biriktirilgan diffuzor 2 ni harakatga keltiradi. Buning natijasida diffuzor akustik o'qi bo'yicha tebranadi. Halqasimon o'zgarmas magnit 10 yuqori, pastki gardishlar 8,9 va magnit o'zagi 7 orasida o'zgarmas magnit maydoni paydo bo'ladi.

Tovush g'altagi va mustahkamlovchi moslamalardan iborat qo'zg'aluvchi mexanik tizimni, past va o'rta chastotalarda bir butun tebranish tizimi deb, ko'rish mumkin ya'ni, barcha tebranish tizimi massalari m, birga qo'zg'aluvchi massa  $m_{kir}$ , uchta ketma-ket ulangan egiluvchanlik (ilmoq egiluvchanligi  $S_1$ , gofrirovkalangan markazlashtiruvchi shayba egiluvchanligi  $S_2$ , va havo egiluvchanligi  $S_3$ ); uchta aktiv (qarshilik g'altakning tirqishdagi havoga ishqalanish qarshiligi  $r_1$ , markazlashtiruvchi shayba, ilgich va diffuzordagi mexanik yo'qolish qarshiligi  $r_2$ , hamda nurlanish qarshiligi  $r_{nur}$ ) dan iborat tebranish tizimi deb hisoblash mumkin. Bu holda mexanik qarshilik

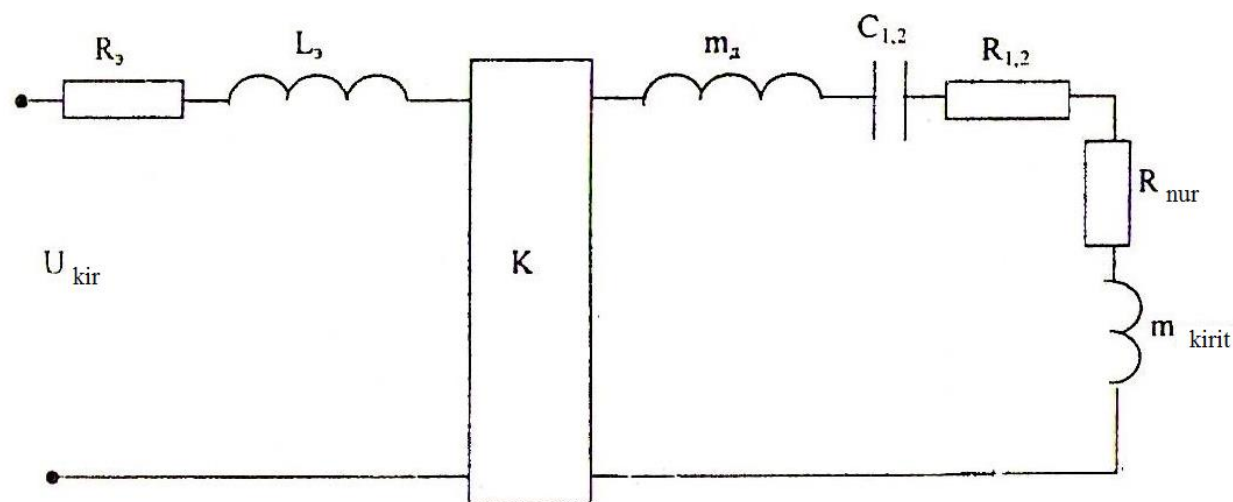
$$z_m = (r_1 + r_2 + r_{hyp}) + j\omega(m_d + m_{kir}) + \frac{1}{j\omega} \left( \frac{1}{C_1} + \frac{1}{C_2} + \frac{1}{C_3} \right) = r_m + j\omega m + \frac{1}{j\omega C_M} \quad (6.11)$$

Diffuzor membrana kabi bukilmaligi uchun unga maxsus shakl beriladi. Diffuzor qattiqligini oshirish maqsadida u doirasimon yoki elliptik konus shaklida yasaladi. Shunga qaramasdan yuqori chastotalarda diffuzor membrana kabi tebranadi, ya'ni to'lqin diffuzor markazidan uning chetiga tomon tarqaladi. Shuning uchun mexanik tebranish tizimini past va o'rta chastotalar uchun parametrlari mujassamlangan tizim sifatida va yuqori chastotalar uchun parametrlari tarqoq tizim sifatida alohida-alohida ko'rish lozim.

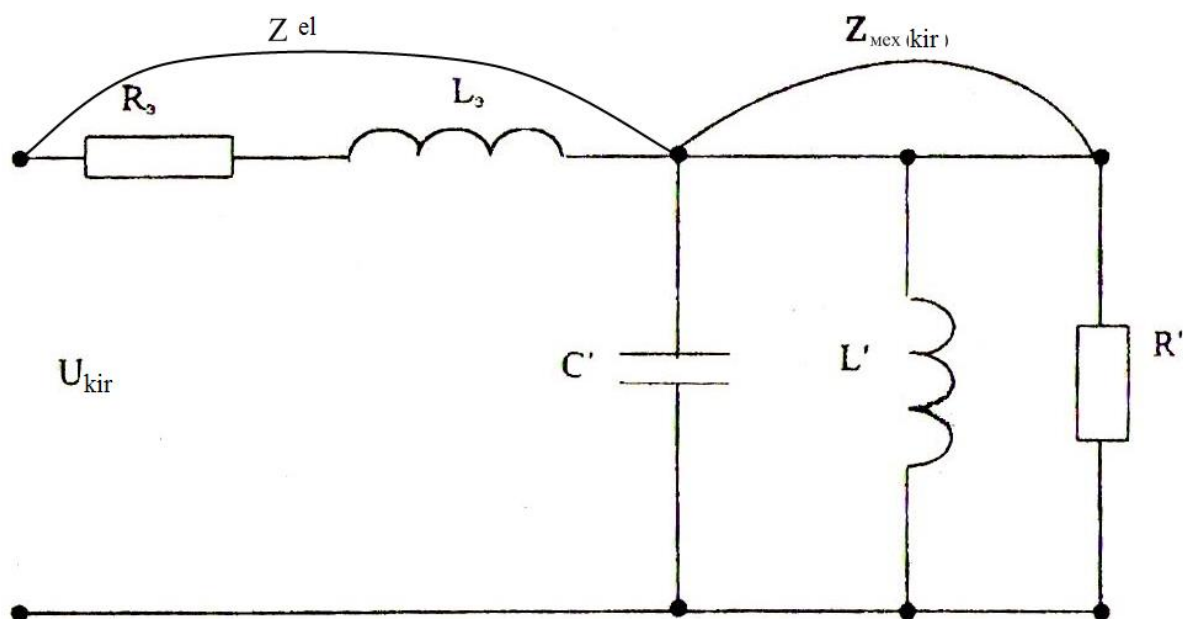
Radiokarnayning elektr kirish qarshiligi  $Z_{EK}$  g'altakning xususiy  $Z_G$  va  $Z_{kir}$  kiritilgan qarshiliklar yig'indisi bilan aniqlanadi, ya'ni;

$$Z_{ek} = Z_g + Z_{kir} \quad (6.12)$$

Radiokarnayning xususiy qarshiligi g'altakning aktiv  $R_e$  va induktiv  $L_e$  qarshiliklardan iborat. Kiritilgan qarshilik esa, to'la mexanik qarshilik  $z_m$  va elektromexanik bog'lanish koeffitsienti  $K_{e.m.b} = \sqrt{l}$  bilan aniqlanadi. 6.12 - rasmda elektrodinamik radiokarnayning kirish qarshiligi sxemalari keltirilgan.



a)



b)

6.12- rasm. Diffuzorli elektrodinamik radiokarnayning kirish qarshiligi sxemalari: a) elektromexanik o'xshashlik sxemasi; b) elektr ekvivalent sxemasi

6.12 b-rasmdan kiritilgan qarshilik:

$$Z_{\text{kir}} = B^2 \ell^2 / Z_M = B^2 \ell^2 / \left( r_M + j\omega m + \frac{1}{j\omega C_M} \right) \quad (6.13)$$

Kiritilgan qarshilikni kiritilgan o'tkazuvchanlik bilan almashtiramiz:

$$\frac{1}{Z_{\text{kir}}} = Y_{\text{kir}} = \frac{r_M}{B^2 \ell^2} + \frac{j\omega m}{B^2 \ell^2} + \frac{1}{j\omega C_M B^2 \ell^2} \quad (6.14)$$

Quyidagi belgilanishni kiritamiz:

$$R' = B^2 \ell^2 r_i ; C' = mB^2 \ell^2 \text{ va } L' = C_1 B^2 \ell^2 \quad (6.15)$$

Bu holda, umumiy o'tkazuvchanlik

$$Y_{\text{kur}} = \frac{1}{R'} + j\omega C' + \frac{1}{j\omega L'} \quad (6.16)$$

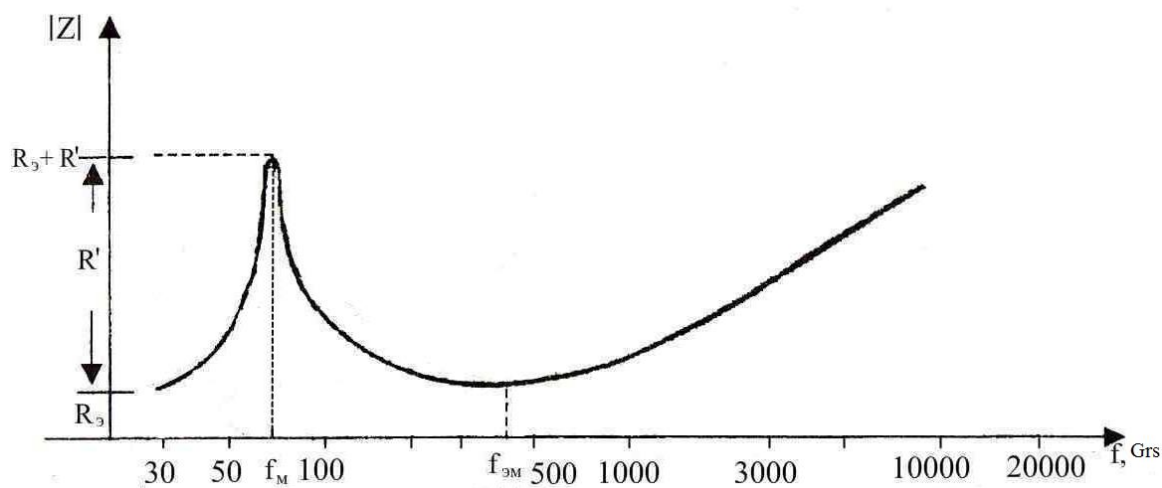
Uchta o'tkazuvchanlik  $R'$ ,  $S'$  va  $L'$  parallel ulangan. Shuni aytib o'tish kerakki, elektr - ekvivalent sxemada inersion qarshilik sig'im ekvivalentiga mos, egiluvchanlik qarshiligi induktiv ekvivalentiga mos.

Radiokarnay kirishidagi signal chastotasi  $f = 0$  bo'lganda uning to'la kirish qarshiligi moduli  $|Z| = R_e$  ga teng. Chastota oshgan sari radiokarnay mexanik qismining induktiv qarshiligi oshaboradi, radiokarnay diffuzorining tebranish amplitudasi ham oshadi va mexanik rezonans sodir bo'ladi.

Mexanik tizimning rezonans chastotasi parallel kontur elementlari bilan aniqlanadi, ya'ni:  $f_m = \frac{1}{2\pi} \sqrt{L'C'}$ . Bu chastotada radiokarnay diffuzori maksimal amplituda bilan tebranib, uning to'la kirish qarshiligi moduli maksimum qiymatga ega bo'ladi, ya'ni tovush g'altagining aktiv va kiritilgan reaktiv qarshiliklari yig'indisiga teng

$$|Z| = R_e + R' \quad (6.17)$$

6.13 – rasmga qarang.



### 6.13 - rasm. Elektrodinamik radiokarnay to‘la kirish qarshiligi modulining chastotaga bog‘liqlik grafigi

Mexanik rezonans chastotasidan yuqori chastotalarda g‘altaknint to‘la kirish qarshiligi moduli qiymati radiokarnay mexanik qismining elastikligi oshishi hisobiga radiokarnay aktiv qarshiligi qiymatigacha kamayadi va 150 ÷ 400Gs chastotalarda ketma - ket  $S' L_e$  elementlar rezonansi sodir bo‘ladi,

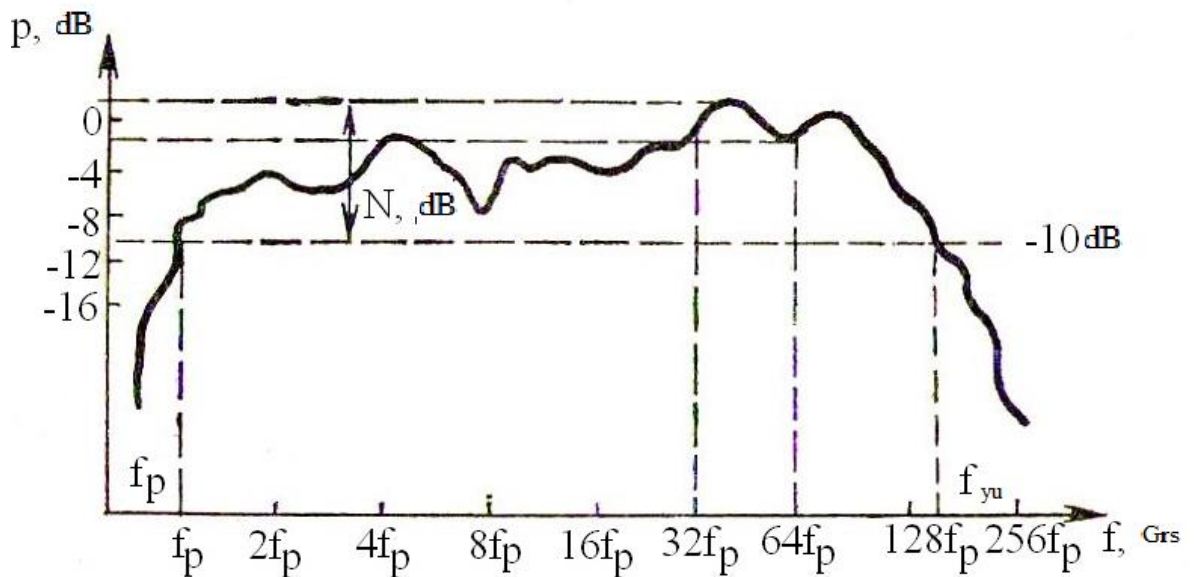
$$f_{em} = \frac{1}{2\pi} \sqrt{L_e C'} \quad (6.18)$$

bu chastota - **elektromexanik rezonans chastotasi** deyiladi. Elektromexanik rezonans chastotada radiokarnayning to‘la kirish qarshiligi moduli qiymati minimal  $R_e$  qiymatgacha kamayadi, ammo undan kichik bo‘lmaydi.

Elektromexanik chastotadan yuqori chastotalarda  $L_e$  oshishi hisobiga to‘la kirish qarshiligi moduli oshadi, 6.13 - rasm.

Rasmdan ko‘rinib turibdiki, mexanik rezonans radiokarnay sezgirligi noxiziqiligini oshiradi, mexanik rezonansdan pastki chastotalarda esa, uning sezgirligi keskin pasayadi.

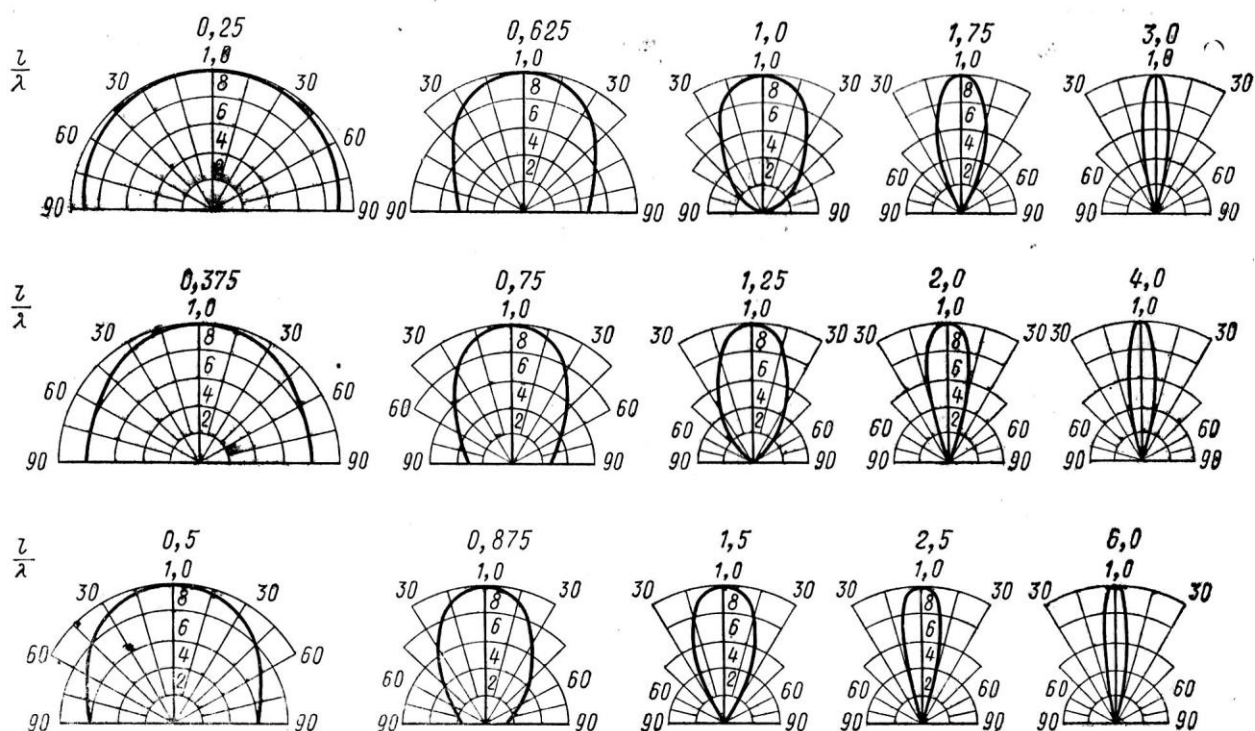
Radiokanay sezgirligi qo‘zg‘aluvchi tizim massasiga bog‘liq bo‘lganligi tufayli, mexanik rezonans chastotasini pasaytirish uchun diffuzorning egiluvchanligini oshirish zarur. Bu yo‘l bilan sezgirlikni oshirish diffuzor tebranishidagi barqarorlikning buzilishi bilan cheklanadi. Demak, signalni uzatish pastki chastota diapazoni 50÷60 Gs dan past bo‘lmas ekan, ko‘pchilik hollarda bu ko‘rsatgich 70÷80 Gs ni tashkil etadi. 6.14 - rasmda diffuzorli elektrodinamik radiokarnay sezgirligining chastotaviy tavsifi keltirilgan. Yuqori chastotalarda radiokarnay sezgirlik xarakteristikasida juda ko‘p cho‘qqi va cho‘kmalar paydo bo‘ladi.



6.14 - rasm. Diffuzorli elektrodinamik radiokarnay sezgirligining chastotaviy xarakteristikasi

Odam eshitish a'zosi katta inersionlikka ega bo'lganligi tufayligina, bu cho'qqi va cho'kmalarni sezmaydi. Yuqori chastotalarda radiokarnay sezgirligini tovush g'altagi induktivligini kamaytirish yo'li bilan, masalan, Fuko toklari yordamida oshirish mumkin. Buning uchun magnet o'zakka halqasimon qalpoqcha kiygiziladi. Radiokarnaylarning yo'nalganlik diagrammasi, mikrofonlardek xarakteristika va yo'nalganlik diagrammasi, ya'ni akustik o'q va turli yo'nalishdagi nurlatish burchagiga bog'liqligi bilan baholanadi. 6.15-rasmda nurlatgichlarning turli o'lcham nisbatlari va tovush to'lqin uzunligi uchun yo'nalganlik diagrammalari keltirilgan.





6.15-rasm

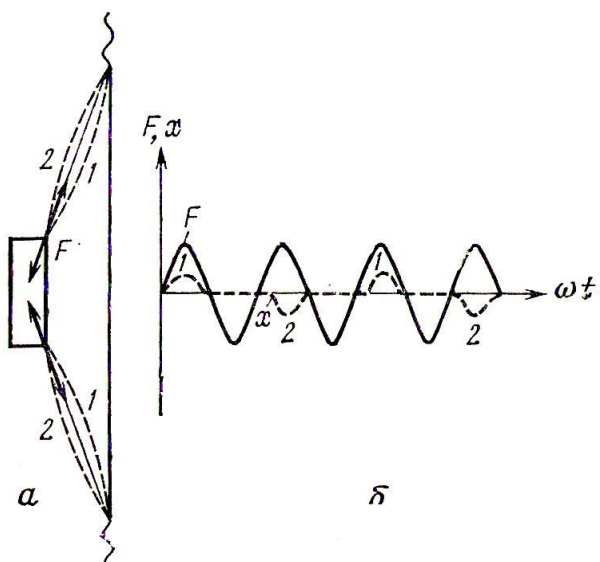
## 6.5. Elektrodinamik radiokarnaylarda nochiziqli buzilishlar

To'g'ridan - to'g'ri nurlatuvchi radiokarnaylarda nochiziqli buzilishlarning asosiy sababi, diffuzor ilgichning nochiziqli elastikligi va ishchi tirqishdagi magnit maydonning o'qi bo'yicha nojinsiligi. Past chastotalarda konus katta amplituda bilan siljiydi, natijada tashqi gardish va markazlashtiruvchi shayba rivojlantirayotgan elastik kuch ilgichning elastik deformatsiyasiga nisbatan tezroq oshadi. Buning natijasida paydo bo'ladigan nochiziqli buzilishlar simmetrik bo'lib, 400 Gs chastotali nominal quvvatda garmonikalar koeffitsienti 3- 4% tashkil etib, past chastota tomon oshib boradi. Ishchi tirqishdagi magnit maydonning bir jinsli emasligi bilan bog'liq bo'lgan buzilishlar tovush g'altagi egallagan uzunligidagi magnit maydoni induksiyasi  $V$  belgilaydigan elektromexanik bog'lanish koeffitsienti ( $VI$ ) bilan belgilanadi. Agarda, magnit maydoni o'q bo'yicha bir jinsli bo'lmasdan tirqish qirralari tomon kamaysa, siljish tizimi o'rtacha holatidan u yoki bu tomonga siljiganda, tovush g'altagi bilan ilashgan maydon induksiyasi kamayadi, mos holda elektromexanik bog'lanish koeffitsienti ham kamayadi. Bu holat keltirib chiqaradigan sinusoidal signalning buzilishi juda ham kam. Agarda radiokarnay bir vaqtda ikkita signalni nurlatsa: g'altak past

chastotada katta amplituda bilan, yuqori chastotada kichik amplituda bilan qo‘zg‘alsa, unda ahvol bir muncha o‘zgaradi. Amplituda bo‘yicha modulyatsiyalangan past chastota tebranishlari elektromexanik bog‘lanish koeffitsientini o‘zgartiradi. Bu eshittirish signali spektrida nohiziqli buzilishlarga olib keladi. Nohiziqli buzilishlarning boshqa bir sababi, radiokarnay diffuzori katta amplituda bilan tebranganda tebranishlarda eshittirish kallagi siljish tizimini mustahkamlash elastikligining o‘zgarishidir. Nohiziqli buzilishlarning uchinchi sababi, diffuzor konusining parametrik tebranishi.

G‘altak o‘ng tomonga elektrodinamik kuch  $F$  ta‘sirida siljiganda diffuzor konusi asosi siqiladi, natijada u egiladi. Faraz qilaylik, g‘altakdagi tokning birinchi (musbat) yarim davrida konus ichki tomonga egildi (6.16-rasm, 1 holat). Ikkinchi yarim davrida esa, kuch  $F$  ning yo‘nalishi teskari tomonga o‘zgaradi, g‘altak esa chap tomonga siljiydi, natijada konus asosi tashqi tomonga siljib uzayadi. Keyingi yarim davrda yana, konus asosining siqilishi kuzatiladi, konus endi tashqi tomonga egiladi, chunki uzayishdan so‘ng uning o‘rtasi inersiya bo‘yicha statsionar holatidan o‘tib ketadi.

Keyingi uzayishdan so‘ng konus yana ichki tomonga egiladi va h.k (6.16-rasm).

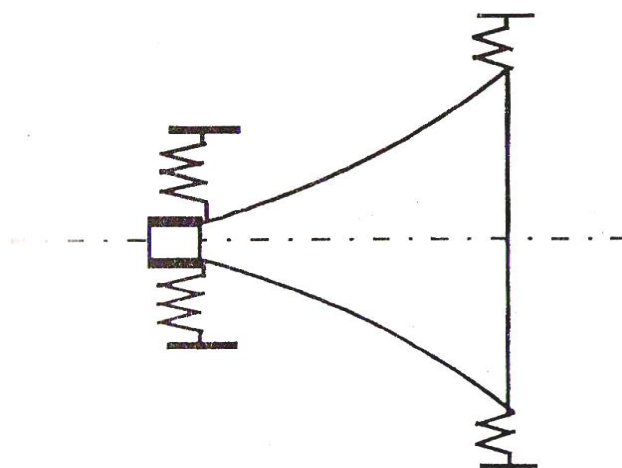


6.16-rasm. Radiokarnay diffuzor ushlagichdagi parametrik tebranishlar

Shunday qilib, g'altakdagi tokning ikki davrida diffuzor asosi ko'ndalang bir davr tebranadi, ya'ni tebranishlar subgarmonikalarda bo'ladi.

Akustik signal spektrida chastotalari g'altakdagi tok chastotasidan ikki marta kichik spektr tarkiblari paydo bo'ladi. Bu eshittirilayotgan tovushdan keskin ajraladigan tinglovchilarga titroq sifatida eshitaladigan qo'shimcha tovushlar paydo bo'ladi (6.16b-rasm).

Bunday buzilishlarni yo'qotish yoki kamaytirish maqsadida konus asosi bukiladi. Asosi bukilgan diffuzor ko'ndalang siqilganda, u bukilgan tomonga egiladi (6.17-rasm).



6.17-rasm. Diffuzor asosi bukilgan radiokarnay

## 6.6. Elektrodinamik radiokarnaylarda chastotaviy buzilishlar

Chastotaviy buzilishlar asosan past chastotalarda, akustik qisqa tutashuv natijasida ro'y beradi. 6.4 - rasmda  $f_1$  chastotagacha kallak nurlanmasligi ko'rsatilgan. Teskari to'lqin kallakni aylanib o'tib uni butunlay so'ndiradi, chunki ularning fazalari bir-birlariga teskari. Akustik qisqa tutashuvni yo'qotish yoki kamaytirish maqsadida, kallaklarni maxsus yopiq yashik, ekran yoki fazainvertoriga o'rnatib akustik jihozlaydilar. Ammo, har qanday akustik jihozlashda ham radiokarnayning pastki chastota diapazoni kallakning mexanik rezonansi  $\omega_0$  bilan cheklangan. Pastki chastotalarni yaxshi eshittirish uchun rezonans chastotasi  $\omega_0 = \frac{1}{\sqrt{mc_0}}$  pasaytirish kerak. Rezonans chastotani

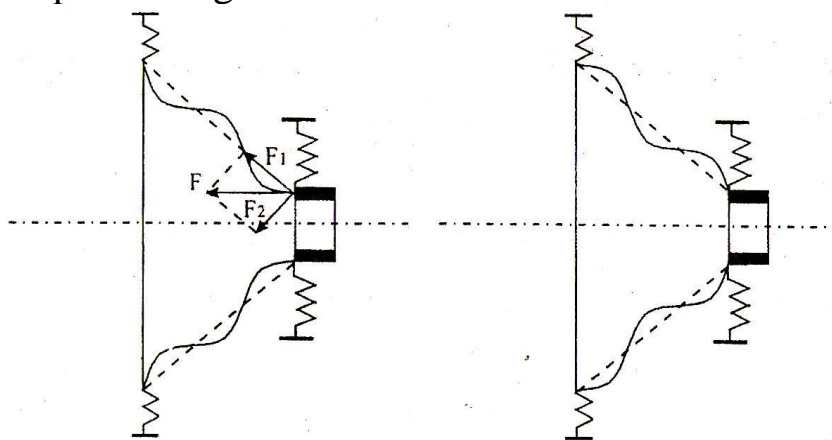
qo'zg'aluvchi tizim massasi  $m$  oshirish hisobiga kamaytirish samara bermaydi, chunki bu usul kallak sezgirligini pasayishiga olib keladi. Shuning uchun, rezonans chastotani pasaytirish uchun

markazlashtiruvchi shayba va diffuzorning yuqori uchidagi gofri elastikligini oshirish kerak. Elastiklikni oshirish qo'zg'aluvchi tizimning ishlash barqarorligiga bog'liq. Barqarorlikning buzilishi natijasida tovush g'altagi gorizontaal siljib, tirqish devorlariga ishqalanishi mumkin. Bu buzilishlarga sabab bo'ladi. Keng polosali kallaklarda mexanik rezonans chastotasi  $60 \div 80 \text{Gs}$ , past chastotali kallaklarda esa  $20 \div 50 \text{Gs}$  ni tashkil etadi.

Diffuzor qattiq porshen kabi ishlaydi g'oyasi faqat past va qisman o'rta chastotalarda haqli, yuqori chastotalarda esa, uning qattiqligi kamayib, bir necha nurlanuvchi zonalarga bo'linadi. Agar, elektrodinamik g'altakning akustik o'qi bo'yicha berilgan  $F$  kuch 6.18-rasmda ko'rsatilganidek ikkita:

- $F_1$  kuch diffuzor bo'ylab (bo'lama);
- $F_2$  kuch diffuzorga to'g'ri burchak ostida ko'ndalang tarkibga ajratilishi mumkin.

Diffuzor  $F_1$  kuch ta'sirida cho'ziladi va siqiladi, natijada diffuzor ichki va tashqi tomonlarga bukiladi. Bunday bukilish natijasida nochiziqli buzilishlar paydo bo'ladi. Agar tebranish chastotasi past bo'lsa, unda to'lqin uzunligi diffuzor o'lchamidan ancha katta.



6.18 - rasm. Diffuzorning sirt yuza chizig'ida ko'ndalang to'lqinlarning paydo bo'lishiga oid

IIIuning uchun diffuzorning barcha nuqtalari bir xil amplituda va fazada tebranadi, ya'ni diffuzor bir butun porshen kabi tebranadi, tebranish chastotasi yuqori bo'lsa diffuzor yuzasidagi nuqtalar turli amplituda va fazada tebranadi.

Diffuzor yuzasi teskari fazada doirasimon tebranayotgan bir necha zonalarga bo'linadi. Bunday chastotalarda nurlatayotgan akustik quvvat teskari fazalarda tebranayotgan zonalar yuzasi va soniga bog'liq bo'ladi.

Shuni aytish kerakki, bir zona nurlatayotgan tebranishlarni ikkinchi zona tebranishlari u yoki bu darajada soʻndiradi. Bu kallak tavsifning yuqori chastotalarida bir qator choʻqqi va choʻkmalar paydo boʻlishiga olib keladi

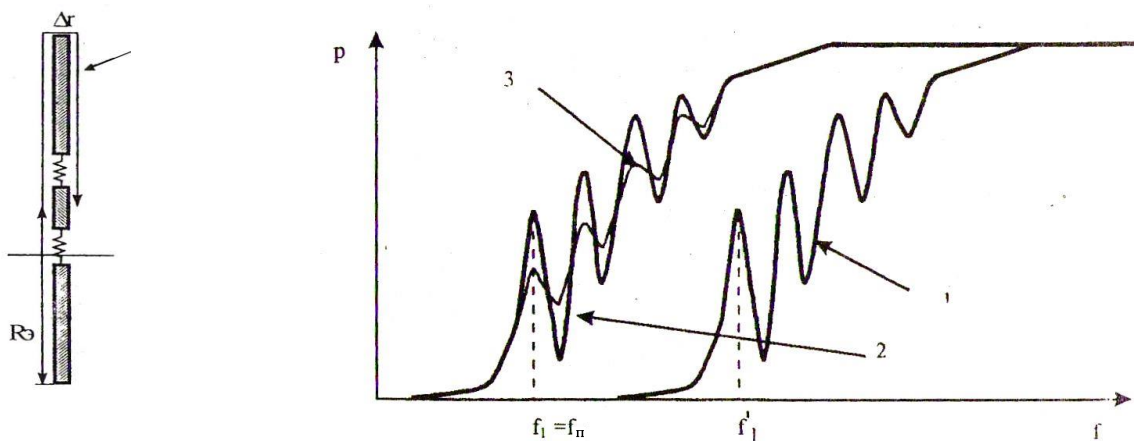
Yuqori chastotalarda chastota buzilishning yana bir sababi elektromexanik rezonans chastotada tovush gʻaltagining induktiv qarshiligi oshadi, natija-da kallakning toʻla kirish qarshiligi  $Z_{kir}$  ham oshadi.  $Z_{kir}$  oshsa kallakni taʼminlayotgan quvvat kamayadi, demak akustik quvvat ham kamayadi. Shunday qilib, oʻrtacha oʻlchamdagi elektrodinamik radiokarnay 500÷800 Gs dan to 5000÷6000 Gs gacha boʻlgan diapazonda ishlay oladi, bu chastota diapazoni yuqori sifatli eshittirishlarni taʼminlay olmaydi.

### 6.7. Toʻgʻridan-toʻgʻri nurlatuvchi radiokarnaylarning chastota diapazonini kengaytirish usullari

**Pastki chastotalar oblasti.** Yuqorida aytib oʻtilganidek, pastki chastotalarda boʻladigan buzilishlarning asosiy sababi akustik qisqa tutashuv. U bilan kurashish maqsadida radiokarnaylar turlicha akustik jihozlanadi. Ulardan ayrimlarini koʻrib chiqamiz.

**Akustik ekran.** Bu turdagi akustik jihozlash maʼlum oʻlchamdagi shit boʻlib, unga nurlatuvchi kallak oʻrnatilgan (6.18-rasm). Bunday ekranning qoʻllanilish gʻoyasi shundaki, uning yordamida teskari toʻlqin yoʻli  $\Delta g$  shunday oshirish kerakki, birinchi tebranish ( $f_1$  chastota, 6.4-rasm) ishchi diapazonning pastki chastotasi  $f_p$  da boʻlsin. Shunda 6.20 - rasmda keltirilgan chastota tavsifi grafigi (1 egri chiziq), past chastotalar tomon chapga siljib  $f_p$  va  $f_1$  mos tushadi.

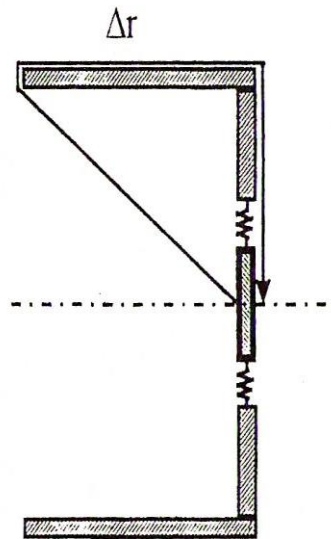
6.19-rasm. Nurlatuvchi kallak ekranga joylashtirilgan



6.20-rasm. Nurlatuvchi kallakning chastota tavsiflari:

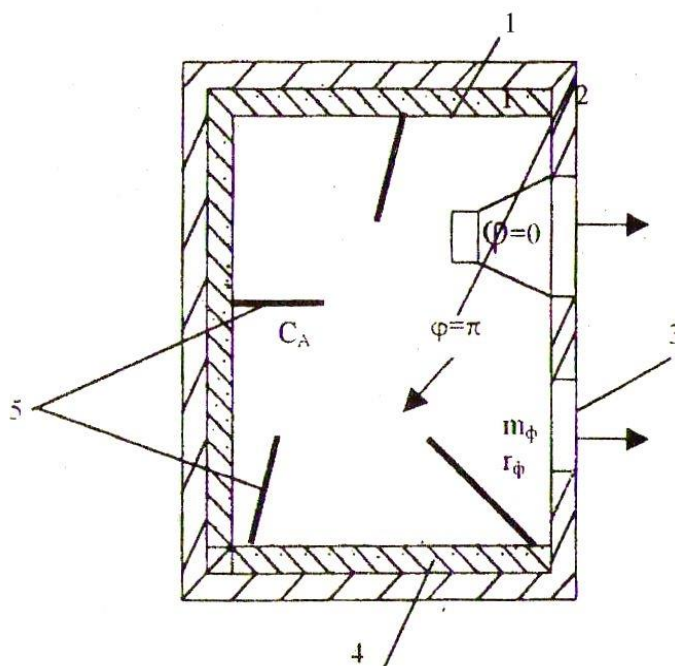
1- ekransiz; 2- kallak simmetrik ekranda;3-kallak nosimmetrik ekranda

Aytaylik, 50 Gs chastotani samarali nurlatish uchun dumaloq ekran radiusi  $R_e = \lambda/4 = 6,8/4 = 1,7$  m teng bo'lishi kerak. Tabiiyki bunday o'lcham o'ta noqulay. Shuning uchun, kichik o'lchamli ekranlar qo'llaniladi. Ekranlarning o'lchamini kichraytirish maqsadida uning orqasi ochiq quti sifatida bajariladi 6.21-rasm. Bunday ekranlarga televizor va radioqabulqilgich qutilari kiradi.



6.21-rasm. Radiokarnay simmetrik ekranda

**Fazainvertor.** Pastki chastotalarda - radiokarnay sezgirligini fazainvertor yordamida oshirish mumkin. Fazainvertor 6.22- rasm, maxsus o'lchamli quti 1 bo'lib, unga radiokarnay 2 o'rnatilgan, qutining old tomonida radiokarnay yuzasiga teng teshik 3 bor, nurlatgichning orqa tomonga nurlatayotgan to'lqinlari tashqariga shu teshikdan chiqadi. Qutining hajmi va teshigi parallel ulangan quti egiluvchanligi  $S_q$ , massasi  $m_f$  va qarshilik  $r_f$  iborat rezonatorni tashkil etadi, 6.23a - rasm.

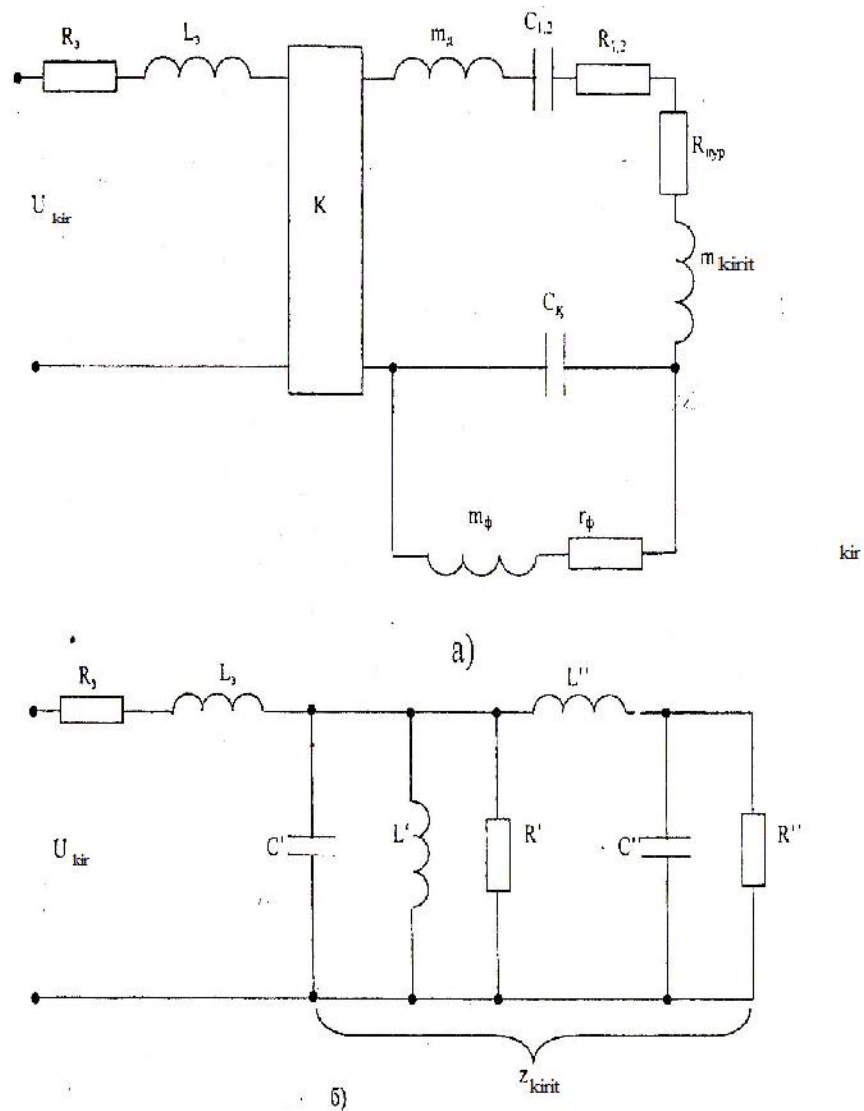


6.22- rasm. El. dinamik radiokarnay fazainvertorda: 1- quti; 2- radiokarnay; 3- invertor tirqishi; 4-tovush soʻndiruvchi materiallardan ichki qoplama; 5-toʻsiqlar.

$m_f$  - tashqi muhit bilan birgalikda tebranayotgan quti teshigidagi havo massasi,  $g_f$  - aktiv qarshilik, bu qarshilik quti ichidagi havo massasini, quti teshigi devorlariga ishqalanish va nurlanish qarshiligini oʻz ichiga oladi.

Qutining ichki devorlari soʻndiruvchi materiallar bilan qoplanadi. Radiokarnay old nurlanish fazasini fazainvertori tirqishidan chiqayotgan nurlatish fazasiga moslash maqsadida quti devorlariga maxsus toʻsiqlar oʻrnatiladi. Bunday rezonator chastotasini qoʻzgʻaluvchi tizimning mexanik rezonans chastotasi  $\omega_m$  teng tanlaydilar. Natijada, ikkita ketma - ket rezonansli ( $m_d + m_{kir}$ );  $C_{1,2}$  ( $r_{1,2} + R_{nur}$ ) va parallel  $S_q$ ,  $m_f, r_f$  elementlardan iborat mexanik rezonans tizimiga ega boʻlamiz (6.22a-rasm).

6.22b-rasmda radiokarnay elektr kirish qismiga keltirilgan ekvivalent sxema koʻrsatilgan. Bu sxemani 6.12b - rasm bilan solishtirganda qoʻshimcha  $L'' = B^2 \ell^2 C_q$ ,  $S'' = m_f / V^2 \ell^2$  va  $R''_f = V^2 \ell^2 / g_f$ , zvenolar paydo boʻlganligini koʻramiz. 6.23 - rasmda fazainvertorisiz va fazainvertoridagi elektrodinamik radiokarnayning toʻla kirish qarshiligi modulining chastota tavsiflari keltirilgan.



6.23- rasm. Fazainvertordagi radiokarnayning kirish qarshiligi o'xshashlik sxemalari: a) elektromexanik sxemasi; b) elektr-ekvivalent sxemasi

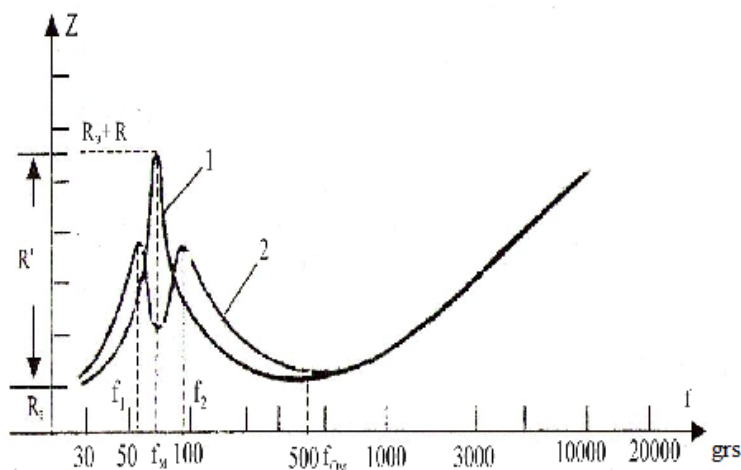
Radiokarnay fazainvertoriga joylashtirilganda, uning to'la kirish qarshiligi modulining chastota tavsifi ikki urkachli egri chiziq ko'rinishida bo'ladi, ya'ni radiokarnay mexanik chastota rezonansidan pastda  $f_1$  va undan yuqori  $f_{el.mex}$  chastotalarda ikkita cho'qqi hosil bo'ladi.

Shuning uchun radiokarnay kirish qarshiligi mexanik rezonansida cho'kma va undan past va yuqori chastotalarda esa, ikkita cho'qqi paydo bo'ladi, 6.24-rasmdagi 2 egri chiziq.

Pastki  $f_1 < f_{mex}$  rezonans qo'zg'aluvchi tizimning  $S_{1,2}$  egiluvchanligi va  $m_f$  massasi bilan, yuqori  $f_{el.mex} > f_{mex}$  esa, qo'zg'aluvchi tizimning barcha massasi  $m$  va qutidagi havo egiluvchanligi  $S_q$  bilan aniqlanadi. Rezonansning  $f_1$  chastotada paydo bo'lishi uzatish diapazoni pastki



chegarasini bir muncha kengaytiradi. Bundan tashqari,  $f_{el.mex}$  rezonans chastotada quti teshigidagi tebranish fazasi quti yuzasidagi diffuzor tebranishi fazasi bilan mos bo'ladi, ya'ni invertor fazani  $180^\circ$  buradi, diffuzorning old va orqa tomonlaridagi nurlanuvchi to'liq fazalari  $180^\circ$  farqlanadi.



6.24 - rasm. Radiokarnayning to'la kirish qarshiligi modulining chastota tavsifi: 1 fazainvertorisiz; 2- fazainvertorda

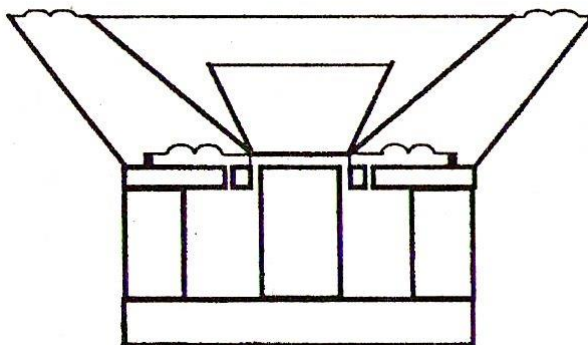
Buning natijasida diffuzorning orqa tomonga nurlanishi old nurlanishga qo'shiladi. Mexanik chastota rezonansida invertor fazani faqat  $90^\circ$  buradi, shuning uchun orqa tomonga nurlanish energiyasi old tomon nurlanishiga ozroq qo'shiladi,  $f_1$  chastotada esa umuman qo'shilmaydi. Shuning uchun **fazainvertor radnokarnayning standart bosimini mexanik rezonansdan past ( $f_0 < f < f_1$ ) chastotalarda 3÷5 dB oshiradi.**

Diffuzorli radiokarnaylarning foydali ish koeffitsienti mexanik tizimi qarshiligi havoning akustik qarshiligi bilan moslashmaganligi tufayli juda kichik,  $\eta = 0,3 \div 0,7\%$  xolos.

Radiokarnay sezgirligi chastota xarakteristikasi notekisligini kamaytirish, foydali ish koeffitsienti oshirishning bir necha usullari mavjud, ulardan: ikki diffuzorli radiokarnay, ruporli konstruksiya, seksiyalangan rupor, tovush kolonkalari, past, o'rta va yuqori chastota polosali filtrlardan foydalanish, tovush g'altagini dempferlash va boshqa usullari mavjudki, ularni qo'llash natijasida radiokarnay texnik ko'rsatgichlari bir muncha yaxshilanadi.

**Yuqori chastotalar oblasti. Ikki konusli kallaklar.** Yuqori chastotalarda ishchi chastota diapazonini kengaytirish maqsadida ikki konusli kallaklar qo'llaniladi (6.25-rasm). Kichik diffuzorga maxsus

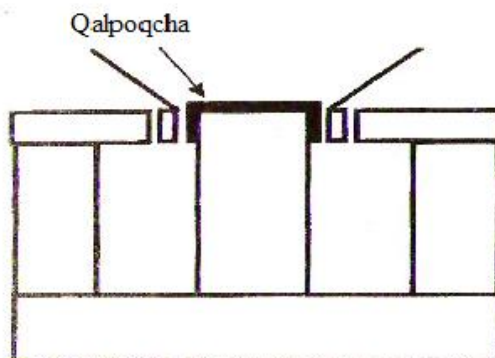
ishlov berilishi va konus burchagining kichikligi tufayli uning konstruksiyasi qattiq. Past chastotalarda ikkala konus bir butundek ishlaydi  $600 \div 1000$  Gs boshlab yuqori chastotalarda katta diffuzor yuzasi sekin - asta zonalarga bo'linib, kichik amplitudada tebrana boshlaydi. Eng yuqori chastotalarda katta diffuzorning tovush g'altagiga yaqin zonalari samarali qo'zg'alaboshlaydi va qo'g'alish sekin-asta yuqori chastotali (kichik) diffuzorga o'tadi.



6.25-rasm. Qo'shimcha, yuqori chastota diffuzorli kallak

Shunday konstruksiya hisobiga samarali nurlanish chastota diapazonini  $12 \div 15$  kGs gacha kengaytirish mumkin.

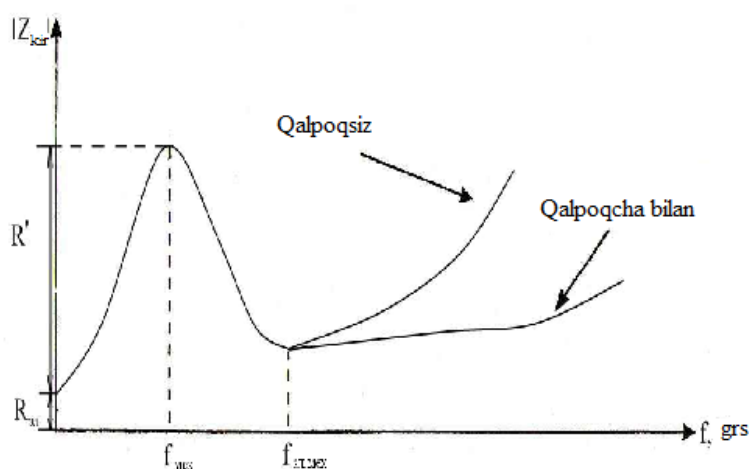
**Tovush g'altagi induktiv qarshiligini kompensatsiyalash.** Tovush g'altagining induktiv qarshiligi oshishi effektining oldini olish maqsadida, kernning yuqori qismiga misdan yasalgan qalpoqcha kiygiziladi (6.26-rasm). Qisqa tutashgan qalpoqcha tovush g'altagi bilan induktiv bog'langan. Qalpoqchada ilashgan o'zgaruvchan tok hosil qilgan magnit oqimi tovush g'altagi toki hosil qilgan magnit oqimiga qarama - qarshi yo'naltirilgan. Bu tovush g'altagi induktivligini kamayishiga ekvivalentdir. Past chastotalarda o'zaro induksiyaning elektr yurituvchi kuchi kichik va qalpoqcha, g'altak qarshiligiga qech qanday ta'sir ko'rsatmaydi.



6.26-rasm. Kern uchidagi qalpoqcha

Chastota oshishi bilan o‘zaro induksiya EYuK ortadi, qalpoqcha hosil qilayotgan magnet oqimi ham oshadi. Natijada, tovush g‘altagining induktiv qarshiligi yezilarli kamayadi. Kompensatsiyalovchi qalpoqchanning qo‘llanilishi tovush bosimini 2 kGs boshlab 5÷7 dB ga oshiradi.

Kallakning kirish qarshiligi chastota tavsifiga kompensatsiyalovchi qalpoqchanning ta’siri 6.27 - rasmda keltirilgan.



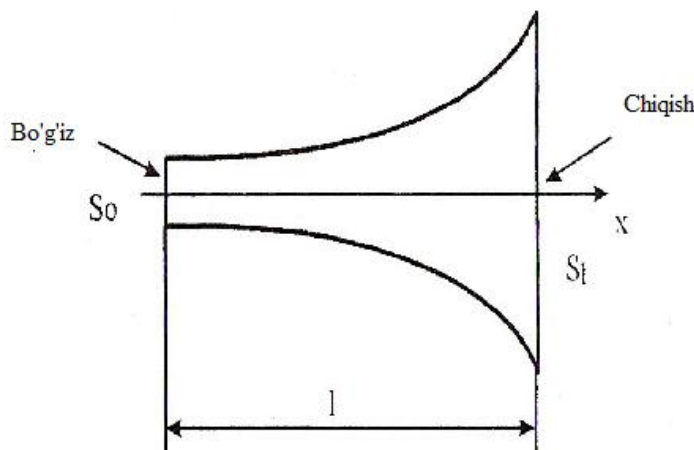
6.27 - rasm. Kallak kirish qarshiligining chastota tavsifiga kompensatsiyalovchi qalpoqchanning ta’siri

## 6.8. Ruporli radiokarnaylar

**Ruporning xususiyati va belgilanishi.** To‘g‘ridan - to‘g‘ri nurlatuvchi kallaklarning asosiy kamchiligi ularning foydali ish koeffitsientining kichikligi  $\eta = 0,3\div 0,7\%$  tashkil etadi xolos. Buning sababi, kallak siljuvchi tizimi mexanik qarshiligining yuklama qarshiligi

bilan moslashmaganligida. To'g'ridan - to'g'ri nurlatuvchi kallaklar kichik zal yoki xonalarda ishlaganda uning kichik FIK sezilmaydi, ammo katta zallarni, maydonlarni ovozlashtirganda katta quvvatli radiokarnaylar talab etiladi. Bunday vaziyatda katta FIK ega bo'lgan radiokarnaylar zarur. Bularga ruporli radiokarnaylar mos keladi. Rupor kallakning mexanik qarshiligini atrof muhit qarshiligi bilan moslashtiradigan qurilma.

**Rupor deb**, o'zgaruvchan kesimli qattiq trubaga aytiladi (6.28 - rasm).



6.28- rasm. Eksponensial rupor:  $S_0$  - rupor bo'g'izi yuzasi;  $S_1$  - ruporning chiqish yuzasi ;  $l$  - rupor uzunligi.

Ko'ndalang kesim qonuni bo'yicha o'zgaradigan turli ruporlar qo'llaniladi. Eng ko'p tarqalgani eksponensial ruporlardir, ularning ko'ndalang kesimi eksponensial qonun bo'yicha o'zgaradi

$$S = S_0 e^{\beta x} \quad (6.19)$$

$\beta = \frac{1}{S} \frac{dS}{dx}$  - uzunlik o'lchamiga ega bo'lib, ruporning kengayish ko'rsatkichi deb ataladi.

Eksponensial ruporda to'lqin tarqalishi faza tezligi  $V_\varphi$  chastota bilan quyidagicha bog'liq:

$$V_\varphi = \frac{c}{\sqrt{1 - \left(\frac{\beta c}{2\omega}\right)^2}} = \frac{c}{\sqrt{1 - \left(\frac{\omega_{kp}}{\omega}\right)^2}} \quad (6.20)$$

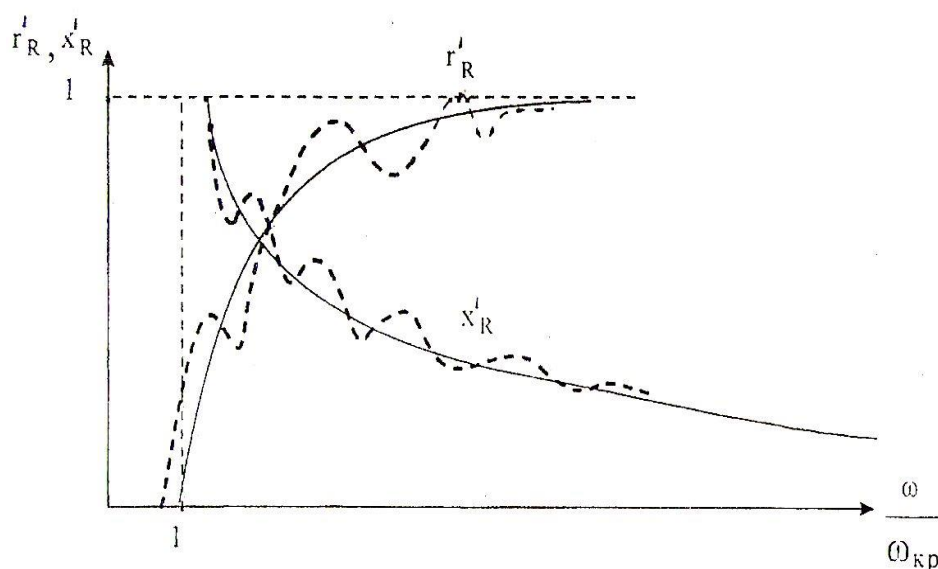
$\omega_{kp} = \frac{\beta c}{2}$  - ruporning kritik chastotasi;  $s$  - tovush tezligi.

Ruporda to‘lqin jarayoni  $\omega_{kr}$  kritik chastotalardan yuqori joylashgan chastotalardagina bo‘lishi mumkin, chunki  $\omega = \omega_{kr}$  bo‘lganda faza tezligi cheksiz bo‘ladi,  $\omega < \omega_{kr}$  bo‘lgan mavhumdir. Bu ruporda to‘lqin jarayoni bo‘lmasligini anglatadi, chunki muhit zarrachalari fazali tebranishda bo‘ladilar. Aslida rupordagi havo bir butundek tebranadi. Rupor bu chastotalarda atrof - muhitga energiya tarqatmaydi, aksincha uni mexanik tizimga qaytaradi. Chastota oshishi bilan ( $\omega > \omega_{kr}$ ) faza tezligi kamaya boradi va cheksiz muhitdagi tovush tezligiga yaqinlashadi.

Ruporning kirish qarshiligi quyidagicha aniqlanadi

$$z = r + jX = \rho c S_0 (r'_R + jX'_R) = \rho c S_0 \left( \sqrt{1 - \left( \frac{\omega_{kp}}{\omega} \right)^2} + j \frac{\omega_{kp}}{\omega} \right) \quad (6.21)$$

Cheksiz uzunlikdagi rupor kirish qarshiligi tarkiblarining chastota tavsifi 6.29 - rasmda keltirilgan.

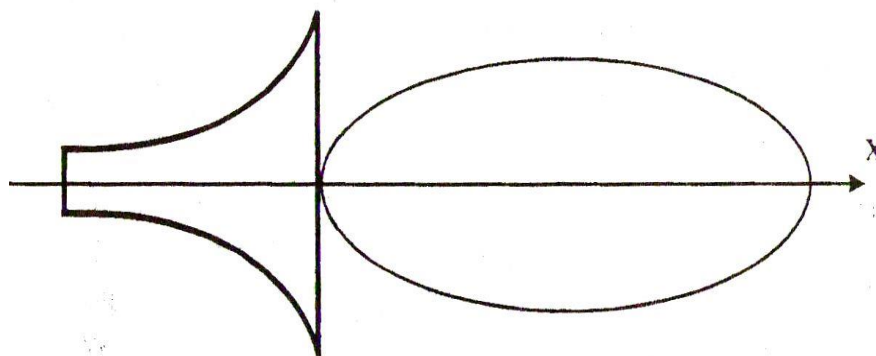


6.29- rasm. Cheksiz uzun va cheklangan uzunlikdagi (punktir) rupor kirish qarshiligining aktiv va reaktiv tarkibi chastota xarakteristikalarini

Rasmdan ko‘rinib turibdiki, kirish qarshiligining aktiv qismi reaktiv qismidan  $\sqrt{2} \omega_{kr}$  chastotadan boshlab osha boradi va rupor kallakni samarali yuklaydi, natijada, nurlanish ham samarali bo‘ladi.

Ruporning ajoyib xususiyatlaridan biri shundaki, u o‘z nurlanishini o‘qi bo‘yicha konsentratsiyalashi mumkin.

Kesimi doira shaklidagi ruporning yo‘nalganlik diagrammasi 6.30- rasmda ko‘rsatilgan.

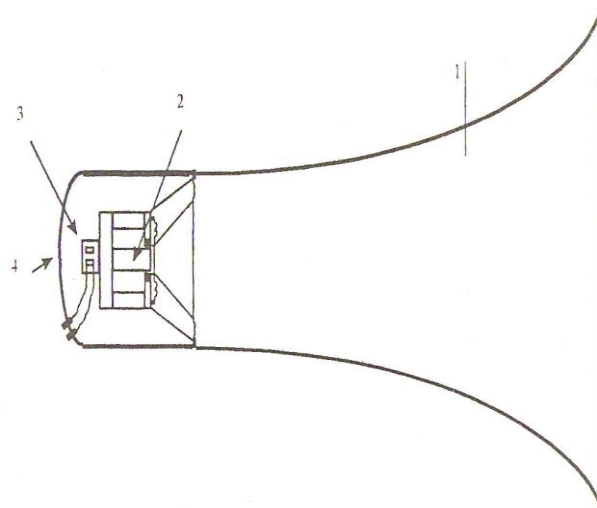


6.30-rasm. Kesimi doira shaklidagi ruporning yoʻnalganlik diagrammasi

Ruporning qoʻllanilishi nurlatgichning FIK keskin oshiradi va  $5\div 7$  % yetadi. Ruporli radiokarnaylar ikki turga boʻlinadi: keng va tor boʻgʻizli.

**Keng boʻgʻizli ruporli radiokarnaylar.** Bu turdagi konstruksiyalarda nurlatgich sifatida oddiy elektrodinamik radiokarnaylar qoʻllaniladi. Kirish yuzasi kallak konusi yuzasiga teng boʻlganligi uchun uni **keng boʻgʻizli** deb, ataydilar.

Akustik qisqa tutashuvni yoʻqotish maqsadida ruporning orqa tomoni qalpoqcha bilan berkitilgan. 6.31 - rasmda keng boʻgʻizli ruporli radiokarnay konstruksiyasi koʻrsatilgan.



6.31 - rasm. Keng boʻgʻizli ruporli radiokarnay konstruksiyasi: 1- rupor; 2 - elektrodinamik kallak; 3 - moslovchi transformator; 4 - qalpoqcha.

Qalpoqcha kallakni mexanik va atmosfera taʼsiridan saqlaydi. Moslovchi transformator kallakni uzatilishi kerak boʻlgan  $5\div 7$  voltini

ta'minlab beradi. Bunday radiokarnaylarning FIK 7÷10 % tashkil etadi. Uning chastota tavsifi kallak chastota tavsifi bilan belgilanadi. Samarali ishlash chastota diapazoni 150÷7000 Gs.

**Tor bo'g'izli ruporli radiokarnaylar.** Bunday turdagi konstruksiyalarda nurlatgich sifatida diafragma qattiq va yuzasi  $S_D$  rupor kirish yuzasi  $S_0$  dan anchagina katta bo'lgan kallak qo'llaniladi. Diafragma va rupor oralig'ida ruporoldi kamera mavjud va u akustik transformator rolini o'ynaydi. Ruporning to'la kirish qarshiligi  $Z_0 = \rho S_0 = r_0$  teng. Ishlash chastota diapazonida  $Z_0$  aktiv va  $r_0$  ga teng.

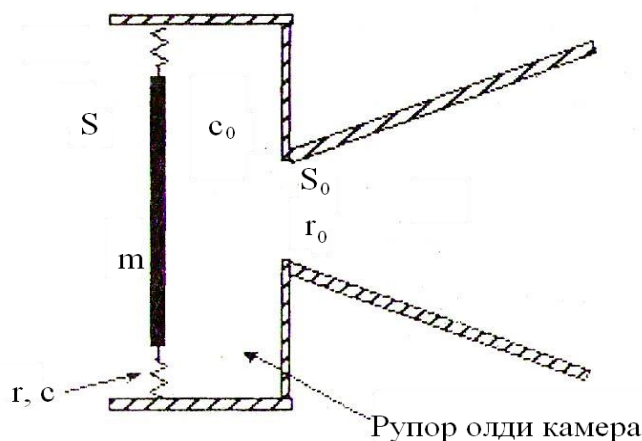
Ruporoldi kameraning transformatsiya koeffitsienti:  $n = \frac{S_D}{S_0} > 1$

Ruporning transformator orqali hisoblangan kirish qarshiligi:

$$r_0 = r_0 n^2 = \rho c S_0 \left( \frac{S_D}{S_0} \right)^2 = \rho c \frac{S_D^2}{S_0} \quad (6.22)$$

Tor bo'g'izli ruporli radiokarnaylarning FIK 15÷20% tashkil etadi.

6.32-rasmda tor bo'g'izli ruporli radiokarnay konstruksiyasi-ning kesimi ko'rsatilgan.



6.32 - rasm. Tor bo'g'izli ruporli radiokarnay konstruksiyasining kesimi:

$S_d$ - nurlatuvchi diafragma yuzasi;

$S_0$  - rupor bo'g'izi yuzasi;

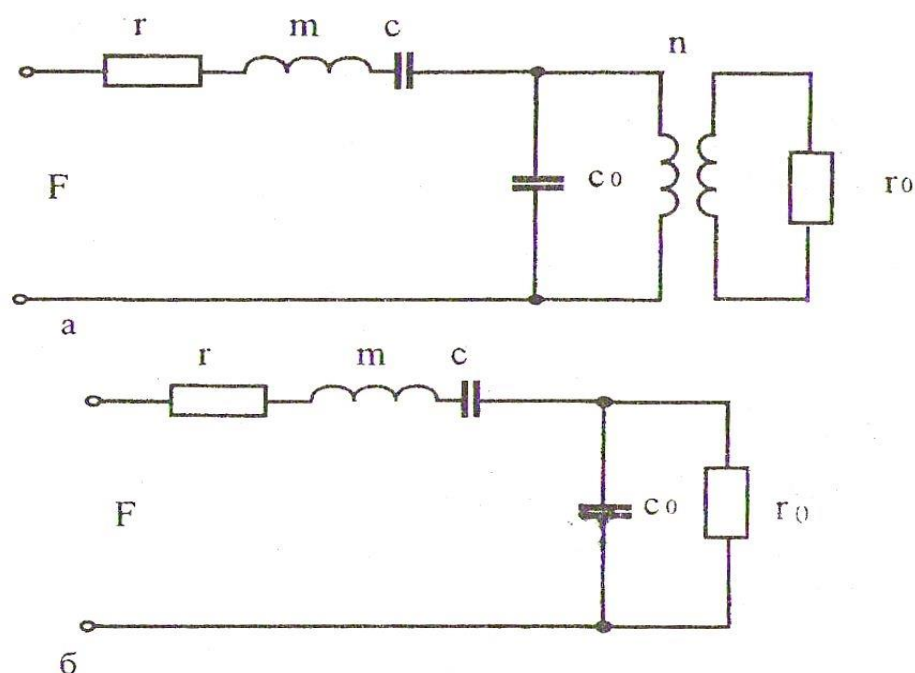
$S_0$ -ruporoldi kameradagi havoning elastikligi;

$r_0$  - ruporning kirish qarshiligi;

$m$ - diafragma massasi;

$r$ - yo'qotish qarshiligi;  $s$  – biriktirish elastikligi

6.33- rasmda kallakning siljish tizimi va ruporoldi kameraning elektr -ekvivalent sxemalari berilgan.



6.33-rasm. Tor bo‘g‘izli ruporli radiokarnayning elektr- ekvivalent sxemalari:

a - akustik transformator bilan;

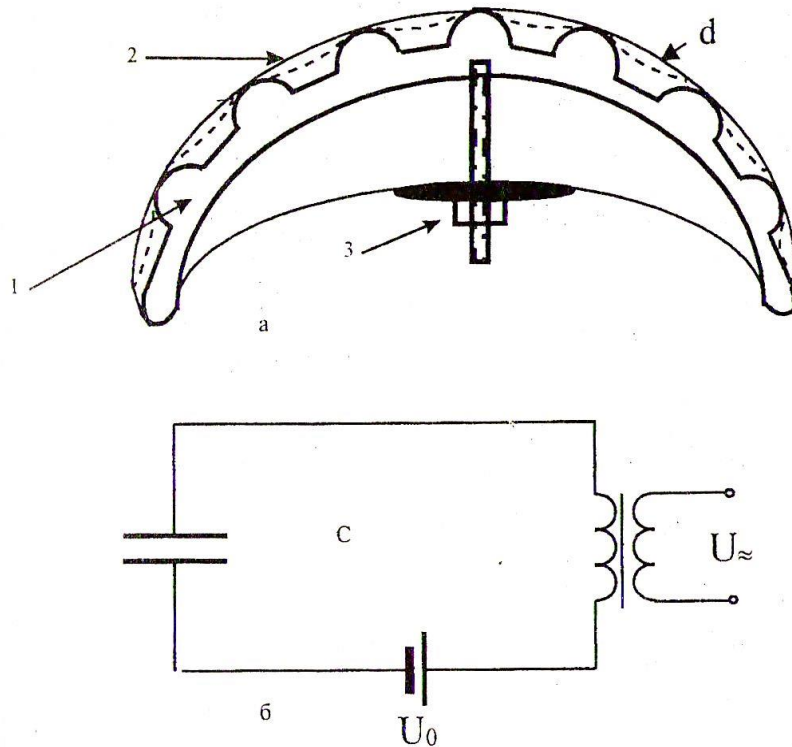
b - rupor kirish qarshiligi transformatorning birlamchi o‘ramiga hisoblangan sxema

6.33 - rasmdan ko‘rinib turibdiki, porshen kamera ichiga siljiganda kamera hajmi kichrayadi va kameradagi havo elastikligi kamayadi, natijada ruporning kirish qarshiligi shuntlanadi. Bu o‘z navbatida birinchidan, ruporli radiokarnay chastota xarakteristi-kasining yuqori chastotada pasayishiga sababchi bo‘ladi. Ikkinchi sababi rupor oldi kamasidagi to‘lqin interferensiyasi.

## 6.9. Kondensatorli radiokarnaylar

Kondensatorli radiokarnaylar elektrostatik o‘zgartirgich dvigatel turiga kiradi. 6.34-rasmda shunday radiokarnayning konstruksiyasi va ulanish sxemasi ko‘rsatilgan. Uning ishlash prinsipi quyidagicha: qirrali metall yarim silindr 1 uzun metall planka va vint gayka 3 yordamida metall bilan qoplangan yupqa polimer 2 biriktirilgan.





6.34- rasm. Kondensatorli radiokarnayning konstruksiyasi (a) va uning elektr zanjirga ulanish sxemasi (b)

Agar, metall folga qo‘llanilsa, uning ichki tomoni dielektrik bilan qoplanadi.

Yarim silindr va metall qoplangan polimer kondensatorning elektrodlari bo‘lib, unga polyarizatsiyalovchi (qutblovchi)  $U_0$  kuchlanish ulansa, elektrodlarni tortuvchi elektrostatik kuch paydo bo‘ladi.

Agarda kondensatorga qo‘shimcha o‘zgaruvchan  $U_{\sim}$  - kuchlanish berilsa, elektrodlarni tortuvchi elektrostatik kuch paydo bo‘ladi. Agar kondensatorga qo‘shimcha o‘zgaruvchan  $U_{\sim}$  kuchlanish berilsa, yig‘indi elektrostatik kuch  $U_0$  va  $U_{\sim}$  kuchlanishlar ishorasiga mos holda o‘zgaradi. Natijada pilyonkaning tebranish amplitudasi ham shunga mos o‘zgaradi.

Kondensatorli radiokarnaylar  $5 \div 7$  kGs dan to 20 kGs gacha bo‘lgan chastota diapazonida samarali ishlaydi. Chastota tavsifining notekisligi 3 dB. Kichik membrana o‘tish tavsifini yaxshi ta‘minlaydi. Kondensatorli radiokarnaylarda burama tok va magnit gisterezisiga yo‘qolishlar yo‘q.

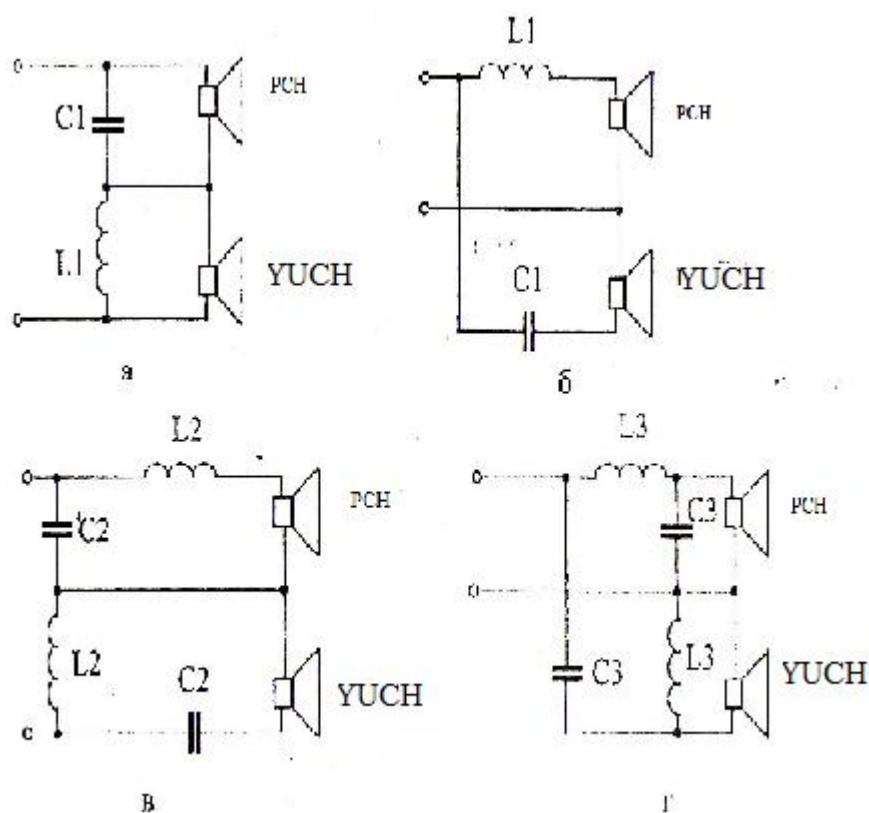
Kamchiligi: past chastotalarni samarali nurlatmaydi va alohida ta‘minot manbai zarur.

## 6.10. Akustik tizimlar

Oldingi boʻlimlarda radiokarnaylarga nisbatan bir - biriga qarama - qarshi talablar qoʻyilgan edi. Past chastotalarni samarali eshittirish uchun katta yuzaga ega boʻlgan porshen zarur, yuqori chastotalarni samarali eshittirish uchun esa, kichik porshen zarur. Bu masalaning yechimi eshittirish chastota diapazonini bir necha polosalarga boʻlishdir. Har bir polosa alohida kallakda eshittiriladi. Kallaklar konstruktiv akustik agregatlarga birlashtiriladi va ular **akustik tizimlar** deb ataladi. Hozirgi vaqtda ikki va uch polosali akustik tizimlar mavjud. Ikki polosali tizimlar uchun  $300 \div 500$  Gs yoki  $2000 \div 4000$  Gs polosalar tanlanadi. Uch polosali akustik tizimlar uchun esa,  $400 \div 4000$  Gs chegaralarida tanlanadi.

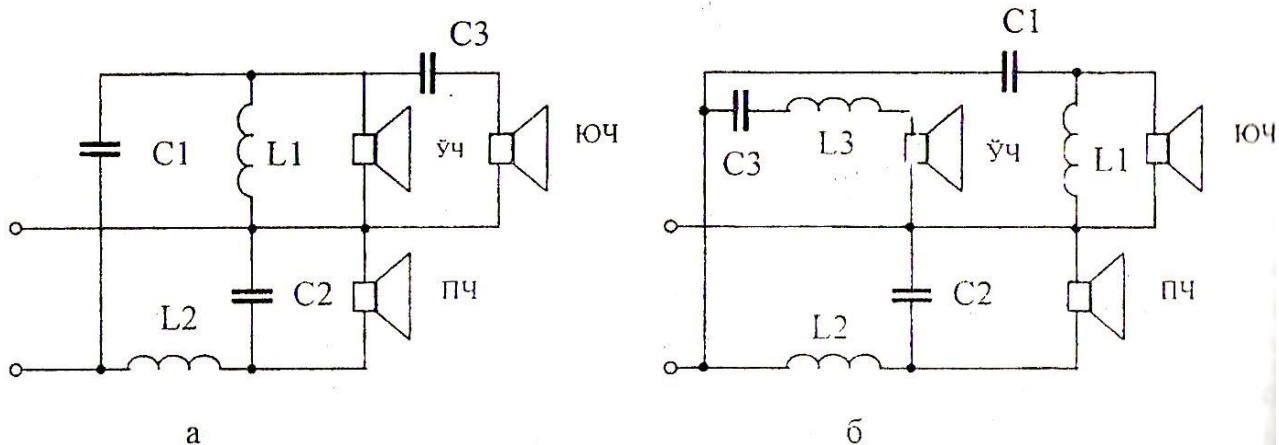
Bunda bitta - ikkita past chastotali, bitta yoki ikkita oʻrta chastotali va bitta - ikkita yuqori chastotali radiokarnaylar qoʻllaniladi. Polosalarni boʻlish uchun elektr filtrlari yoki krossoverlar qoʻllaniladi.

6.35-rasmda ikki polosali va 6.36-rasmda uch polosali tizim sxemalari keltirilgan.



6.35 - rasm. Ikki polosali tizimlarning ajratuvchi filtr sxemalari

a, v - kallaklar ketma-ket ulangan;  
 b, g - kallaklar parallel ulangan.



6.36 -rasm. Uch polosali tizim filtri sxemalari

### Nazorat savollari

1. Radiokarnaylarning asosiy texnik tavsiflarini sanab o‘ting.
2. Nurlatgichlarning qanday turlarini bilasiz?
3. Elektrodinamik radiokarnaylarda nochiziqli buzilishlar va ularni bartaraf sabablarini etish yo‘llarini tushuntiring.
4. Elektrodinamik radiokarnaylarda chastotali buzilish sabablarini tushuntiring.
5. To‘g‘ridan-to‘g‘ri nurlatuvchi elektrodinamik radiokarnayning konstruktiv tuzilishini chizing va ishlash prinsipini tushuntiring.
6. To‘g‘ridan-to‘g‘ri nurlatuvchi elektrodinamik radiokarnayning to‘la kirish qarshiligi modulining chastotaga bog‘liqlik grafigini chizing va tushuntiring.
7. To‘g‘ridan-to‘g‘ri nurlatuvchi elektrodinamik radiokarnayning FIK qancha va uni oshirishning qanday usullarini bilasiz?
8. Fazainvertorining konstruktiv tuzilishini chizing va ishlash prinsipini tushuntiring.
9. Fazainvertorining elektr-ekvivalent sxemasini chizing va tushuntiring.

10. Fazainvertoridagi elektrodinamik radiokarnayning to'la kirish qarshiligi modulining chastotaga bog'liqlik grafigini chizing va tushuntiring.

11. Radiokarnayning chastota diapazonini kengaytirishning qanday usullarini bilasiz?

12. Ruporli radiokarnaylar elektrodinamik radiokarnaylardan nima bilan farqlanadi?

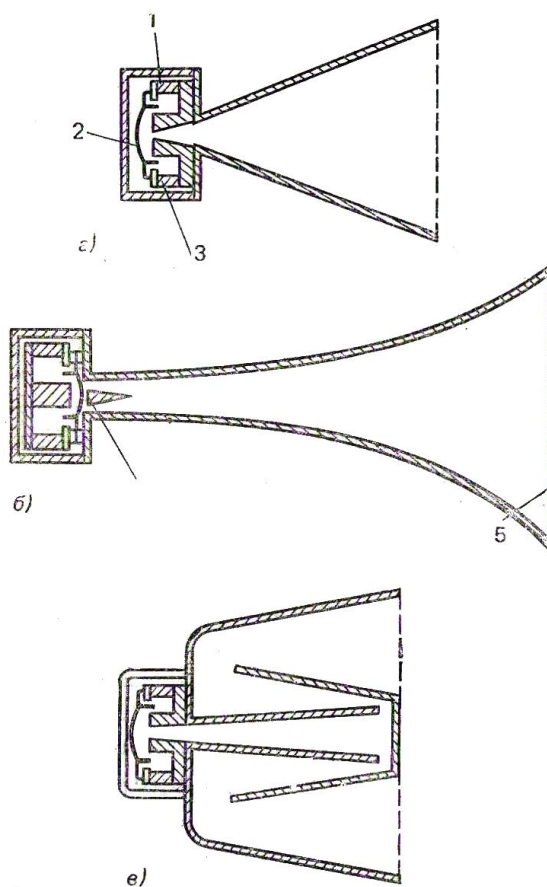
13. Tor va keng bo'g'izli ruporli radiokarnaylarning ishlash prinsipini tushuntiring.

14. 6.37a-rasmdagi ruporli radiokarnayning ishlash prinsipini tushuntiring.

15. 6.37b-rasmdagi ruporli radiokarnayning ishlash prinsipini tushuntiring.

16. 6.37v-rasmdagi ruporli radiokarnayning ishlash prinsipini tushuntiring.

17. 6.37g-rasmdagi seksiyalangan ruporli radiokarnayning ishlash prinsipini tushuntiring.



6.37-rasm. Ruporli elektrodinamik radiokarnaylar:

a) konussimon ruporli; b) eksponensial ruporli v) buralgan ruporli

1) harakatlanuvchi tovush g'altagi; 2) diafragma; 3) o'zgarmas magnit; 4) tovush yo'lini tenglashtiruvchi element; 5) ruponing chiqish yuzasi

18. Ovozlashtirish va ovoz kuchaytirish tizimlarida qanday radiokarnaylardan foydalaniladi?

19. Chiziqli guruh nurlatgichlarning ishlash prinsipini tushunti-ring.

20. Kondensatorli radiokarnayning ishlash prinsipini tushunti-ring.

21. Akustik tizimlarning afzalliklari nimalardan iborat?

## **7 bob. Arxitektura akustikasi asoslari**

### **7.1 Arxitektura akustikasining rivojlanish tarixi**

Arxitektura qurilish akustikasining boshlanishi qadim - qadimlarga yetib boradi. U vaqtlarda akustik masalalar avval ulkan shaxsga oid, keyinchalik esa, boshqa jamoat inshootlari - tomosha va majlis zallarini qurish masalalarini yechishga qaratilgan edi.

Assiri, Vavilon, Qadimiy Misr bunyodkorlari V-II ya.e. avvalgi ming yillikda ajoyib san'at ko'rinishidagi jonli arxitekturaga ega bo'lgan ibodatxonalarini qurgan edilar. Ulkan qurilish konstruksiyalari, skulptura va tasviriy san'at hamma - hammasi ibodat qiluvchilarni ajablantirish, hayratga solish uchun qaratilar edi, bunday maqsadga erishar edilar ham. O'sha zamonlarda bunyodkorlarga tovush to'lqinlarining tarqalish va qaytish qonunlari ma'lum bo'lgan. Ular shu qonunlardan oqilona foydalanib, ibodat qiluvchilarni hayratda qoldirar edilar.

Xuddi shunday his qadimiy yunonlar (ya.e. avvalgi IV-VII asr) san'atida ham boshqacharoq tusda sezilar edi. Qadimiy Yunon ibodatxonalari va boshqa ijtimoiy inshootlarda, ulardagi qismlar o'lchamlariga mutanosiblik xosdir, ular yuqori akustik xususiyatlarini belgilaydi. Keyinchalik qadimiy yunonlarning qurilishda aql-idrokka asoslangan akustik yechimlari ko'pgina mamlakat olimlari tomonidan o'z tasdig'ini topdi. Qadimiy Gresiyaning tomosha inshootlari ikki turga bo'linar edi: odenoyalar va teatrlar. Birinchisi kichik yopiq binolar bo'lib repetitsiyalar va kichik sonli ijrochilar va tomoshabinlarga mo'ljallangan bo'lsa, ikkinchisi ochiq turdagi tomosha inshootlari bo'lib, ularda tosh o'rindiqlar tepalik etaklariga joylashtirilar edi.

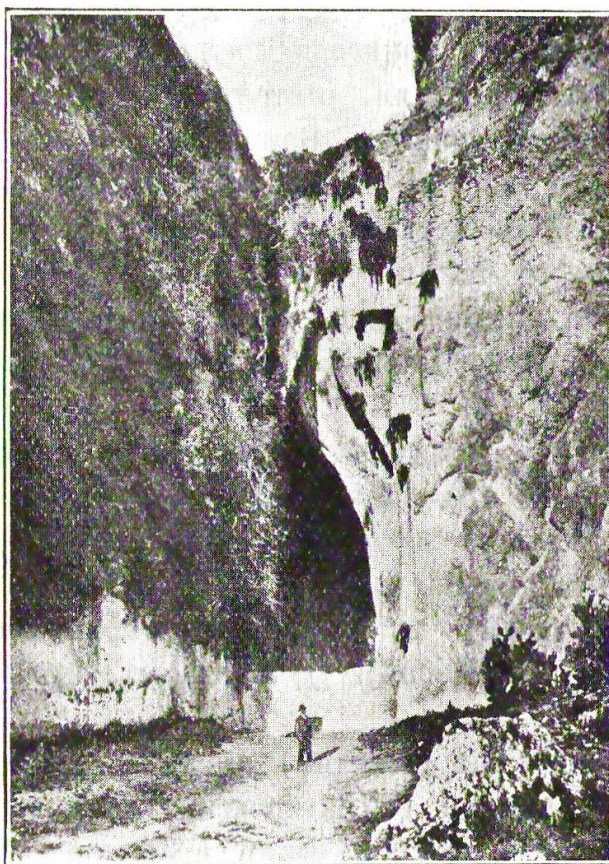
Gresiya arxitektorlarining an'analarini Rim quruvchilari davom ettirdilar. Rim inshootlari grek inshootlaridek tepaliklarga qurilmasada, ularda juda ko'p o'xshashlik bor edi. Ana shunday inshootlardan biri ya.e. avval 80 - 90 yillarda qurilgan 56 ming tomoshabinga mo'ljallangan Flaviya-Kolizey amfiteatridir. Bunday katta inshootlarda ijrochilarning tovushini ko'p ming kishilik tomoshabinlarga tabiiylikicha yetkazish haligacha shu zamon kishilarini hayratga soladi. Gresiyadagi 17800 o'rinli Pompey teatri, Rimda 20000 o'rinli Marsella teatrlari shular jumlasidandir. Rim shoiri, filosofi va olimi Kar Lukreskiy (ya.e. avval 99 - 55 yy) «Tabiat buyumlari haqida» deb ataluvchi ilmiy asarida o'sha davrdagi akustikaga oid, shu jumladan, xona akustikasiga oid fikr - mulohazalarini bildirgan edi. Keyinchalik Vitruviy «Arxitektura

haqida» kitobida antiqa arxitektorlarning tajribasini umumlashtirib, qator qonun - qoidalarni ta'riflab berdiki, ular hali ham zamonaviy inshootlarda katta muvaffaqiyat bilan qo'llaniladi. Xonalardagi akustik hodisalar o'zining ajoyib tadbirlarini topdi. Bizgacha qadimiy Rim va Xitoydagi «shivirlovchi galereyalar» yetib kelgan.

Parij Panteoni yerto'lasidagi ohista qarsak ko'pdan-ko'p qaytarishlar natijasida momoqaldiroqdek aks sado paydo qiladi.

Darmshtaddagi cherkovda aks sado balandligi 47 m bo'lgan qubbadan tovushning qaytishi natijasida paydo bo'ladi.

Glochesterdagi (Angliya) ibodatxonada ohista so'zlashuv 25 m masofagacha eshitiladi. Bunday misollarni ko'pdan-ko'p keltirish mumkin.



7.1.- rasm. «Dionis qulog'i» galereyasi

Yana bir misol, aytishlaricha Sirakuza (Sitsiliya) tosh konlardagi (7.1-rasm) bir galereyaga asirlar joylashtirilar, yuqorida esa ular nimalar haqida gapirganlarini eshitar edilar, shunday qilib, ularning sirlarini bilib olar ekanlar. Shu sababli bu galereyani «Dionis qulog'i» nomi bilan ataganlar. «Dionis qulog'i»ni birinchi bo'lib V.Sebin tekshirgan.

Eyler, Lagranj, Fure, Stoks, Yung, Gelmgols va b.q akustikani fan sifatida dunyo miqyosida yuzaga chiqardilar. XIX asrning oxiri XX asrning boshlarida V.Sebin tajribalar o‘tkazib, birinchi bo‘lib xonaning geometrik parametrlari, uning akustik tavsiflariga bog‘liqligini aniqladi va shunday qilib, arxitektura akustikasiga asos soldi. Keyinchalik Eyring, Xant, Beranek, Ma Da-yu, Knudson, Mayer, Vatsonlar xonalar akustikasi nazariyasiga sezilarli hissa qo‘shdilar. Sobiq ittifoq olimlari I.I.Andreev, I.G.Dreyzen, A.N. Kacherovich, S.Ya.Lifshis, A.V. Rabinovich, S.N. Rjevkin, M.A. Sapojkov va V.V.Furduevlar shu sohadagi nazariy va amaliy bilimlarni yanada chuqurlashtirib, yangi g‘oyalar bilan boyitdilar.

Xona akustikasini o‘rganish va tekshirishda Sebin asosan tovush energiyasining tarqalishi, to‘siqlardan qaytishi masalalarini, ya’ni tovush nurining geometrik xususiyatlarini o‘rgandi.

Tovush tarqalishining geometrik nazariyasi eng qadimiy nazariyadir.

Geometrik nazariya I.G.Dreyzen, A.N.Kacherovich, L.Kontyuri, S.Ya.Lifshis ishlarida yana ham rivojlantirildi.

Sebin xonada tovush manbai o‘chirilgandan so‘ng to‘lqinlarning to‘siqlardan ko‘p marta qaytishi va ularning energiyasi yutilishiga asoslangan **statistik nazariya** g‘oyasini ilgari surdi. Ammo Sebinning g‘oyasi katta amaliy ahamiyatga ega bo‘lishi bilan birga qattiq tanqidga uchradi. 1929 yili Shuster va Vetsman statistik nazariyani tan olmadilar, ularning fikricha tovush manbai o‘chirilgandan so‘ng so‘nish majburiy tebranishlar natijasi bo‘lmay, balki tovush manbai uyg‘otgan xususiy rezonans tebranishlari natijasidir, u xonaning shakli va o‘lchamlariga bog‘liq degan fikrni bildirdilar. Bunday nazariya **to‘lqin nazariyasi** deb atalib, Morze Bolt, Dreyzen, Furduev va boshqalar tomonidan rivojlantirildi.

## **7.2 Zamonaviy teatr, konsert zallari va studiyalar**

Zamonaviy teatr qadimiy teatrning sekin-asta evolyusiyasi va dramatik ijrolarning yangicha ijrosiga moslashishi natijasi hisoblanadi. Biz yuqorida rim teatrining grek teatridan drama-tik ijrolarning evolyusiyalanishi natijasida o‘zgarishini ko‘rib chiqdik. Rim dramasi xor ijrosini keskin qisqartirdi va birinchi planda akterning tragik ijrosini,



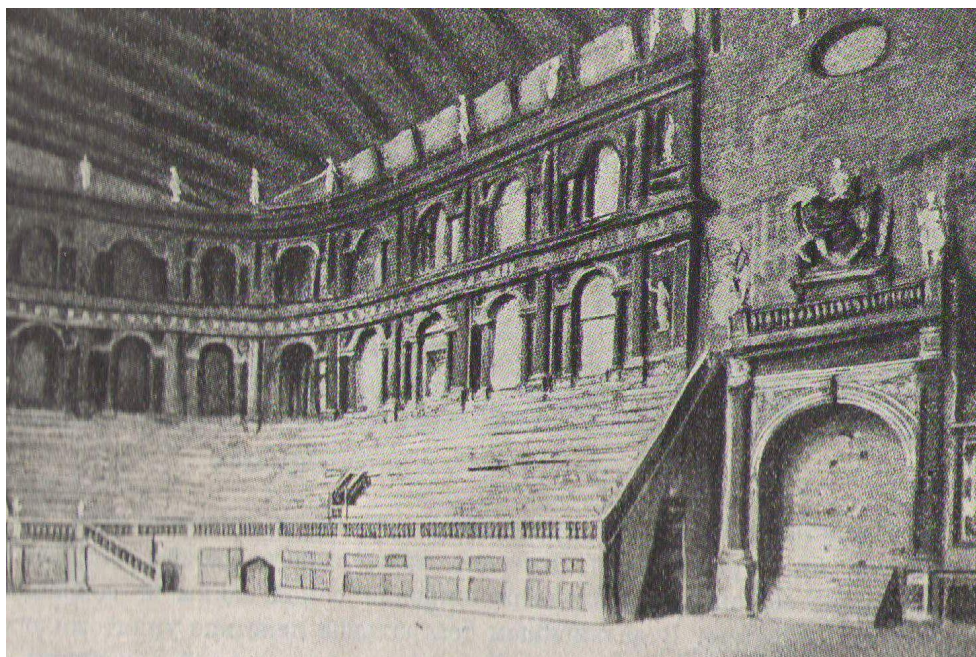
sahna sharoitining barcha holat-larini kuchaytirib berdi. Bu sahnani kengaytirish va orxestr o‘lchamlarini qisqartirishga olib keldi.

Keyinchalik teatr ijrosi xorni butunlay olib tashladi va sahnada murakkab dekoratsiya sharoitida tragik akterning yolg‘iz o‘zigina qoldi. O‘z navbatida murakkab dekoratsiya sahna yonlarini bekitish va uni chuqurlashtirish masalasini hal etdi. Undan tashqari voqea va manzaralarning xarakteri ham o‘zgardi. Teatr ko‘rsatuvlarida, barcha mansabdorlar va davlat qonunchiligi xodimlarining qatnashishlari, ananalarni saqlanishi dramani ochiq havoda o‘tkazilishini talab etar edi. Zamonaviy teatr intim tomoshaga o‘tib cheklangan va yopiq xonada o‘tkazilishi ma’qul bo‘lib qoldi.

Zamonaviy teatrning haqiqiy beshigi Renessans davrida ko‘pgina yangi shakllarning tashabbuskori bo‘lgan Italiya hisoblanadi. Dastlab vaqtinchalik yog‘och qurilishlar amalga oshirildi, ammo XVII asrning yarmilarida toshdan doimiy qurilishlar paydo bo‘la-boshlaydi. XVIII asrning oxirlariga kelib Italiyada zamonaviy teatrning barcha ko‘rinishi, turi ishlab chiqiladi va u yerdan butun dunyoga tarqaladi.

Hozir ham ayrim qurilishlarda o‘sha davrning xususiyat va belgilarini ko‘rish mumkin.

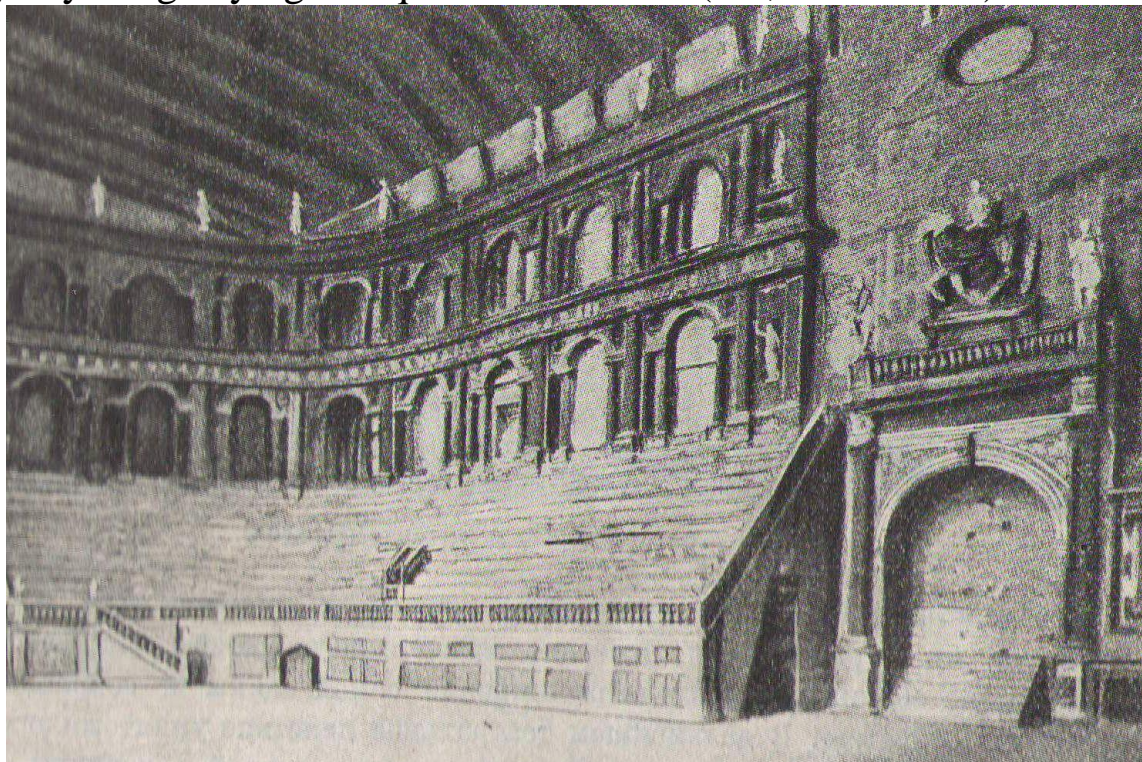
Vinchenchedagi “Olimpiko”teatri hali ham o‘zining antik shakli-ni saqlaydi (7.7-rasm).



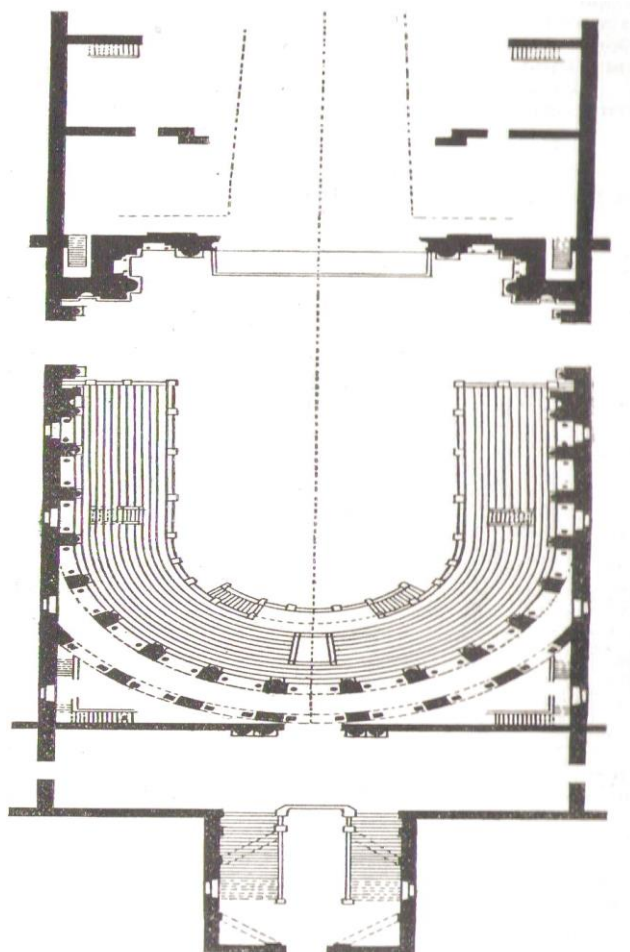
7.7-rasm. Vinchenche (Italiya) dagi Olimpiko teatri

Orxestr va sahna bir-biri bilan bir butun tutashgan. Orqa devor chuqur kirishli bo‘lib, unda dramatik harakat va ijrolar bajarilar edi. Bu endi chuqur sahnaga o‘tish edi. Yarim doira, amfiteatr joylaridan sahna ichkarisidagi ijrolar ko‘rinmas edi, shuning uchun ular olib tashlangan. Endi teatr usti berkitilgan edi.

Parmedagi Farnese teatri antik shaklini saqlab qolgan bo‘lsa ham evolyusiyaning keyingi bosqichini ko‘rsatadi (7.8; 7.9-rasmlar).

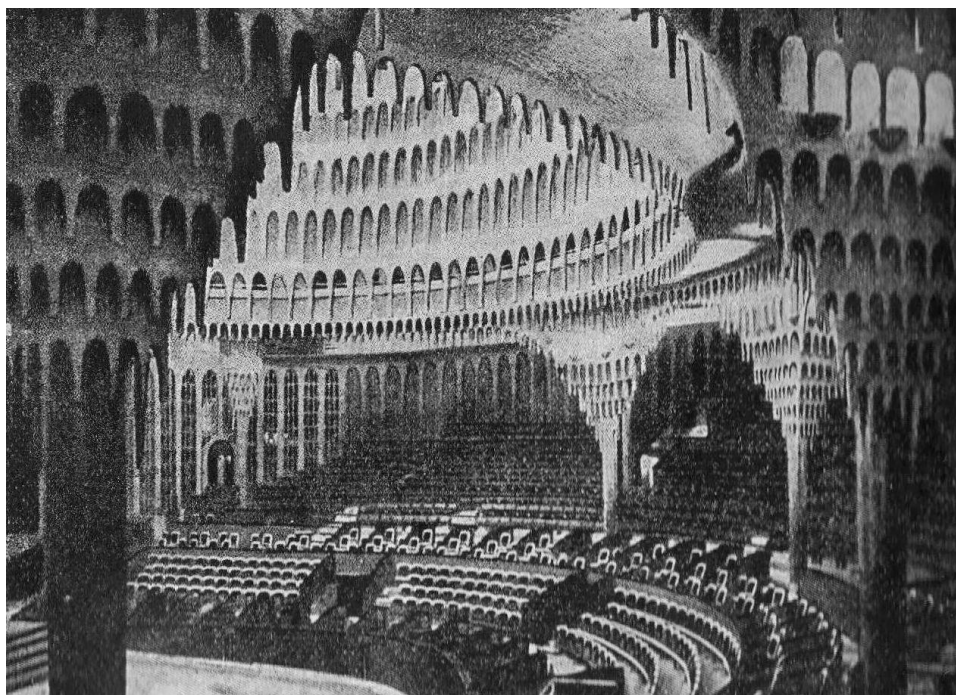


7.8-rasm. Parmedagi Farnese teatri



7.9-rasm. Parmedagi Farnese teatr plani

Yaqin-yaqinlarda Berlinda sirk binosi qayta ta'mirlanib, katta gumbazli teatrga o'zgartirildi. Akustik qaytarishlarni yo'qotish maqsadida gumbaz o'ziga xos arxitektura bezaklari bilan qoplangan (7.10-rasm).

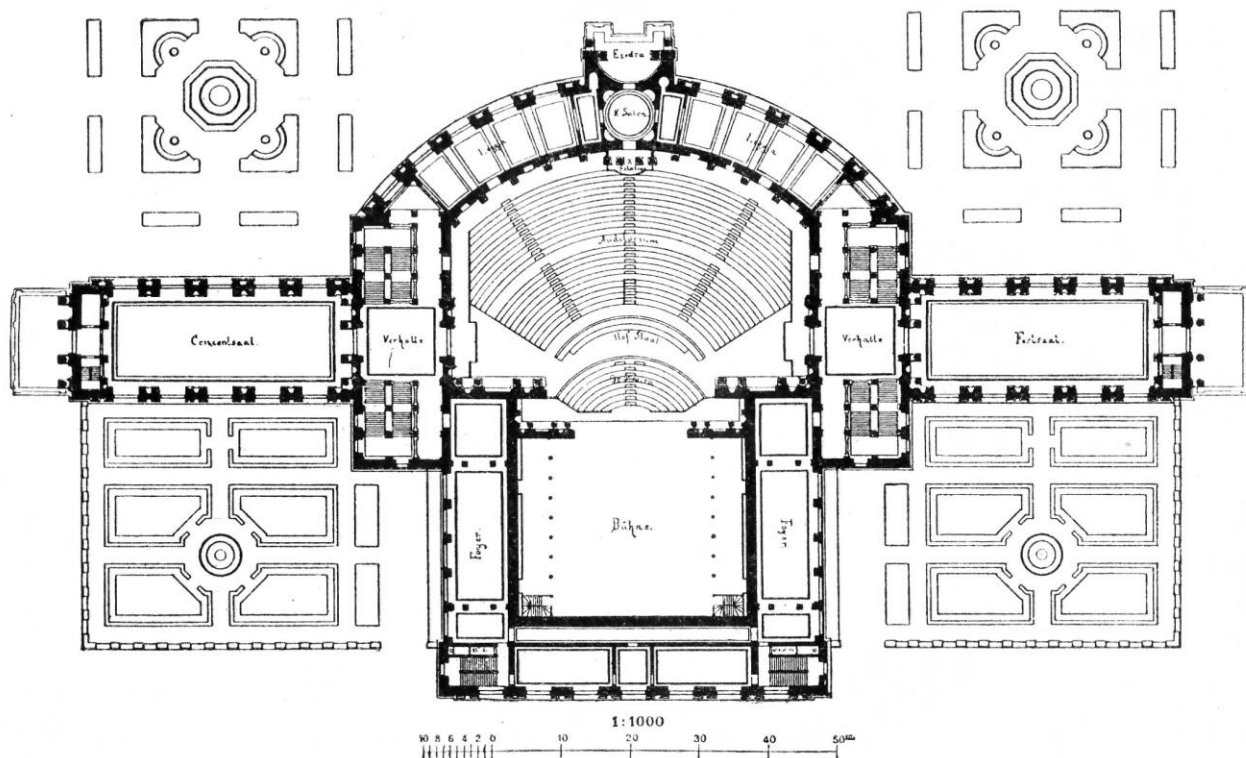


7.10- rasm. Berlindagi Katta teatr tomosha zali

Zamonaviy teatr birinchidan juda chuqur sahnani talab etadi. Undan tashqari sahna juda baland va katta hajmga ega bo'lishi kerak, bu o'z navbatida katta o'lchamli dekoratsiyalarning joylarini o'zgartirish va o'rnatish imkonini beradi.

Zamonaviy teatrning ikkinchi xususiyati-amfiteatrning yo'qligida. Parterdagi joylar oldingi qatordagi tomoshabin boshi keyingi qatordagi tomoshabinga halaqit bermaslik daraja-sida ko'tarilgan. Devorlarda lojalar yarus va galereyalar bilan almashtirilib joylashtirilgan. Oddiy hisob-kitoblar shuni ko'rsatadiki, bunday usulda joylashtirish bir xil yuzaga ega bo'lgan teatrga antik amfiteatrga nisbatan ko'proq tomoshabin-larni joylashtirish imkonini beradi. Akustik nuqtai nazardan bunday joylashtirish anchagina noqulay, chunki parter va galereyalarning oxirgi qatoridagi tomoshabinlar yuzga tovush to'lqinlarni qabul qiladilar.

Teatrning shakllari turlicha. Ammo barchasining shakli, istisno holatlardan tashqari oval, ellips, doira yoki to'g'ri tomonlari cheklangan doiraning qismini o'zida namoyon etadi (7.11-rasm).



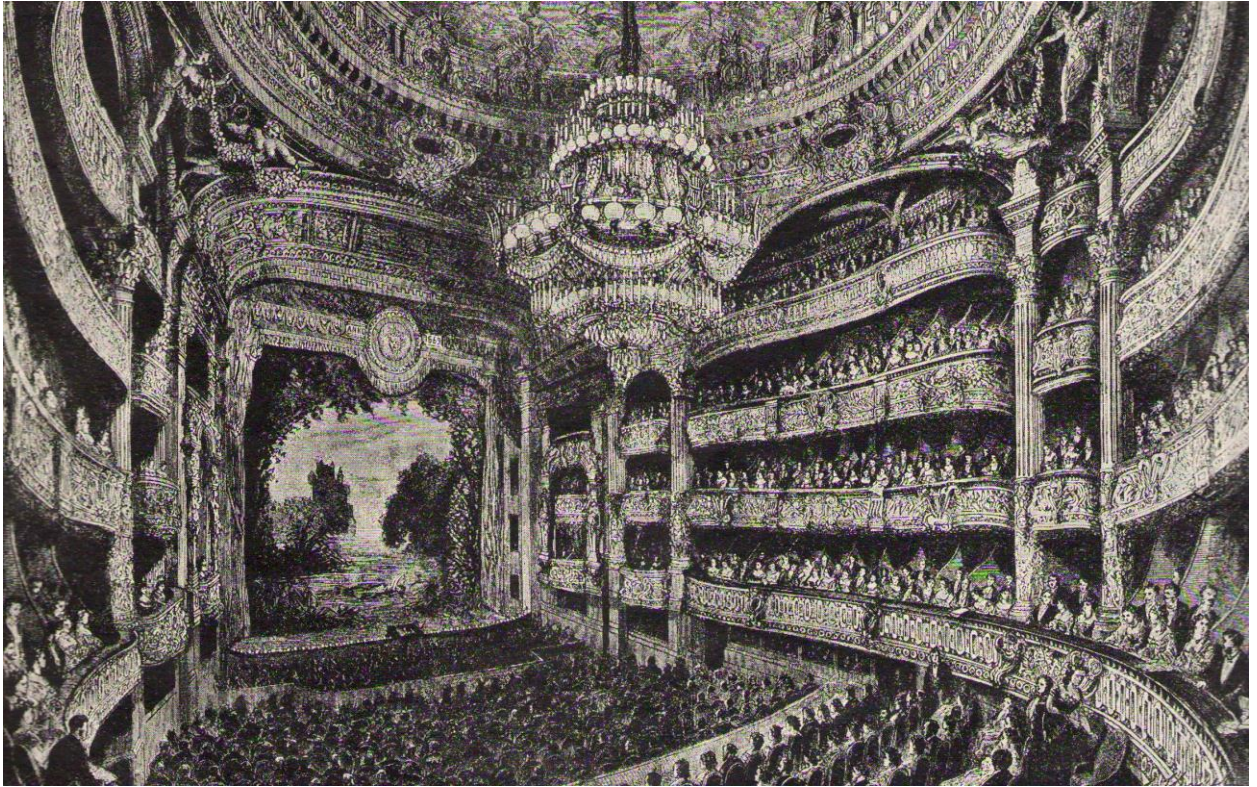
7.11-rasm. Myunxendagi Katta teatr tomosha zali loyihasi

Undan tashqari yuqorida bayon etilgan shakllarning turli kombinatsiyalari shaklidagi teatr binolari ham uchraydi.

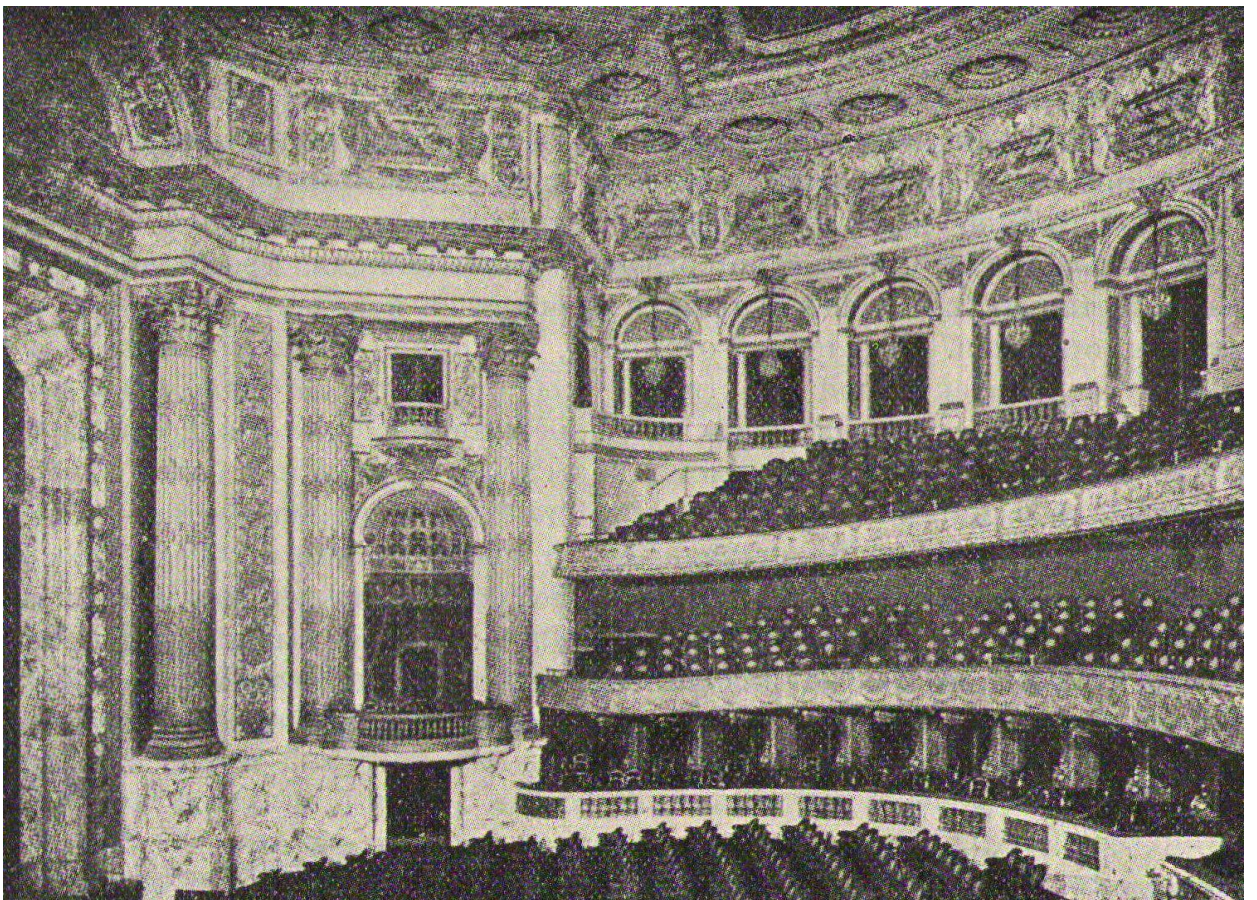
O‘zining o‘lchamlari va belgilanishi bo‘yicha teatr bir necha guruhlarga bo‘linadi.

Birinchi guruhga opera va baletga mo‘ljallangan teatrlar kiradi.

Misollar: Milandagi 3000 tomoshabinga mo‘ljallangan “LaScala” teatri, sahnasi Yevropada eng katta; yaxshi akustikaga ega. 2156 tomoshabinga mo‘ljallangan Parijdagi Katta Opera teatri, ajoyib akustikasi bilan ajralib turadi. Venadagi 2881 o‘rinli Imperator Opera teatri, Moskvadagi 2300 o‘rinli Katta teatr, Toshkentdagi Alisher Navoiy nomli Davlat Akademik Katta teatr shular jumlasidandir.



7.12-rasm. Parijdagi Katta Opera teatri



7.13-rasm. Nyu-Yorkdagi Yangi teatr

Ikkinchi guruhga opera va balet, hamda dramatik ijrolar uchun mo'ljallangan teatrlar kiradi.

Misollar: 1400 o'rinli Visbadendagi Imperator teatri. 1800 tomoshabinga mo'ljallangan Kelndagi Shahar teatri.

Uchinchi guruhga faqat dramatik ijrolar uchun mo'ljallangan teatrlar kiradi.

Misollar: Avstriyaning Vena shahridagi 1474 tomoshabinga mo'ljallangan Shahar teatri. Germaniyaning Frankfurt shahridagi 1160 tomoshabinga mo'ljallangan Dramatik teatri, Moskvadagi 700 o'rinli Kamer teatri shular jumlasidan.

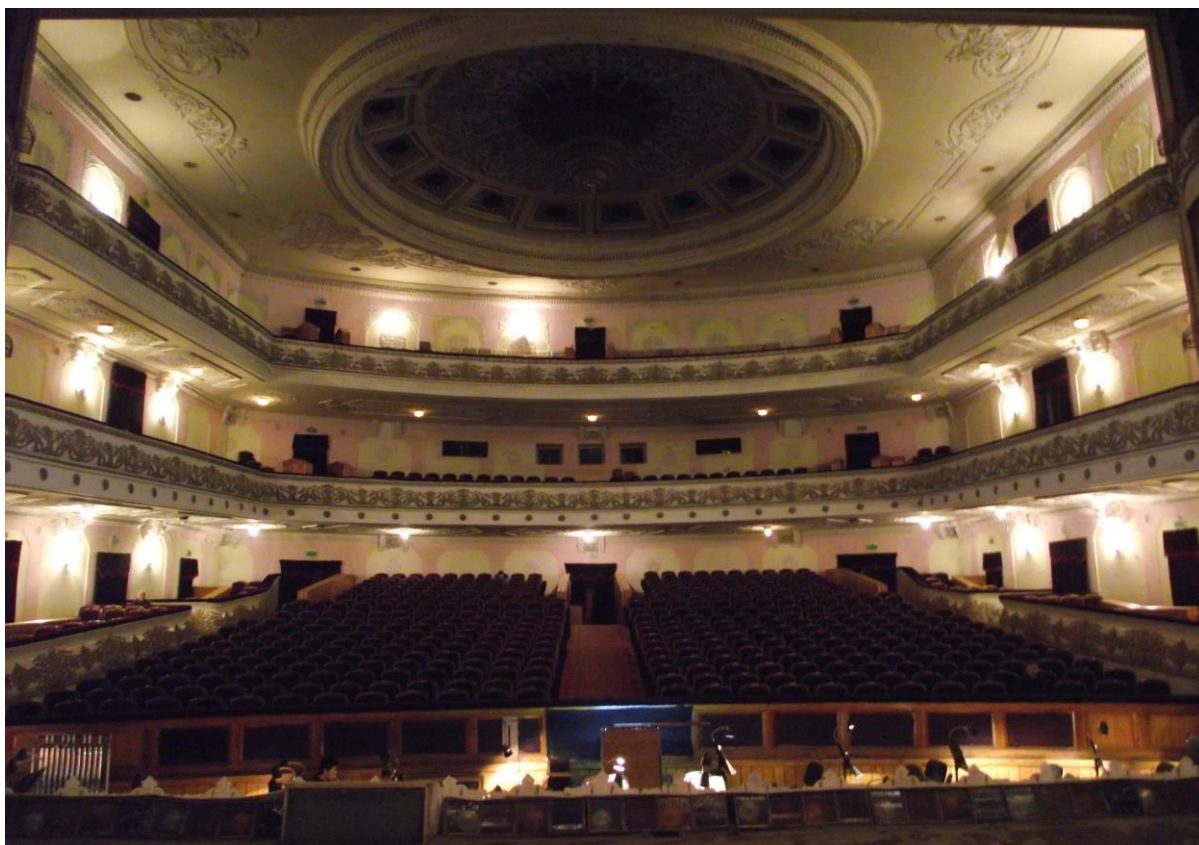
To'rtinchi guruhga oraliq turdagi, jumladan: Vagner teatrlarini kiritish mumkin. Bu teatrlar Vagner operalarini, ya'ni musiqali dramalarni ijro etishga belgilangan. Bunday teatrning namunasi sifatida Myunxendagi 1100 o'rinli Prinz-Regenten teatrlarini keltirish mumkin. O'zining o'lchamlari bo'yicha dramatik teatrni eslatadi, shuning bilan birga bu teatr zamonaviy operaning barcha murakkab texnikasiga xizmat ko'rsatish imkonini beradi.

Quyida Toshkentdagi arxitektura – qurilish jihatdan noyob hisoblangan ayrim inshootlardan lavhalar keltirilgan, jumladan:

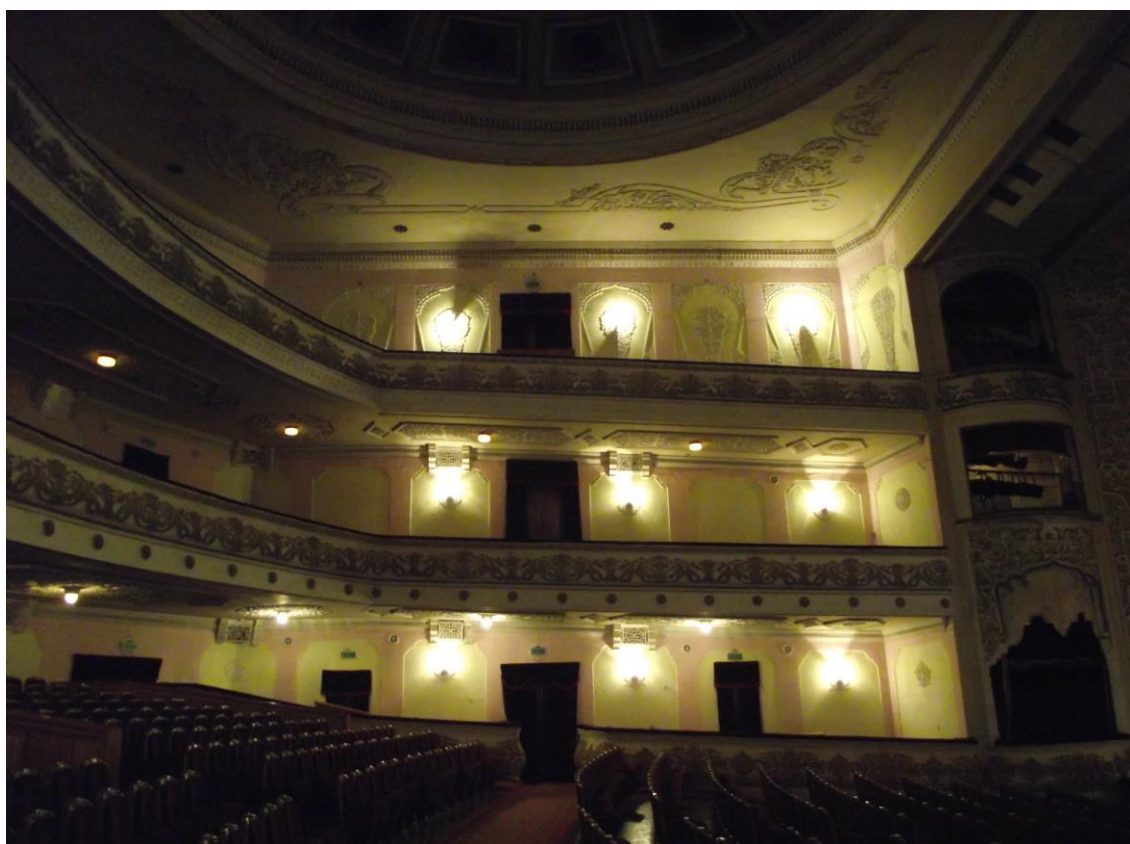
Alisher Navoiy nomidagi Davlat Akademik Katta Teatri zalining ayrim fragmentlari:



7.14-rasm. AlisherNavoiy nomli Davlat Akademik Katta Teatr binosining old ko'rinishi



7.15-rasm. A.Navoiy DAK Teatr tomosha zali

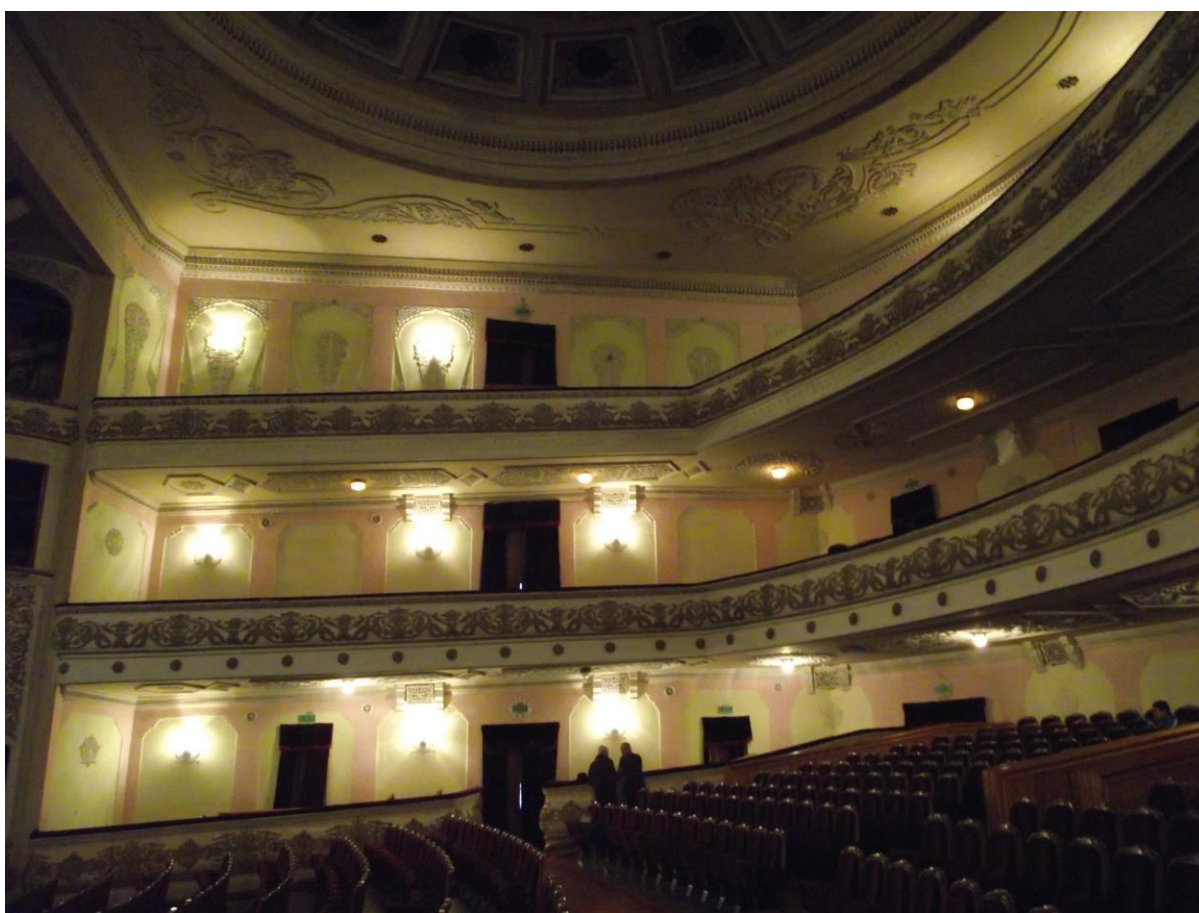


7.16-rasm. A.Navoiy DAK Teatr tomosha zali yon tomoni va balkoni





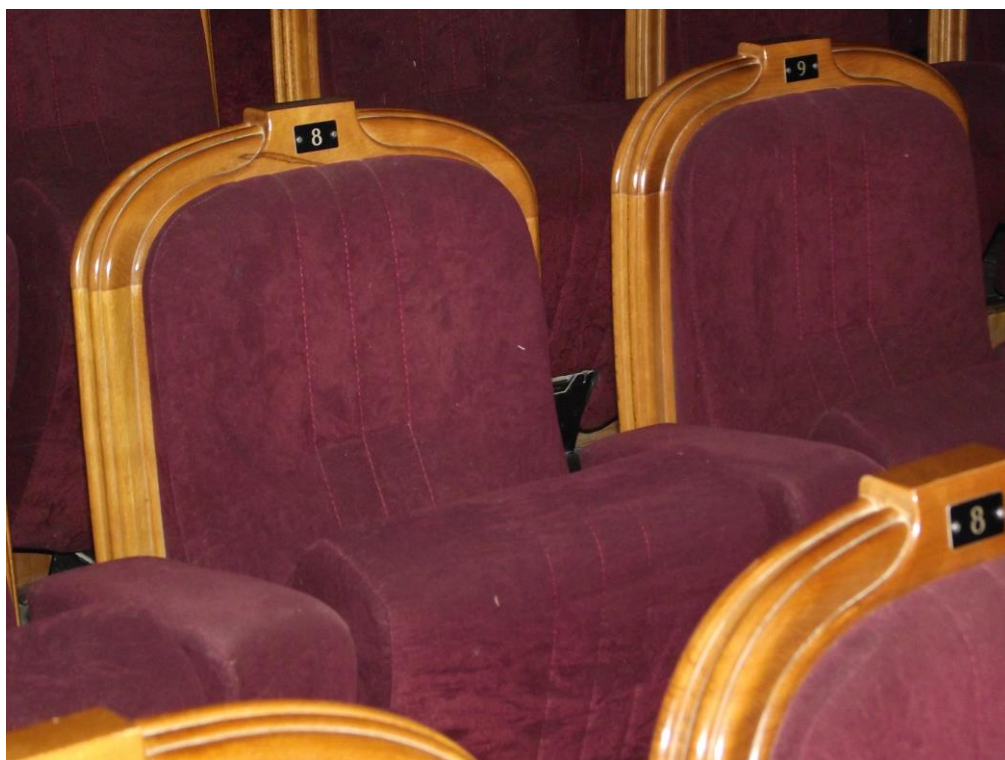
7.17-rasm. A.Navoiy DAK Teatr tomosha zali sahnasi



7.18-rasm. A.Navoiy DAK Teatr tomosha zali va balkon



7.19-rasm. A.Navoiy nomli DAK Teatrining tomosha zali va orkestr chuquri (joyi)



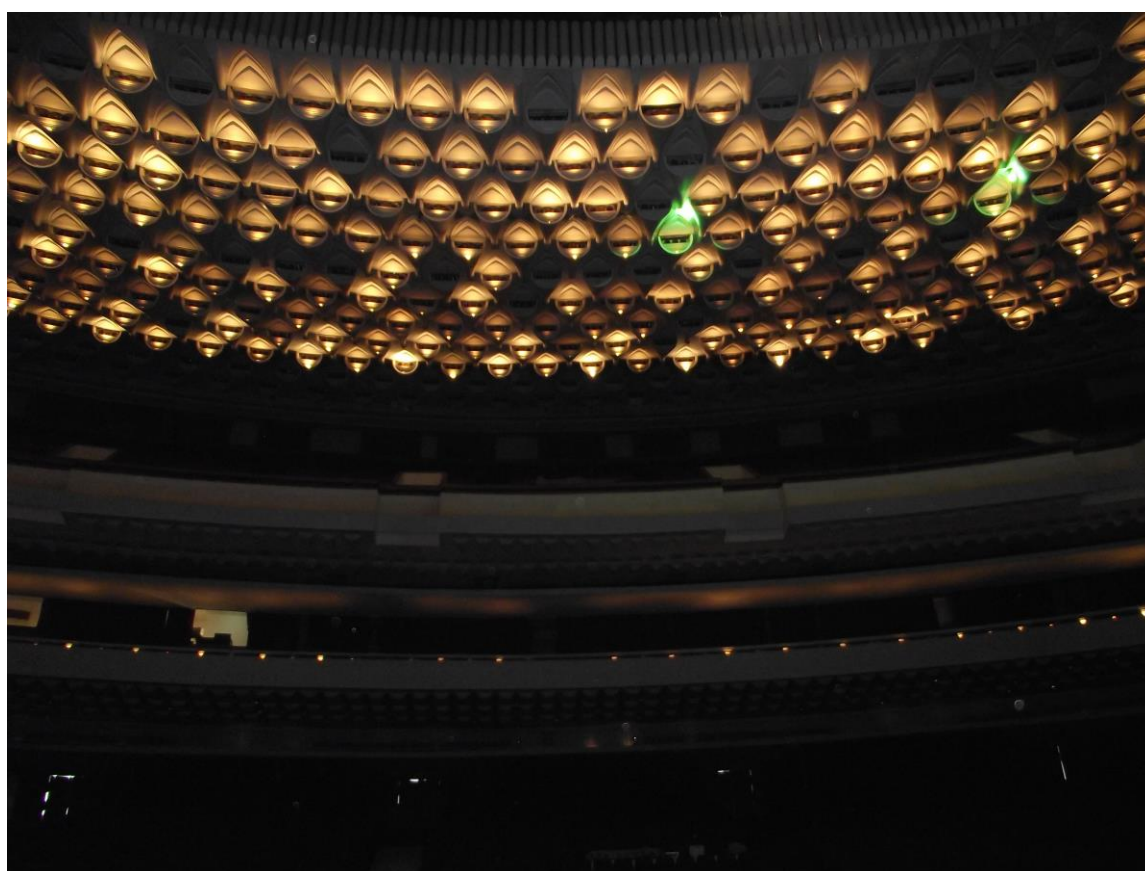
7.20-rasm. A.Navoiy nomli DAK Teatr tomosha zali o‘rindiqlari  
7.21-rasm. “ISTIQLOL” tomosha zali umumiy ko‘rinish



7.22-rasm. “**ISTIQLOL**” tomosha zali, balkon va shiftning bir qismi ko‘rinishi



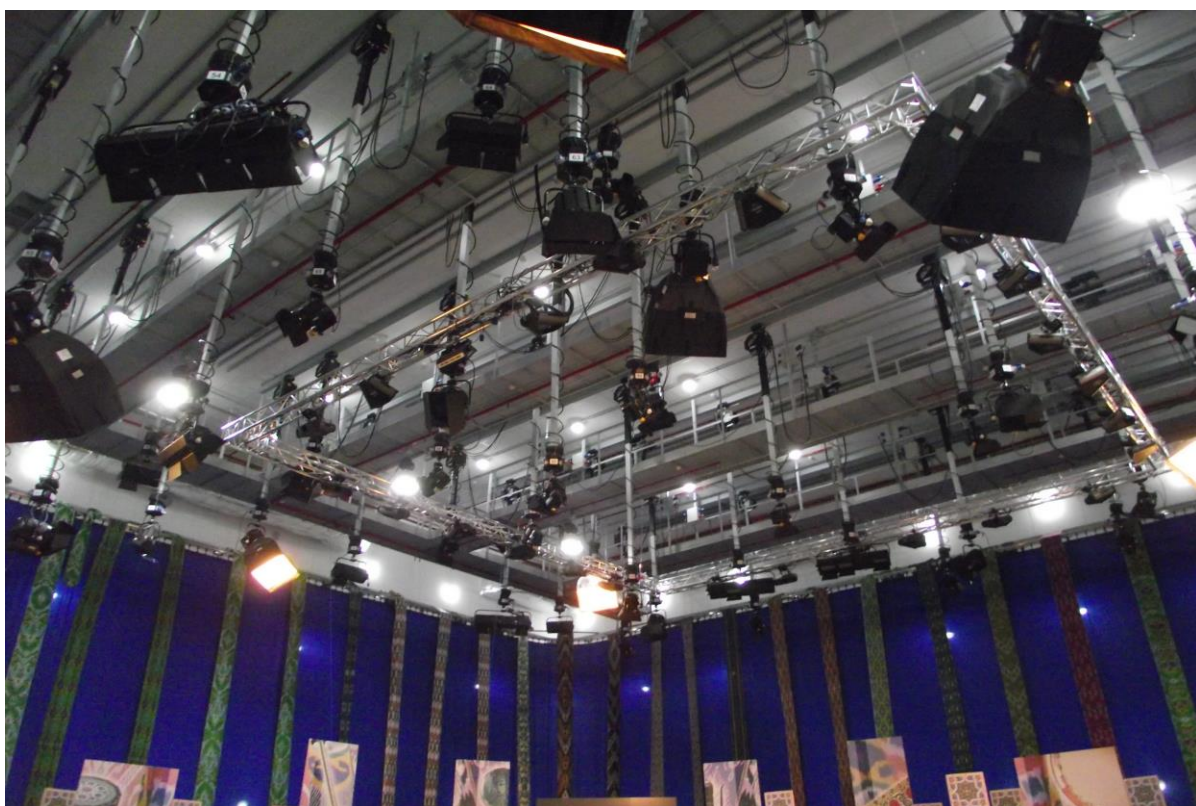
7.23-rasm. “ISTIQLOL” sahna va sahna oldi shifli ko‘rinishi



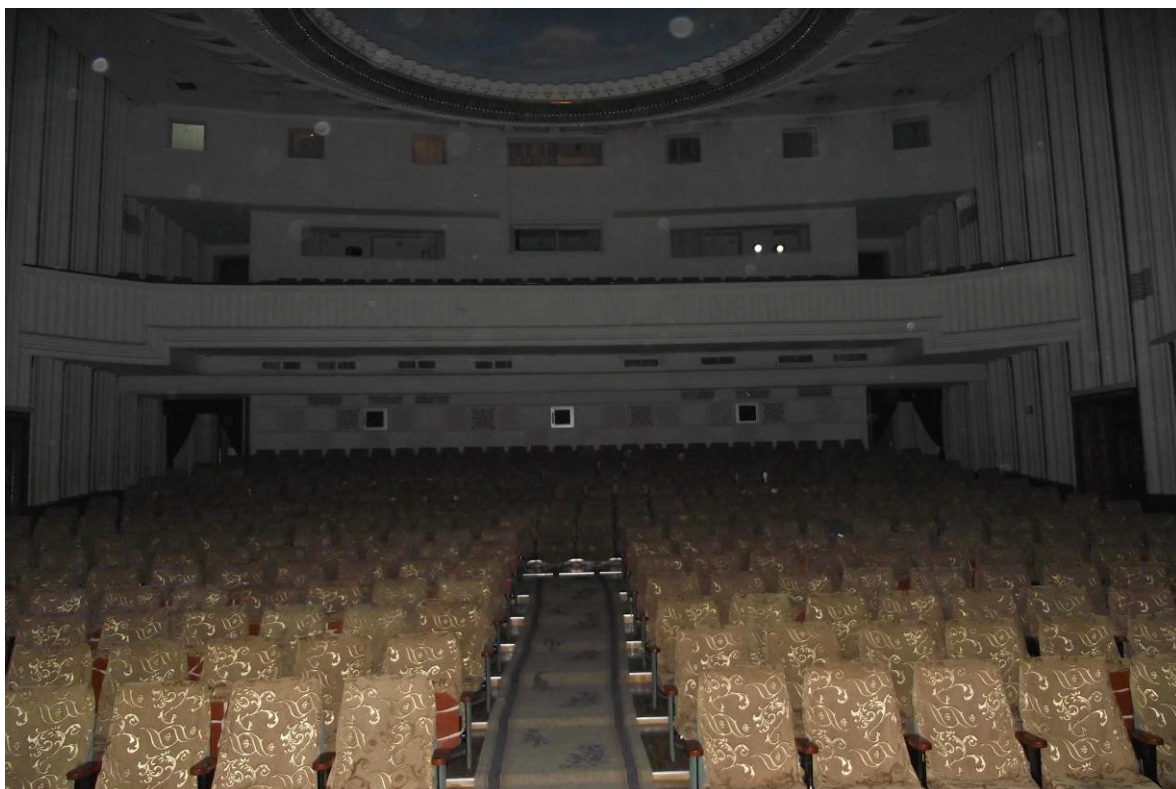
7.24-rasm. “ISTIQLOL” tomosha zali, balkon va shiftdagi yoritgichlar  
“Media markaz”



Tasvirga olish paviloni



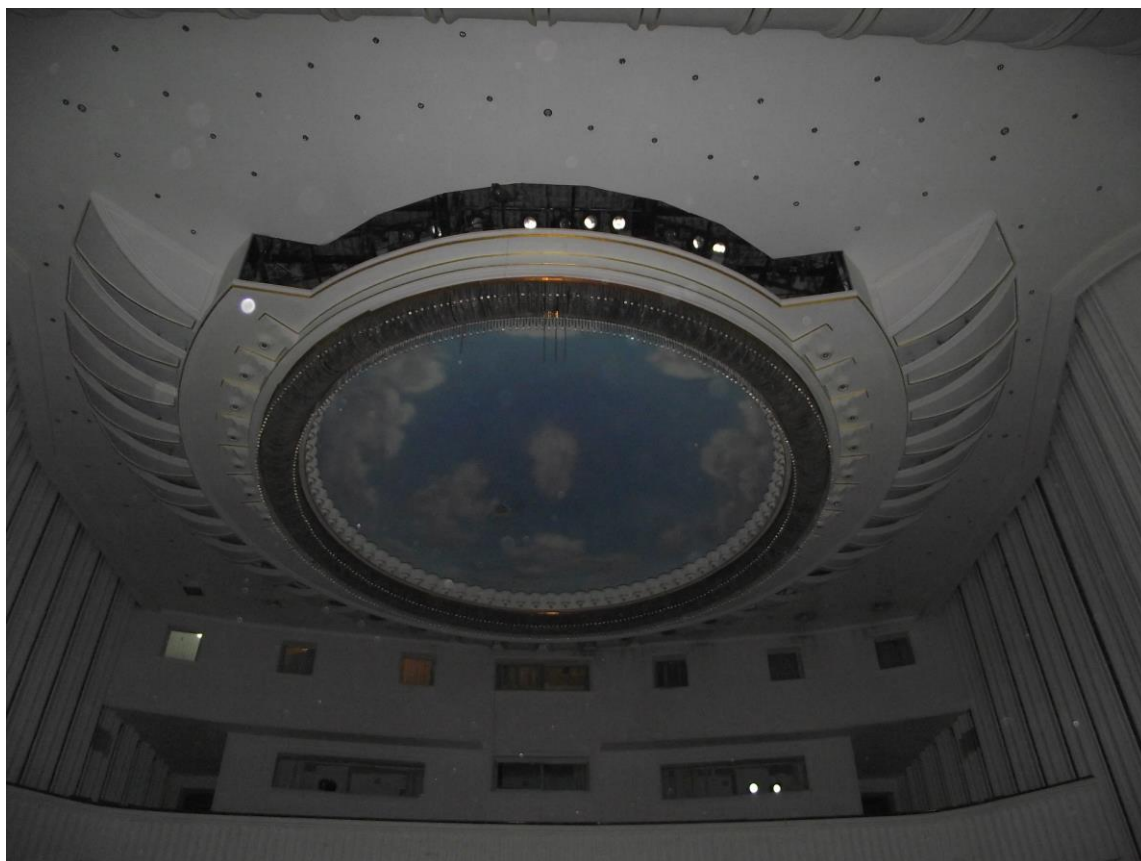
Tasvirga olish pavilon shiftiga oʻrnatilgan yoritgichlar



Toshkentdagi Xamza teatri tomosha zalining sahna tomondan ko‘rinishi



Toshkentdagi Xamza teatrining tomosha zali va sahnasi



Xamza teatri tomosha zali balkoni va shifti



“Turkiston” saroyi sahnasi



“Turkiston” saroyi tomosha zali



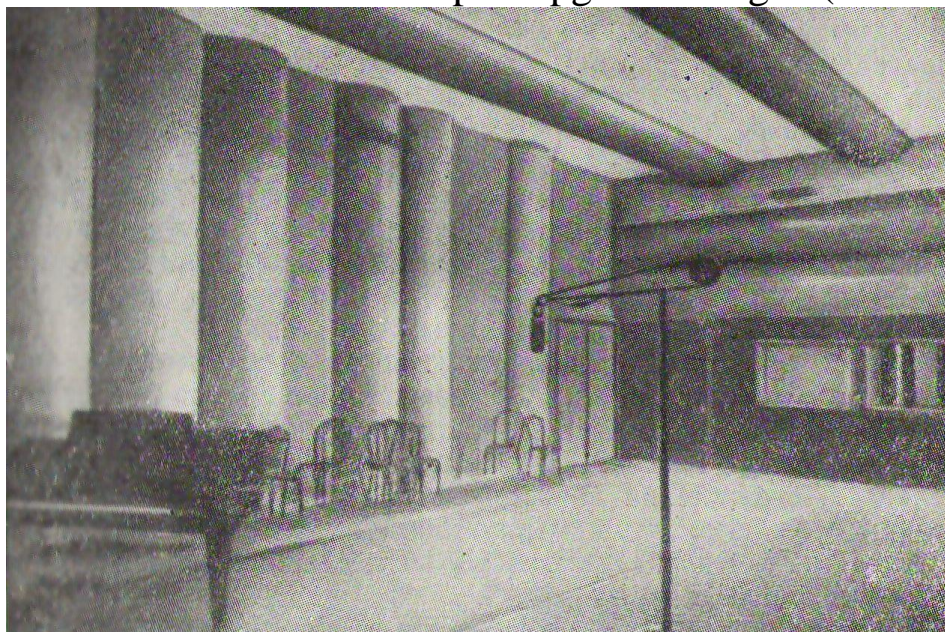


O‘zbekiston Davlat Konservatoriyasining “Organ” zali

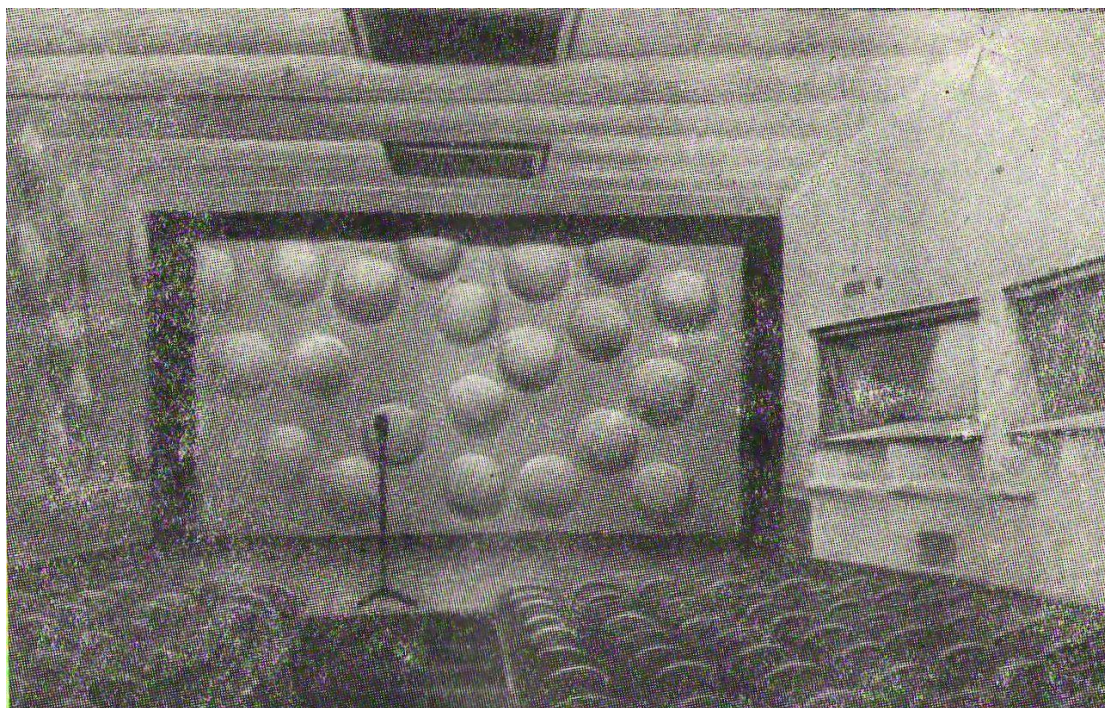
Yuqorida keltirilgan misollardan shuni aytish mumkinki, zamonaviy teatrlar nisbatan katta sonli tomoshabinlarga mo‘ljallangan, ularning soni ko‘pi bilan-3000 kishi bo‘lishi mumkin. Teatrlar o‘rtacha 600÷1000 tomoshabinga mo‘ljallab quriladi. Bunday o‘lchamdagi teatrlarning akustik sharoitlari biron-bir qiyinchiliksiz hal etilishi kerak.

**Zalning shakli.** Binoning u yoki bu xonasi shaklini loyihalash va hisoblashda tovush energiyasini tegishli sochish zallar va studiyalarning akustikasiga qo'yiladigan asosiy talablardan biri hisoblanadi. Faqat tovush maydonining diffuziyaliligina tovush maydonining bir xilligiga erishishning xaqiqiy omili hisoblanadi. Diffuziya maydoni xonada tovushni erkin va bir tekis va eshitish a'zomizga sezilarli sakrashlarsiz so'nishiga kafolat bera oladi.

Xonada maydon diffuziyasini oshirishning ikkita usuli ma'lum. Birinchidan, optimum reverberatsiya nuqtai nazaridan qo'llaniladigan tovush so'ndiruvchi materiallar xona yuzasi, ayniqsa zal devorlari bo'yicha imkoni boricha bir tekis taqsimlanishi kerak. Zal shiftiga kelsak u asosan tovushni qaytarish rolini o'ynaydi. Ikkinchidan, devorlarga noto'g'ri shakl beriladi, devorlarning uzunligi bo'yicha kolonna, yarimkolonna va notekis qavariq shakldagi naqqoshlik materiallari o'rnatiladi. Zamonaviy radio studiyalarning ichki arxitektura-akustik ishlov berish shu prinsipga asoslangan (7.33-rasm).



Devor va shiftda tovush sochuvchi yarimsilindrlar o'rnatilgan radioeshittirish studiyasi (AQSh)



Devorga sferik tovush sochuvchi oʻrnatilgan radioeshittirish studiyasi (AQSh)

Tovush sochuvchi materiallarni tanlashda va unga ishlov berishda uning asosiy belgilanishi-tovush sochishdan tashqari u tovush yutuvchi yuza vazifasini ham bajaradi. Bu past chastotalarda juda sezilarli. Tovush sochuvchilarning bunday xususiyatlarini inobatga olib, ularni turli oʻlchamda va koʻp miqdorda loyiha-lashga harakat qiladilar. Bunda tovushni sochish va yutish turli nutq va musiqa chastota spektrlarida bir xil darajada amalga oshiriladi.

Demak, zallarni loyihalashda arxitektorlar birinchi navbatda uning shakliga ahamiyat beradilar. Yuqorida taʼkidlaganimizdek zallarning shakli turlicha: doira, yarim doira, ellips koʻrinishida boʻlishi mumkin. Ammo shuni taʼkidlash zarurki, zalning turli oʻlchamlari nisbati uning badiiyligi didiga zid boʻlmasligi kerak. Zallarning biron bir oʻlchami boshqalaridan sezilarli katta (baland, uzun yoki keng va aksincha qisqa, past va tor) boʻlsa, bunday zallar hech qachon akustik nuqtai nazaridan samarali boʻlmaydi chunki, bunday zallarning hajmi boʻyicha tovush energiyasi zichligi turlicha boʻladi. Agar zal ellips shaklida boʻlsa, fransuz olimi Burdening taʼkidlashicha har bir tovush nuri zal devorlarining maʼlum yuzalaridan qaytib boshqa nurlar bilan kesishmasdan tinglovchiga yetib boradi. Ammo bu taxminlar faqat birinchi qaytish nurlarigagina tegishli. Keyingi koʻp sonli qaytarilishlar

turli yoʻnalishlar boʻyicha tarqaladi va reverberatsiya vaqti bilan aniqlanadigan oddiy sharoit yuz beradi. Bu holda zalning shakli oʻzining spesifik xususiyatlarini yoʻqotadi. Umuman olganda zalning shunday shakli yoʻqki, u oʻz-oʻzidan (absolyut oʻlchovlaridan qatʻiy nazar) akustik muvaffaqiyatni kafolatlasin. Boshqa tomondan, akustik kamchiliklarni oldindan koʻrabiladigan yoki biroz susaytiradigan zal shakli yoʻq. Zalning shakli toʻgʻrisida shunday fikrni aytish mumkin, zalning turli oʻlchamlari nisbati uning badiiyligiga zid boʻlmasligi kerak.

**Tovush kuchi.** Qadim-qadimdan arxitektura akustikasida shunday qoida mavjudki, unga rim va grek arxitektorlari ham qatʻiy amal qilganlar. Bu qoida shundan iboratki, tinglovchiga toʻgʻri tushayotgan tovush nuri qanchalik kuchli boʻlsa, tinglovchi tovushni shunchalik yaxshi qabul qiladi. Bu qoidani bajarilishi uchun tinglovchi oʻrindiqlari amfiteatr koʻrinishida joylash-tirilishi lozim. Oʻrindiqlarning bunday joylashtirilishi ayniqsa, tovush nuri tinglovchilarga susaygan holda yetib keladigan joydan yaʼni, sahnadan taxminan 20÷25 metr masofadan boshlangani maʼqul. Hozirgi konsert zallarida parterning tugashidan boshlab oʻrindiqlar xuddi shunday, amfiteatr boʻyicha oʻrnatiladi. Parter bilan sahna oraligʻidagi masofa kamida 3÷4m tashkil etishi lozim. Tinglovchilarga tushayotgan toʻgʻri tovush nuri kuchini oshirish maqsadida sahna poldan 1÷1,20 metr balandlikda boʻlgani maʼqul. Katta konsert zallarida turli tovush qaytaruvchi shakl va materiallardan foydalanish hamda, zamonaviy tovush kuchayti-ruvchi tizimlarning qoʻllanilishi hisobiga zalning reverberatsiya vaqti maʼlum darajada boshqarilishi mumkin va shuning hisobiga tovush kuchi qiymati yetarlicha boʻladi.

Katta konsert zallarda tinglovchilarga qulaylik yaratish boʻyicha qilinadigan koʻpgina masalalar bilan birga zal ventilyatsiyasi muhim rol oʻynaydi. Bu alohida mavzu boʻlib, uni studiyaning akustik hisobi boʻlimida koʻrib chiqamiz.

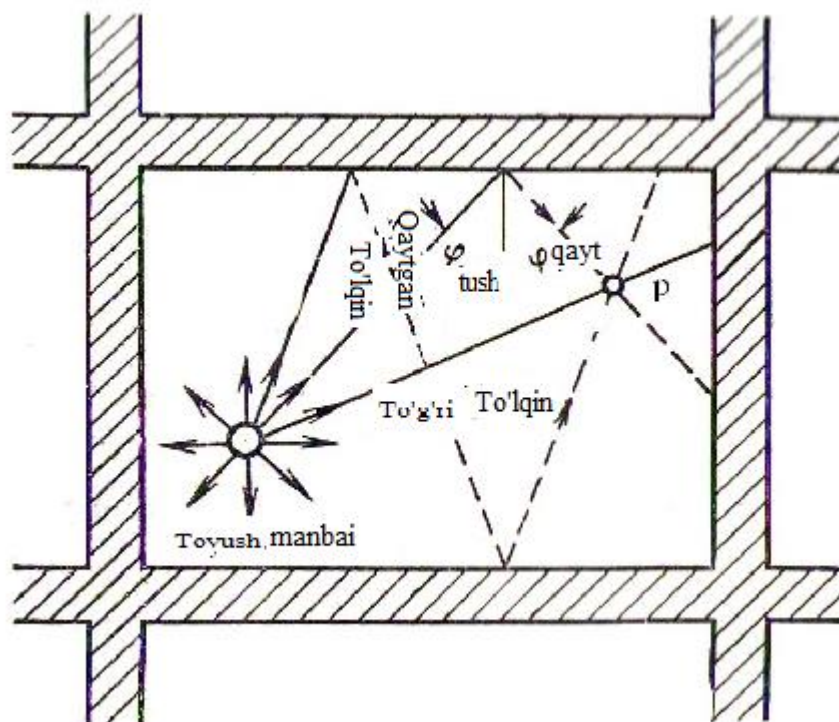
**Ovozning tiniqligi va tovush goʻzalligi.** Xonada ovoz tiniqligiga unga biron-bir shovqin yoki qaytgan tovush aralashmagandagina erishish mumkin. Xonaning normal reverberatsiyasi tovushga yoqimli mayinlik baxsh etadi. Zalda aks sadolanish boʻlganda ovoz tiniqligi keskin oʻzgaradi. Zalda optimum reverberatsiya vaqti taʼminlanadigan darajada loyihalanganda uni sinchkovlik bilan aks sado beradigan biron-bir yuza borligini taxlil etish kerak. Shunday yuzalar mavjud boʻlsa, darhol qayta loyilash yoki bunday yuzalarni tovush qaytaruvchi materiallar bilan qayta

ishlash lozim. Bunday qayta ishlashlar tabiiyki, reverberatsiya vaqtini o'zgartiradi. Hukosa qilib aytganda, zalning dastlabki loyihasiqa optimal reverberatsiya vaqti saqlanib qoladigan darajada o'zgartirish kiritilishi lozim.

**Tovush go'zalligi** –aniqrog'i tovush uzatish go'zalligi deb, odam ovozinig, ashula va musiqaning barcha nyuanlarini tinglovchi-larga aniq va buzilishlarsiz yetkazib berish tushuniladi. Bu arxitektura akustikasining muammoli masalalaridan biri hisob-lanadi.Odam nutqi va ashulasi juda murakkab tebranishlardan iborat. Odam tovushida biz sof sinusoidal tebranishlarga ega emasmiz ammo, sof ton tebranishlarida hamma vaqt ko'p sonli obertonlar kuzatiladi. Akustik sharoitlari turlicha bo'lgan zallarda tovush balandligi turlicha bo'lgan tovushlarning ayrim obertonlari yaxshiroq jaranglaydi, natijada ashula va nutq tembrlari buziladi. Ideal zal shunday xususiyatlarga ega bo'lishi kerakki, unda ijro etiladigan barcha tovush tonlari va obertonlari bir xil yaxshi yangrashi va uzatilishi kerak. Hozirgi texnika taraqqiyot etgan kunda studiya, konsert zallari va teatlardan tovush signallarini yuqori sifatli uzatish va qayta ishlash muammo darajasida emas.

### **7.3 Xona akustikasining statistik nazariyasi**

Katta xonalar akustikasining yaxshi eshitish sharoiti bilan bog'liq bo'lgan muammolari azal-azaldan ma'lum bo'lgan. Xonada nutq yangraganda uning har bir bo'g'ini qisqa impuls sifatida tinglovchiga faqat to'g'ridan-to'g'ri yetib kelmasdan, balki devor, xona poli va shiftidan ko'p marotaba qaytib keladi. Bunday jarayon 7.37 - rasmda keltirilgan.



Xonada tovush to'loqining qaytishiga oid

Tovush impulsining har bir qaytishida tovush energiyasining bir qismi yutiladi, natijada tinglovchi sekin-asta soʻnayotgan impulslarni eshitadi. Xonada tovush manbai oʻchirilgandan soʻng tovushning bunday “davomli” soʻnishi **reverberatsiya** nomini olgan. Xonada tovush manbai oʻchirilgan vaqtdan, to qaytgan tovush eshitar-eshtilmas darajaga yetgunicha ketgan vaqt, **reverberatsiya vaqti** yoki **sado vaqti** deyiladi.

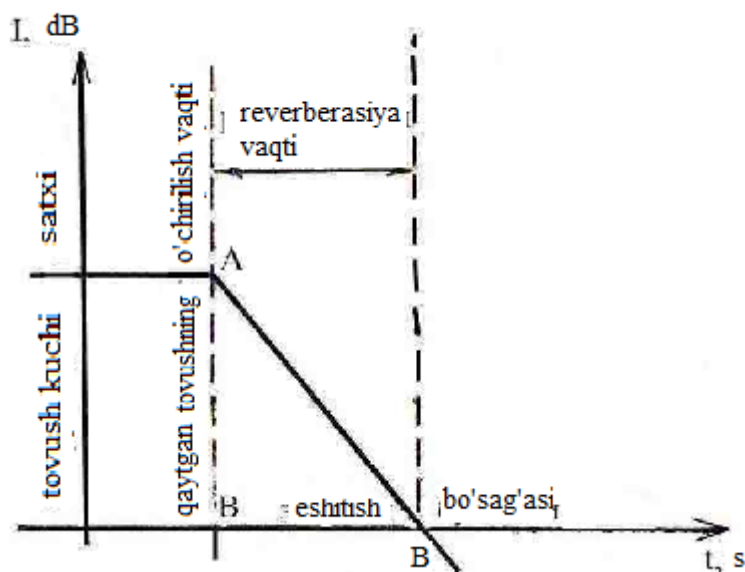
«Reverberatsiya» iborasini ilk bor Sebin taklif qilib kiritgan, u «qaytish», «qaytgan sado», «kechikkan tovushlarning jaranglashi» maʼnosini bildiradi.

Agarda tovush soʻnishi katta boʻlmasa, xona oʻta jarangdor boʻlib, unda nutq aniqligi yoʻqoladi. Aytilgan mulohazalar musiqaga ham taalluqli.

Haqiqatan ham xonada soʻnish katta boʻlganda, reverberatsiya vaqti kichik boʻladi, musiqa quruq yangraydi, natijada musiqa oʻzining goʻzal, nafis estetik xususiyati va taʼsirini yoʻqotadi. Bu mulohazalardan shu narsa kelib chiqadiki, xonaning sifatini aniqlaydigan birdan-bir parametr qaytgan tovush signalining davomiyligi, yaʼni **reverberatsiya vaqti** davomiyligidir.

7.38-rasmda xonada tovush energiyasining soʻnish jarayonini aks ettiruvchi grafik keltirilgan. Bunda ordinata oʻqi boʻyicha 7.36-

rasmdagidan farqli ravishda o'lichamlar logarifmik masshtabda, ya'ni desibellarda keltirilgan. Logarifmik masshtabda tovush energiyasining so'nishi to'g'ri chiziqli ko'rinishga aylanadi. Shunday qilib, tovush kuchi sekundiga desibellarda ifodalangan miqdorda ma'lum tezlikda pasayadi. Tovush energiyasining pasayish tezligini grekcha  $\tau$  (tau) harfi bilan belgilaymiz, ya'ni uning qiymati qanchalik katta bo'lsa, reverberatsiya vaqti shunchalik kichkina bo'ladi, AB chiziq keskin tushadi.



. Tovush energiyasining pasayishi

Reverberatsiya vaqti, tovush kuchi va tovush energiyasining pasayishi o'rtasida quyidagi bog'liqlik mavjud:

$$\tau = \frac{L}{T}, \quad (7.1)$$

bunda L- tovush kuchining manba o'chirilgunga qadar eshitish bo'sag'asidan balandligi; T- reverberatsiya vaqti, s.

### **Reverberatsiya davomiyligini belgilovchi qiymatlar**

Yuqorida aytib o'tganimizdek, tovush energiyasi xona devorlaridan har bir qaytishida yutiladi (so'nadi). Tushunarli, shuning uchun tovush qanchalik tez-tez qaytsa, shunchalik tezroq so'na boradi va shunchalik reverberatsiya qisqaroq davom etadi.

Bundan shunday xulosa kelib chiqadi, qaytish to'lqin chastotalari oshganda reverberatsiya kamayadi.

Shularni e'tiborga olgan holda quyidagi 7.1- jadvalni tuzamiz:

№	Reverberatsiya oshadi, agarda:	Tushuntirish
1	Xona hajmi oshsa	Xona hajmi oshganda, devor, pol va shift orasidagi masofa oshadi, demak ketma-ket qaytayo-tgan ikkita tovush to'liqlari orasidagi vaqt ham oshadi. Qaytayotgan tovush to'liqlari chastotasi pasayadi
2	Xonada tovush yutish koeffitsienti kamaysa	Yutiladigan energiya qismining har bir qaytishda kamayishi, uning ma'lum vaqt oralig'ida susayishini kamaytiradi. Tovush energiyasining har bir qaytishida energiyaning bir qismi kamayadi, natijada uning ma'lum vaqt orasida pasayishini kamaytiradi.
3	Tovush kuchi oshsa	Tovush energiyasi pasayish tezligi o'zgarmagan holda, baland tovush eshitish bo'sag'asiga yetib borguncha ko'proq vaqt ketadi.
4	Xona yuzalari kichraysa	Xona yuzalari kamayganda, tovush to'liqini xona yuzasi bilan to'qnashuv ehtimoli kamayadi. To'liqin qaytish chastotasi pasayadi.
5	Tovush tezligi pasaysa	Tovush tezligi pasayganda, ikkita ketma-ket to'liqin qaytishlari oralig'i ortadi. To'liqin qaytish chastotasi pasayadi. Qaytish chastotalari pasayadi.

Ushbu jadval sahifasini yanada kengroq davom ettirish mumkin edi ammo, yuqorida keltirilgan oddiy shart va sharoitlarning bajarilishini davom ettirishni, zukko va bilimdon o'quvchilar hukmiga havola etamiz.



Muallif aminki shu yo'sinda olib borilgan o'xshash misol va masalalarni tuzish, hamda yechim variantlarini keltirish Aziz o'quvchilar hukmiga havola etiladi!

Reverberatsiyaning statistik nazariyasiga murojat qilinganda tovush signalining quyidagi tushuncha va parametrlaridan foydalaniladi:

- erkin o'tish yo'lining o'rtacha uzunligi;
- yo'lni erkin o'tish o'rtacha vaqti;
- o'rtacha yutish koeffitsienti;
- reverberatsiya vaqti;
- birinchi qaytishlarning kechikish vaqti;
- aniqlik va ravshanlik;
- akustik nisbat;
- jarangdorlik radiusi.

Avval **diffuziya maydoni** tushunchasini ko'rib chiqamiz.

Diffuziya maydoni - bu qaytgan tovush energiyasi to'g'ri tovush energiyasidan katta bo'lgan maydon. Qaytarilgan tovush to'lqinlari xonada turli yo'nalishda tarqaladi. Agarda qaytgan tovush tez so'nmasa, unda xonaning istalgan nuqtasida bir-biriga ustma-ust tushadigan to'lqin vektorlari soni ko'p bo'lishi mumkin. Bu holda turli yo'nalishdagi tovush oqimi energiyasining o'rtacha qiymati bir-biridan kam farq qiladi. Turli yo'nalishdagi tovush energiyasi o'rtacha qiymatining tengligi **maydon izotropiyasi** deb ataladi. Maydon izotropiyasi tovush energiyasini xona hajmi bo'yicha bir tekis taqsimlanishiga, ya'ni xonaning turli nuqtalarida tovush energiyasi zichligi o'rtacha qiymatining tengligiga olib keladi. Bu xususiyat **maydon bir jinslili** deb ataladi. Shunday qilib, diffuziya maydoni - turli yo'nalishlarda ko'p marotaba qaytib tarqalayotgan **bir jinsli va izotrop** to'lqinlar maydoni.

**To'lqinlarning o'rtacha erkin o'tish yo'li va vaqti.** Xonadagi tovush maydonini statistik tekshirishlar, avval to'siqlardan qaytayotgan to'lqinlarning o'rtacha qiymati va vaqtini aniqlashni taqazo etadi.

Signalni xonada o'rtacha erkin o'tish vaqti quyidagi formula orqali topiladi

$$\tau = \frac{4V}{cS}, c . \quad (7.2)$$

Bir vaqtda qaytgan to'lqinlar soni:

$$n = \frac{\ell}{\tau} = \frac{cS}{4V} . \quad (7.3)$$

Tovush to'lqinining o'rtacha erkin bosib o'tgan yo'li:

$$\ell_{\text{ўпг}} = c\tau = \frac{4V}{S}, \text{ м / с.} \quad (7.4)$$

**Tovush energiyasining soʻnishi va oʻrtacha soʻnish koʻeffitsienti**  
Tovush toʻlqini yuzaga tushib qisman undan qaytadi, qisman yuzadagi materialda yutilib issiqlik energiyasiga aylanadi. Tovush toʻlqinining tushishi va qaytishi akustikaning geometrik qonuniga boʻysunadi. Xonada qaytishdan soʻng qolgan tovush toʻlqini energiyasi qaytish koʻeffitsienti  $\beta$ , tovush yutish koʻeffitsienti  $\alpha$  va tovush oʻtkazish koʻeffitsienti  $\gamma$  larga bogʻliq:

$$\alpha = \frac{E_{\text{ютил}}}{E_{\text{туш}}}; \beta = \frac{E_{\text{кайт}}}{E_{\text{туш}}}; \gamma = \frac{E_{\text{ўтган}}}{E_{\text{туш}}}. \quad (7.5)$$

Bunda  $Ye_{\text{tush}}$ , - yuzaga tushgan tovush energiyasi;  $Ye_{\text{qayt}}$  - yuzadan qaytgan tovush energiyasi;  $Ye_{\text{oʻtgan}}$  - yuzadan oʻtgan tovush energiyasi.  $\alpha$ ,  $\beta$  va  $\gamma$  –koʻeffitsientlarning qiymatlari materialga, yuzaning konstruktiv tuzilishi va tovush toʻlqinining yuzaga tushish burchagiga bogʻliq. Tovush yutish koʻeffitsientining oʻrtacha qiymati:

$$\alpha_{\text{ўпг}} = \frac{1}{n} \sum_1^n \alpha_i(\varphi_i), \quad (7.6)$$

$\alpha_i(\varphi_i)$  -tovush toʻlqinining  $\varphi_i$  burchak ostidagi tovush yutish koʻeffitsienti. Xonaning devorlari turli xildagi soʻndiruvchi materiallar bilan qoplanganligi sababli, ularning umumiy tovush yutish fondi quyidagicha ifodalanadi.

$$A_0 = \alpha_1 S_1 + \alpha_2 S_2 + \dots + \alpha_n S_n = \sum_{i=1}^n \alpha_i S_i. \quad (7.7)$$

Qoʻshimcha fondga ijrochilar, tinglovchilar va ular egallagan yuza, hisobga olinishi qiyin boʻlgan anjomlar kiradi, qoʻshimcha yutilish fondi:

$$A_{\text{кўш}} = \alpha_{\text{кўш}} S.$$

Xonadagi umumiy tovush yutilish qiymati:

$$A = \sum \alpha_i S_i N_k + \sum A_k N_k + \alpha_{\text{кўш}} S, \quad (7.8)$$

bunda:  $A = \sum \alpha_i S_i N_k + \sum A_k N_k + \alpha_{\text{кўш}} S$  tovush yutilish birligida ifodalangan. Tovush yutish birligi etib  $1\text{m}^2$  ochiq oynaning

yutish koeffitsienti olinadi,  $\alpha = 1$  teng. Xona uchun o'rtacha tovush yutilish koeffitsienti:

$$\alpha_{\text{ypr}} = \frac{A}{S} \text{ ga teng.} \quad (7.9)$$

**Standart reverberatsiya vaqti.** Xonadagi reverberatsiya jarayonini baholash maqsadida reverberatsiyaning standart vaqti kattaligi kiritilgan. **Standart reverberatsiya vaqti** deb, tovush energiyasi zichligining  $10^6$  marta, yoki 60 dB kamayishigacha ketgan vaqtga aytiladi.

Bu reverberatsiya vaqti Eyring formulasi orqali aniqlanadi:

$$T_p = 0,161 \frac{V}{-S \ln(1 - \alpha_{\text{ypr}}) + 4\mu V}, \quad (7.10)$$

bunda,  $4\mu v$  -tovushning havoda so'nish qiymati.

Katta bo'lmagan xonalar uchun va 1000 Gs dan past chastotalarda havodagi so'nish koeffitsienti  $4\mu v$  ni inobatga olmasa ham bo'ladi. 4000 Gs dan yuqori chastotalarda  $4\mu v$  asosiy rol o'ynaydi va reverberatsiyaning standart vaqti kamayaboradi.

Hisob - kitoblarda ko'proq so'nishning reverberatsiya koeffitsienti  $\alpha' = -\ln(1 - \alpha_{\text{ot}})$  dan foydalaniladi. Unda:

$$T_p = 0,161 \frac{V}{\alpha' S_{\Sigma} + 4\mu V}. \quad (7.11)$$

#### 7.4 Akustik nisbat va ekvivalent reverberatsiya

Xonadagi tovush maydonini «to'g'ri» va «qaytgan» tovush to'lqinlari yig'indisi maydoni deb hisoblash mumkin. Qaytgan tovush to'lqinlari maydonini hamma vaqt diffuziya maydoniga yaqin deyish mumkin. Shuning uchun bu maydon tarkibini **diffuziya maydoni tarkibi** deb ataladi.

Qaytgan tovush energiyasi zichligi to'g'ri tovush energiyasi zichligiga bo'lgan nisbati

$$R = \frac{\varepsilon_{\text{диф}}}{\varepsilon_{\text{тўг}}} \text{ yoki } R = \frac{p_{\text{диф}}^2}{p_{\text{тўг}}^2}, \quad (7.12)$$

**akustik nisbat** deb ataladi.

Tovush manbaigacha bo'lgan  $R=1m$  masofa **jarangdorlik radiusi** deb ataladi. Yakka tovush maydoni uchun jarangdorlik radiusi

$$r_{\text{ж}} = \sqrt{\frac{\alpha S \Omega_{\text{ж}} R^2(\theta)}{50,3(1-\alpha)}} \quad (7.13)$$

Akustik nisbatning o'zgarishi reverberatsiya vaqti o'zgarishidek eshitaladi. Bu effektни baholash uchun **reverberatsiya ekvivalenti** tushunchasi kiritilgan.

$$T_{\text{эKB}} \approx \frac{1,2T_p}{1,2 + T_p \lg\left(\frac{\Omega_m + R}{R}\right)}, \quad (7.14)$$

bunda  $\Omega_m$  -mikrofonning yo'nalganlik koeffitsienti.

Reverberatsiya ekvivalenti, tovush manbai va mikrofon joylashgan nuqtalarga, hamda mikrofon yo'nalganlik diagrammasiga bog'liq.

Reverberatsiya ekvivalenti tovush manbaiga yaqinlashgan sari kamayadi, chunki akustik nisbat kamayadi. Akustik nisbat katta bo'lgan zaldagi olis nuqtalarda har doim jarangdorlik boshqa nuqtalardagiga nisbatan yuqori bo'ladi.

## 7.6. Radioeshittirish va televidenie studiyalari

Tovush eshittirishning sifati ko'p jihatdan eshittirish olib borilayotgan studiyaning akustik sifatlariga bog'liq.

Yuqori sifatli tovush eshittirishni olish uchun maxsus akustik ishlov berilgan xonalar – studiyalar jihozlanadi. Belgilanishi bo'yicha ular; radioeshittirish va televidenie studiyalariga bo'linadi. Radioeshittirish studiyalari katta, o'rtacha va kichik konsert, kamer musiqasi, nutq, hamda adabiy-dramatik studiyalarga bo'linadi. Televidenie studiyalari ham shunday belgilanadi, faqat adabiy-dramatik studiyalar o'rniga postanovka studiyalari deb ataladi.

Radioeshittirish va televidenie studiyalarining o'lchamlari va shakli berilgan ijrochilar soni bo'yicha "Oltin kesim" nisbat-laridan foydalanib, chiziqli o'lchamlari: uzunligi  $\ell$ , e'ni  $b$  va balandligi  $h$  tanlanadi.

Ko'p hollarda studiyaning shakli konstruktiv nutai nazaridan to'g'ri to'rt burchakli tanlanadi. Studiyaning o'lchamlari alohida proporsiyalarni talab etmaydi. Studiyaning plani kvadratga yaqin bo'lmasligining o'zi yetarli, balandligi esa, studiyaning plandagi eng kichik o'lchami yarmisidan katta bo'lishi kerak. Bunda studiya o'lchamlarining nisbati 5:3:2 yoki 2,6:1,6:1, ya'ni  $\ell : b : h = 2,6:1,6:1$ . Xona uzunligi, eni va balandligi o'lchamlarining bu nisbatlardan keskin

farqlanishi akustik defektlarga olib kelishi mumkin. Studiyaning balandligi qurilish-arxitekturasining talablari bilan aniqlanadi: bir tomondan, studiyaning asosiy o'lchamlari arxitektura proporsionalligi talablarini qondiradigan nisbatda bo'lishi; ikkinchi tomondan studiya kompleksini bir binoda joylashtirganda balandligi bir-biri bilan va bino qavatlari balandligi bilan ham kelishtirilgan bo'lishi kerak. Studiyaning tanlangan poli yuzasi va balandligi bo'yicha uning hajmi va umumiy yuzasini aniqlash mumkin.

Radioeshittirish va televidenie studiyalarning klassifi-katsiyalari 7.2- jadvalda keltirilgan.

7.2-jadval

Studiyaning nomi	Studiyaning belgilanishi	Studiya polining yuzasi, m <sup>2</sup>	Studiyaning balandligi, m	Ijrochilar soni, N <sub>opt.</sub>
Katta TV studiya	Musika, adabiy-dramatik eshittirishlar va ko‘p sonli ijrochilar ishtirokidagi murakkab dekoratsiyali sahnalarni tasvirga tushirish uchun	1000	15	400
		600	11,0	250
		450	10,0	200
O‘rtacha TV studiya	Musika, adabiy-dramatik eshittirishlar va dekoratsiyasi murakkab bo‘lmagan kam sonli ijrochilar ishtirokidagi sahnalarni tasvirga tushirish uchun	300	8,6	120
		200	7,0	50
Kichik TV studiya	Adabiy- musika, kichik adabiy-dramatik eshittirishlar va dekoratsiyasi murakkab	150	6,5	30
		100	5,-6,0	20
		50-80	4,-5,0	10-15

	bo‘lmagan kam sonli ijrochilar ishtirokidagi sahnalarni tasvirga tushirish, ijtimoiy-siyosiy, adabiy, eksponat va modellarni namoyish etish uchun			
Diktor TV studiyasi	Diktor yoki notiqni (o‘rta yoki yirik planda) ko‘rsatish uchun	60-80	4,2-4,5	2-4
	Axborot eshittirishlari (diktorni ko‘rsatmasdan)	12-15	2,6-2,8	1-2
Diktor telekommentator studiyasi	Katta musiqa (katta simfonik orkestr, xor va b.q. ijrosidagi) tinglovchilar ishtirokidagi eshittirishlar	650-1000	11,0-13,0	200-250
	Simfonik muzika (kichik sonli orkestr ijrosida), estrada va djaz muzikasini	750	12	150

	yoʻzish uchun			
Radioeshit. katta konsert studiyasi	Katta boʻlmagan orkestr va xor ijrolarini yoʻzish uchun	350-450	8,5-10	40-65
		250-300	8,0-8,3	30-35
RE katta KS (tinglovchilarsiz)	Kamer muzikasini ijro etish, solist-vokalistlar, kichik muzika eshittirishlari uchun	150	6	10-15
Oʻrtacha RE konsert studiyasi	Katta radio spektakllarni yaratish va uzatish uchun			
	Badiiy oʻqishlar, kichik radio spektakllar uchun	150-200	6-6,5	20-30
Kichik musiqa RE studiyasi	Informatsion eshittirishlar, soʻngi axborot	100	5	10-15
RE kamer studiyasi	Adabiy-dramatik yozuvlarda maxsus effektlar yaratish uchun	26-30	3,2-3,5	2-4



Katta ADS studiya	Fonogrammalarni qayta yozish, programma fragmentlarini konservatsiyalash uchun yozish	50	4	6-10
O'rtacha ADS	Reverberatsiyasi o'zgaruvchan jarangdor effektlarni yaratish uchun	30-40	3,5	1-2
Nutq studiyasi	Ekspertiza o'tkazish uchun	50	4	-
Tovush so'ndirilgan studiya		30-40	3,5	-

Yuqori sifatli tovushlarni olish uchun studiyalar tashqi shovqinlardan yetarlicha himoyalangan bo'lishi zarur.

Har qanday studiyaning akustik asosiy xarakteristikasi bu-reverberatsiya vaqtidir. Standart reverberatsiya vaqti deb, so'nayotgan tovush energiyasining statsionar qiymatidan  $10^6$  marta kamayishigacha o'tgan vaqtga aytiladi, bu tovush energiyasining 60 dB gacha kamayishiga teng. Kichik reverberatsiya vaqti tovushni ma'yuslantiradi va ijrochidan baland ovoz talab etadi. Juda katta reverberatsiya vaqti tovushning «yog'ilib ketishiga sababchi bo'ladi, natijada bir bo'g'in ikkinchisiga qo'shilib so'z aniqligi, ravonligi pasayadi, musiqa ohanglari buziladi.

Tovush jaranglashi tabiiy bo'lgan vaqtni optimal reverberatsiya vaqti deb ataladi. Optimal reverberatsiya vaqti ijro etiladigan musiqa asarlariga bog'liq. 7.3-jadvalda studiyalarning optimal reverberatsiya vaqti va uning chastota xarakteristikasi berilgan.

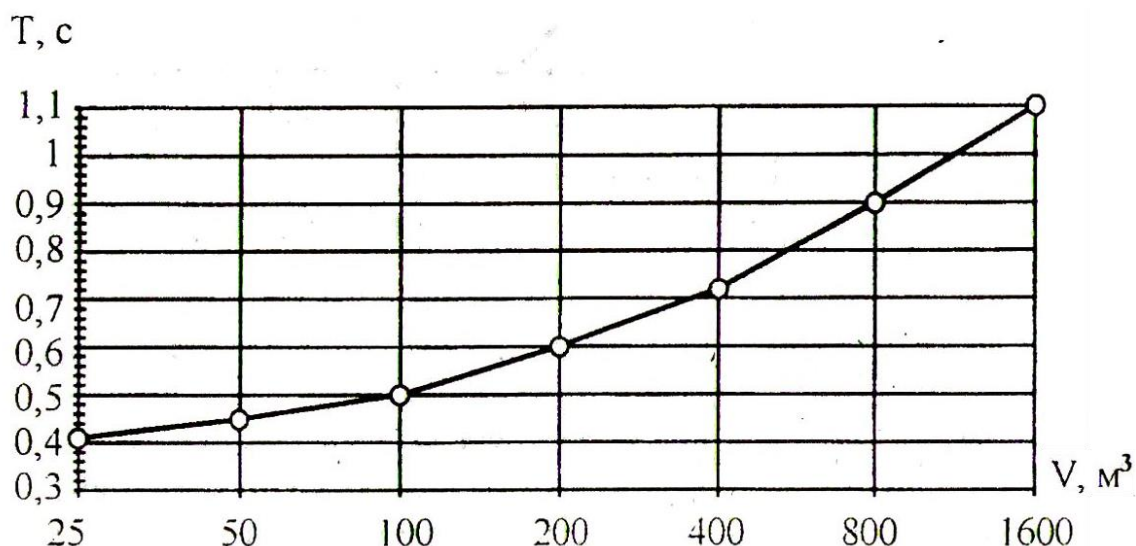
Optimal reverberatsiya vaqti va uning chastota xarakteristikasi

Studiya turi	Hajm, m <sup>3</sup>	T <sub>opt 500</sub> , s	Chastota xarakteristikasining ko'rinishi
Nutq (televizion, radioeshittirish) studiyasi	50-70	0,4-0,5	Gorizontal-chiziqli
Radioeshittirish konsert studiyasi	≤ 3000	$\lg T = -0,374 + 1/6 \lg V$	Gorizontal-chiziqli, 125 Gs chastotada 50% gacha oshishi mumkin
Radioeshittirish katta konsert studiyasi	≥ 3000	1,7-1,8	Gorizontal-chiziqli, 125 Gs chastotada 20-30% oshishi mumkin
Adabiy-dramatik blok	500-800	0,-0,6	100-5000 Gs polosada gorizontal-chiziqli
Tovush so'ndirilgan adabiy-dramatik blok	100-150	0,2-0,25	Gorizontal-chiziqli
Tovush	100-150	3,0-3,5	150-3000 Gs polosada past va yuqori chastotalarda biroz pasayish bilan, gorizontal-chiziqli

so'ndirilmagan adabiy-dramatik blok			Gorizontal-chiziqli
TV telepostanovkalar studiyasi	$\geq 3000$	0,7-0,8	Gorizontal-chiziqli
TV maket-diktor studiyasi	200-400	0,5	

Nutq studiyalarga bo'lgan talab ijrochi tovushi tembrini o'zgartirmay nutqning yuqori aniqligini saqlashdan iborat. Shuning uchun bunday studiyalar kichik reverberatsiya vaqtiga ega (0,5...0,6 s). Musiqa eshittirishlari uchun mo'ljallangan studiya-larning reverberatsiya vaqti ancha yuqori (1,5...2,0 s). Turli dasturlar uchun optimal reverberatsiya vaqtini tanlash va shu yo'l bilan optimal tovush yangrashini ta'minlash uchun reverberatsiya vaqtini o'zgartirib turishga to'g'ri keladi. Buning uchun hozirgi vaqtda sun'iy reverberatsiya qurilmalari keng qo'llaniladi.

**Nutq studiyalari.** Nutq studiyalariga qo'yiladigan asosiy talablardan biri, nutqning yuqori aniqligi va ijrochining nutq tembrini saqlashdir. Izlanish va tadqiqotlar shuni ko'rsatadiki, nutqning yuqori aniqligi tovush bosimi 50÷80 dB va reverberatsiya vaqti 1s dan kam bo'lganda erishiladi. Nutq eshittirishlarida studiyalarda odatda 10 kishidan ko'p bo'lmasligi sababli bunday studiyalarning hajmi aytarli katta bo'lmaydi. O'rta chastotalarda reverberatsiya vaqti 0,4÷0,8s tavsiya etiladi. Nutq studiyalari uchun optimal reverberatsiya vaqtini 7.36-rasmda keltirilgan egri chiziqdan aniqlash mumkin.



7.39- rasm. Optimal reverberatsiya vaqtining nutq studiyasi hajmiga bog‘liqligi grafigi

Shunday qilib, optimal akustik sharoitlarni yaratish uchun nutq studiyasi quyidagicha bo‘lmog‘i shart:

-reverberatsiya vaqti  $0,4 \div 0,8$ s;

- reverberatsiya vaqtining chastota tavsifi yuqori chastotalargacha chiziqli bo‘lishi kerak.

**Musiqqa studiyalari.** Musiqa asarlarining xarakterini, eshittirishda ishtirok etayotgan ansambl tarkibini inobatga olib, yozuv jarayonidagi optimal akustik sharoitlarni yaratish maqsadida musiqalarni eshittirishda bir necha studiyalardan foydalaniladi. Musiqa studiyalarining akustik sharoitlarini, ularning hajmi  $2000\text{m}^3$  katta bo‘lganda, optimal reverberatsiya vaqti studiya hajmiga bog‘liq bo‘lmaydi. Bunday studiyalarda optimal reverberatsiya vaqti musiqa asarlarining xarakteri bilan belgilanadi. Optimal reverberatsiya vaqti 1000 Gs chastotada:

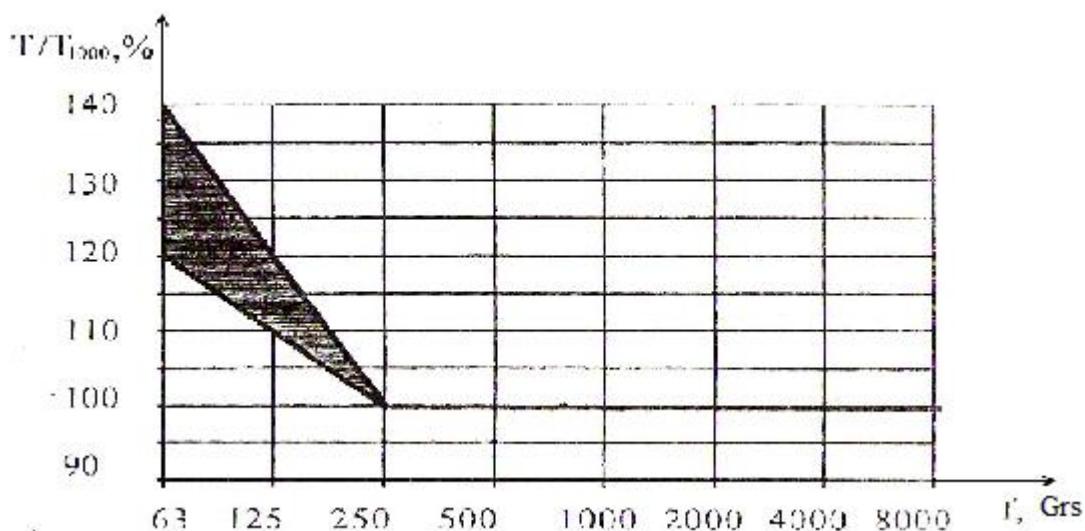
- zamonaviy musiqa uchun - 1,48 s;

- klassik musiqa uchun - 1,54 s;

- romantik musiqa uchun - 2,07 s tashkil etadi.

Kichik hajmdagi musiqa studiyalari uchun optimal reverberatsiya vaqti 7.37 - rasmda keltirilgan grafikdan aniqlanadi.

Musiqa studiyalarining optimal reverberatsiya vaqti past chastotalarda biroz ko‘tariladi, bu ko‘tarilish tinglovchilarning estetik didiga, asosan past chastotalarni alohida ajratib tinglashlari bilan bog‘liq.



7.40-rasm. Musiqa studiyalari uchun optimal reverberatsiya vaqti grafigi

Yuqorida bayon etilgan fikrlarga asosan, musiqa studiyalari reverberatsiya vaqtining akustik talablarini quyidagicha ifodalash mumkin:

1. Kichik va o'rtta hajmdagi musiqa studiyalarining optimal reverberatsiya vaqti  $1 \div 1,6$  s bo'lib, studiyalarning hajmiga nisbatan tanlanadi.

2. Katta hajmdagi studiyalarning optimal reverberatsiya vaqti, studiyaning hajmiga kamroq bog'liq bo'lib, ko'proq ijro etiladigan musiqa asarlari xarakteriga bog'liq. Ko'p maqsadli studiyalar uchun tavsiya etiladigan reverberatsiya vaqti  $1,7 \div 1,8$  s.

3. Past chastotalarda optimal reverberatsiya vaqti o'rtta chastotalardagiga nisbatan  $20 \div 40$  % ko'p bo'lishi mumkin.

**Televidenie studiyalari.** Televidenie studiyalari radioeshittirish studiyalaridan farqli ravishda ko'pdan - ko'p murakkab dekoratsiyalarning qo'llanilishi bilan ajralib turadi. Bu o'z navbatida TV studiyalarda qo'zg'aluvchi kamera, mikrofonlar va katta sonli yoritgich asboblardan foydalanishni taqazo etadi.

Bunday studiyalarning optimal reverberatsiya vaqti haqida quyidagicha fikr yuritish mumkin:

TV eshittirishlari dekoratsiyalarning tez-tez o'zgarishi bilan bog'liq bo'lganligi sababli, umumiy tovush to'lqini yutilish fondi ham o'zgarib turadi;

- TV kadri o'zgarganda unga mos holda ovoz tavsiflari ham o'zgarishi lozim. Shuning uchun TV studiyalarining reverberatsiya xarakteristikalari sun'iy tizimlar yordamida boshqariladi. Reverberatsiya vaqtini ma'lum diapazonda boshqarish uchun TV studiyasining reverberatsiya vaqti  $0,7 \div 0,8$  s teng qilib olinadi.

TV studiyalarda kameralarning borligi, xizmatchilar, yoritgichlar va ventilyatsiya asboblarning radiostudiyalardagiga nisbatan ko'pligi TV studiyalarda shovqin sathini oshishiga sababchi bo'ladi. Shu sababli, reverberatsiya vaqti amalda erishilishi mumkin bo'lgan  $0,8 \div 1,0$  s bilan cheklaniladi.

Dramatik eshittirishlarning ko'p qismi musiqa sadolari jo'rligida olib borilishi sababli reverberatsiya vaqtini chastotaga bog'liq bo'lmasligiga intilish zarur. Shunday qilib, TV studiyalarida yaxshi akustik sharoit yaratish maqsadida quyidagi talab-larning bajarilishiga erishish zarur:

1. Reverberatsiya vaqti  $0,8 \div 1,0$  s ga teng bo'lgan holda studiya hajmiga bog'liq bo'lmasligi kerak.

2. TV studiyalarni tovush so'ndirish koeffitsienti  $0,7 \div 0,8$  ga teng bo'lgan so'ndiruvchilar bilan qayta ishlash zarur.

3. Reverberatsiya vaqti chastota tavsifining chiziqli bo'lishiga erishish lozim.

4. TV studiyalarni shovqindan saqlanishini to'la ta'minlash zarur.

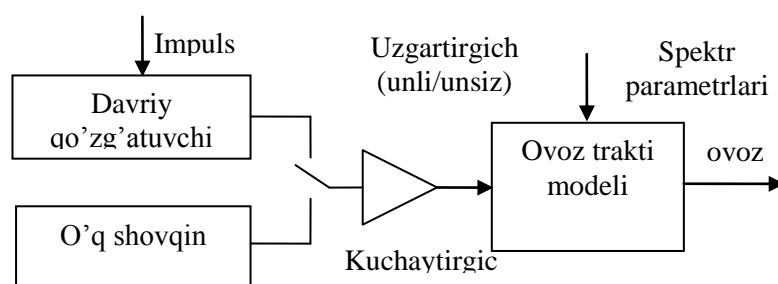
5. TV studiyalarning reverberatsiya vaqtini sun'iy tizimlar yordamida boshqarish lozim.

## 8- bob. Audio signallarga raqamli ishlov berish

### 8.1. Ovozli ma'lumotni kanal asosida, kompozitsiyali harmonik so'lashuvchi va nutq so'zlovchilarining linear so'zlashuvi, afzalliklari, kamchiliklari va ilovalari

Nutqni kodlash uchun ishlatiladigan koderlar vokoder (VOICE CODERS) deyiladi va taxminan quyidagicha ishlaydi.

Ovoz tashkil etuvchi trakt o'zgaruvchan vaqt parametrlariga ega bo'lgan chiziqli filtr sifatida ifodalanadi va oq shovqin manbai (unsiz tovushlarning shakllanishida) yoki asosiy ton davri ketma-ketliklarining impulsi (unli tovushlarning shakllanishida) bilan xarakatga keltiriladi. 8.1-rasm.



8.1-rasm. Ovoz tashkil etish modeli

Vokoder nutq signalini tahlil qilish natijasida olingan ma'lumotni, ya'ni, nutqni tashkil qiluvchi filtr parametrlari, ovozning unsiz/unliligini ko'rsatuvchini, qo'zg'atuvchi signalning quvvatini va unli tovushlar uchun asosiy ton davrini dekoderga uzatadi. Nutq signalining statsionarligini kuzatish uchun bu parametrlar 10-20 ms da yangilanib turishi lozim.

Afsuski vokoder tomonidan taqdim etilga nutq sifati idealdan ancha yiroq, undan chiqayotgan ovoz tushunarli bo'lsada umuman tabiiy emas. Kodning tezligini ancha oshirganimizda ham ovoz sifati deyarli o'zgarmaydi chunki, kodlash uchun nutq tashkil etuvchining juda oddiy modeli tanlangan. Ayniqsa nutqning faqat unli va unsiz tovushlardan iboratligi va biror bir oraliq holatlarga yo'l qo'yilmasligi qo'pol xatodir.

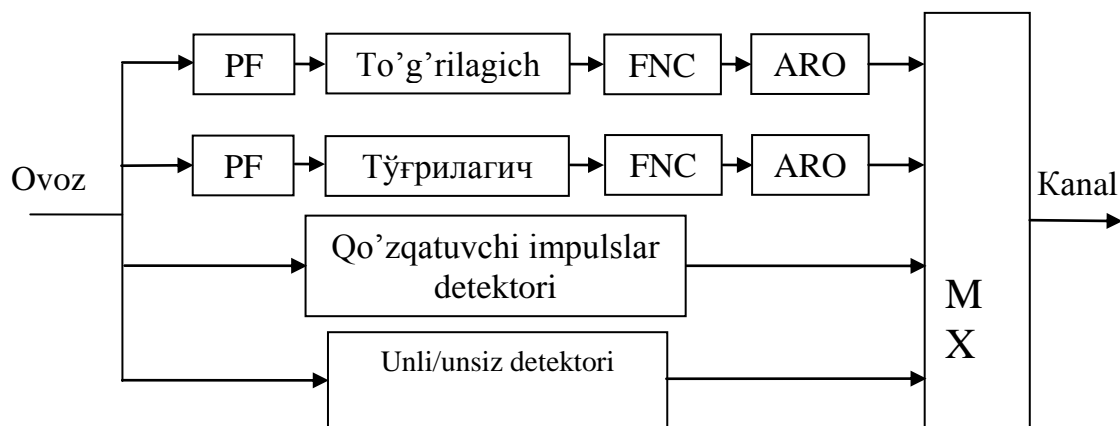
Vokoderning asosiy qo'llanish soxasi harbiy soxadir, chunki u yerda asosiysi ovozning tabiiyligi emas balki yuqori siqish darajasi va kodning past tezligi. Bu parametrlar so'zlashuvlarni qo'lga kiritishdan samarali himoya qiladi. Vokoderning asosiy turlarini qisqacha ko'rib chiqamiz.

Filtr funksiyasining parametrlarini aniqlash prinsipiga ko'ra vokoderlar turlari:

- chiziqli (kanalli);
- formantli;
- ortogonal;
- chiziqli prognostikaga asoslangan vokoder.

### Chiziqli (kanalli) vokoderlar.

Bu 1939 yilda taklif etilgan eng qadimgi vokoderdir. Ushbu vokoder ahamiyatsiz fazaviy (vaqt) signal o'zgarishlarini odamning kuchsiz eshitish sezgirligini ishlatadi. Uzunligi taxminan 20-30 ms bo'lgan nutq segmentlari uchun torpolosali filtr orqali amplituda spektri aniqlanadi. Filtrlar qanch ko'p bo'lsa spektr shuncha yaxshi aniqlanadi, lekin kodlash uchun ko'proq bit va kattaroq kod tezligi kerak bo'ladi. Filtr chiqishidagi signal detektorlanadi, FNCh orqali o'tkaziladi, diskretlanadi va ikki kod bilan kodlanadi (8.2-rasm).



8.2-rasm. Blok koderi-kanalli vokoder struktura sxemasi

Shunday qilib, ovoz chiqaruvchi traktning sekin o'zgarib boruvchi parametrlari aniqlanadi, bundan tashqari asosiy ton va unli ovozlar detektori yordamida, asosiy ton qo'zg'atuvchi davri va unli/unsiz tovush ko'rsatgichi.

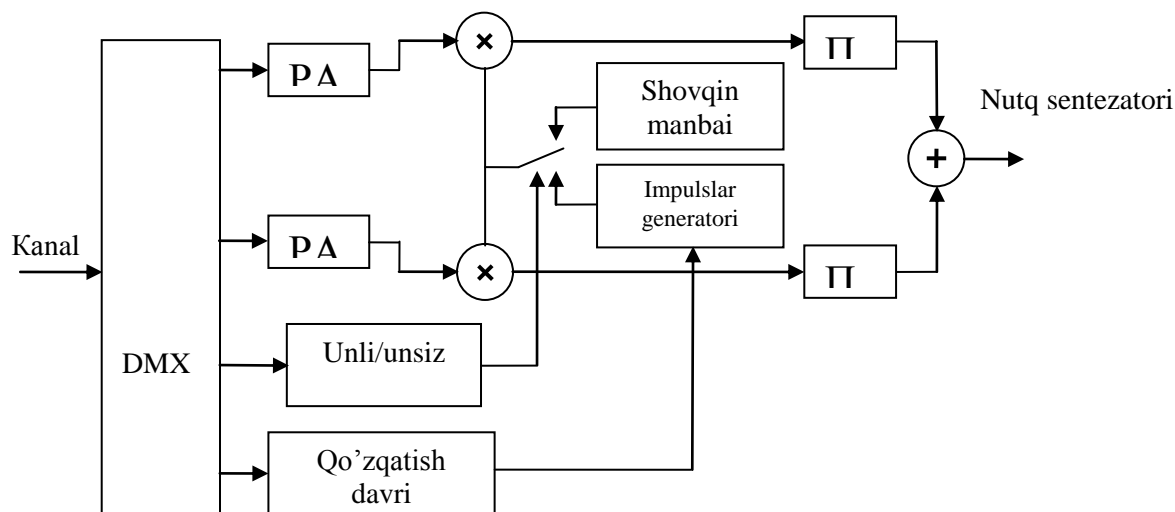
Kanalli koder raqamli va analog formatda ham qo'llanilishi mumkin va chiqishda taxminan 2,4 kbit/s gacha bo'lgan kodli tezlikda yetarlicha aniq nutqni ta'minlaydi.

Koder tomonidan qayta ishlangan ma'lumotni oluvchi dekoder (8.3-rasm) uni teskari tartibda qayta ishlaydi va o'zining chiqishida ovoz signalini sintezlaydi. Kanal vokoderlari asosan ovoz tushunarli va yuqori siqish nisbati kerak bo'lgan joylarda ishlatiladi: harbiy soxada, aviatsiyada, kosmik aloqa va h.z.

### Formant vokoderlar

Yuqorida ta'kidlab o'tilganidek, nutq signali xaqidagi asosiy ma'lumotlar uning tarkibiy tuzilmasi va kengligini tashkil etuvchi formantda joylashadi. Ushbu formantning parametrlari yuqori aniqlik bilan aniqlangan va kodlangan bo'lsa, juda kam bo'lgan 1 kbit/s kam kod tezligini olish mumkin. Afsuski buni qilish juda qiyin, shuning uchun formantli koderlar keng tarqalmagan.





8.3-rasm. Blok koderi-kanalli vokoder tuzilmaviy sxemasi

### Ortogonal vokoderlar

Ortogonal vokoderning ishlash prinsipi nutq signalining spektral egiluvchanligi ortogonal funksiyaning yig'indisi sifatida ifodalash mumkin. Bunday hollarda, boshqa vokoderlardan farqli o'laroq spektral egiluvchanlikni qabul qilishda individual ordinatalar emas, balki aynan ortogonal funksiyalar yig'indisidir.

Chiziqli prognostikaga asoslangan vokoder

Chiziqli prognostikaga asoslangan koderlar yoki ChPKlar, signalning har bir qiymati uning oldingi qiymatlaridan ma'lum bir chiziqli kombinatsiyasi sifatida olinishi mumkin bo'lgan ovozli traktning doimiy impulsli o'tkazuvchan xarakteristikasiga ega chiziqli filtr bilan ifodalaydi.

ChPK vokoderidagi ovozli signal har biri uchun prognoz filtr koeffitsenti aniqlanadigan, taxminan 20 ms teng bo'lgan bloklarga bo'linadi. Bu koeffitsentlar kvantlanadi va dekoderga uzatadi. So'ngra nutq signallari ovoz traktining chastota xarakteristikasiga teskari bo'lgan chastota xarakteristikasiga ega filtdan o'tkaziladi. Filtr chiqishida prognoz xatoligi bo'lgan. Bashorat maqsadi – signalning qo'shni hisoblari orasidagi korrelyatsiyalarini bartaraf etish. Natijada signalning oldindan korrelyatsiyasi juda ham aniq ko'rinadi, bu esa asosiy ton chastotasini aniqroq aniqlash imkonini beradi va unli/unsiz tovush belgisini ajratadi.

Chiziqli prognostikaga asoslangan vokoderlar hozirgi kunda eng ommabop bo'lib, chunki ovoz trakti filtr modellari juda yaxshi ishlaydi. Nutqning sifati yaxshi bo'lganda kod tezligi 2,4 kbit/s gacha yetadi.

## 8.2. Nutq signallarini ko'p impulsli kodlash (MPLPC — Multi-Pulse LPC)

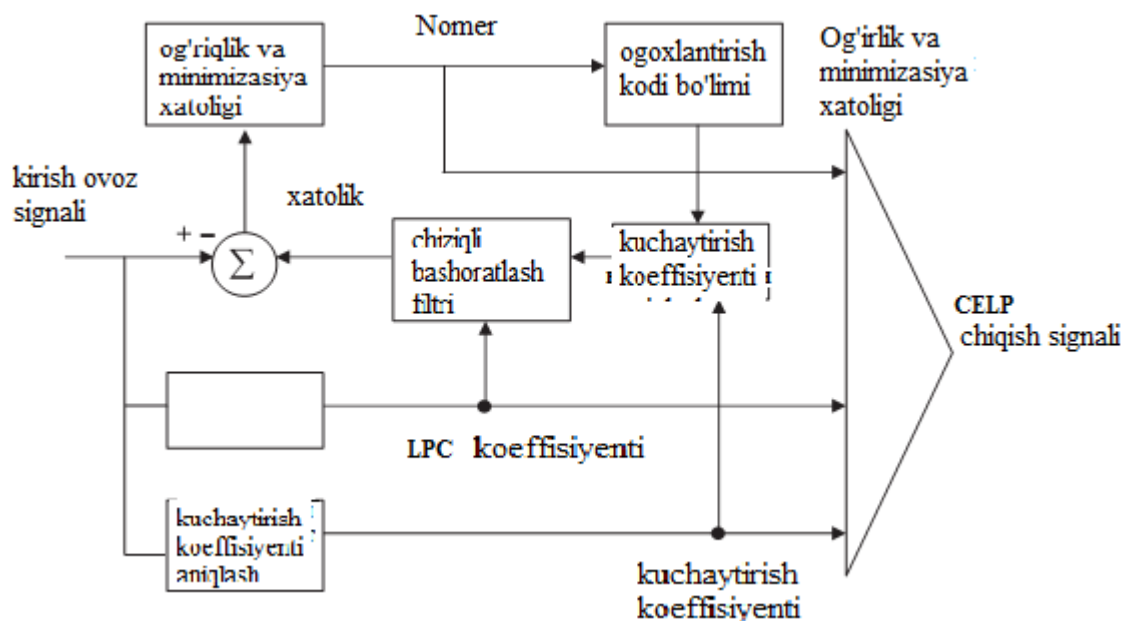
Bashoratni to'g'ridan-to'g'ri ishlatish ovozni qayta tiklashga imkon beradi, ammo sifatsiz. Shu sababli bu usulda ishlashda ko'pgina

sifatlarni yaxshilovchi usullar bor. Bu usullar qabul qiluvchining oxirida generatorning qo'zg'atuvchi parametrlarini yaxshilashga tegishli. Shuning uchun, bashoratlash tizimining uchta komponentidan - nutqni aproksimatsiya, bashoratlash va qayta tiklash usullari (generatorlar qo'zg'atuvchisidan)- barcha chiziqli bashoratlash uslubi keyingi komponentga tegishli. Shuning uchun ular ba'zan gibrid koderlar deyiladi, chunki ular signal vokoderi va koderdan iborat. Ularni qisqacha ko'rib chiqamiz.

Ko'p impulsli kodlashda bashoratlar uzatuvchi va qabul qiluvchi impulslarning parametrlari uchun bajariladi, bu ko'proq moslashuvchan kodlashga o'xshaydi. Oldingilariga nisbatan impulslar ketma-ketligi bashoratlanadi. Bu usulda ovoz fragmenti turi (vokalli ovoz yoki yo'q) va asosiy ton parametrlarini aniqlash shart emas. Bunday kodlash turi Internet tizimidagi keng qo'llaniladigan Skype dasturida ishlatiladi. Ushbu kodlash turi ovoz signallarini 9,6 kbit/s tezligacha uzatish imkonini beradi.

Qisqartirilgan qoldiq signalning qo'zg'atichli chiziqli bashorati (RELTP - Residual Excited Linear Prediction Long Term Prediction). Qayta ishlanish natijasida avvalgisidan ovoz spektrining pastki qismi kodlanishi va bashoratlanishi bilan farqlanadi va bu qayta ishlanadigan va bashorat qilinadigan hisoblar sonini kamaytiradi. Yevropa mobil tizimlarida RELTP ni qo'llash kanaldagi uzatish tezligini 16 dan 9,6 Kbit/s ga ovoz sifatini sezilarli kamaytirmasdan tushirishga yordam beradi.

Kod qo'zg'atuvchili chiziqli bashorat (CELP - Code Excited Linear Prediction). Ovoz koderlarining ushbu turi signal shakli koderlari va parametrik vokoderlar o'rtasidagi tur hisoblanadi. Ovoz parametrlari tahlili 10-30ms oraliqda amalga oshiriladi, bu esa o'z navbatida 4dan 16 kbit/s.gacha bo'lgan tezliklarda CELP dan samarali foydalanish imkonini beradi. CELP koderi struktura sxemasidan ko'rinib turibdiki, signallarni kodlash o'rniga har bir hisobdan keyin koderda "qo'zg'atuvchi kodlar kitobi" qo'llaniladi. Ushbu holatda har bir farq signali uchun maxsus satr signali (namuna) biriktiriladi. Ushbu satr xatoliklarning qabul qilingan qiymatlari asosida uzatilayotgan qoldiq ketma-ketlikga mos keluvchi hisoblar jamlanmasidan tashkil topgan. Qabul qiluvchi tomonda ham farq signallari dekoderi o'rniga "qo'zg'atuvchi kodlar kitobi" ham qo'llaniladi.



8.4-rasm. CELP koderini umumiy sxemasi

Ko'pgina kodlash bo'yicha kitoblar mavjud, ularning klassifikatsiyalari quyidagicha:

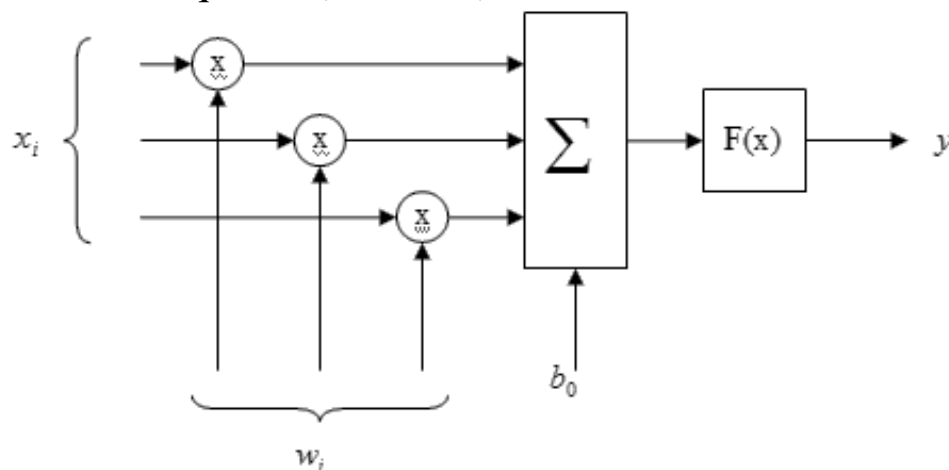
- kodlarning vektorini qidirish prinsipi bo'yicha (to'liq ortiqchalilik, ikkilik yoki navbatdagi qidiruv va h.k.);
- o'qitish usuli bo'yicha (Ruxsat etilgan yoki moslashtirilgan);
- saqlanadigan ma'lumot turi bo'yicha (nutq tanlash yoki shovqinni amalga oshirish).

CELP algoritmi nutqni yuqori sifat bilan qayta ishlash imkonini beradi. Lekin bu algoritm katta hisoblash resurslarini talab etadi, shuning uchun uning asosida ko'pgina koderlar qurilgan.

### 8.3. Audio ma'lumotlarni kodlashda uchun neyrotarmoqli texnologiyalar taxlili. Audioma'lumotlarni siqish uchun neyroprotssessor va neyrokompyuterlarning ishlatish samaradorligini zamonaviy baholash

Ovoz elementlari va lingvistik elementlarni kodlash hozirgi kunda keng ommalashayotgan va deyarli o'rganilmagan siqish usullaridan hisobalanadi. Ushbu kodlash ovoz signallarini tanib olish va sintez qilish usullari bilan amalga oshiriladi. Kodlash asosan yashirin markov modellari va neyron tarmoqlari yordamida amalga oshiriladi.

Neyron tarmoqlar tahlili natijasida, bitta neyron tahlil qilinayotgan signal va uning og'irligiga kiritilgan lokal vaqt funksiyalari orasidagi xatolikni hisoblash imkonini berishi mumkinligi xulosasiga kelindi. Ushbu xususiyatni batafsil yoritish uchun neyronning matematik modelini ko'rib chiqamiz. (8.5-rasm)



8.5-rasm. Neyron matematik modeli

Keltirilgan matematik modelni quyidagi ifoda yordamida ifodalash mumkin:

$$y = f\left(\sum_{i=1}^n x_i w_i + b_0\right) \quad (20.1)$$

bu yerda,  $x_i$  – xususiyatlarning kiruvchi vektori,  $w_i$  – og'irliklar matritsasi,  $b_0$  – neyronlarning qo'zg'alishi,  $f(x)$  – neyronni aktivlashtirish funksiyasi.

Agar kiruvchi vektor sifatida  $x_i$  kiruvchi signal  $x_i=x(t_i)$  hisoblariga va  $w_i=w(t_i)$  og'irlik hisoblariga mos bo'lgan holda diskret signal kesimi olinsa, bundan tashqari neyronni aktivlashtirish funksiyasi chiziqli va neyron siljishi nolga teng deb qabul qilinsa, quyidagi ifodani olamiz:

$$y = \sum_{i=1}^n x(t_i)w(t_i) \quad (20.2)$$

$\Delta t = t_i - t_{i-1} \rightarrow 0$ , bo'lgan holatda integral ko'rinishga keltirib olamiz:

$$y = \int x(t)w(t)dt. \quad (20.3)$$

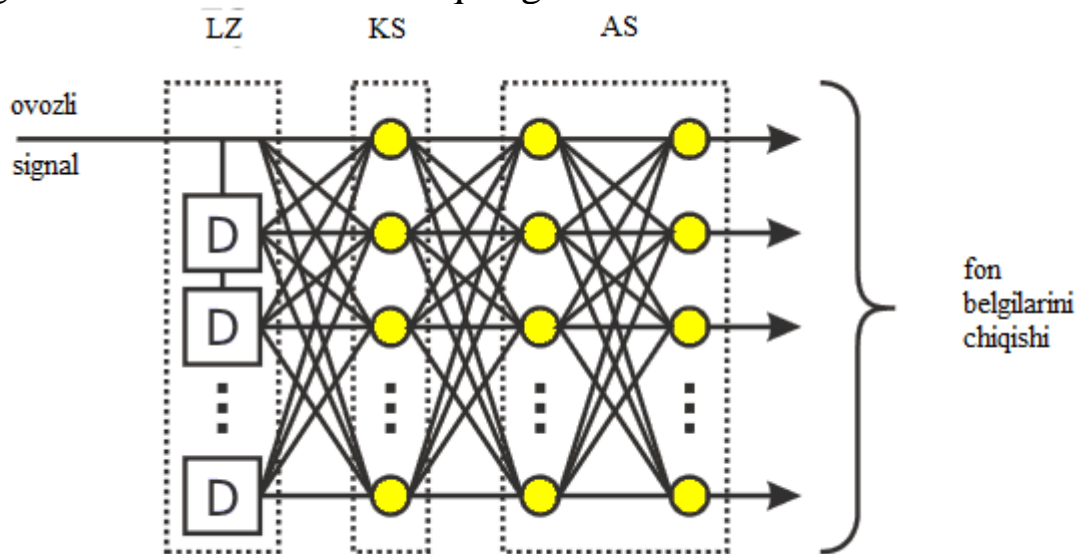
Neyronning kiruvchi vektori "oyna"ga kiruvchi signal qirqimi hisoblanganligi va ushbu "oyna" vaqt o'qi bo'ylab harakatlanishini hisobga olib, neyron chiqishi quyidagi ko'rinishga ega bo'ladi:

$$y(\tau) = \int x(t)w(t - \tau)dt \quad (20.4)$$

bu yerda  $\tau$  – kiruvchi signalga nisbatan oynaning siljishi.

(20.4) ifodadan ma'lumki, tavsiflangan usul bilan neyronni kirishiga diskret signalni uzatganda kiruvchi signal va ichki neyron funktsiya og'irligi orasidagi korrelyatsiya neyronning chiqishi hisoblanadi.

Ushbu xususiyatlar asosida ovoz signalini tanib olishning quyidagi struktura sxemasi taklif qilingan:



8.6-rasm. Fonemani tanib olish struktura sxemasi

Tahlillovchi kadrda kiruvchi signalning kesmasi bo'lgan neyron tarmog'ining kirish vektorini shakllantiruvchi kechiktirish yo'lagiga (KY) kirish ovoz signali keladi. Kechiktirish yo'lagidan so'ng signal neyronlarni korrelyatsiya qatlamiga (KQ) keladi. Neyronlarning soni nechta korrelyator shakllantirish kerakligiga bog'liq. Xatolik qatlamidan signal ikki qatlamdan iborat bo'lgan neyronli taxlillovchi tarmoq

kirishiga tushadi. Taxlillovchi tarmoqning ikkinchi qatlamida har bir neyron ma'lum bir fonema belgilariga mos keladi. Tahlillovchi qatlam chiqishi sifatida qaysi fonema hozirda kiruvchi signal tarkibida ekanligini ko'rsatuvchi signal xizmat qiladi. Ushbu tizimning avfzalligi sifatida korrelyatsion qatlamni o'rganishda ovoz signallari korrelyantlari guruhi shakllanadi, ya'ni ovoz signallarining avtomatik tarzda neyron tarmoqlariga kiruvchi vektor hosil qilinadi. Ushbu qatlamga kiruvchi neyronlar xususiyatlari soni kirishga berilgan neyronlar soniga bog'liq. Tahlillanuvchi qatlamda ushbu korrelyatlarni ularning fonem belgilari bilan moslashuvchi tahlillish usuli shakllanadi. Shuni ta'kidlash lozimki, ushbu tizim ish rejimida holatdagi tezligi Fure va Veyvlet almashtirishlar asosida ishlovchi analizatorlar tezligidan yuqoridir.

Neyron tarmoqlar tamoyillari tahlili shuni ko'rsatadiki, ular ish faoliyatida bo'lishi uchun juda murakkab matematik amallarni paralell ravishda bajarish talab etiladi. Shuning uchun ham hisob kitoblar tezligini sezilarli darajada oshirish uchun maxsus neyroprotsessorlar va neyrokompyuterlardan keng foydalanilmoqda. Ular tasvir va ovoz signallarini qayta ishlash bo'yicha murakkab amallarni bajarishda ancha samarali. Ammo hozirgi kunda neyrokompyuterlar narxi balandligi tufayli ulardan ommaviy ravishda foydalanish cheklanib kelmoqda, hozirda asosan ShKlarga mos keladigan neyroprotsessorlardan keng foydalanib kelinmoqda. Bundan tashqari, murakkab masalalarni yechishda maxsus dasturiy ta'minotga esha Shklardan foydalaniladi.

Tahlillar shuni ko'rsatmoqdaki, neyrokompyuterlar biz foydalanayotgan Shklardan sezilarli darajada farq qiladi. Ularning asosiy farqi shundaki, ularda dasturlash o'rnini ta'lim olish xususiyati egallashidadir. Bunday holatda katta miqdordagi oson hisoblash amallari paralell ravishda o'ta katta tezlikda amalga oshiriladi, bundan tashqari xalqitbardoshlilik va muntazam faoliyat ta'minlanishi oshiriladi.

Hozirgi kunda videoma'lumotlarni qayta ishlash uchun L1879VM1 va L1879VM3 markali rossiyada ishlab chiqarilgan neyroprotsessorlar keng foydalanib kelinmoqda. L1879VM1 protsessorining o'ziga xos xususiyati shundaki, uning 64 razryad o'lchamli to'r protsessori yordamida bir vaqtning o'zida bir nechta neyronlarga mos keluvchi matematik amallar bajariladi. O'z navbatida L1879VM3 mikrosxemasi kristallar hisobiga qurilgan yakunlangan tizim bo'lib, ular keng polosali kvadratur signallarni qayta ishlash va yuqorichastotali analog signallarni tahlil qilish uchun

mo'ljallangan Ushbu mikrosxema kam energiya sarflaydi, yuqori ishonchlilik va xalaqitbardoshlikka ega, bundan tashqari signal tarqalish tezligi kristal sxema tuzilishiga mos ravishda oshiriladi.

Shunday qilib, neyrokompyuterlar yangi texnologiyalar rivojlanishidagi istiqbolli yo'nalish hisoblanadi. Hozirgi vaqtda ovoz signalari sifatini oshirish maqsadida neyron tarmoqlar bo'yicha izlanishlar olib borilmoqda.

## Adabiyotlar ro'yxati

1. Sapojkov M.A. Elektroakustika. Uchebnik dlya vuzov.-M: Svyaz.1978.
2. Yefimov A.P., Nikonov A.V., Sapojkov M.A., Shorov V.I. Pod red. Sapojkova M.A.. Akustika. Spravochnik.-M.:Radio i svyaz, 1989.
3. GOST 16121-91. Mikrofony. Metody elektroakusticheskix izmereniy.
4. GOST 16122-91. Gromkogovoriteli. Metody elektroakusticheskix izmereniy.
5. Lifshis S.Ya. Kurs arxitekturnoy akustiki. M. Izd-vo MVTU; 1927
6. Furduev V.V. Elektroakustika.-M.: Svyazizdat, 1960.
7. Sviker E., Feldkeller R.. Uxo kak priyomnik informatsii. - M.:Svyaz, 1971.
8. Rimskiy-Korsakov A.V. Elektroakustika.-M.: Svyaz, 1973.
9. Radioveщание i elektroakustika. Uchebnik dlya vuzov. —M.: Radio i svyaz, 1999.
10. Katunin G.P. Mikrofony. Uchebnoe posobie. - Novosibirsk.: SibGTI, 1995.
11. Katunin G.P., Lapaev O.A. Gromkogovoriteli. Uchebnoe posobie. Novosibirsk.: Izdatelstvo Sibirskoy gosudarstvennoy akademii telekommunikatsiy i informatiki (SibGATI), 1997..
12. Rjevkin S.N. Kurs leksiy po teorii zvuka.- M.: Izdatelstvo MGU, 1960.
13. Katunin G.P., Lapaev O.A. Proektirovanie i raschet akusticheskix parametrov pomeshcheniy. Uchebnoe posobie.- Novosibirsk.: Izdatelstvo Sibirskogo gosudarstvennogo universiteta telekommunikatsiy i informatiki (SibGUTI), 2000.
14. Papernov, L.Z. i dr. Raschet i proektirovanie sistem ozvucheniya i zvukousileniya v zakrytykh pomeshcheniyax.-M.: Svyaz, 1970.
15. Aldoshina I.A. Elektrodinamicheskie gromkogovoriteli.- M.:Radio i svyaz, 1989.
16. Molodaya N.T. Akusticheskiy raschet radioveщatelnykh i televizionnykh studiy. M.:VZIS, 1961.
17. S.M. Allon, N.I.Maksimov. Muzykalnaya akustika. M.: Vysshaya shkola, 1971.



18. Alyoxin S. Общие принципы звукоусиления в концертных залах// Звукорежиссур.-1999.- №1,3,4,7.
19. Kovalgin Yu.A. Stereofoniya.-M.: Radio i svyaz, 1989.
20. Sapojkov M.A. Zvukofikatsiya pomeshcheniy.-M.: Svyaz, 1979.
21. Radioveshание i elektroakustika. Uchebnik dlya vuzov. -M.: Radio i svyaz, 1989.
22. Baranov S. Radiomikrofonnyye sistemy. //Zvukorejisser.-1999.-№4.
23. Baburkin V.N. i dr. Elektroakustika i radioveshание. M.: Radio i svyaz, 1967.
24. Sapojkov M.A. Zvukofikatsiya otkrytykh prostranstv. M.: Radio i svyaz, 1985.
25. Kondrashin P. Primenenie R2M-mikrofonov. //Zvukorejissyor.-2000.-№1.
26. Zuparov M. Issledovanie perexodnykh protsessov v elektrodinamicheskix gromkogovoritelyax. Sbornik trudy MEIS, vypusk2, M.1970.
27. Zuparov M. Akusticheskiy raschot sistemy zvukousileniya z&ta. Posobie po KP i VKR dlya bakalavrov. Tashkent, 2003.
28. Zuparov M., Bulanbaeva S. Akusticheskiy raschot studiy. RNTK, tom I. Novosibirsk,2004
29. Zuparov M.Z., Katunin G.P. Elektroakustika. Tashkent. 2005.
30. Aldoshina I.A., Voyshvillo A.G. Vysokokachestvennyye akusticheskiye sistemy i izluchateli. - M.: Radio i svyaz, 1985.
31. V.I.Pavlovskaya, A.N.Kacherovich, A.P.Lukyanov. Akustika i elektroakusticheskaya apparatura. M.: «Iskusstvo». 1986.
32. M.Zuparov. Elektroakustika va radtoeshittirishda o'lash va texnik nazorat. Tashkent. 2010.