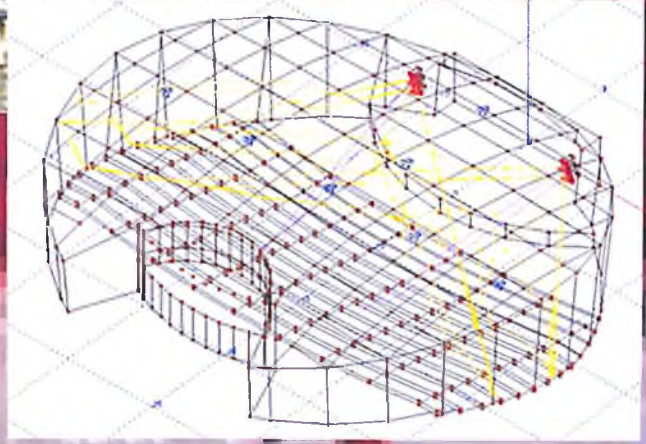


534
294

M.Z.Zuparov, T.G.Raximov, B.N.Raximov

ELEKTROAKUSTIKA ASOSLARI

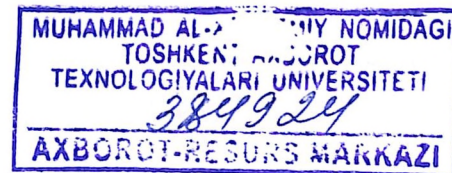


O‘ZBEKISTON RESPUBLIKASI OLIY VA O‘RTA MAXSUS
TA‘LIM VAZIRLIGI

M.Z.Zuparov, T.G.Raximov, B.N.Raximov

ELEKTROAKUSTIKA ASOSLARI

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



TOSHKENT – 2018

UO'K: 681.527.4(075.8)
KBK: 32.87ya73
Z 94

M.Z.Zuparov, T.G. Raximov, B.N.Raximov. Elektroakustika asoslari.
(O'quv qo'llanma). –T.: «Aloqachi», 2018, 232 b.

ISBN 978–9943–5521–7–3

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 neyroprotessor va neyrokompyuterlarni qo'llashni zamonaviy samaradorligini baholashlar yetarli darajada yoritilgan.

O'quv qo'llanma oliy ta'lim muassasalarining "5A351001–Audiotexnologiyalar" ta'lim yo'nalishi magistrantlariga mo'ljallangan bo'lib, shuningdek, undan Radioeshittirish fanini o'rganishda ham foydalanish mumkin.

UO'K: 681.527.4(075.8)
KBK: 32.87ya73
Z 94

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

Taqrizchilar:

A.Sh.Muxamadiyev – Muhammad al-Xorazmiy nomidagi Toshkent axborot texnologiyalari universiteti «Audiovizual texnologiyalari» kafedrasi mudiri, t.f.n.;

A.Abduqayumov – Islom Karimov nomidagi Toshkent davlat texnika universiteti professori, t.f.d.

ISBN 978–9943–5521–7–3

© «Aloqachi» nashriyoti, 2018.

MUNDARIJA

KIRISH.....	6
1-bob. Fiziologik akustika asoslari	9
1.1. Odam eshitish a'zosining tuzilishi.....	9
1.2. Chastota bo'yicha eshitish	12
1.3. Eshitish va og'riq bo'sag'asi.....	18
1.4. Tovush jadalligining differensial eshitish bo'sag'asi	21
1.5. Tovush balandligi va uning sathi	24
1.6. Murakkab tovushlarni eshitish. Niqoblash	28
1.7. Eshitishni sezabilishning vaqt tavsiflari	31
1.9. Eshitish a'zosining noxizizqli xususiyatlari	34
1.10. Binaural effekt.....	35
2-bob. Tovush tebranishlari	40
2.1. Tebranishlar haqida tushuncha	40
2.2. Ta'riflar	41
2.4. Tovush tebranishlari.....	44
2.5. Sinusoidal tebranishlar	46
2.6. Tepkili tebranishlar	48
2.7. Tebranishlarning to'lqinsimon tarqalishi.....	49
2.8. Tovush tebranishlari energiyasi	50
2.9. Tovush tebranishlarining tarqalish tezligi	50
2.10. Tovushning qaytishi.....	51
2.11. Tovush to'lqinlarni jamlash va to'lqinlar interferensiyasi	52
2.11. Tovush difraksiyasi	57
2.12. Murakkab tebranishlar	58
2.13. Tovush manbalari va rezonans	60
2.14. Turg'un to'lqinlar	61
2.15. Yassi to'lqin	63
2.16. Sferik to'lqinlar	67
3-bob. Tovush signallari	71
3.1. Ta'riflar	71
3.2. Dinamik diapazon	71
3.3. O'rtacha sath	73
3.4. Chastota diapazoni va spektrlar	74
3.5. Signalning birlamchi parametrlari	76
3.6. Ikkilamchi signal.....	77
3.7. Shovqin va xalaqitlar	78
3.8. Chiziqli buzilishlar	79

3.9. Nochiziqli buzilishlar.....	81
4-bob. Elektromexanik tizimlar va elementlar	85
4.1. Elektromexanik o'zgartirish	85
4.2. Chiziqli o'zgartirgichlarning umumiy tenglamasi.....	85
4.3. O'zgartirgichning ekvivalent sxemalari	88
4.4. Elektromexanik o'xshatishlar usuli	88
4.5. Akustik tebranish tizimi	91
5-bob. Mikrofonlar	96
5.1. Mikrofonlarning klassifikatsiyalari va texnik tavsiflari	96
5.2. Mikrofon - elektromexanik o'zgartirgich	105
5.4. Mikrofon - tovush qabul qilgich	106
5.4. G'altakli elektrodinamik mikrofon	113
5.5. Tasmali mikrofon.....	119
5.6. Kondensatorli va elektretli mikrofonlar.....	123
5.7. Elektr kombinatsiyalangan mikrofonlar	125
5.8. Tovush signallarini qabul qiluvchi o'tkir yo'naltirilgan mikrofonlar	129
5.9. Radiomikrofonlar	131
5.10. Mikrofonli stereofonik tizimlar	132
5.11. Mikrofonlarni ishlatish xususiyatlari.....	135
6-bob. Radiokarnaylar.....	144
6.1. Radiokarnaylarning asosiy texnik tavsiflari	144
6.2. Nurlatgich turlari.....	146
6.3. Chiziqli guruh nurlatgichlari.....	153
6.4. Diffuzorli radiokarnaylar	156
6.5. Elektrodinamik radiokarnaylarda nochiziqli buzilishlar	163
6.6. Elektrodinamik radiokarnaylarda chastotaviy buzilishlar	165
6.7. To'g'ridan-to'g'ri nurlatuvchi radiokarnaylarning chastota diapazonini kengaytirish usullari	167
6.8. Ruporli radiokarnaylar	173
6.9. Kondensatorli radiokarnaylar	178
6.10. Akustik tizimlar.....	179
7-bob. Arxitektura akustikasi asoslari	183
7.1 Arxitektura akustikasining rivojlanish tarixi	183
7.2 Zamonaviy teatr, konsert zallari va studiyalar.....	185
7.3 Xona akustikasining statistik nazariyasi	204
7.4 Akustik nisbat va ekvivalent reverberatsiya	210
7.6.Radioeshittirish va televidenie studiyalari.....	211

8-bob. Audio signallarga raqamli ishlov berish.....	221
8.1. Ovozli ma'lumotni kanal asosida, kompozitsiyali harmonik so'lashuvchi va nutq so'zlovchilarining lineer so'zlashuvi, afzalliklari, kamchiliklari va ilovalari	221
8.2. Nutq signallarini ko'p impulsli kodlash (MPLPC — Multi-Pulse LPC)	224
8.3. Audio ma'lumotlarni kodlashda uchun neyrotarmoqli texnologiyalar tahlili. Audioma'lumotlarni siqish uchun neyroprotssessor va neyrokompyuterlarning ishlatish samaradorligini zamonaviy baholash.....	226
Foydalanilgan adabiyotlar.....	230

KIRISH

Aziz kitobxon! Qo'lingizdagi "Elektroakustika" o'quv qo'llanma "Elektroakustika va radioeshittirish" fanining birinchi qismi bo'lib, qayta ishlangan va to'ldirilgan ikkinchi nashridir. U 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 doirasini ko'rib chiqamiz.

Akustika– yunonchadan (akuctikos) eshitish, keng ma'noda fizikaning eng past va eng yuqori ($10^{12} + 10^{13}$ Hz) chastotalargacha elastik to'lqinlarni tadqiqot 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:

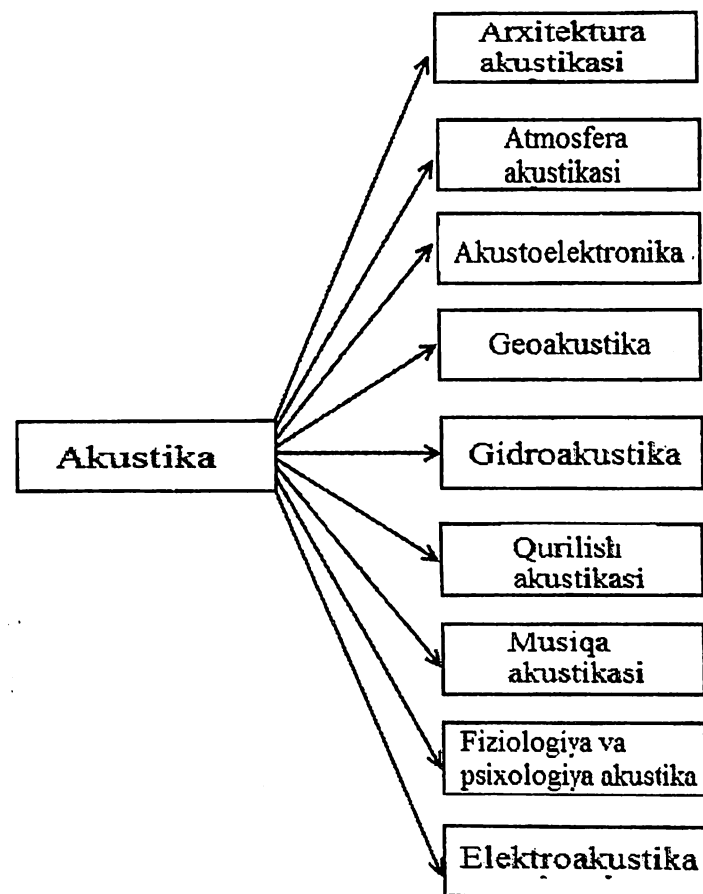
Arxitektura akustikasi – tovushning xonalarda tarqalishini, to'siqlarning tovush qaytishi va so'nishiga ta'sirini o'rganadi.

Qurilish akustikasi – akustikaning alohida bo'lagi bo'lib, bino, inshootlarning tovush izolyatsiyasi va shovqindan himoyalash masalalarini o'rganadi. Qurilish akustikasi arxitektura akustikadan 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.

Musiqa akustikasi – musiqashunoslik va umumiy akustika bo'limi, musiqaning obyektiv fizikaviy qonuniyatlarini o'rganadigan fan. Musiqa tovushlarinig chastota balandligi, davomiyligi, konsonans (musiqa 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, musiqa

tizimlarini, ohangdagi musiqiy tovushlarni farqlash va yodda saqlash qobiliyatini, nisbatlarini, odam va musiqa asboblari ovozi o'rganib tadqiqot etadi, fizikaviy akustika uslublari va ma'lumotlariga tayanadi. Odam ovoz 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 uslublari 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'zgartirgichlarga 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 elektroakustik 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 ovozlantirish va tovush kuchaytirish masalalariga bag'ishlangan. O'quv qo'llanmada bundan tashqari, radioeshittirish studiyasining reverberatsiya vaqti hisobi, zal tovush kuchaytirish va ovozlantirish tizimlarining hisoblari keltirilgan.

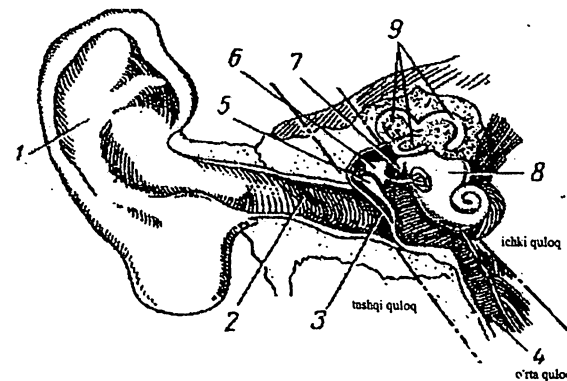
Shuni ta'kidlash lozimki, o'quv qo'llanmaning har bir bobi yakunida talabalar o'z bilimlarini tekshirishlari uchun nazorat savollari, grafik, konstruksiya va sxemalar berilgan.

Mualliflar ushbu o'quv adabiyotining yaxshilash yo'lida bildirilgan fikr-mulohaza va takliflari uchun Muhammad al-Xorazmiy nomidagi Toshkent axborot texnologiyalari universiteti «Audiovizual texnologiyalari» kafedrasi mudiri A.Sh.Muxamadiyevga va Islom Karimov nomidagi Toshkent davlat texnika universiteti professori t.f.d. A.Abdumurodovga 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 traktlari 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 eshittirishiga mos bo'lgan tovushning shiddatligi diapazoni (musiqa asboblari ovozlari), nutq xabarlar va konsert dasturlarini eshittishdagi belgilangan xalaqit beruvchi tovush shiddatligi va b.q. texnik talablarni ta'riflash mumkin. Bu tavsiflarni bilish nutq tovushining qanday tarkiblari axborot tashuvchi, elektroakustika traktlarida uzatilayotgan signalning qanday buzilishi sezilarli va u eshittirishning badiiyligi 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.



1.1-rasm. Odam eshitish a'zosi.

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

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

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 Yevstaxiyev 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 birlashtirilgan 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 tekkizishim 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 subyektiv, ya'ni real eshitish jarayoniga mavjud tovushlarning obyektiv xususiyatlarini kiritadigan asbobdir. Ayniqsa, so'z tovush eshitish balandligi, kuchi va tovush tembri haqida bog'anda.

Eshitish a'zosining birinchi xususiyati, turli balandlikdagi tovush eshitish chegarasining mavjudligi. Quloq tovush tarzida chastotasi 16 Hz dan 20000 Hz gacha bo'lgan oraliqdagi mexanik tebranishlarni eshitadi. Chastotasi 16 Hz dan past tebranishlarni biz eshitmaymiz. Bunday tovush tebranishlari **infra tovushlar** deb ataladi 20000 Hz 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 Hz oralig'idagi tovushlarning eshutilishi bir xil emas. Baland tovush eshutilish hissi uning balandlik chastotasi taxminan 14000 Hz ni tashkil etganda yo'qoladi. Bundan yuqori chastotali tovushlarni eshitish a'zosi teng balandlikdagi tovushlardek qabul qiladi. Chastotaning 14000 Hz dan yuqori chegara 20000 Hz tomonga oshishi tovush balandligining pasayayotgandek tuyulishiga olib keladi. Yosh o'tishi bilan odamning eshitish yuqori chegarasi 12000 Hz 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 Hz li tovush tebranishida chastotaning 3 Hz ga o'zgarishi sezilarli bo'ladi. Bundan chiqdi 600÷ 4000 Hz oralig'ida chastotaning 0,3% ga nisbiy o'zgarishi

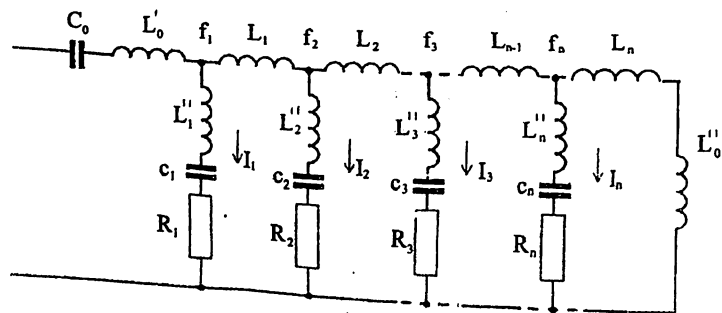
ham sezilarlidir. Past va baland tovushlarda bunday o'zgarishni sezish uchun chastotani kattaroq qiymatga o'zgartirish kerak.

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 tahlilgichi rolini o'ynaydi.



1.2-rasm. Chanoqning ekvivalent elektr sxemasi.

Har bir tolanning 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 tahlilgichining ekvivalent elektr sxemasi keltirilgan.

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 $16 \div 20000$ Hz ni tashkil etadi.

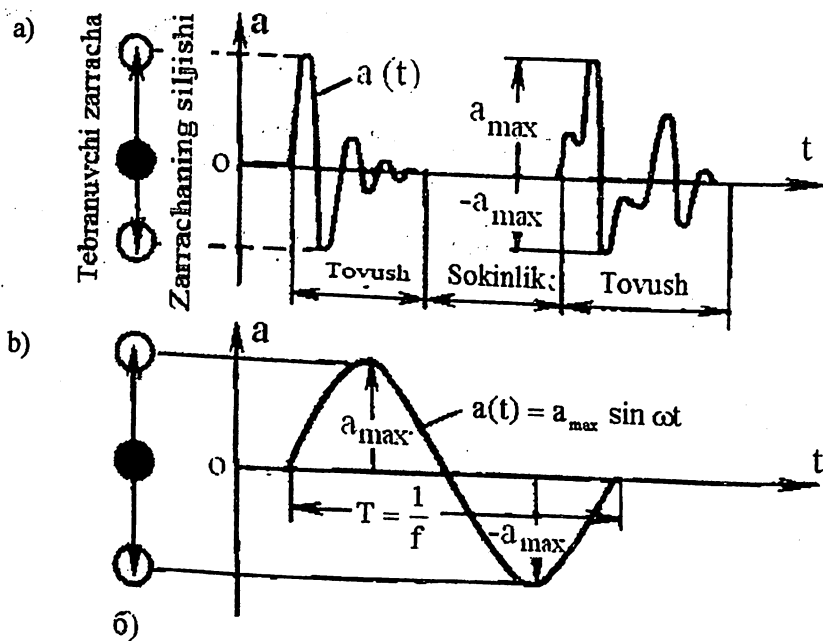
Bizda eshitish tahlilgichning chastota tanlovchanligi katta qiziqish uyg'otadi, chunki elektroakustik apparaturalarga bo'lgan talab bu parametrga ko'p jihatdan bog'liq.

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, shuningdek, 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 (1.3-a rasm).

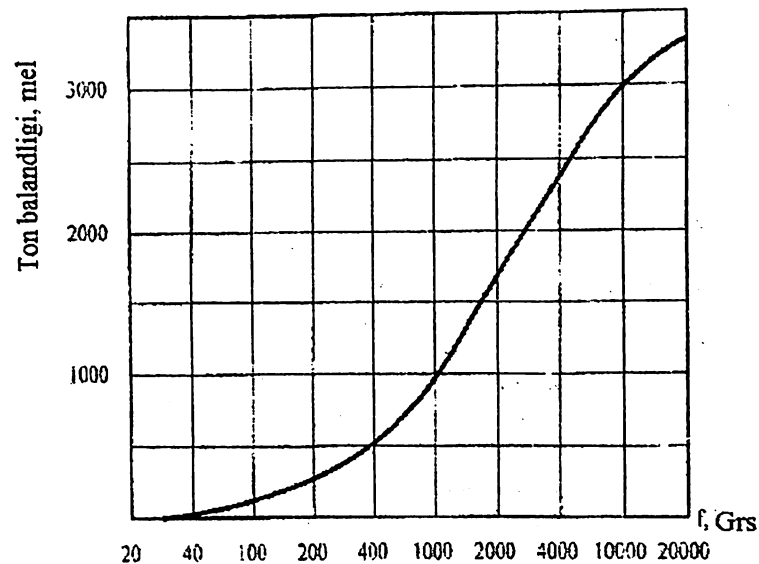
Oddiy tebranish jarayoni sinusoida ko'rinishida bo'ladi. Uni quyidagi vaqt funksiyasi bilan ifodalash mumkin: $\alpha(t) = \alpha_{\max} \sin \omega t$, bunda α_{\max} – tebranish amplitudasi; ω – burchak chastota ($\omega = 2\pi f$); f – tebranish chastotasi. Vaqt bo'yicha tovushning bunday o'zgarishi **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. Havо 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 Hz 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 Hz gacha), oshganda tovush balandligi faqat ikki marta (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 kHz dan 2 kHz 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 kinofilmlarni 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.

Eshitiladigan chastota diapazoni bo'yicha tovushni subyektiv baholash uchun **tovush balandligi** tushunchasi kiritilgan. Eshitishning kritik polosasi kengligi o'rta va yuqori chastotalarda taxminan chastotaga proporsional bo'lganligi uchun, eshitishning chastota bo'yicha subyektiv masshtabi logarifmik qonunga yaqinroq. Shuning uchun tovush balandligining obyektiv birligi sifatida subyektiv eshitishni taxminiy aks ettiradigan chastotalarning ikki karralik nisbati – **oktava** qabul qilingan (1; 2; 4; 8; 16 va h.k.). Oktavalarni bo'laklarga bo'ladi: 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 subyektiv 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 subyektiv–1000 Hz 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'lmay.

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

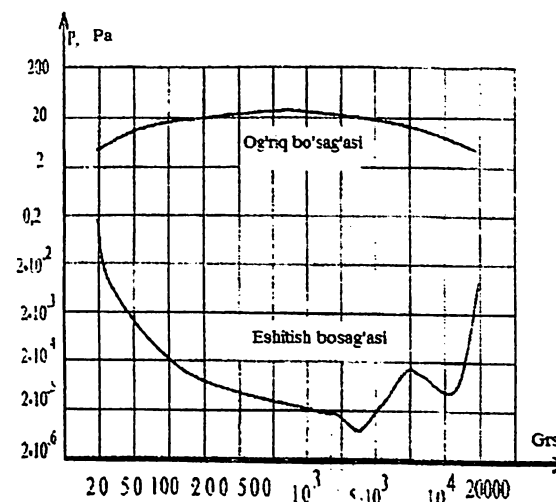
Agarda, asosiy membraning tolasi tebranayotganida yonidagi tukli katakchaga tegmasa, unda odam tovushni eshitmaydi. Tolaning tebranish amplitudasi oshganda yonidagi tukli katakchaga tekkan zahoti nerv tolalari qo'zg'alib bosh miya eshitish markaziga elektr impulslarini yuboradi, natijada, tovush eshitiladi.

Mutloq tinchlikda 1000 Hz chastotali tovush eshitilishi 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} 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 eshitiladigan tovush bosimi qiymati, **bo'sag'a qiymati**, yoki bazo'r eshitilib 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 Hz ÷ 4000 Hz 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 Hz dan yuqorisiga qanchalik oshirmaylik tovush hissiyoti paydo bo'lmaydi, bu ko'pchilik odamlar uchun eshitish chegarasidan yuqori. Xuddi shunday holat tovush chastotalari 16÷20 Hz 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'lchashning 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.

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

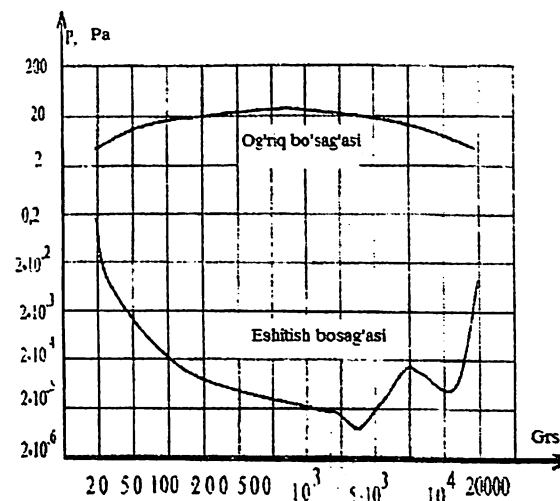
Agarda, asosiy membraning tolasi tebranayotganida yonidagi tukli katakchaga tegmasa, unda odam tovushni eshitmaydi. Tolaning tebranish amplitudasi oshganda yonidagi tukli katakchaga tekkan zahoti nerv tolalari qo'zg'alib bosh miya eshitish markaziga elektr impulslarini yuboradi, natijada, tovush eshitiladi.

Mutloq tinchlikda 1000 Hz chastotali tovush eshitilishi 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} 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 eshitiladigan 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 eshitilish 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, eshitilish bo'sag'asi chastotaga bog'liq. Tovushlar 2000 Hz ÷ 4000 Hz 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 eshitilish bo'sag'asi sezilarli oshadi.

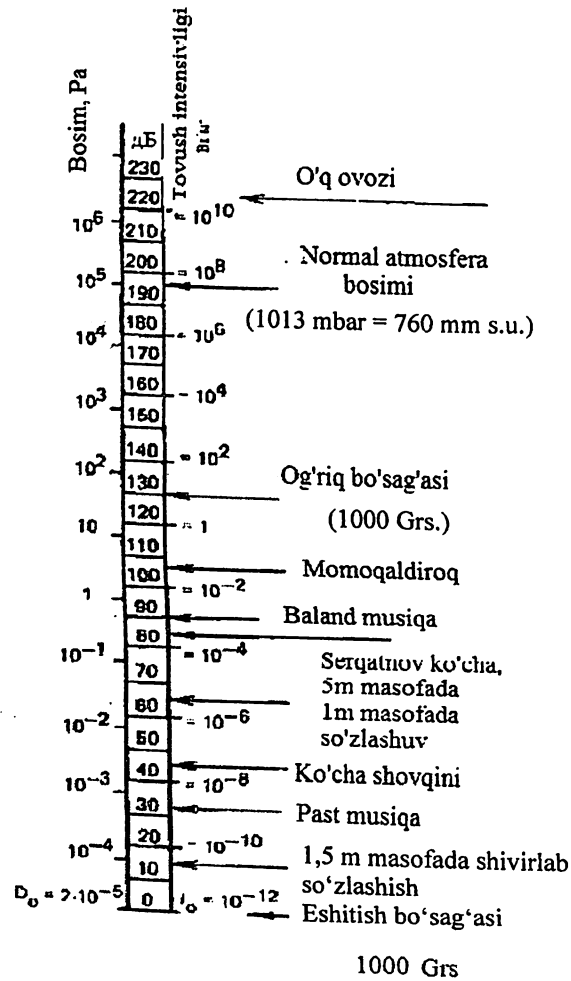


1.5-rasm. Odam eshitish va og'riq bo'sag'alari egri chizig'i.

Biz tovush jadalligini 20.000 Hz dan yuqorisiga qanchalik oshirmaylik tovush hissiyoti paydo bo'lmaydi, bu ko'pchilik odamlar uchun eshitilish chegarasidan yuqori, Xuddi shunday holat tovush chastotalari 16÷20 Hz 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 eshitilish bo'sag'asi absolyut va chastotaga bog'liqlikning turli qiymatlari berilgan. Bu farq eshitilish bo'sag'asini o'lchashning turli usullaridan foydalanganligi natijasidir. Masalan, o'lchashlar bir quloq bilan yoki ikki quloq bilan eshitilish uchun olib borilgan bo'lishi mumkin. Undan tashqari shunday eshitilish 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.

Ovoz eshiti bo'sag'alari	Sof tonlar	Uzluksiz spektrli shovqinlar
	$P_{eff} = 2 \cdot 10^{-5}$ 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

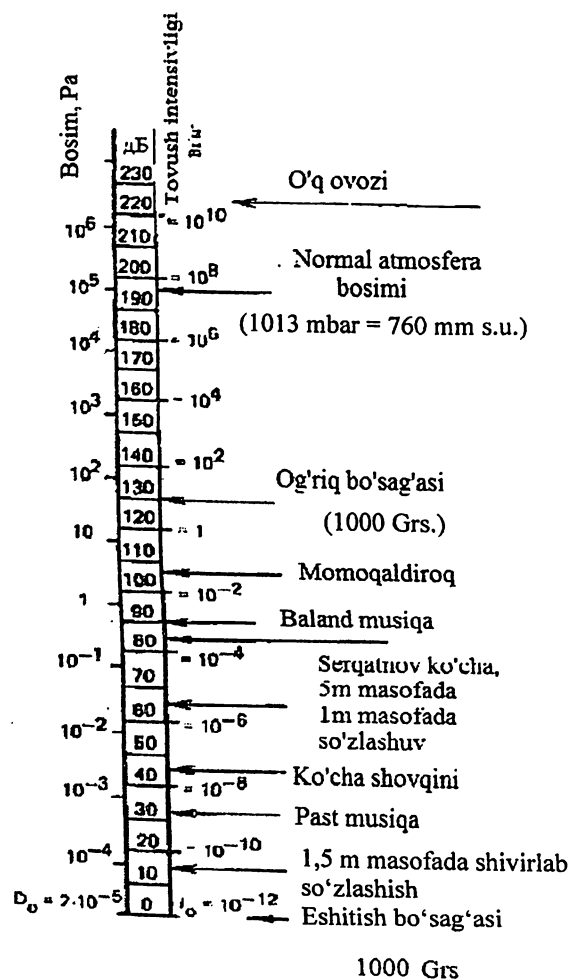
Tovush jadalligi membrana tolasining tebranish amplitudasi yana bir tolaga tegmaguncha oshirilganda eshitish bo'sag'asi o'zgarmas qoladi. Bir tola tebranib keyingi tolaga tekkan zahoti, eshitish bo'sag'asi sakrab oshadi. Tovush jadalligi oshgan sari asosiy membrananing qo'zg'alish zonasi kengaya boradi 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 Hz kuzatiladi (1 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 ga 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.

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 Hz kuzatiladi (1 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 ga 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.



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 mumkin, o'rta chastotalarda normal eshitish dinamik diapazoni 120÷130 dB tashkil etadi.

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

Tovush balandligini tovush kuchining subyektiv 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, ΔJ – jadallikning o'sishi, uni tovush jadalligi J ga qo'shganda J va J+ ΔJ 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 ΔJ 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, C – 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 obyektiv baholash maqsadida jadallik sathi tushunchasi kiritilgan

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

bunda, I_0 – nolinchi jadallik, bu jadallik $I_0 = 10^{-12} \text{ Vt/m}^2$ yoki $10^{-12} R_0^2/400$, ya'ni $I_0 = 2 \cdot 10^{-5} \text{ Pa}$ 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, $R_0 = 2 \cdot 10^{-5} \text{ Pa}$ yoki $R_0 = r_a = \rho \cdot s = 400 \text{ kg/sm}^2$ teng; $r_a = \rho \cdot s$ – to'lqinning akustik qarshiligi. $R_0 = 2 \cdot 10^{-5} \text{ N/m}^2$ odam qulog'ining 1000 Hz 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, $\varepsilon_0 = 3 \cdot 10^{-15} \text{ Dj/m}^3$ 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 nolinch 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 telefoniyadan olingan. Telefoniyada 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 $L_{nn} = \ln \frac{U}{U_0} = 1Hn$, $1 Np = 8,68$ dB, $1 dB = 0,115 Np$.

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 Hz chastotali sof ton jadalligi olingan. Tovush balandligining o'lchov birligi **fon** deb ataladi. Fonlarda o'lchangan 1000 Hz chastotadagi tovush balandligi sathi uning desibellardagi jadalligi sathiga teng. Qandaydir tovushning balandlik sathini aniqlash uchun 1000 Hz 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.

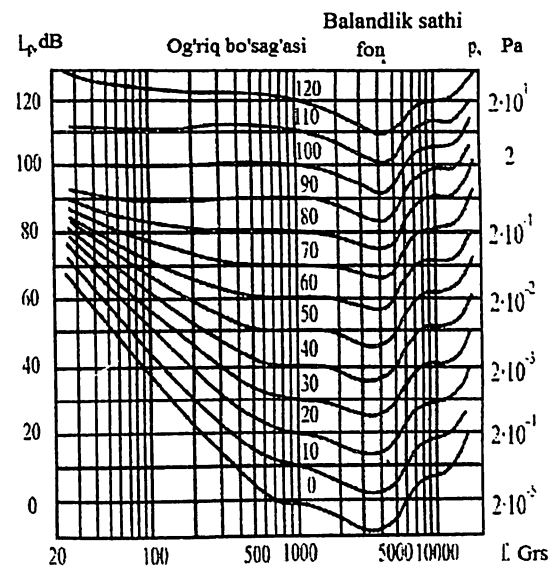
Subyektiv statistik usul bilan teng balandlikdagi sof tonlar jadalligining chastotaga bog'liqligi egri chizig'i aniqlangan. Bu egri chiziqlar tovushning **teng balandlik egri chiziq**lari deb ataladi (1.7 – rasm).

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

Masalan, nolinch sathli tovush balandligi uchun (eshitish bo'sag'asida) 100 Hz chastotali ton jadalligi 38 dB teng, 500 Hz chastotali ton esa 7 dB teng. 80 fonga teng bo'lgan tovush balandligini olish uchun (1.7 - rasm 80 dB egri chiziq), shu tonlarning 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 subyektiv 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 Hz chastota yaqinida joylashgan chastota tarkiblari 50 fonga teng balandlik sathiga ega bo'ladi, 100 Hz chastota yaqinida joylashgan chastota tarkiblari balandligi sathi esa, 22 fongacha pasayib ketadi, ya'ni ular o'rta chastota tovushlaridan pastroq yangraydi.

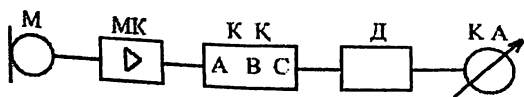


1.7- rasm. Tovushning teng balandlik egri chiziq lari.

Past chastotalarning yangrash balandligi o'rta chastotalarnikidek qolishi uchun tovush uzatish traktining past chastotalardagi sezgirligi chastota tavsifini korreksiyalash kerak (100 Hz da 17÷20 dB ga ko'tarish kerak). Radio qabulqilgichlarda kuchaytirish koeffitsiyenti

kamaysa past chastotalarda ularning kuchayishi avtomatik ravishda korreksiyalanadi.

Yuqori sathli shovqin balandligini o'lganda shovqin o'lchovchi asbob (shumomer)ning sezgirligi chastotaga bog'liq bo'lmasligi kerak, bu tovush balandligini subyektiv eshitishga mos keladi. Past chastota tovush balandligini o'lganda esa, shovqin o'lgagichning ko'rsatkichi eshitish a'zomizning past chastotalardagi sezgirligi o'rta chastotalardagi sezgirligiga nisbatan pastroqligi inobatga olingandagina subyektiv bo'lishi mumkin. Shuning uchun shovqin o'lgagichlarda tovush balandligini past chastotalarda o'lganda kuchaytirish koeffitsiyenti pasaytirilib korreksiya kiritiladi. Masalan, 30 fonlik tovush balandligi o'lchanayapti, bunda 100 Hz chastotada 1000 Hz 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'lchashni 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 mikrofoni; MK- mikrofon kuchaytirgichi, KQ- korreksiyalovchi qurilma; D- detektor; KA- ko'rsatuvchi asbob.

Shuni ta'kidlash lozimki, shovqin o'lgagichning oddiy o'lchov 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'lchash uchun belgilangan. Bunday o'lchangan tovush balandligi sathlari subyektiv aniqlangandagi tovush balandligi sathlariga mosroq keladi.

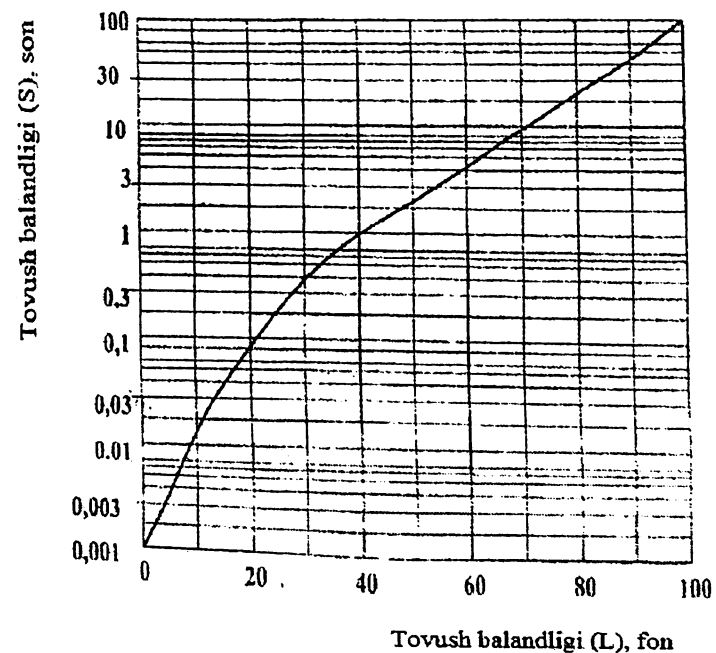
Tovush balandligi sathi tovushni subyektiv eshitishni xarakterlasa ham haqiqiy subyektiv eshitish masshtabiga mos emas. Masalan, tovush balandligini 40 fondan yuqori diapazonda 10 fonga oshirish, tovush

balandligi subyektiv sezgirligini ikki barobar oshishiga teng. Fon, tovush balandligining o'lchov 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'lchov birligi sifatida - son kiritilgan. S=1 son 1000 Hz chastotada qiymati 40 dB bo'lgan sinusoidal tovush bosimiga mos keladi.

1.9-rasmda tovush balandligining fon va son o'lchov birligidagi sof tonlarning solishtirma egri chizig'i keltirilgan. Fon va dBlarda o'lchangan 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÷120 dB diapazonlarida yaxshi natija beradi.

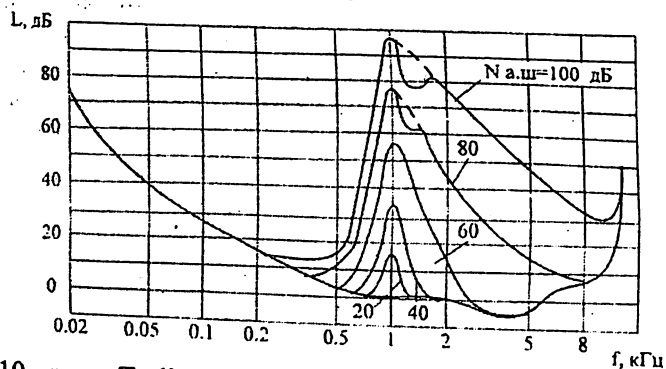


1.9 - rasm. Fon va son o'lchov birlikdagi tovush balandligining solishtirma egri chizig'i.

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

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 Hz 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 Hz 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. Yuquri chastotalarda rezonanslanadigan tolalar oval darchaga yaqin joylashgan va limfa

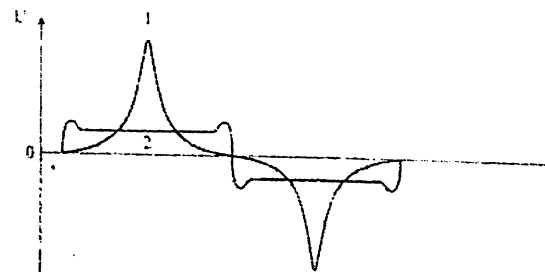
tebranishlari uzoqda joylashgan past chastotali tolalarga yetmasdan so'nadi.

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'qolmasdan, asta-sekin nolgacha kamayadi. Bu effekt **eshitish taassuroti** deb ataladi. Tovush balandligi sathi bo'yicha sezgirlikni 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÷200 ms ga teng deb hisoblanadi.

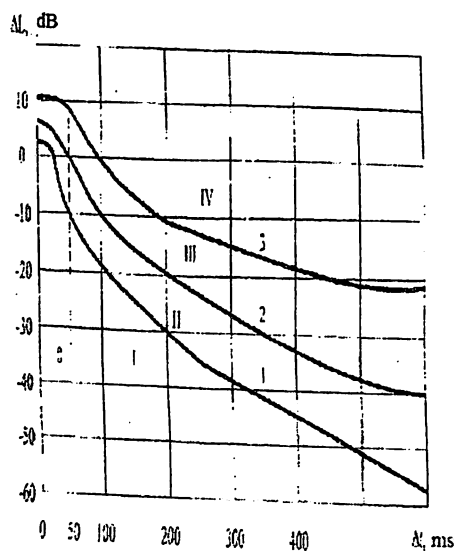
Agarda, tinglovchi ikkita tovushni qabul qilib, ulardan bittasi ikkinchisiga nisbatan 50 ms ga kechiksa, unda bu ikkala tovush qo'shib bitta tovushdek qabul qilinadi. To'g'ri, tovushlar bir-biridan 30 ms dan ortiq kechikkanida hosil bo'lgan tovushning jaranglashida ayrim sifat o'zgarishlari seziladi. 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 birinchisiga nisbatan kichikroq bo'lsa, unda u alohida tovush sifatida eshitilmasligi yoki uning sathi birinchisidan 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:

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

bunda, Δt - kechikish vaqti;

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

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

Misol. Tinglovchi, tovush manbai va 17m masofadagi qaytaruvchi devor oralig'i turibdi. Agarda tovushning devordan qaytish koeffitsiyenti 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 $10 \lg \chi \frac{(3 + 2\chi \cdot 17)^2}{3^2} = 21,8 \text{ dB}$ 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 integratsiyalash 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 – bir muncha 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 nohiziqli 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) subyektiv 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». Shumisi qiziqki, baland ovozda eshittirilayotgan signalning 1000 Hz dan past chastota diapazonini qirqqanimizda ham odam eshitish a'zosining nohiziqli sababli baribir past chastotalarni eshitadi. Shu sababdan odamlar past chastotalarni yaxshiroq eshitish uchun eshittirishlarni

baland ovozda eshitadilar, shunda past chastotali eshittirish go'yo yaxshi eshitilayotgandek tuyuladi. O'z-o'zidan ravshanki, bu holda yuqori chastotalarda tovushning yangrashi buziladi, ammo uning sezilishi va ahamiyati kamroq. Eshitish a'zosining nohiziqli sababini, o'rta quloqning nohiziqli tavsifi va ko'proq chanoqdagi uyurma hodisalar bilan tushuntirish mumkin.

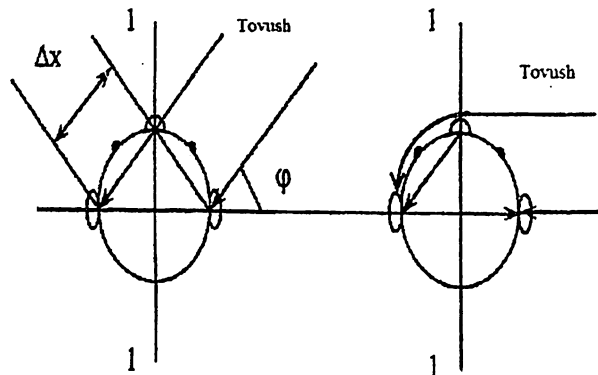
1.10. Binaural effekt

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 yo'nalishni topa olish xususiyati **binaural effekt** deb ataladi. Ikki quloq bilan eshitishimiz natijasida, binaural effekt tufayli bir xil fazali tovush tebranishlarini qulog'imizga kelish vaqti farqini ajrata olamiz. Binaural effekt, asosan, past va o'rta chastotalarda aniqlanadi.

Agarda, odam eshitish a'zosiga tovush manbai qandaydir φ burchak ostida ta'sir etsa, u holda, tinglovchining boshi atrofida tovush to'lqini difraksiyalanishi natijasida tovush uning o'ng va chap qulog'iga birdek ta'sir etmaydi (1.13-rasm).

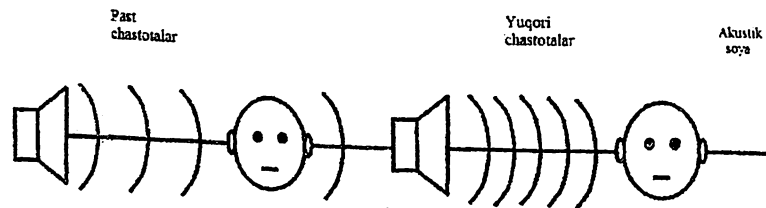
Ular tovush jadalligi bo'yicha ΔN va vaqt bo'yicha Δt ga farqlanadi. Bu parametrlar tovush manbaini lokallashda asosiy ko'rsatkich hisoblanadi.

Ma'lumki, past chastota to'lqin uzunligi tinglovchi boshi diametridan ancha katta, shuning uchun tovush to'lqini boshni egib o'tadi va akustik soya sodir bo'lmaydi.



1.13- rasm. Tinglovchining o'ng va chap qulog'iga tovush to'liqining turli vaqtda kelishiga oid.

Yuqori chastota tovushlari to'liq uzunligi tinglovchi boshi o'lchamidan kichik, shuning uchun ular chap quloqqa yetib bormaydi. Bunday difraksiya natijasida sodir bo'ladigan 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:

Δr – chap quloqdan o'ng quloqgacha bo'lgan to'liq yo'li farqi, sm;
 s – tovushning havodagi tarqalish tezligi, m/s.

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

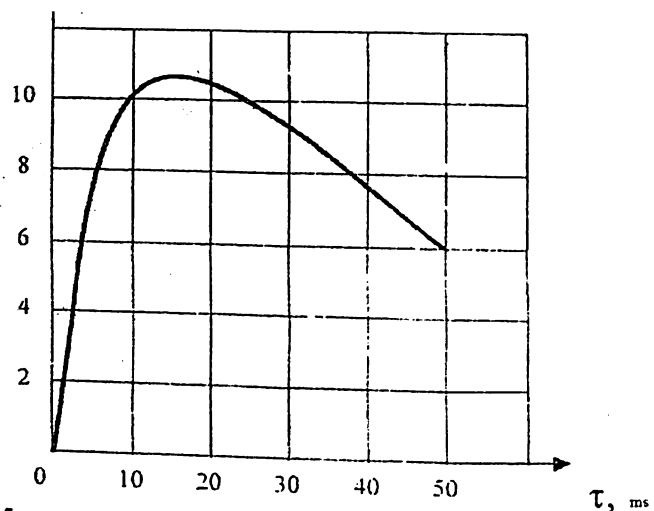
Tinglashdagi stereoakustik effekt shundan iboratki, odam tovush manbaining «ko'ndalang» o'lchamlarini, hamda uning «chuqurligini», ya'ni tovush to'liqini yo'nalishi bo'yicha tovush manbaining o'lchamlarini «sezadi». Tinglovchi osongina u yoki bu musiqa asbobining orkestrda joylashgan joyini aniqlay oladi. Boshqacha kilib aytganda ikki quloq bilan tinglash **akustik istiqbolni** 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 manbalari 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 jarangdorligini 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. Shuning 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

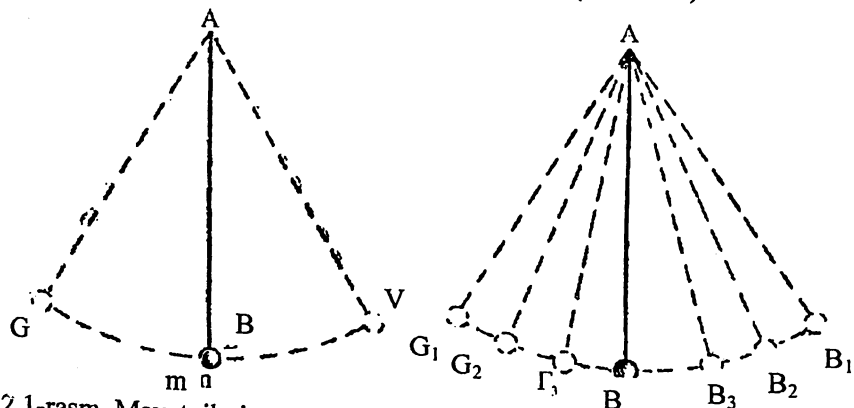
1. Akustika fani nimani o'rganadi?
2. Akustika fanining asosiy tarkibiy qismlarini tushuntiring.
3. Odam eshitish a'zosining asosiy qismlarini sanab o'ting.
4. Odam eshitish a'zosini tavsiflovchi asosiy parametrlarni sanab o'ting.
5. Odam eshitish a'zosining chastota diapazoni nimaga teng?
6. Odam eshitish 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 va tushuntiring.
12. Niqoblash hodisasining mohiyati nimadan iborat, radioeshittirishda 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 eshitsa, 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 harakatlanish 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 ilgariyisidan 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 nuqtagacha, V nuqtadan G nuqtagacha va teskari B nuqtagacha) 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-rasmda 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 energiyaning tashqi mabdan 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 sekundda sodir etgan tebranishlar soni, **tebranishlar chastotasi** deb ataladi va f harfi bilan belgilanadi, o'lchov birligi Hz. Tebranishlar chastotasi, tebranish davriga teskari bo'lgan kattalik

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

2.2 Ta'riflar

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

Tovush to'liqlari **tovush tezligi** deb ataluvchi ma'lum bir tezlikda tarqaladi.

Agarda, T tebranish davri, s tovush tezligi va f tovush chastotasi bo'lsa, unda to'liqin uzunligi

$$\lambda = sT = \frac{s}{f}, M \quad (2.2)$$

Aloqa va eshittirishda qo'llaniladigan tovush tebranishlari chastotasi 16÷20.000 Hz oralig'ida yotadi. **Bosim** deb, birlik yuzaga ta'sir etayotgan kuchga aytiladi. **Bosim r** bilan belgilanadi va o'lchov birligi N/m² yoki Pa.

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

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_Σ(t) - maydonning ma'lum nuqtasidagi oniy yig'indi bosim; r₀-atmosfera bosimi.

Muhit zarrachalari zichlashgan joyda r_Σ(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 1,01×10⁵ 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'liqini, birlik vaqtda butun to'liqin 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 nurlatgichga ta'sir etayotgan kuchga qarshi bajarilgan ishga aytiladi.

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

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'liqin frontining birlik yuzasidan birlik vaqtda o'tayotgan tovush energiyasi oqimi.

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

bunda, I -tovush kuchi; S -to'liqin fronti yuzasi.

Tovush energiyasining zichligi - birlik hajmga to'g'ri keladigan o'rtacha tovush energiyasi. U ε, bilan belgilanadi, o'lchov birligi [Dj/m³].

$$I = \varepsilon \text{ yoki } \varepsilon = \frac{I}{S}. \quad (2.8)$$

bunda, S - tovush tezligi.

Harakat tenglamasi. Tovush maydoni ikkita parametr: tovush bosimi r va tebranma tezlik V bilan tavsiflanadi. Bular o'zaro qanday bog'langanligini 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: F₁=pdS; F₂=(p+dp)dS teng bo'ladi.

Qatlamga tezlik beruvchi natijaviy kuch kuchlar ayirmasiga 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; $m = \rho dS dx$ qatlam massasi; ρ –havo muhitining zichligi.

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

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.

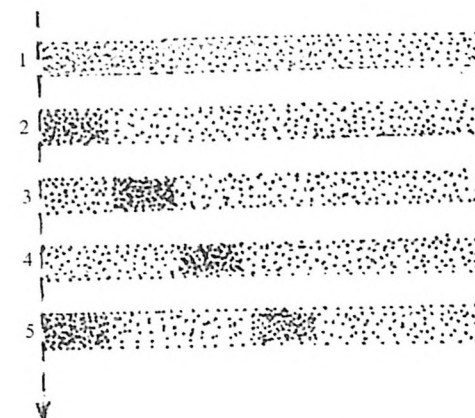
Frontlarining shakli bo'yicha tovush to'lqini yassi va sferik to'lqinlarga ajraladi.

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.

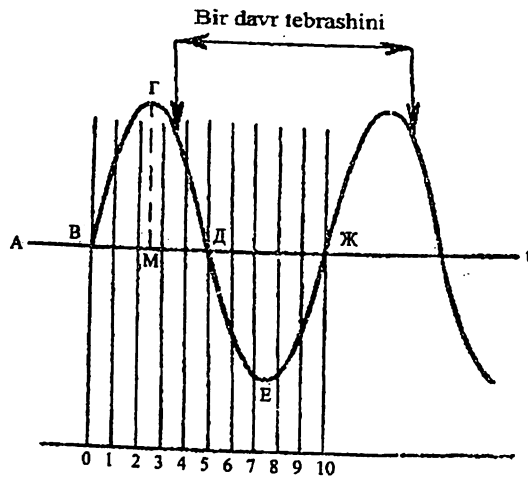
Biz zarrachalarning chapdan o'ngga va o'ngdan chapga muvozanat holati oldida harakatlanishini ko'ramiz. Zichlashish va siyraklashishning barchasi bir tomonga yo'nalgan to'lqinni tashkil etadi.

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'zgarimas 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:

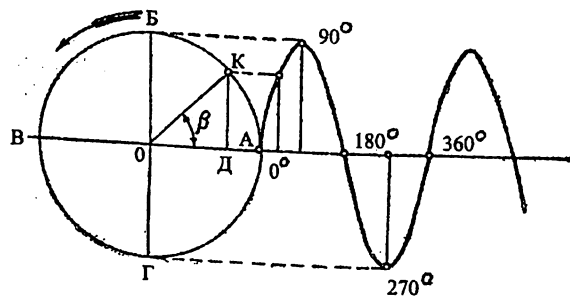
$$p = \frac{P_0}{\sqrt{2}}, \text{ Pa.} \quad (2.12)$$

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.

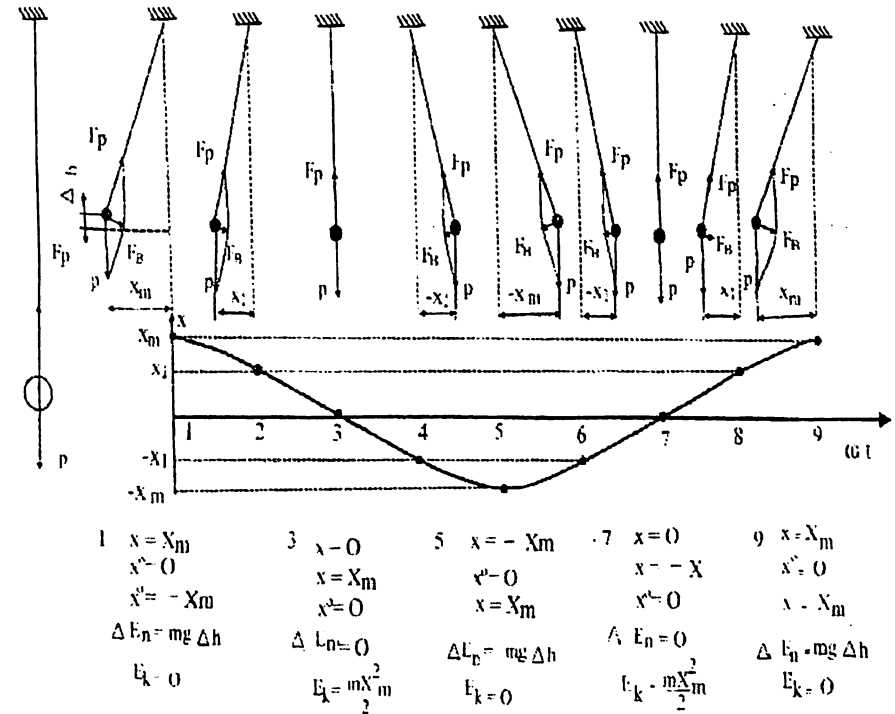


2.4-rasm. Oddiy sinusoidal tebranish.



2.5-rasm. Sinusoidal tebranish hosil bo'lishiga oid.

Mayatnikning tebranishi



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

Og'ishlar shu chiziqdan yuqori va past tomon sari sodir bo'ladi. Misol uchun, tebranishlar 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

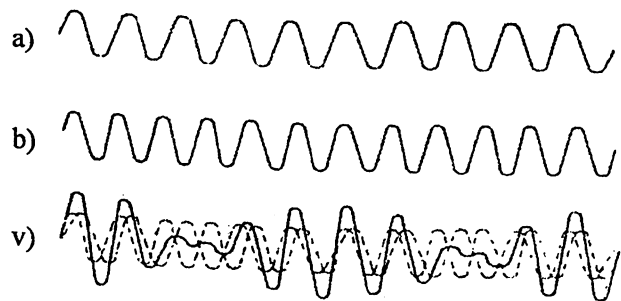
erishiladi. Jismning to'liq tebranishi J nuqtaga yetganda tugaydi. Tabiiyki tebranishning boshlanishi jismning istalgan holatni, uning tugashi esa, og'ish kattaligi, yo'nalishi va harakat tezligi bo'yicha birinchisiga aynan o'xshash boshqa holatni hisoblash mumkin. 2.5-rasmda keltirilgan egri chiziq 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 β burchak qo'yilgan.

β qiymat tebranishlar fazasi deb ataladi.

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 membrananing qo'shni qismini 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'liqlarining jamlanishida ko'rib chiqamiz.



2.7-rasm. Tepkili tebranishlar.

2.7-a rasmda ajratilgan bo'lakda 10 to'liqin, 2.7-b rasmda shu bo'lakda 12 to'liqin tebranishlari mavjud, bundan ikki tizim tebranish chastotalari farqiga teng son bo'lagida ikkita tepkili tebranish 2.7-v 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'liqinsimon tarqalishi

Hovuzdagi suvga kichik toshni tashlaymiz. Tosh tushgan joyda halqasimon to'liqin paydo bo'ladi va u tezda tarqala boshlaydi. Tarqalayotgan to'liqindan 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'liqin** deb nomlanadi. To'liqinlar 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 harakatlanmay, shunchaki yuqori va past tomonga tebranayotganini yaqqol ko'ramiz. Bunda, suv yuzasidagi barglarning to'liqin 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, o'zidan keyingi qatlam zarrachalariga oldingi qatlam zarrachalaridan olgan energiyani bir qismini uzatadi va h.k. Bayon etilgan jarayon **tebranishlarning to'liqinsimon 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 **to'liqin uzunligi** deb ataladi va grekcha λ (lyambda) harfi bilan belgilanadi.

Shunday qilib, tovush tebranish tezligi, tebranish chastotasi va to'liqin uzunligi o'rtasida quyidagi bog'liqlik mavjud:

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

ya'ni tebranish tarqalish tezligi tebranish chastotasi va to'liqin uzunligi ko'paytmasiga teng.

2.8. Tovush tebranishlari energiyasi

Tovush tebranishlari amplitudasi yoki effektiv bosim qanchalik katta bo'lsa, tebranish tarqalishida uzatiladigan **energiya** shunchalik ko'p bo'ladi. Bir sekundda tovush tebranishlari tarqalishiga perpendikulyar bo'lgan, bir kvadrat santimetr yuzadan o'tayotgan energiya miqdori **tovush kuchi** deb ataladi. Tovush kuchi va effektiv bosim o'rtasida quyidagi bog'liqlik mavjud:

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

bunda, I – tovush kuchi; p –effektiv bosim; ρ – havo zichligi va c – tovushning havodagi tezligi, tovush kuchi birligi $\frac{\text{erg}^2}{\text{sm}^2 \cdot \text{s}}$

Havo harorati va bosimi normal bo'lganda ρc ko'paytmasi taxminan 41 ga teng.

2.9. Tovush tebranishlarining tarqalish tezligi

Tovush tarqalish tezligi tovush tarqalayotgan muhitning fizik xususiyatlari, ya'ni zichligi va elastikligiga bog'liq.

Tovush tezligi havo harorati 0° va mo'tadil sharoitda sekundiga taxminan 330 metr ga teng. Havo harorati $+15^\circ\text{C}$ oshganda tovush tezligi sekundiga taxminan 340 metrni tashkil etadi.

Quyidagi jadvalda ayrim materiallarda tovush tarqalish tezligi keltirilgan:

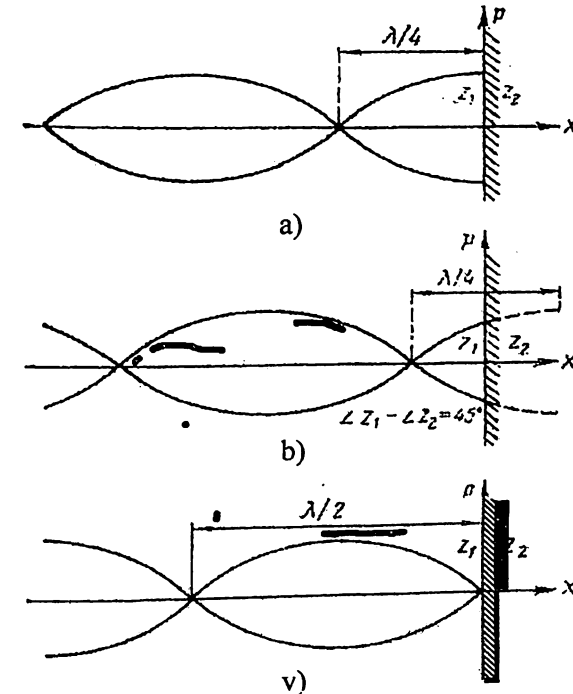
2.1-jadval

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 koeffitsiyenti bilan tavsiflanadi. Akustikada qaytish koeffitsiyenti 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° (qaytaruvchi muhitning qarshiligi birlamchi muhit qarshiligidan kichik). Bir yoki ikkala akustik qarshiliklar reaktiv tarkibga ega bo'lsa, unda faza siljishi 0° yoki 180° o'rtasida bo'ladi.



2.8 - rasm. Qaytgan tovush bosimi amplitudalarining turli faza siljishdagi taqsimoti: a) faza siljishisiz; b) faza siljishi 90° ; v) faza siljishi 180° .

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 (2.8-a rasm), tebranish tezligi esa, tugun hosil qiladi. Ikkala muhitning akustik qarshiliklari nisbati teskari bo'lganda, tovush bosimi uchun siljish fazasi 180° , muhit chegarasida tovush bosimining tuguni (2.8-v rasm) va tebranish tezligining do'ngligi hosil bo'ladi.

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

2.8-b rasmda siljish fazasi 90° bo'lgan holat ko'rsatilgan.

2.11. Tovush to'lqinlarni jamlash va to'lqinlar interferensiyasi

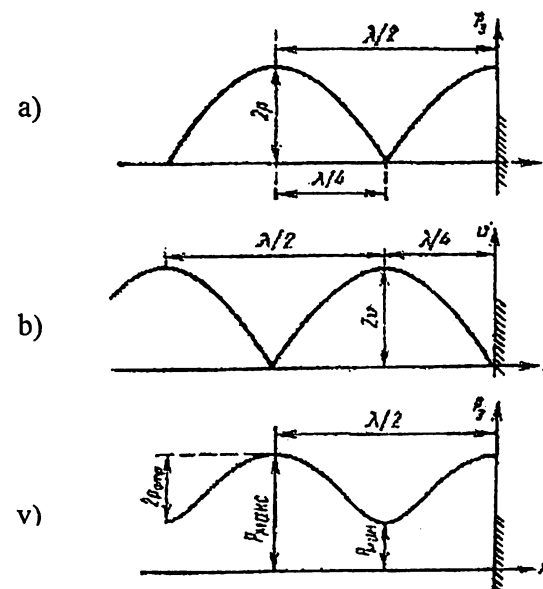
Ko'pincha elastik muhitda bir emas, birnecha manba to'lqinlari tarqaladi. Bunda to'lqin superpozitsiyasi, ya'ni to'lqin tarqalishi boshqa to'lqinlar bo'lmagan holdagidek kuzatiladi. Haqiqatan ham, bir necha to'lqinlar havoda bir-biriga halaqit bermasdan tarqalishi mumkin. Muhitda murakkab tovush maydoni hosil bo'ladi. To'lqinlarni jamlashning turli holatlaridan eng oddiysi 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 mabalar 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.

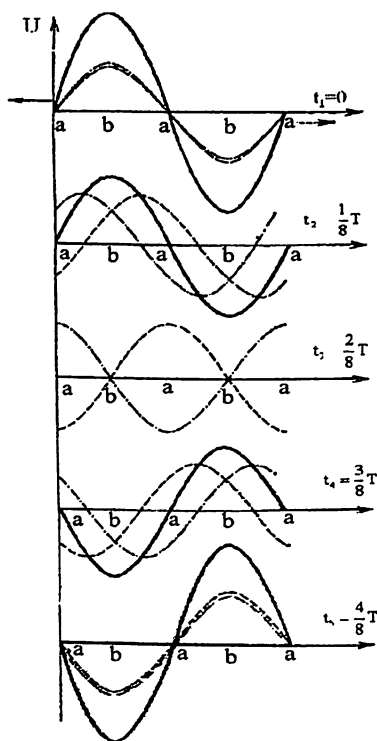
Turg'un to'lqinlarda energiya oqimi nolga teng, shuning uchun ularni butkul energiya yoki tovush bosimining kvadrati bilan tavsiflaydilar. To'g'ri va teskari to'lqin amplitudalari teng bo'lmaganda turg'un to'lqin, qaytgan to'lqin va qisman amplitudasi qaytgan to'lqin amplitudasiga teng to'g'ri to'lqin 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).



2.10-rasm. To'lqinlarning jamlanishiga oid.

Faraz qilaylik, $t=0$ vaqtda ikkala to'lqinning fazalari bir xil. Undan tashqari, shtrix liniyalik to'lqin o'ng tomonga, shtrixpunktirli to'lqin chap tomonga tarqaladi. Dastlabki vaqtda muhitning barcha nuqtalari tebranish bo'lmayotgan α 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.

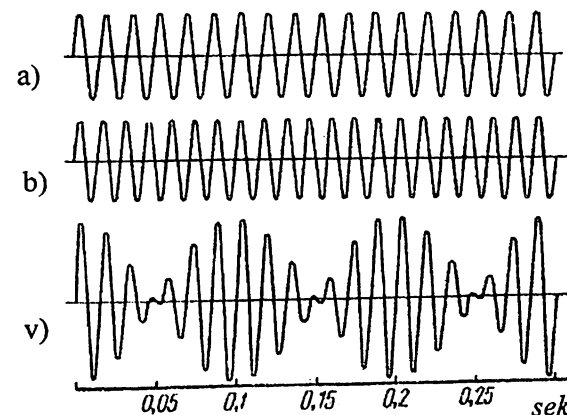
Rasmdan ko'rinib turibdiki, bu vaqtda ham α nuqta zarrachalari tinch holatda qolmoqda. Qolgan zarrachalarning holati o'zgargan. Bir-biridan $\frac{T}{8}$ vaqt orlig'ida bo'lgan t_3, t_4, t_5 vaqt jarayonlarini kuzatishni davom ettirsak, har bir vaqt uchun to'lqin yig'indisi shaklini olish mumkin. Grafikdan shu narsa ko'rinib turibdiki, α nuqtada hamma vaqt tebranish yo'q, b nuqtada zarrachalar maksimal amplitudada tebranadi.

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

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

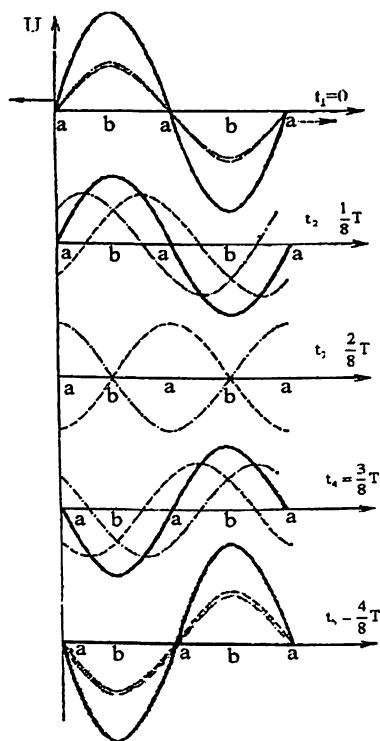
Turg'un to'lqin holatida yuguruvchi to'lqinning har bir tarkibi bir xil energiyani ko'chiradi, ammo qarama-qarshi tomonga. Natijada, tovush intensivligi nolga teng. Turg'un to'lqin maydon energiyasini tovush energiyasi zichligi bilan ifodalash ma'qul. Havoda turg'un to'lqin paydo bo'lishi tovush maydonida energiyani notekis taqsimlanishiga olib keladi. Real tovush maydonida ancha murakkab interferension hodisalar 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 Hz to'lqinlarni qo'shganimizda o'rtacha chastotasi 65 Hz teng bo'lgan tovush tebranishni olamiz (2.11-rasm).



2.11 -rasm. Tebranishlarni qo'shganda "tepkilli" tebranish hosil bo'lishiga oid.

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



2.10-rasm. To'liqlarning jamlanishiga oid.

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

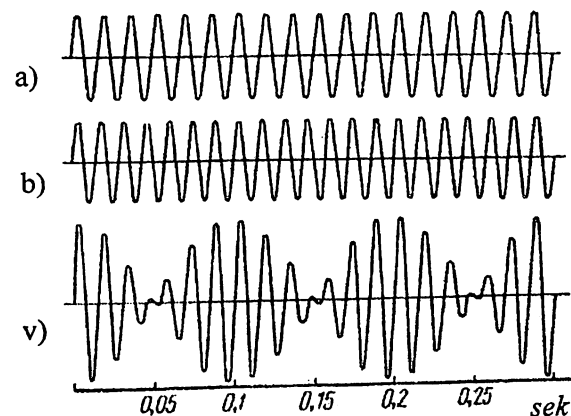
Rasmdan ko'rinib turibdiki, bu vaqtda ham α nuqta zarrachalari tinch holatda qolmoqda. Qolgan zarrachalarning holati o'zgargan. Bir-biridan $\frac{T}{8}$ vaqt orlig'ida bo'lgan t_3, t_4, t_5 vaqt jarayonlarini kuzatishni davom ettirsak, har bir vaqt uchun to'liqin yig'indisi shaklini olish mumkin. Grafikdan shu narsa ko'rinib turibdiki, α nuqtada hamma vaqt tebranish yo'q, b nuqtada zarrachalar maksimal amplitudada tebranadi.

Yig'indi to'liqinning harakatsiz nuqtalari **tugunli** deb atiladi. Tebranishlar jadal bo'layotgan nuqtalar **do'nglik nuqtalari** deb ataladi.

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

Turg'un to'liqin holatida yuguruvchi to'liqinning har bir tarkibi bir xil energiyani ko'chiradi, ammo qarama-qarshi tomonga. Natijada, tovush intensivligi nolga teng. Turg'un to'liqin maydon energiyasini tovush energiyasi zichligi bilan ifodalash ma'qul. Havoda turg'un to'liqin paydo bo'lishi tovush maydonida energiyani notekis taqsimlanishiga olib keladi. Real tovush maydonida ancha murakkab interferension hodisalar ro'y beradi. Ular xonada tovushni eshitishga va elektroakustik apparaturalarning ishlashiga ta'sir ko'rsatadi.

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

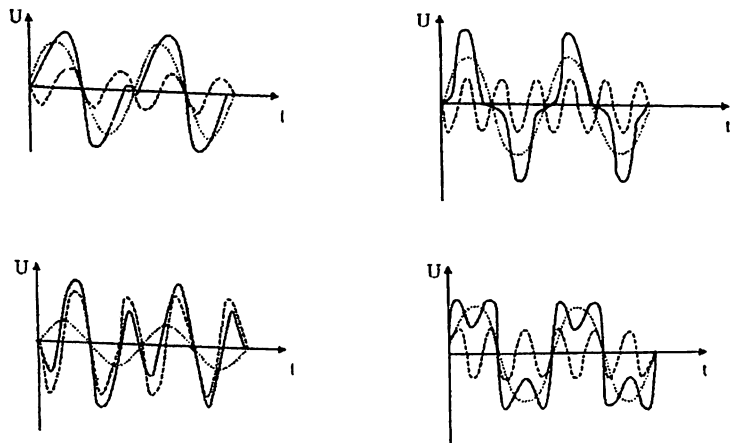


2.11 -rasm. Tebranishlarni qo'shganda "tepkili" tebranish hosil bo'lishiga oid.

Bunday tebranish “tepkili” tebranish deb ataladi. Rasmdan ko‘rinib turibdiki, bunday murakkab tebranish amplitudasi davriy o‘shish 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. 2.11-v 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‘shishi 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

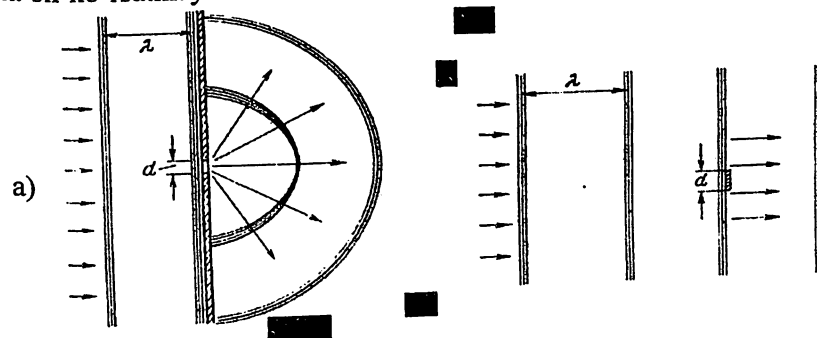
Akustikada ikkita ovozni o‘zaro ohangdoshligini sozlashda (unison) beqiyos ahamiyatga ega. Unisonda, ya‘ni ikkita tovush balandligi mutloq mos bo‘lganda (amplitudalari bir xil bo‘lgan ikkita tebranish to‘lqinlari chastotalari mos bo‘lganda) tepki yo‘qoladi, chastotalari o‘zgarganda yana paydo bo‘ladi,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

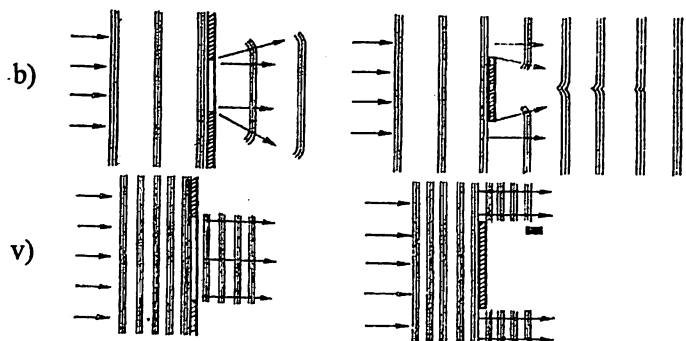
Amalda ikkita ovozni, bitta ovoz chastotasini o‘zgartirish bilan unison sozlashda “tepkili nol” bo‘lishga erishguncha, ya‘ni u mutloq yo‘qolgunga qadar harakat qilinadi.

Teng chastotali garmonik tebranishlarni jamlash 2.12 - rasmda keltirilgan.

2.12. Tovush difraksiyasi

Yuqorida (1.10-§) ta’kidlaganimizdek, tovush to‘lqini tarqalishi yo‘nalishida biron-bir to‘siq bo‘lsa, u holda, tovush to‘lqini shu to‘siqdan qaytadi. Agarda, to‘siq o‘lchami tovush to‘lqini uzunligidan kichik bo‘lsa, u holda, tovush to‘lqini 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‘lqinlarini tarqalishiga xalaqit beradi va past chastota to‘lqinlariga hech qanday ta’sir ko‘rsatmaydi.



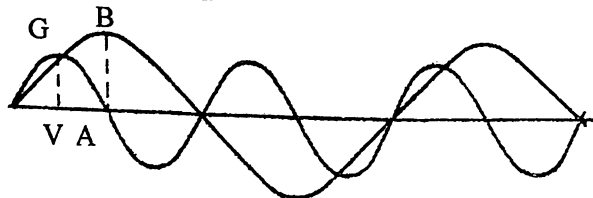


2.13 – rasm. Tovush to‘lqinlarni teshikli to‘siqqa yoki to‘siqdan o‘tishi.

2.13. 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.

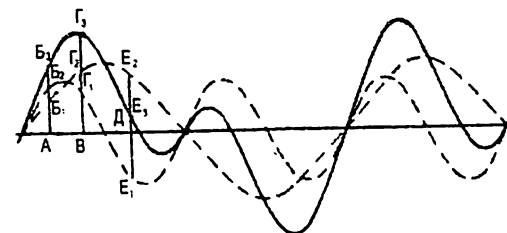
Misol tariqasida bir tomonga yo‘nalayotgan, chastotalari turlicha bo‘lgan ikkita sinusoidal signaldan murakkab signal tashkil bo‘lishini grafik asosida ko‘rib chiqamiz. 2.14-rasmda ikkita tebranish tizimining sinusoidal signallari ko‘rsatilgan: birinchi tizim signalining amplitudasi (AB) ikkinchi tizim 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_1 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.

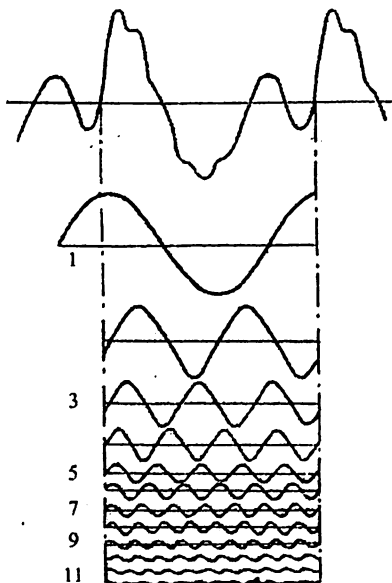
Nodavriy tebranishlar ham mavjud. Nodavriy tebranishlarning davriy tebranishlardan farqi shundaki, nodavriy tebranishlarning bir davri qachon tugashi va qachon yangisi boshlanishi noma’lum.

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.

2.14. 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 asboblarining 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 $1 \text{Vatt} = 10^7 \frac{\text{erg}}{\text{s}}$.

Elastik tizim tebranganda unda turg'un to'liq paydo bo'ladi. Misol tariqasida shuni aytish kerakki, ikki tomoni birlashtirilgan 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.

2.15. Turg'un to'liqlar

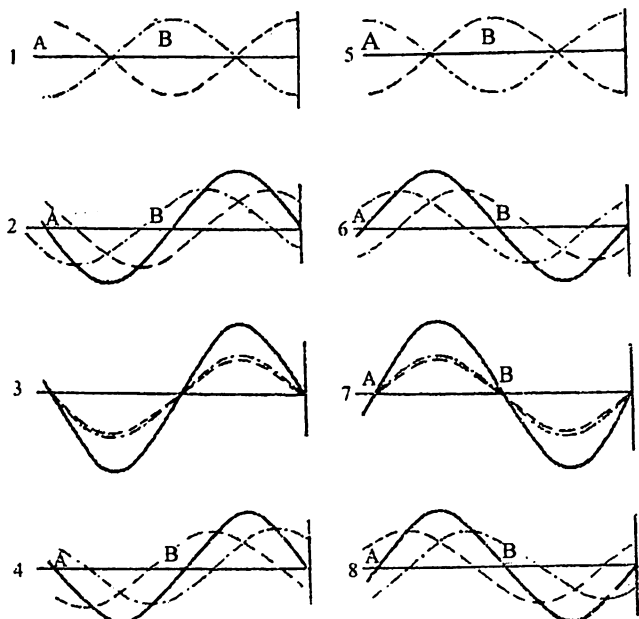
Agarda, uzun va tomonlari parallel shisha idishga suv to'ldirib suvning yuzasi qo'zg'atilsa va idishning qisqa yon devoridan ikkinchi yon devorigacha to'liq yarim to'liq joylashsa, u holda, **turg'un to'liq** hosil bo'lishining guvohi bo'lamiz. Bu hodisani shunday izohlash mumkin: to'liqlar idishda bo'ylama 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'liq do'ngligi va nisbatan tinch zonalarda esa turg'un to'liq 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 uzun chiziq bilan suvli idishda chapdan-o'ngga ketma-ket yo'nalayotgan to'lqin holati ko'satilgan.



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

Qaytgan to'lqin uzun chiziqchalar bilan belgilangan. Agarda, tushayotgan to'g'ri va qaytgan to'lqin amplitudalarini qo'shsak, natijaviy uzluksiz chiziqli to'lqin 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 (uzun chiziq), qaytgan to'lqin (nuqtali uzun chiziq) va ularning yig'indi amplituda qiymatlari (uzluksiz chiziq) ko'rsatilgan. Shuni aytish lozimki, barcha rasmlarda bir-biridan yarim to'lqin uzunligida joylashgan A va B nuqtalarda yig'indi uzluksiz chiziq yuza chizig'idan chetga chiqmadi. Bu, ushbu nuqtalarda tugun

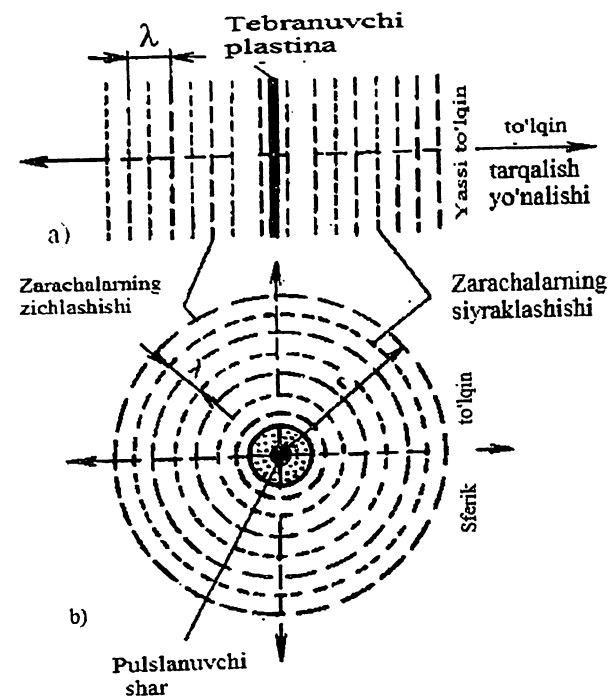
mavjudligi va suv yuzasi tinch holatda ekanligidan dalolat beradi. Ikkita tugun oralig'ida esa, jarayon jadal kechadi – bu do'nglik.

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

2.16. Yassi to'lqin

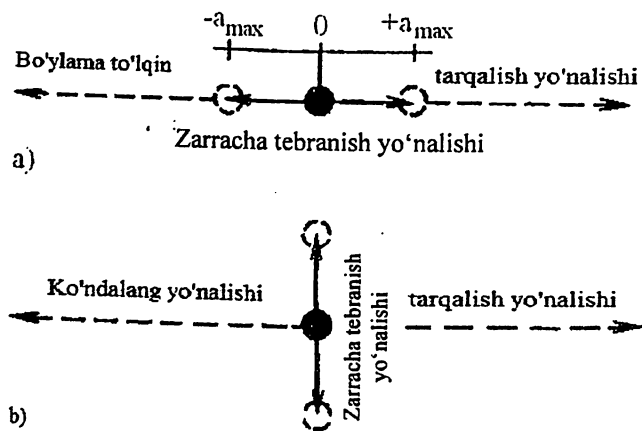
Tebranuvchi havo zarrachalarining tarqalishi quyidagi sxema bo'yicha amalga oshadi: muhitning bitta zarrachasi unga yaqin bo'lgan qo'shni zarrachani tebranishli harakatga keltiradi, so'ngra bu jarayon zanjir bo'yicha boshqa zarrachalarga tarqaladi. Shuni inobatga olish kerakki, zarracha deganda o'lchamlari 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 qo'zg'atish usuliga bog'liq holda to'lqinlarni quyidagi turlarga ajratish mumkin: **yassi tovush to'lqinlari** (katta o'lchamli yassi tebranuvchi sirt), **silindrik tovush to'lqinlari** (radial tebranyotgan silindrning yon sirti) va **sferik (sharsimon) tovush to'lqinlar** (tebranish manbai o'lchamlari katta bo'lmagan, ya'ni tovush manbai nuqta) yoki bunday manba sifatida pulslanuvchi shar bo'lishi mumkin. Silindrik va sferik (sharsimon) to'lqinlar tovush manбайдan sezilarli uzoqlashganda yassi to'lqinga aylanadilar. Tebranish zarrachalari yuzasining to'lqin tarqalish yo'nalishiga nisbatan joylashishiga bog'liq holda bo'ylama va ko'ndalang to'lqinlarga ajratiladi 2.19-rasm.



2.19-rasm. Tovush to'lqini: a) bo'ylama; b) ko'ndalang.

Agarda zarracha tebranishlari to'lqin tarqalish yo'nalishiga mos kelsa unda **bo'ylama to'lqin** sodir bo'ladi. **Ko'ndalang to'lqin** zarrachalar to'lqin tarqalish yo'nalishiga perpendikulyar yuzada tebranganida sodir bo'ladi (tor, prujina, plastina va membranalarning tebranishi).

Demak, yassi tovush to'lqin deb, front sirti to'lqin tarqalishiga perpendikulyar bo'lgan to'lqinga aytiladi. To'lqin frontiga perpendikulyar bo'lgan tovush nurlari bir-biriga parallel bo'ladi. Bu shuni ko'rsatadiki tovush energiyasi fazoda sochilmasdan, g'uj bo'lib tarqaladi, ya'ni biz yo'nalgan nurlanish holatini kuzatamiz. Yassi to'lqin nurlatgich o'lchamlari nurlanuvchi to'lqin uzunligidan katta bo'lgandagina yuzaga kelishi mumkin. Bu shart radiokarnay yuqori

chastotalarda ishlaganda bajariladi. Devorlari qattiq trubaga radiokarnaylarni yuklab yassi to'lqin sun'iy ravishda hosil qilish mumkin. Nurlatgich to'lqin uzunligidan kichik bo'lganda ham truba devorlari to'lqin tarqalishiga yo'l bermaydi.

Yassi to'lqin 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'lqin 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'lqin 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'lqin son.

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

$$s = \frac{\omega}{k} = \frac{x}{t}, \text{ inobatga olsak, unda (2.12) va (2.13) ko'ra } \omega t = kx.$$

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

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

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

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

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

1. Tovush bosimi va tebranish tezligi amplitudalari tovush manбайдan uzoqlashgan sari kamaymaydi. Shunga mos holda muhit zarrachalarining siljishi ham o'zgarmaydi. Buni fizik nuqtai nazaridan quyidagicha tushuntirish mumkin: to'lqin tarqalmaganligi sababli to'lqin fronti maydoni masofa o'zgarishi bilan o'zgarmaydi, shuning uchun

2.16. Sferik to'liqlar

istalgan masofada birlik to'liqin fronti maydoniga bir xil qiymatdagi energiya to'g'ri keladi.

2. Yassi to'liqinda 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.

$$\rho_s = \frac{P}{V} - \text{solishtirma akustik qarshilik deb ataladi.}$$

Bu kattalikni, quyidagicha belgilaymiz:

$$z_0 = \rho_s = \frac{P}{v}. \quad (2.19)$$

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.

$$z_r = z_0 S = \rho_s S = \frac{P}{V} S = \frac{F}{V} \quad (2.20)$$

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:

$$I = pV = \frac{P^2}{z_0} = V^2 z_0 \text{ ifodalaymiz.} \quad (2.21)$$

Amplituda qiymatlariga o'tib,

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

Manba nurlatayotgan akustik quvvat aktiv va u quyidagicha ifodalanadi:

$$P = IS = V^2 z_0 S = V^2 z_r. \quad (2.23)$$

Sferik (sharsimon) to'liqin 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 manbaidan uzoqlashgan sari, muhitning qovushqoqligi va molekular sochilishni, inobatga olmaganida o'zgarmaydi, ya'ni $r_a = \text{const}$. 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'liqin frontining shu markazgacha bo'lgan masofasi. Tovush bosimi shar to'liqlarda masofa oshishi bilan giperbolik qonun bo'yicha pasayadi $p_r = p_1/r$, bunda, r_1 — tovush manbai markazidan bir to'liqin uzunligi masofasidagi tovush bosimi.

Sferik to'liqinning solishtirma akustik qarshiligi qo'yidagicha ifodalanadi:

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

Akustik qarshilikning aktiv tarkibi:

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

Reaktiv tarkibi:

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

Qarshilik moduli:

$$|Z_A| = \rho_s \cos \psi. \quad (2.27)$$

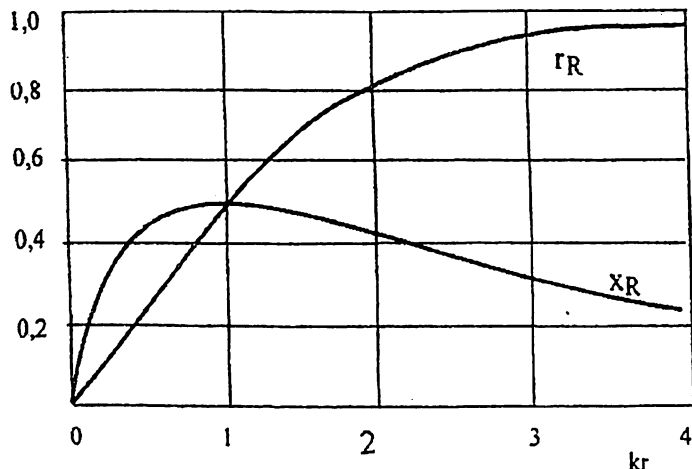
ya'ni, sferik to'liqinning akustik qarshiligi, yassi to'liqin akustik qarshiligidan katta emas.

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

Har bir turdagi nurlatgichlar uchun o'lchamsiz $r_R \cdot X_R$ koeffitsiyentlarni 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. Koeffitsiyentlarning tengliHz 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.



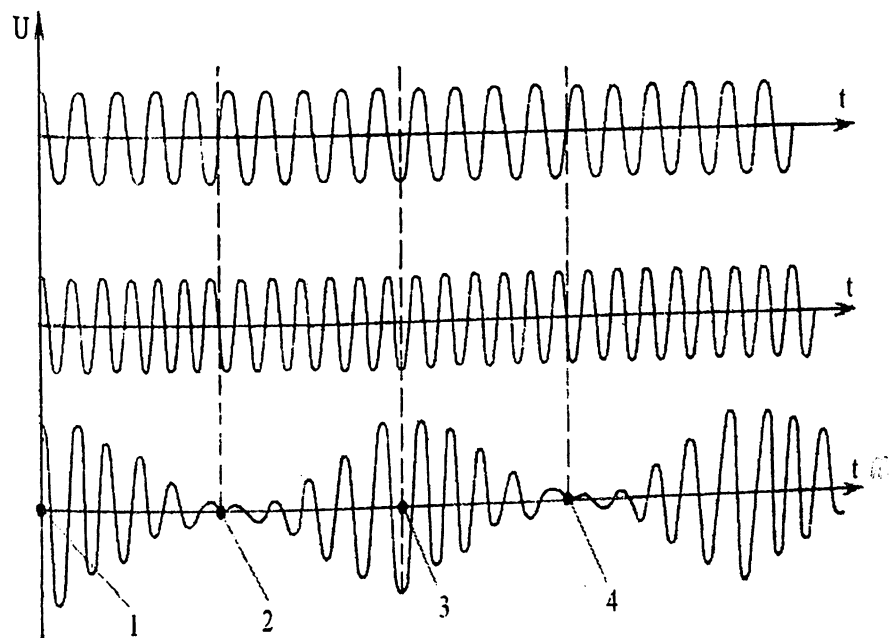
2.20 - rasm. Tepkili sharining o'lchamsiz aktiv va reaktiv koeffitsiyentlari tarkibining chastota tavsifi.

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 hodisasini tushuntiring.
5. Teng chastotali garmonik tebranishlar qanday jamlanadi?

6. 2.21- rasmni tushuntiring.
7. 2.22-rasmni tushuntiring.
8. 2.23- rasmni tushuntiring.
9. 2.24- rasmni tushuntiring.
10. 2.25- rasmni tushuntiring.
11. Murakkab to'liqlar haqida tushuncha bering.
12. Murakkab to'liqlar tarkibiy qismlarga qanday ajratiladi?
13. Yassi to'liqlar tarqalishining qanday xususiyatlarini bilasiz?
14. Sferik to'liq tarqalishining qanday xususiyatlarini bilasiz?
15. Sferik to'liqda yaqin zona o'lchami qanday aniqlanadi?
16. Nima hisobiga sferik to'liqda, yaqin zonada bosim va tebranish tezligi paydo bo'ladi?
17. Turg'un to'liqlarning paydo bo'lish sharti nimadan iborat?
18. «Nurlanish qarshiligi» nima, tushuntiring.
19. «Muhitning birga qo'zg'aluvchi massa»si nimani anglatadi?



2.21- rasm. Yaqin chastota tebranishlarni jamlashga oid.

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 oraliqida 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.

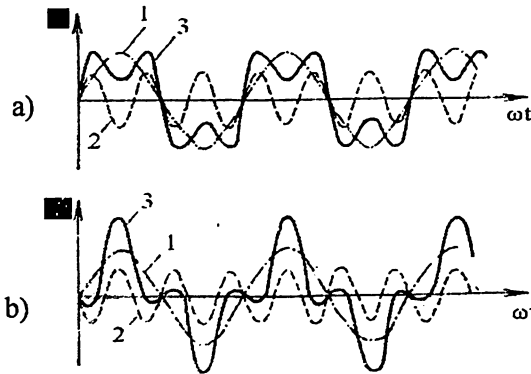
3.2. Dinamik diapazon

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, signallarining o'tkir cho'qqi va cho'kmalari amalda eshitilmasligiga asoslangan.

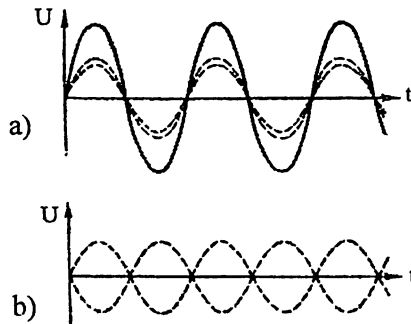
Signalning maksimal va minimal sathlari ayirmasi **dinamik diapazon** deb ataladi.

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

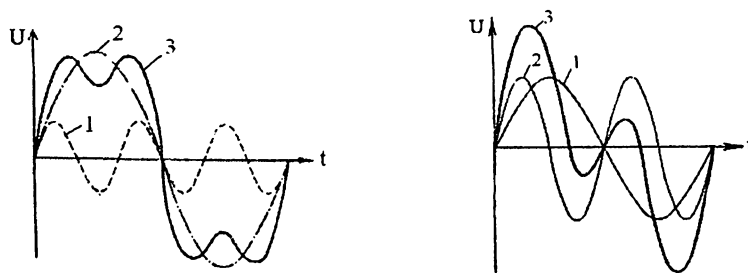
Ayrim tovush signallari uchun dinamik diapazon 3.1-jadvalda keltirilgan.



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 tebranishlarni jamlashga oid.

2.25- rasm. Davri 1: 3 nisbatdagi tebranishlarni jamlashga oid.

3.1-jadval

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-musiq	118 gacha
Reaktiv samolyot motori, 3m masofada	120

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

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

bunda, U_{sh} – kanaldagi shovqin sathi; mkV; U_{nom} – nominal kuchlanish, V;

ΔN_1 – shovqin va halaqitlarni bosuvchi signal sathi, dB (odatda, 10 dB dan kam emas); ΔN_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:

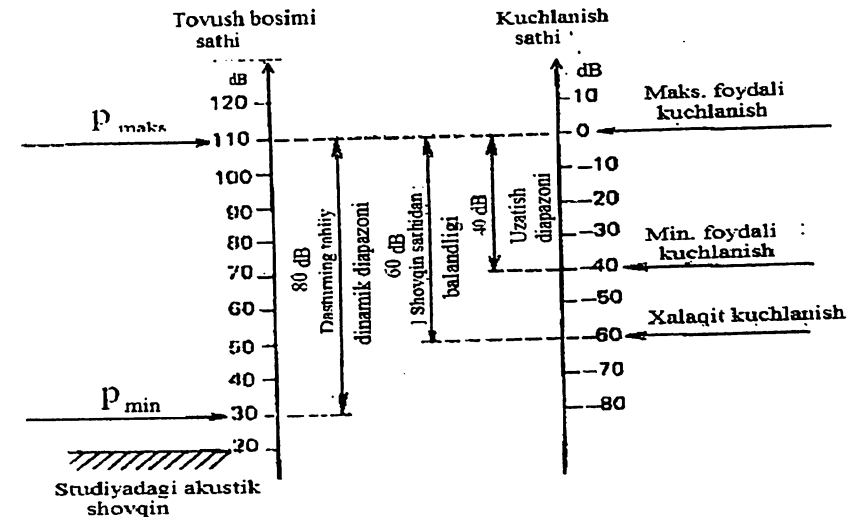
- katta simfonik orkestrlar uchun 80 dB;
- katta bo'lmagan guruh ijrochilari uchun 60 dB;
- nutq eshittirishlarda 50 dB.

Tabiiyki, eshittirishlar elektroakustik qurilmalar orqali tovush bosimi yoki tebranish tezligiga mos bo'lgan kuchlanish uzatiladi. Tovush bosimining eng katta qiymatiga maksimal U_{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 noxiziqli 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 eshittirish a'zosi bilan (o'rtacha subyektiv) yoki uzoq vaqt oraliqlari uchun o'rtacha statistik (o'rtacha davomiy) yoki inersionligi katta bo'lmagan o'lchov asbobi bilan aniqlash mumkin (o'rtacha obyektiv). 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 obyektiv sathni o'lchovchi asbobning minimal vaqt doimiyligi, signalning maksimal yarim davr tebranishidan ($f=30$ Hz 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:

$$L_{u'o'n} = 10 \lg \frac{I_{o'n}}{I_0}, \text{ dB} \quad (3.3)$$

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 manбайдan chiqadigan akustik signal odatda, uzluksiz o'zgaradigan shakl va spektr tarkibiga ega. Spektrlar yuqori va past chastotali, diskret va uzluksiz bo'lishi mumkin. Har bir tovush manbaida, hatto, 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 $B = 10 \lg \frac{1}{I_0}$, bunda, $I_0 = 10^{-12}$ Vt/m^2 - nolinch 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 spektr jadalligi sathlarda berilgan bo'lsa, unda bu sathlarni (har bir polosadagi) jadallikka o'tkazish $I_{okt} = I_0 10^{0.1 L_{okt}}$ va barcha jadalliklarni qo'shish kifoya. Barcha I_{okt} yig'indisi hamma spektrlar uchun yig'indi jadallik L_z ni beradi. Yig'indi sath

$$L_z = 10 \lg \frac{I_z}{I_0}. \quad (3.5)$$

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 **subyektiv chegara** deb hisoblanadi. 3.2-jadvalda birqancha birlamchi akustik signallarning chastota diapazonlari keltirilgan.

3.2- jadval

Tovush manbai	Chastotalar diapazoni, Hz
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 og'sa, unda ularni yana moyillik bilan, ya'ni spektr sathlarining past yoki yuqori chastotalar tomon o'rtacha og'ishi bilan baholaydilar. Masalan, nutq spektri 6 dB/okt yuqori chastota tomon og'ishga moyilligi bor.

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

3.5. Signalning birlamchi parametrlari

Har bir odam o'ziga xos tarzda nutq tovushlarini talaffuz etadi. Nutq tovushlarini talaffuz etish qo'shni tovushlarga urg'u berish va boshqa omillarga bog'liq. Cheklangan sondagi umumlashtirilgan nutq tovushlarini amalga oshirilishi **fonema** deb ataladi. Fonema bu odam aytmog'chi bo'lgani, **nutq tovushi**—bu, odam talaffuzi. Fonema tovushga nisbatan **grafema** deb ataluvchi namunaviy xarf rolini o'ynaydi. Nutq tovushlari jarangdor va bo'g'liqlarga bo'linadi. Jarangdor tovushlar tarang bo'lib turgan tovush mushaklari ishtirokida paydo bo'ladi: o'pkadan chiqayotgan havo oqimi natijasida tovush mushaklari vaqti -vaqti bilan siljiydi, natijada, uzuq-uzuq havo oqimi paydo bo'ladi. Tovush mushaklari yordamida hosil bo'layotgan havo oqimi impulslarini davriy deb hisoblasa bo'ladi. Impulslarning mos holdagi takrorlanishini **asosiy tonning tovushi** T_0 deb ataydilar. Unga teskari bo'lgan kattalikni **asosiy tonning chastotasi** $f_0 = 1/T_0$ deb ataydilar.

Asosiy ton chastotasining o'zgarishi **intonatsiya** deb ataladi. Har bir odamda o'ziga xos asosiy ton chastotasining o'zgarish diapazoni va o'zining intonatsiyasi bor. Intonatsiya odamlarni farqlashda juda katta ahamiyatga ega. Asosiy ton, intonatsiya, og'zaki «uslub» va tovush tembri odamlarni aniqlashda xizmat qiladi.

Nutq tovushlarini talaffuz qilishda til, lablar, tishlar, pastki jag', tovush mushaklari har bir fonema uchun ma'lum holatda yoki harakatda bo'lishi kerak. Bu harakatlar **nutq a'zosining artikulyatsiyasi** deb ataladi.

Tovushlarni talaffuz qilganda nutq trakti orqali tonal impuls signali yoki shovqin yoki ikkalasi ham birgalikda o'tadi. Nutq trakti artikulyatsiya a'zolari yordamida bir qator murakkab akustik filtrlarni tashkil qiladi. Buning natijasida bir xil egib o'tayotgan 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 ÷ 7000 Hz 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 eshitisli, 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 birlamchi 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 subyektiv 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 buzilishsiz 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'i nazar, ularni niqoblashga olib keladi. Shovqinlar, eshinish 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 so'zlashuv shovqinlari va h.k. kiradi.

Elektr shovqinlarning spektrlari bir tekis, akustik shovqinlarning spektrlari esa, nutq spektrlariga yaqinroqdir. Shuning uchun birinchisining eshinish bo'sag'asi yuqori chastotalar tomon o'sishga moyildir. Nutq shovqinlari eshinish bo'sag'asida deyarlik chastotaga bog'liq emas.

3.8. Chiziqli buzilishlar

Traktning uzatish koeffitsiyenti umumiy ko'rinishda 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 koeffitsiyenti moduli; φ - traktidagi faza siljishi. **Uzatish koeffitsiyenti** odatda, chastotaga bog'liq. Eshinish a'zosi signallarning faza siljishiga ta'sir ko'rsatmaganligi sababli ularni tahlil etmaymiz va «uzatish koeffitsiyenti» iborasida uning modulini tushunamiz.

Uzatish koeffitsiyentining chastotaga bog'liqligi uzatish traktining **chastota tavsifi** deb ataladi. U birlamchi signal chastotalari tarkibiga kiruvchi amplitudalar nisbatining o'zgarishiga olib keladi. Bu buzilishlar subyektiv birlamchi signalning temбри o'zgargandek seziladi. Masalan, past chastota tarkiblari bostirilganda, eshittirishlar jarangdor bo'ladi, yuqori chastota tarkiblari bostirilganda esa tovush bo'g'iq bo'ladi.

Buzilishlar chiziqli yoki amplituda - chastotali bo'lib, chastota tavsifining notekisligi bilan baholanadi:

$$M = \frac{K_{maks}}{K_{min}} \quad (3.7)$$

bunda, K_{maks} va K_{min} berilgan chastota diapazonidagi maksimal va minimal uzatish koeffitsiyentlari.

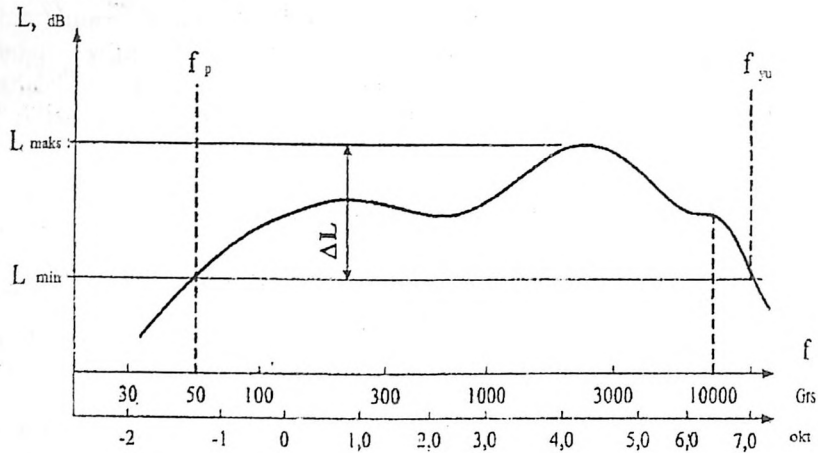
Notekislik, odatda, logarifmik masshtabda o'lchanadi, unda:

$$\Delta L = L_{maks} - L_{min}. \quad (3.8)$$

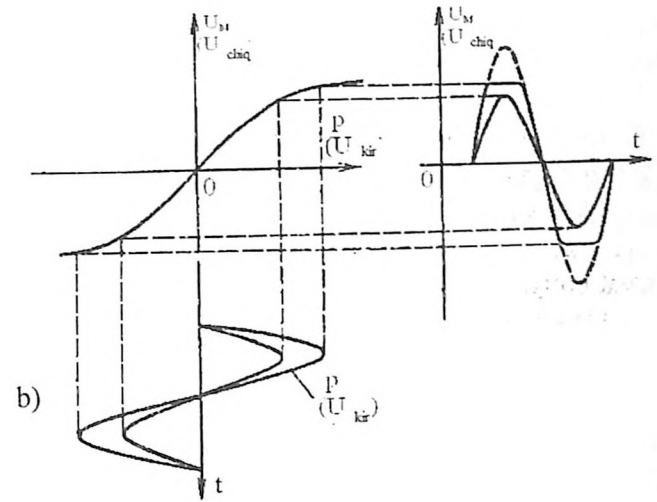
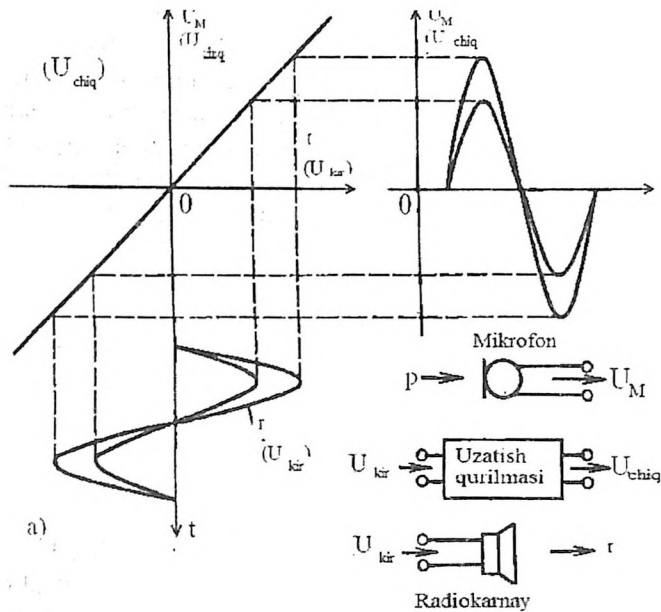
Bu yerda L_{maks} va L_{min} - ikkilamchi signalning maksimal va minimal sathlari.

3.2- rasmda uzatish trakti signalining tavsiflaridan biri keltirilgan. Amplituda - chastota tavsiflarini tahlil etganda, eni 1/8 oktavadan tor cho'qqi va cho'kmalar inobatga olinmaydi. Bu shart eshinish a'zosining keng kritik polosalari hamda birlamchi signal tez o'zgarganda uning

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



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



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.

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.

3.9. 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,

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

Chiqishdagi signal

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

Bu ifodadan ko'rinib turibdiki, asosiy chastota ω_1 va ω_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 nohiziqli buzilishlar esa **kvadratik buzilish** deb ataladi. Nohiziqli buzilishlar garmonika koeffitsiyenti bilan baholanadi:

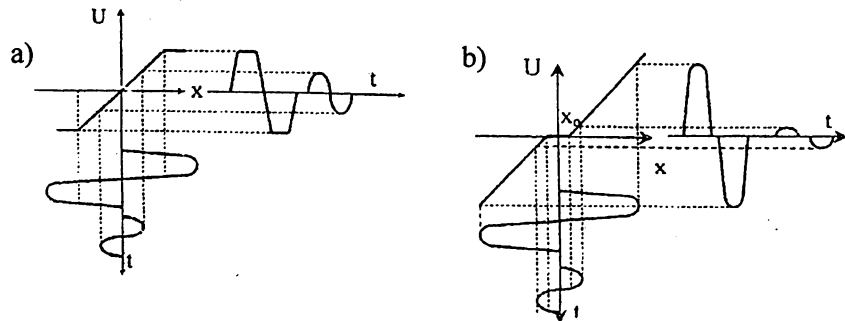
$$K_r = \frac{\sqrt{U_{m2}^2 + U_{m3}^2 + \dots}}{U_{m1}} 100\%, \quad (3.11)$$

bunda, U_{m1} – signalning asosiy tarkib amplitudasi.

Garmonika koeffitsiyentlarini 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 subyektiv-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 koeffitsiyenti;**
- **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.

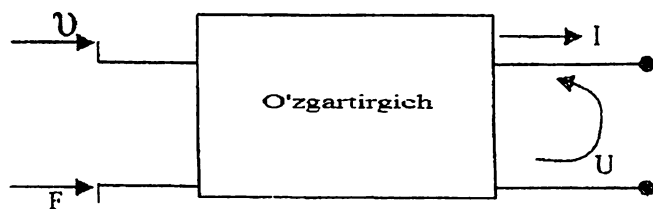
O'zgartirgichlarning umumiy nazariyasi to'rt qutbliklar nazariyasiga asoslanadi.

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 nochiqli 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 koeffitsiyentlar 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 koeffitsiyentlari** deb ataladi. Elektromexanik bog'lanish koeffitsiyentlari, energiyalarning o'zgartirish 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.

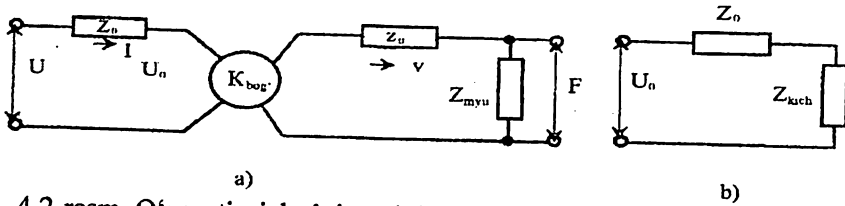
Induktivli o'zgartirgichlarda siljitivchi kuch toklarning o'zaro ta'siri tufayli paydo bo'ladi, elektr yurituvchi kuch esa, magnit oqimi o'zgarishiga bog'liq.

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.

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

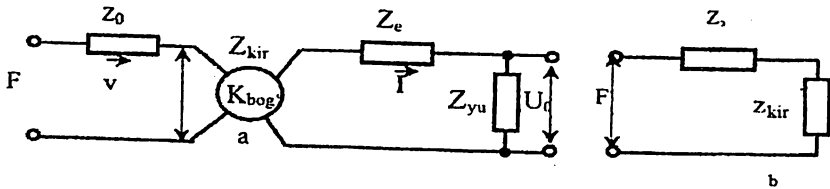
4.3. O'zgartirgichning ekvivalent sxemalari

O'zgartirgich - dvigatelning umumiy ekvivalent sxemasi 4.2-a 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. 4.2-b 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 ifodalanadi:

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

4.4. Elektromexanik o'xshatishlar usuli

Elektroakustik qurilmalarda murakkab mexanik yoki mexano-akustik tebranish tizimlari qo'llaniladi. Ularni mexanikaning oddiy - har bir elementi uchun tenglamalarni tuzish va yechish anchagina qiyinchilik tug'diradi. Murakkab tebranish tizimlarining texnik hisobi elektromexanik o'xshatishlar usulini qo'llaganda ancha soddalashadi.

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

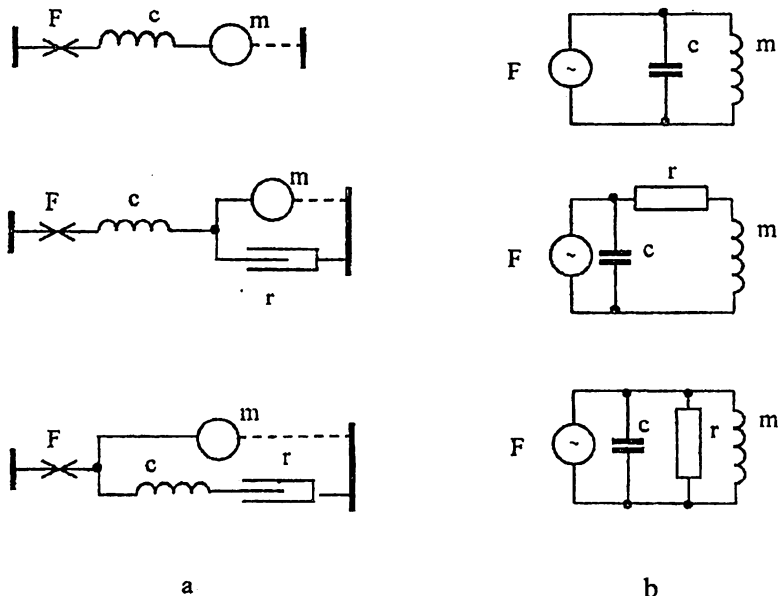
Bu usul asosida turli fizik tabiat - elektr va mexanik tebranish hodisalarini ifodalovchi tenglamalarning o'xshashligi yotadi. Agar, tenglamalar o'xshash bo'lsa, ularning yechimi ham o'xshash. Shuning uchun, u yoki bu mexanik masalaning yechimi elektrotexnik masala yechimi bilan o'zgartirilishi mumkin.

Shunday qilib, elektromexanik o'xshatishlar usulining asosi shundan iboratki, istalgan mexanik tebranish tizimini unga o'xshash elektr sxema bilan almashtirish mumkin. O'xshash 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 sig'im mos holda massa, ishqalanish qarshiligi va egiluvchanlikka o'xshash. Shuni aytish kerakki, yuqoridagi o'xshashlik rasmiy bo'lib, fizik ma'noga ega. Elektr zanjirdagi induktivlik kuchlanish manbaini uzib - ulaganda tokning oniy o'sishi va kamayishiga to'sqinlik qiladi. Mexanik tizimlardagi massa ham xuddi shunday vazifani bajaradi. Jism inersionligi unga kuch ta'sir etganda tezlikning oniy oshishiga va to'xtashiga to'sqinlik qiladi. Elektr zanjirdagi aktiv qarshilik hisobiga energiyaning bir qismi issiqlik energiyasiga aylanadi. Ishqalanish bo'lganda mexanik energiyaning bir qismi ham issiqlik energiyasiga aylanadi. Kondensatordagi zaryadlangan energiya siqilgan prujinaga o'xshash.



4.4-rasm. Oddiy mexanik modellarning elektr-ekvivalent sxemalari.

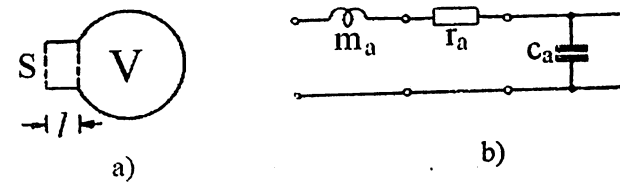
Barcha aytilganlarni elektromexanik o'xshashlik 4.1-jadvalga kiritamiz. 4.1-jadvaldan ko'rinib turibdiki mexanik bog'lanishlarning elektr tizimidagi o'xshashliklari mavjud: mexanik elementlarning zanjir usulida bog'lanishi ikki qutblik elektr zanjirlarning parallel ulanishiga o'xshash; mexanik tizimdagi tugun bog'lanish elektr zanjirdagi ketma-ket ulanishga mos.

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.

4.5. 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.



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

Rezonator hajmi V va ko'ndalang kesimi S teng, bo'g'iz uzunligi l bo'lgan kolba idishdan iborat. Kolbadagi havo shartli ravishda ikki

bo'lakka bo'linadi: bir qismi idish tubida, qolgan qismi esa rezonator bo'g'izida deb faraz etiladi.

Rezonatorning barcha havo massasi m kolbaning bo'g'izida, elastikligi esa uning tubida mujassamlangan, kolba bo'g'izidagi havo massasi amalda siqilmaydi va qattiq porshen kabi harakatlanadi deb faraz qilamiz. Bunday porshenning harakatlanishida uning devori bilan havo zarrachalari o'rtasida ishqalanish r paydo bo'ladi. Rezonatorning tubida joylashgan havo elastiklik hususiyatiga ega, ya'ni 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 bo'lgandagina bunday taxmin qoniqarlidir, chunki tebranish kinetik energiyasining asosiy qismi rezonator bo'g'izida bo'ladi.

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

$$\omega_0 = \frac{1}{\sqrt{m_2 c_v}} \text{ teng.}$$

Rezonatorlar amalda ko'p qo'llaniladi. Uning aktiv qarshiligi qiymati va xarakteriga qarab qo'llanilishi turlicha bo'lishi mumkin. Agar, aktiv qarshiligini inobatga olmasak, unda rezonator tovush kuchaytirgich vazifasini bajaradi. Ishqalanish qarshiligi sun'iy ravishda oshirilsa, unda rezonator tovush energiyasini yutuvchi xususiyatga ega bo'ladi, ulardagi ishqalanish rezonator bo'g'izini berkituvchi mato hisobiga oshadi.

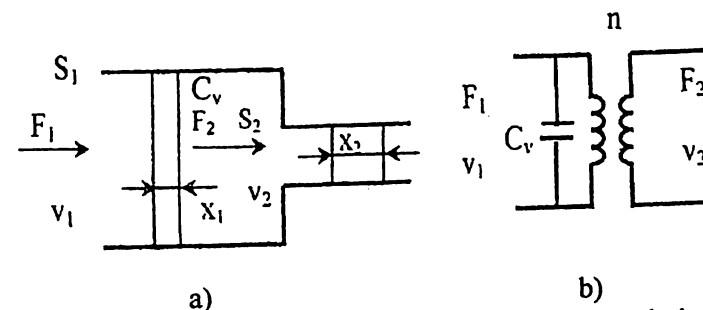
Radioeshittirish va televidenie studiyalarida, arxitektura va qurilish inshootlarda, konsert zallarida keng qo'llaniladigan rezonansli tovush so'ndirgichlarning ishlashi shu prinsipga asoslangan.

Akustik transformator. Ko'pincha elektroakustik apparatlar konstruksiyasida tebranuvchi havo oqimini o'zgaruvchi yuza kesimi ta'minlaydigan qurilmalar qo'llaniladi. Oddiy ko'rinishda bunday qurilmani ikkita ideal turli yuzadagi o'zaro tutash kameradagi havo hajmi orqali bog'langan porshen sifatida ko'rish mumkin.

Faraz qilaylik, yuzasi S_1 teng porshen (4.6-a rasm) F_1 kuch ta'sirida 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 o'tadi, 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_{tov} bosim hosil bo'ladi, u $F_1 = P_{tov} S_1$ teng.



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

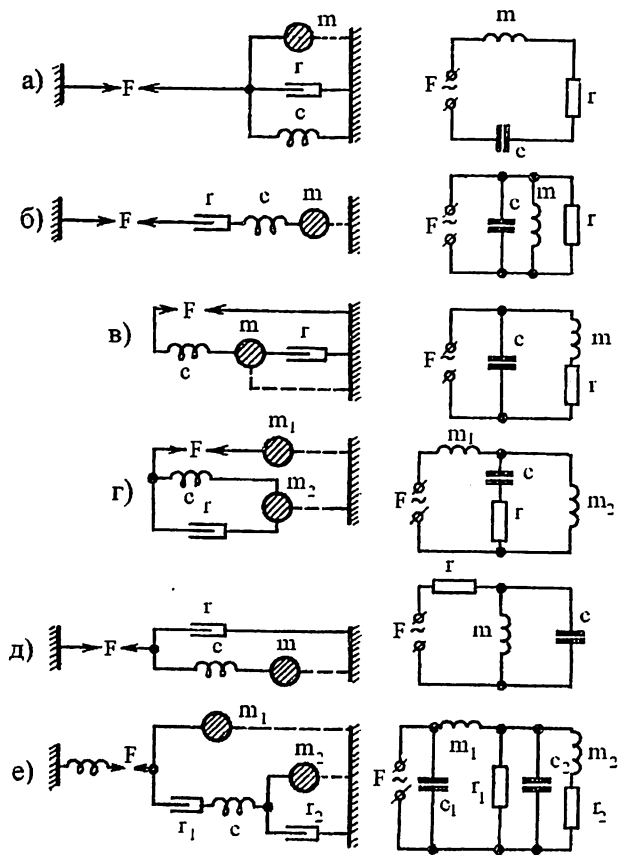
Bu bosim kameraning barcha devorlariga ta'sir etadi, shu jumladan S_2 porshenga ham. Shuning uchun $F_1 = P_{tov} S_2$.

Ammo $p_{tov} = \frac{F_1}{S_1}$ teng bo'lgani 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 4.4-b 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.



4.7-rasm. Mexanik elementlarning ulanishi va ularning elektr analogi.

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. 4.7-a rasmni tushuntiring.
7. 4.7-b rasmni tushuntiring.
8. 4.7-v rasmni tushuntiring.
9. 4.7-g rasmni tushuntiring.
10. 4.7-d rasmni tushuntiring.
11. 4.7-e rasmni tushuntiring.
12. Akustik transformatorning elektr va mexanik transformatorlardan 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 tabiiyligicha qayta eshittirishdir. Tovush eshitish taassurotlari faqatgina tovush bosimiga bog'liq bo'lmasdan, balki to'liq fronti egriligiga ham bog'liq. Shuning uchun tovushni qayta eshittirish nuqtasida tovush bosimi va to'liq fronti egriligini tabiiyligicha saqlanishiga erishish zarur. To'liq frontining egriligi o'tish jarayonlari xarakterini belgilaydi, chunki ularning egrilik radiusi qanchalik kichik bo'lsa, yaqin tovush maydoni shunchalik kuchliroq va past chastotaning nisbiy kuchi shunchalik katta bo'ladi. Yo'nalganlik taassurotini hosil qilish uchun esa, bir necha uzatish kanallaridan foydalanish kerak yoki eshittirishlarni bir necha radiokarnaylar orqali uzatish lozim. To'liq fronti egriligini inobatga olmasak, bu holda, tinglovchilar o'tish jarayonlariga munosabatlarini bildirishlari uchun o'rnatilgan radiokarnaylardan eshittirishlarni bevosita tinglagandagi masofalarga mos ravishda joylashishlari kerak. Ammo mikrofonlarning sifatli bo'lishi uchun yana bir qator omillar kerakki, ulardan biri, foydali kuchlanishni shovqin kuchlanishiga bo'lgan nisbati.

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

Mikrofonlarning ko'pdan-ko'p turlari mavjud bo'lib, ular radioeshittirish va televidenie tizimlarida, telefoniya, ovozlashtirish, tovush kuchaytirish, ovoz yozish va b.q. qo'llaniladi. Mikrofon har qanday elektroakustik va radioeshittirish traktlarining birinchi va eng asosiy elementlaridan hisoblanib, u eshittirish kanalining sifat ko'rsatkichini belgilaydi.

Mikrofonlar, bir - birlaridan quyidagi ko'rsatkichlari bilan farqlanadi:

- akustik tebranishlarni elektr tebranishlariga o'zgartirish usuli bilan;
- tovush tebranishlarini mikrofon diafragmasiga ta'sir etish usuli bilan;

- yo'nalganlik diagrammasi, hamda belgilanishi bilan.

Akustik tebranishlarni o'zgartirish usuli bo'yicha mikrofonlar:

- elektrodinamik (g'altakli va tasmasi);
- kondensatorli (sig'imli, 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 kosinusoidal) 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:

$$E = \frac{U}{r_{tov}} \cdot \left[\frac{mB}{Pa} \right] \quad (5.1)$$

Sezgirlik kuchlanishning salt yurishi holatida yoki yuklamadagi nominal kuchlanish qiymati bo'yicha aniqlanadi. Mikrofonning nominal yuk qarshiligi sifatida 1000 Hz 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'liqlar 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.

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

Yo'nalganlik diagrammasi – mikrofonga tovush θ burchak ostida tushganda o'lchangan sezgirligi Ye_0 uning o'qi bo'yicha sezgirligiga nisbati bilan baholanadi:

$$D_0 = \frac{Ye_0}{Ye_{o'k}}, \quad (5.3)$$

Mikrofonning yo'nalganlik tavsiflari qutb koordinatlarida chiziladi va bunday grafik **yo'nalganlik diagrammasi** deb ataladi.

Mikrofonning yo'nalganligi hisobiga uning diffuziya maydoni bo'yicha sezgirligi Ye_{dif} o'qi bo'yicha sezgirligidan kichik. Bu kamayishni hisobga olish uchun **yo'nalganlik koeffitsiyenti** kiritilgan.

$$\Omega = \frac{Ye_{o'k}^2}{Ye_{dif}^2} \quad (5.4)$$

Desibellarda ifodalangan yo'nalganlik koeffitsiyenti, **yo'nalganlik indeksi** deb ataladi:

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

Yo'nalganlik indeksi mikrofonning ikkita tovush manbalaridan: biri mikrofon o'qida joylashgan va boshqasi tarqalgan tovush to'lqinlari manbai rivojlantirayotgan quvvat sathlari farqini ko'rsatadi (agarda ikkalasi mikrofon joylashgan joyda bir xil bosim yaratsa). Boshqacha qilib aytganda, yo'nalganlik indeksi mikrofon o'qidan o'tayotgan signalga nisbatan shovqinning bostirilishini ko'rsatadi.

Diffuziya maydonidagi sezgirligi – bu mikrofonning o'qi bo'yicha sezgirligini yo'nalish koeffitsiyentining ildiz osti qiymati nisbatiga teng, ya'ni

$$Ye_{dif} = \frac{Ye_0}{\sqrt{\Omega}} \quad (5.6)$$

yo'nalganlik tavsifi qanchalik o'tkir bo'lsa, shunchalik diffuziya maydonidagi sezgirligi kichik, ya'ni reverberatsiyalanuvchi tovushga bo'lgan sezgirligi kichik.

Mikrofonning **front bo'yicha sezgirligi** – bu old yarim fazodan tushayotgan tovushlarga bo'lgan integral sezgirlik.

$$Ye_f = \frac{Ye_0}{\sqrt{\Omega_f}} \quad (5.7)$$

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

«front/orqa tomon» sezgirligining farqi mikrofon akustik o'qi bo'yicha sezgirligini Ye_{180° sezgirligiga nisbati:

$$Q_{f/180^\circ} = 20 \lg \frac{Ye_{o'q}}{Ye_{o'q, tomon}} \quad (5.9)$$

Shuni aytib o'tish lozimki, mikrofonga hech qanday signal ta'sir etmaganda ham uning chiqishidagi kuchlanish nolga teng emas. Mikrofon chiqishidagi mavjud kuchlanish atrof muhit zarrachalarining fluktuatsiyasi va mikrofon elektr qismidagi issiqlik shovqinlari bilan belginaladi.

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

$$R_{shov} = \frac{U_{shov}}{Ye_0} \quad (5.10)$$

$$\text{yoki } L_{shov} = 20 \lg \frac{R_{shov}}{R_0}, \text{ bunda } R_0 = 2 \cdot 10^{-5} \text{ Pa}$$

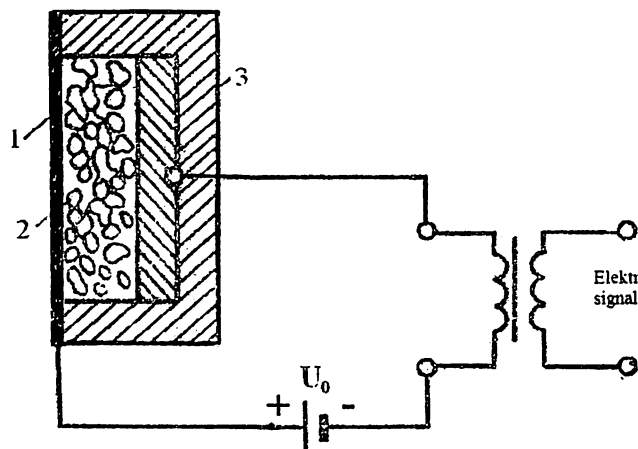
Yuqorida qayd etilgan ko'rsatkichlardan tashqari mikrofon yana boshqa ko'rsatkichlar jumladan, chastota diapazonida berilgan chastota tavsifi notekisligi bilan ham farqlanadi.

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.

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 kapsul 2 va transformatorning birinchi chulg'ami orqali o'zgaras 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 sezgirligi bilan xarakterlanadi ($1V/Pa$), chiqish energiyasi unga tushayotgan tovush energiyasidan taxminan 10 barobar ko'p.

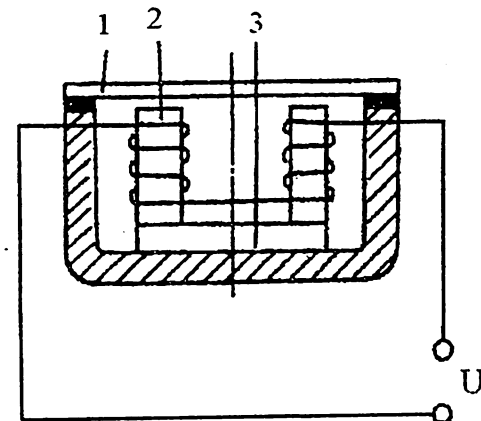


5.1-rasm. Ko'mirli mikrofonning konstruktiv sxemasi:
1-diafragma; 2-ko'mir kukuni; 3-ko'zg'almas elektrod.

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, kuchaytirgichlarsiz 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 foydalanmaydilar. Bu turdagi mikrofonlar hozirgi vaqtda ham maishiy telefon apparatlarda keng qo'llaniladi.

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



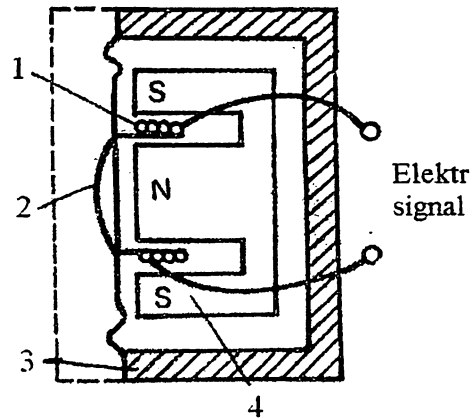
5.2-rasm. Elektromagnit mikrofon konstruksiyasi:
1-diafragma; 2-g'altak; 3-qo'zg'almas elektrod.

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'zakka 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.

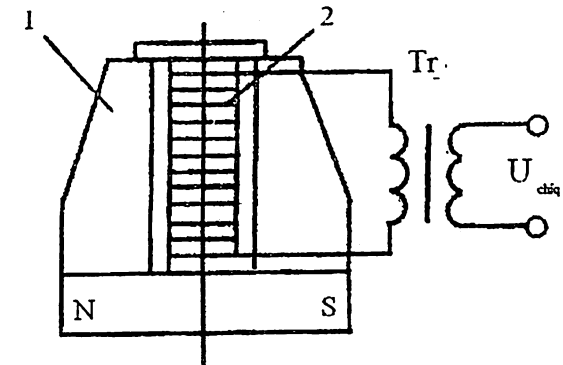
Tasmali elektrodinamik mikrofonning tuzilishi g'altakli mikrofondan bir muncha farqlanadi. Magnit tizimi stakansimon ikki qutbli (2) o'zgaras magnetdan iborat bo'lib, ular, orasida yengil va ingichka (2 mkm) gofrlangan (qat-qat buklangan) alyumin tasma (3) tortilgan (5.4 - rasm). Tasmaning ikki tomoni 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.



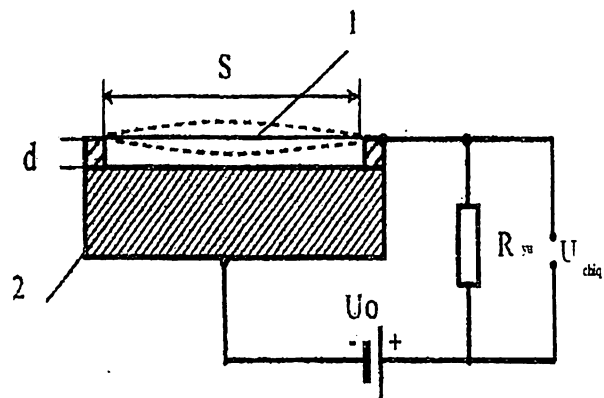
5.4-rasm. Tasmali elektrodinamik mikrofon konstruksiyasi:
1—o'zgaras magnet; 2—gofrlangan alyumin tasma.

Shu sababli bu turdagi mikrofonlar ko'proq televidenie studiyalarida kadrqa 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 membranasini qalinligi 5÷20 mkm yuqori polimerli (ftorplast, lavsan) materialdan tayyorlanib unga tilla suvi purkaladi.

Membrana qo'zg'almas elektrod bilan birgalikda elektr kondensatorning elektrodleri hisoblanadi. Kondensator elektr zanjirga o'zgaras tok manbai Y_e va aktiv yuk qarshiligi R_{y1} ga ketma-ket ulanadi.



5.5-rasm. Kondensatorli mikrofon konstruksiyasi:
1–diafragma; 2–o‘zgarimas magnit.

Tovush bosimi ta‘sirida membrana tebranishi natijasida kondensatorning sig‘imi o‘zgaradi, elektr zanjirda o‘zgaruvchan tok paydo bo‘ladi va R_{yuk} qarshilikda tushish kuchlanishi hosil bo‘ladi, bu kuchlanish mikrofonning chiqish kuchlanishi hisoblanadi. Kondensatorli mikrofon keng chastota diapazonida yuqori sezgirlikka ega bo‘lib, chastota tavsifi deyarlik gorizont. Kondensatorli mikrofonlar radioeshittirish va televidenie studiyalarida keng qo‘llaniladi.

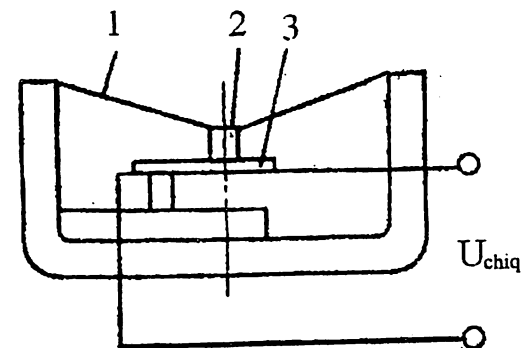
Kondensatorli mikrofonlarning kamchiligi sifatida uning bahosi yuqoriligini, hamda alohida ta‘minot manbai talab etilishini ta‘kidlash zarur. Bu kamchiliklar uning qo‘llanilish imkoniyatlarini birmuncha cheklaydi.

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

Elektretli mikrofon kondensatorli mikrofoniga o‘xshash, ammo qoplam potentsiallari farqi tashqi manbadan ta‘minlanmaydi, aksincha membrana yoki qo‘zg‘almas elektrodni elektr zaryadlash natijasida erishiiladi. Membrana va qo‘zg‘almas elektrod elektr zaryadlarni uzoq muddat saqlab turish xususiyatiga ega bo‘lgan materiallardan tayyorlanadi.

Pezamikrofonlarning (5.6-rasm) ishlash prinsipi quyidagicha: membrana (1) ga ta‘sir etayotgan tovush bosimi (2) sterjen orqali pezaelement (3) ga ta‘sir etadi. Pezaelement deformatsiyalanadi,

natijada, element qoplamida musbat va manfiy kuchlanish paydo bo‘ladi. Peza mikrofonlar keyingi yillarda keng qo‘llanila boshladi.



5.6-rasm. Pezamikrofon konstruksiyasi.

Tranzistorli mikrofonlarning ishlashi qo‘zg‘aluvchi, diafragma biriktirilgan 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:

$$Ye = \frac{U}{R_{tov}}$$

Mikrofon yuk qarshiligiga ishlaganda uning chiqishidagi kuchlanish:

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

Salt yurishidagi kuchlanish:

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

O'z navbatida

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

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

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

$$F = a_{tov} \quad (5.14)$$

Bunda, a – akustik xarakteristika deb ataluvchi va yuza o'lchov birligiga ega bo'lgan proporsionallik koeffitsiyenti.

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

$$Ye = a \frac{K}{Z_0 + Z_{kir}} + \frac{Z_{yuk}}{Z_0 + Z_{yuk}} \quad (5.15)$$

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

$$E = \frac{U}{R_{tov}} = \frac{U}{V} \cdot \frac{V}{F} \cdot \frac{F}{R_{tov}} \quad (5.16)$$

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

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

$$\frac{F}{R_{tov}} = \alpha = \varphi_{ak} - \text{akustik xarakteristika.}$$

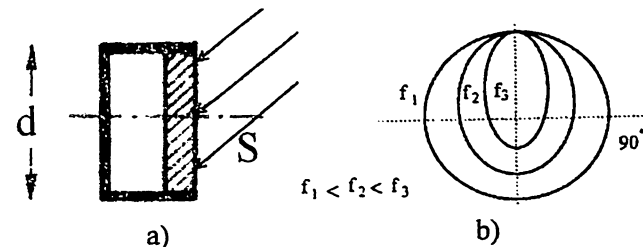
Bu qiymatlarni (16) formulaga qo'ysak, mikrofonning umumiy sezgirligini aniqlaydigan quyidagi formulani olamiz:

$$E = \varphi_{ak} \cdot \varphi_{mex} \cdot \varphi_{el} = \varphi_{ak} \cdot \frac{K}{z + \frac{K^2}{Z_0 + Z_{kir}}} \cdot \frac{Z_{yuk}}{Z_{yuk} + Z_0} \quad (5.17)$$

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).



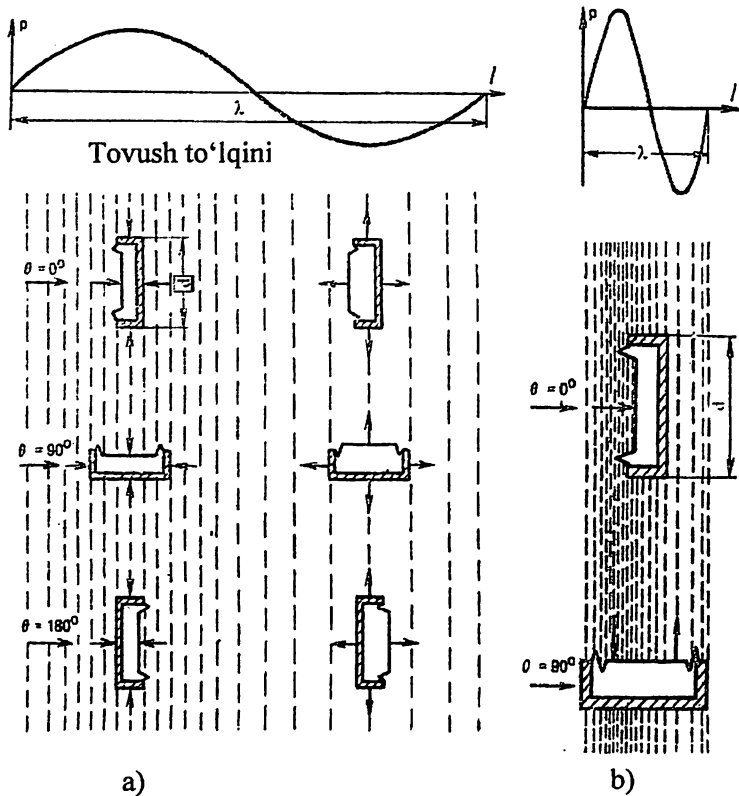
5.7- rasm. Mikrofon bosim qabul qilgich: a) va b) uning turli chastotalarda yo'nalganlik diagrammasi.

Mikrofonlar, joylashgan tovush maydon manzarasini o'zgartir-masligi 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 p – tovush bosimining effektiv qiymati, Pa; S – diafragmaning aktiv yuzasi, m^2 ; F – diafragma 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 diafragma ta'sir etayotgan kuch $F = (1 - 2)r_{tov}S$ teng bo'ladi. Shuning bilan birga bosim qabul qilgich diagrammasi yo'nalgan bo'laboshlaydi (5.7-b rasm). Yuqorida keltirilgan $d \ll \lambda$ bajarilish sharti 5.8 va 5.9-rasmlarda yaqqol ko'rsatilgan.

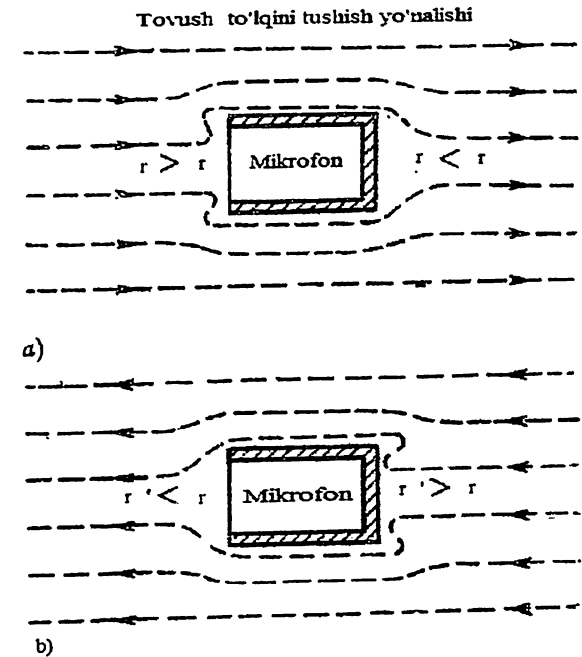
$\theta = 0^\circ$ qiymatdan boshqa burchak ostida tushayotgan tovush to'lqinlari uchun diafragmaning barcha yuzasidagi bosim birdek bo'lmaydi. Masalan, mikrofonni $\theta = 90^\circ$ burganda (5.9-rasm) diafragma bir vaqtda ham musbat ham manfiy tovush bosimi ta'sir etadi. Unda diafragma ta'sir etadigan 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.

Bunda mikrofon o'ziga xos to'siq bo'lib, undan tovush to'liqlari 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 mikrofonga 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 diafragma 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 hatto, ikki martagacha $r'/r = 2$ oshishi mumkin. Yuqori chastotalarda diafragma oldidagi bosimning oshish hodisasi mikrofon sezgirligini yuqori chastotalarda pasayishini kompensatsiyalashda foydalaniladi.

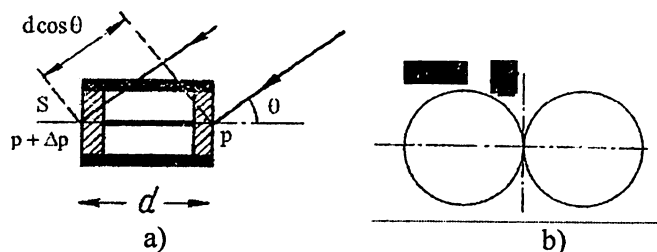
Tovush bosimi diafragma burchak ostida tushganda, diafragmaning turli nuqtalari bir fazada qo'zg'almay, turli fazalarda qo'zg'aladi.

Bu holda diafragma ta'sir etuvchi yig'indi kuch kamaya boradi va mikrofon yo'nalganlik xususiyatiga ega bo'la boshlaydi (5.7-b rasm). Shunday qilib, tovush bosimi qabul qilgich mikrofon uchun chastota oshishi bilan sezgirligi 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 (5.11-a 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 (5.11-b rasm). Mikrofon akustik o'qi bo'yicha tarqalayotgan tovush to'lqinlariga sezgir bo'lib, akustik o'qiga perpendikulyar bo'lgan to'lqinlarni qabul qilmaydi, ya'ni $\theta = \pi/2$ (5.11-a 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 manбайдan yaqin

masofalarda standart mikrofonlar 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.

$$Ye_0 = Ye_1 + Ye_2 \cos \theta \quad (5.19)$$

Bunday qabul qilgichning akustik o'qi bo'yicha sezgirligi

$$Ye_0 = Ye_1 + Ye_2 \quad (5.20)$$

$q = \frac{Ye_2}{Ye_0}$ - bosim gradientining umumiy sezgirlikni tashkil etishdagi

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

$$Ye_0 = Ye_0 (1 + q + q \cos \theta) \quad (5.21)$$

Bunday qabul qilgichning yo'nalganlik diagrammasi:

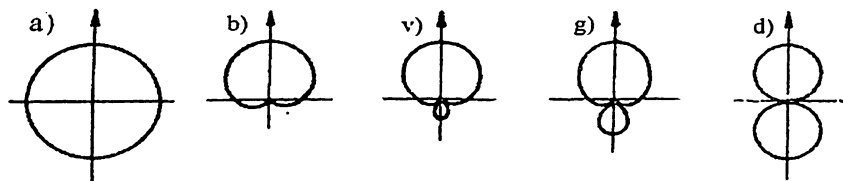
$$D_\theta = \frac{Ye_\theta}{Ye_0} = 1 + q + q \cos \theta \quad (5.22)$$

Qabul qilgich umumiy sezgirlik Ye_0 hosil qilishdagi umumiy ulushini aniqlovchi $q = \frac{Ye_2}{Ye_0}$ - parametрни kiritib, uni 0÷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 (5.12-a rasm) shaklida bo'ladi. $q = 0,5$ qiymatda: $Ye_1 = Ye_2$ yo'nalganlik diagrammasi:

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

ifodalanadi va kardioida (5.12-b rasm) ko'rinishida bo'ladi. $q = 1$ teng bo'lganda doira (5.12-a); $q = 0,63$ qiymatda superkardioida (5.12-v); $q = 0,75$ qiymatda giperkardioida (5.12-g) va $D_0 = \cos\theta$, 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.

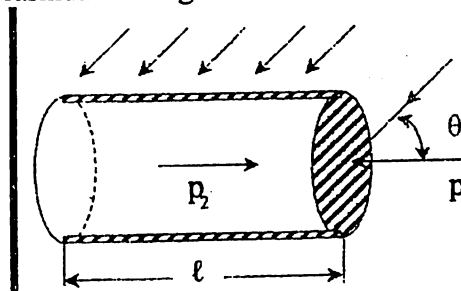
«Sakkizsimon»	Giperkardioida	Superkardioida.	Kardioida	«Doira»
$Y_{e1} = 0$ $Y_{e2} = 3$ $\kappa = 3$	$Y_{e1} = 0,33$ $Y_{e2} = 4$ $\kappa = 4$	$Y_{e1} = 0,6$ $Y_{e2} = 3,7$ $\kappa = 3,7$	$Y_{e1} = 1$ $Y_{e2} = 2$ $\kappa = 2$	$Y_{e1} = \infty$ $Y_{e2} = 1$ $\kappa = 1$

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 δ 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'nalganlik tavsifi $D = (1 + \cos\theta)$ teng. Trubkaning ochiq qismi va uzunligini o'zgartirib istalgan ko'rinishdagi yo'nalganlik diagrammasiga ega bo'lgan mikrofonni olish mumkin.

5.4. G'altakli elektrodinamik mikrofon

G'altakli elektrodinamik bosim qabul qilgich mikrofonning soddalashtirilgan konstruktiv tuzilishi 5.15-a 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 birlashtirilgan. 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:

$$Ye_{\theta} = \frac{Bla}{z_0 + \frac{B^2 l^2}{Z_0 + Z_{yu}}} \cdot \frac{Z_{yuk}}{Z_0 + Z_{yuk}} \quad (5.24)$$

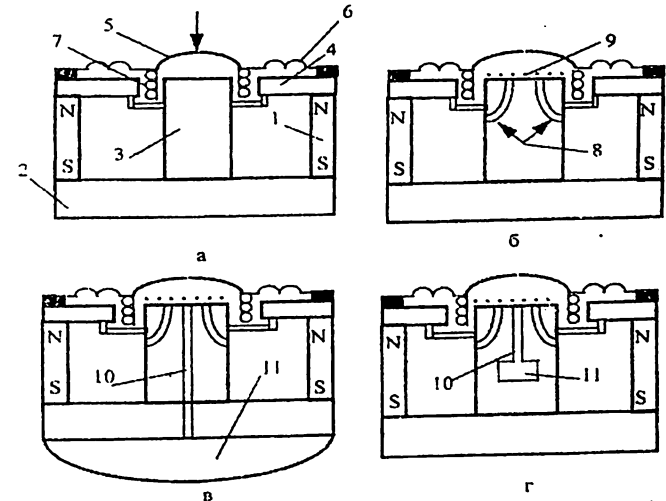
Mikrofon yuklamasi Z_{yuk} sifatida odatda mikrofon kuchaytirgichining kirish qarshiligi olinadi, xususi qarshiligi esa: $Z_0 = R_r + j\omega L_r$, bunda; R_r va L_r – g'altakning aktiv va induktiv qarshiliklari.

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 $\varphi_{ak} = S$, yuza o'lchamga ega. Yuqorida aytilganlarga asosan mikrofonning sezgirligi:

$$Ye_{\theta} = \frac{1}{2} \frac{BIS}{z_0 + \frac{B^2 l^2}{2R_r}} \quad (5.25)$$

5.16-rasmda ko'rilayotgan mikrofonning elektr o'xshashlik sxemasi keltirilgan. Bunda, S_1 va S_0 – diafragmaning ilinish va uning ostidagi havo hajmining egiluvchanligi; m_1 – diafragma massasi; r_1 – siljivchi tizimning aktiv yo'qolishlari. Sezgirlikning keltirilgan chastota tavsifi katta notekislikka ega, C_1 va S_0 ketma-ket ulanganligi sababli rezonans chastotasi yuqori.



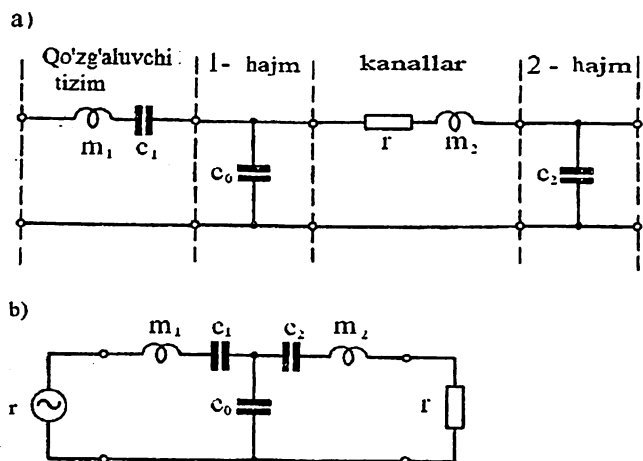
5.15- rasm. G'altakli elektrodinamik mikrofon-bosim qabul qilgich konstruksiyalari.

Shuni aytish kerakki ko'rib chiqilgan mikrofon sezgirligi kichik. Sezgirlikni oshirish maqsadida kernda qo'shimcha kanallar (8) ochiladi va shu yo'l bilan diafragma osti hajmi magnit ichi hajmi bilan tutashtiriladi (5.15-b 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 o'xshashlik sxemasi 5.15-v rasmda va Gelmgols rezonatori parametrlari r_2 , s_2 , m_2 bilan o'zgartirilib transformatsiya koeffitsiyenti orqali hisoblangan sxema 5.15-g rasmda keltirilgan.

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

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

Rezonans hodisalarini yo'qotish maqsadida kernga ipak matò (9) yopishtirish yo'li bilan r_2 qarshilikni oshiradilar.



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

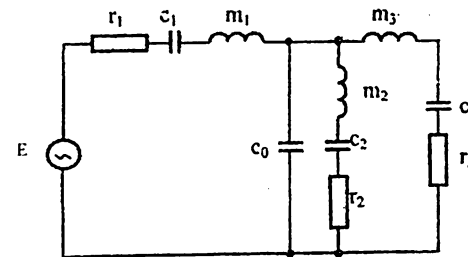
Past chastotalarda chastota tavsifining pasayishi mikrofonning qo'zg'aluvchi tizimi bilan bog'liq, pasayishini diafragma massasi va uning egiluvchanligini oshirish evaziga kamaytirish mumkin. Ammo mikrofon sezgirlikni oshirish maqsadida, diffuzorning massasini uning konstruksiyasi yo'l qo'yan kichik 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 Hz 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.

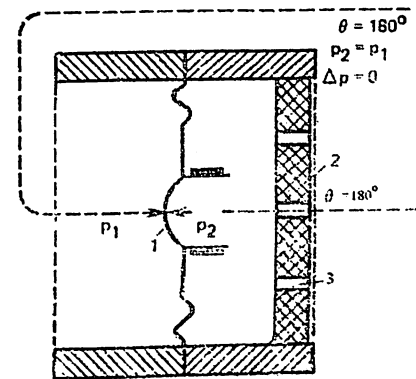
Birinchi variantda (5.15-v rasm) magnitning markaziy sterjnida kanal (10) ochiladi, undagi havo massasi m_3 . Kanal magnet ortidagi S_3 egiluvchanlik qo'shimcha hajm (11) ga qo'shiladi. Bu qo'shimcha rezonator past chastotaning pastki ω_1 chegarasiga sozlanadi va shu yo'l bilan pastki chastota chegarasi kengaytiriladi. 5.15-g rasmda ko'rsatilgan konstruksiya ham xuddi shunday ishlaydi. Keng chastota polosasi talab etilganda bir necha shunday rezonatorlardan, foydalanib

tekis chastota tavsifini olish maqsadida ularni ω_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 Hz gacha pasaytirish mumkin.



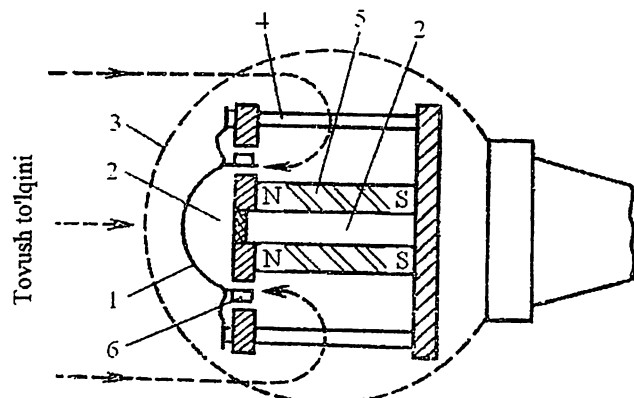
5.17- rasm. Past chastotalarda qo'shimcha korreksiya qo'llanilgan g'altakli elektrodinamik mikrofonning elektr-ekvivalent sxemasi.

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.



5.18-rasm. Bir tomonlama yo'nalgan elektrodinamik mikrofon: 1—diafragma tovush g'altagi bilan; 2— akustik kechiktiruvchi tizim; 3— akustik kechiktiruvchi tizim teshiklari.

Endi bir tomonlama yoʻnalganlik diagrammasi kardiodali elektrodinamik mikrofonning ishlash prinsipini koʻrib chiqamiz. Bir tomonlama yoʻnalgan elektrodinamik mikrofonni, bosim gradienti qabul qilgichni membranaga orqa tomondan taʼsir etuvchi tovush toʻlqinini qoʻshimcha kechiktiruvchi akustik tizim bilan qoʻshimcha jihozlash natijasida olish mumkin (5.18-rasm).



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

1-membrana; 2-rezonans kamera; 3-toʻr; 4- oʻzgarmas magnitda teshiklar; 5-xalqasimon oʻzgarmas magnet; 6-gʻaltak.

Agarda, membrananing old va orqa qismlariga tushayotgan tovush toʻlqinining kechikish vaqti (mos holda Δt_1 va Δt_2) shunday tanlangan $\Delta t_1 = \Delta t_2$ boʻlsa, tovush toʻlqini membranaga orqa tomondan tushganda ($\theta = 180^\circ$) unda membrananing ikki tomoniga taʼsir etayotgan bosim qiymati va ishorasi boʻyicha ham bir xil boʻladi, bosimlar farqi Δr 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, membrananing orqa tomoniga $-\Delta t_1 + \Delta t_2$ vaqtga kechikib taʼsir etadi. Unda har onda membrananing 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

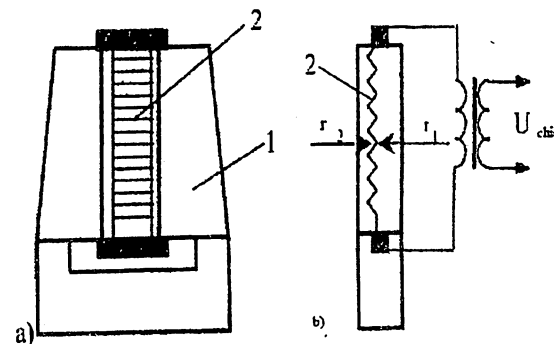
boshqa burchak ostida tushganda bosimlar farqi va sezgirlik kardioda boʻyicha oʻzgaradi. Akustik kechikish tizimini membrananing orqa tomoniga tovush toʻlqinlari oʻtadigan teshiklar, membrana ostidagi va mikrofon korpusidagi havo kameralari tashkil etadi (5.19-rasm).

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). Magnit tizimi taqasimon shaklda boʻlib, magnit 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.

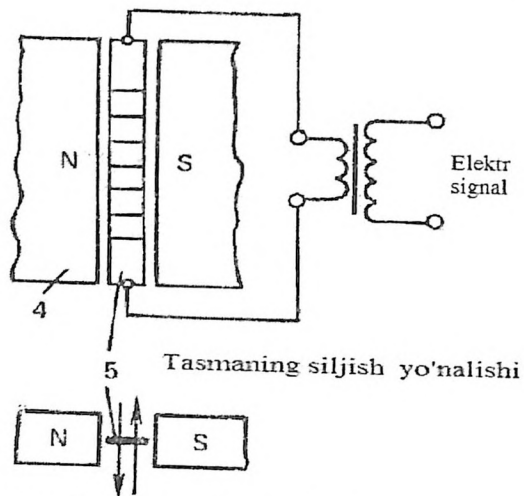


5.20-rasm. Tasmali bosim gradienti qabul qilgich konstruksiyasi: a) old tomondan koʻrinishi; 1-oʻzgarmas magnet; 2-tasma; b) yon tomondan koʻrinishi.

Tasmaga tovush toʻlqini ikki tomondan taʼsir eta oladi, shuning uchun u ikkala tomondagi tovush bosimi ayirmasi taʼsirida tebranadi, shunday qilib, u tovush bosim gradienti qabul qilgichdir. Tasma radial magnet maydonida tebranib, magnet maydoni kuch chiziqlarini kesib oʻtadi va uning qisqichlarida akustik signalni aks ettiruvchi EYuK

induksiyalanadi. Tasmali mikrofon induktiv turdagi o'zgartirgich. Mikrofon o'lchami unga ta'sir etayotgan to'lqin 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.

5.21-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 magnit; 2—tasma; 3—transformator.

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

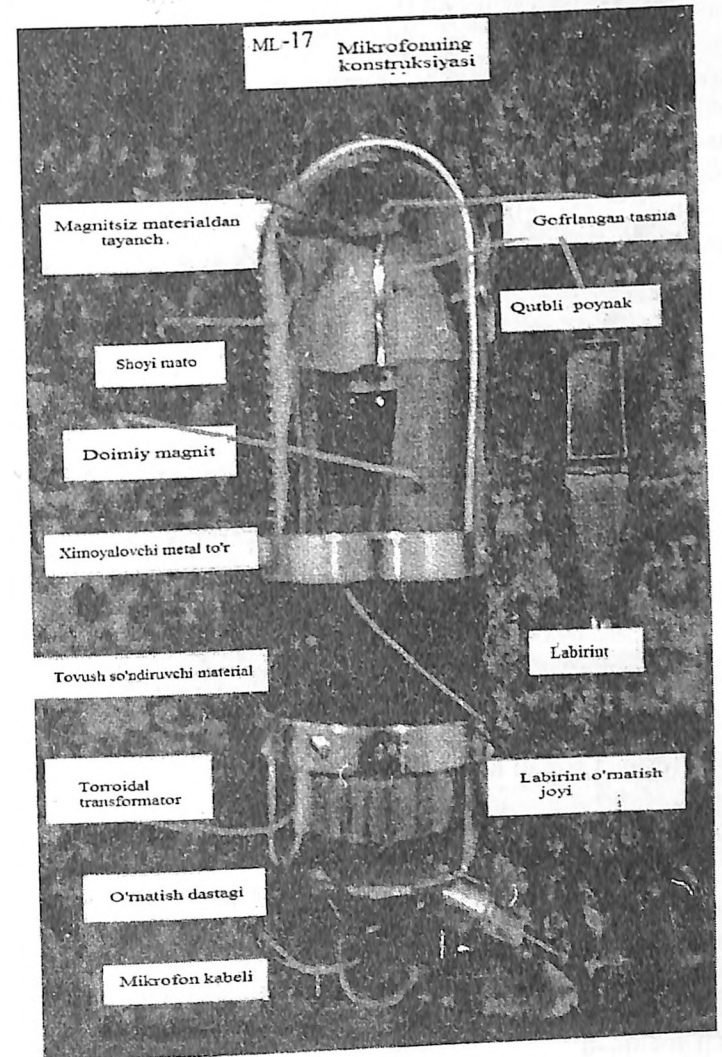
$$Y_{e\theta} = \frac{\omega S d}{S_{tov}} \cos\theta \cdot \frac{Bl}{Z_0 + \frac{B^2 l^2}{Z_0 + Z}} \cdot \frac{Z_{yu}}{Z_0 + Z_{yu}} \quad (5.26)$$

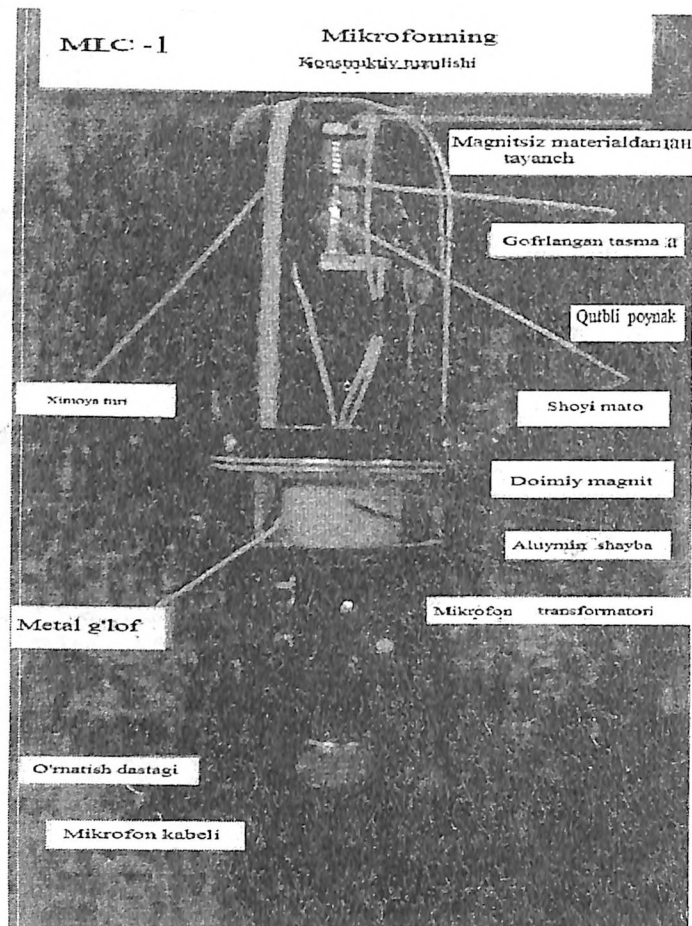
Formuladan ko'rinib turibdiki, mikrofon sezgirligi chastotaga proporsional.

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 goflaydilar va shu yo'l bilan tasmaning rezonans chastotasi 10–15 Hz gacha pasayadi. Bu ko'rsatgich mikrofon paski qabul qilish chastotasidan ham past.





5.22 - rasm. Tasmali ML – 17 va MLS – 1 mikrofonlarning qirgim ko'rinishi.

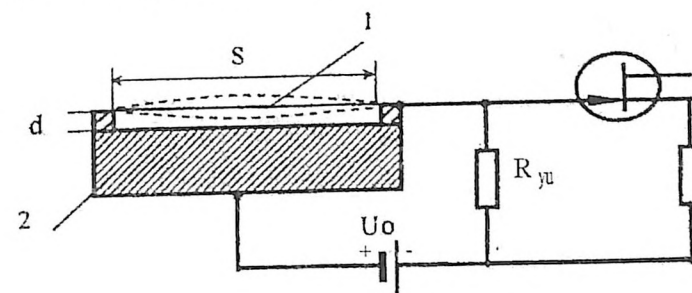
Mikrofon sezgirligini tasmaning yuzasini oshirish yo'li bilan erishish hech qanday natija bermaydi, chunki tasma yuzasining oshishi uning massasini oshishiga olib keladi, u o'z navbatida egiluvchanlikni kamaytiradi hamda mikrofon o'lchamlarini oshiradi. Ikkinchi shart, nisbatan o'rta va yuqori chastotalarda oson bajariladi. Past chastotalarda chastota tavsifining berilgan pasayishi tirqishdagi induksiyani 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.

5.6. 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 mOmi yuk 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 nohiziqli buzilishlar paydo bo'lmasligi uchun $U_0 \gg U_{\sim}$ sharti bajarilishi kerak.



5.23-rasm. Kondnsatorli mikrofon konstruksiyasi.

Kondensatorli mikrofon sezgirligi quyidagi formula orqali aniqlanadi:

$$Y_e = \frac{U_0 S c}{d \left(1 - \frac{\omega^2}{\omega_0^2}\right) \sqrt{1 + \frac{1}{(\omega R_{yu} S_0)^2}}}, \quad R_a \quad (5.28)$$

Kondensatorli mikrofonning sezgirligi chastotaga bog'liq bo'lmasligi sharti quyidagicha:

$$1). R_{yu} \gg \frac{1}{\omega S_0}; \quad 2). \omega_0 \gg \omega \quad (5.29)$$

Bunda, ω_0 va ω -mikrofon ishchi diapazonining pastki va yuqori chastotalari.

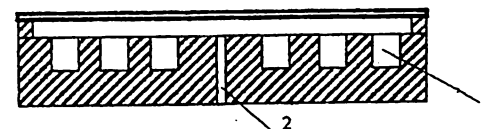
(5.29) shartlarining bajarilishi xususiyatlarini ko'rib chiqamiz. Birinchi shart chastota diapazonining pastki chegarasida bajarilishi qiyin. Agarda, pastki chegara chastotasi $\omega = \frac{1}{R_{yu} S_0}$ deb olinsa, bu

chastotada sezgirlik o'rta chastotalardagiga nisbatan 3 dB ga pasayadi. Mikrofonning sig'imi S_0 kichik bo'lganligi tufayli R_{yu} juda katta bo'ladi, Masalan, $S_0=100$ pF va $f=50$ Hz bo'lganda, $R_{yu} = 30$ mOm ga teng. R_{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 sezgirliqi, 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.

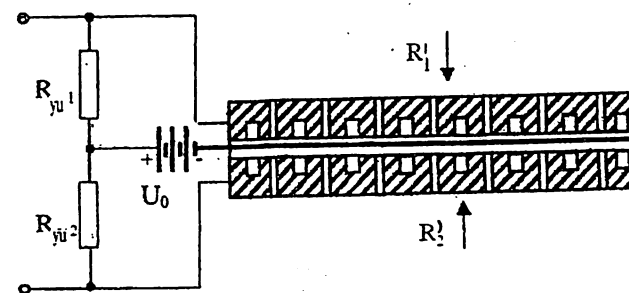
Shu yo'l bilan kondensator sig'imini o'zgartirmay membrana osti hajmini 10 martagacha oshirish mumkin, bu mikrofon sezgirligini 20 dB oshirish demakdir.

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 mikrofoni.

5.7. Elektr kombinatsiyalangan mikrofonlar

Ilgari so'z yuritilgan elektr kombinatsiyalangan mikrofonlarning bir necha turlarini ko'rib chiqamiz. Faraz qilaylik qarama - qarshi tomonga yo'naltirilgan, yo'nalganlik diagrammasi kardiodali ikkita bir xil mikrofon kombinatsiyalangan(5.26-rasm).

Akustik o'qlari bir-biriga nisbatan 180° bo'lganligi uchun birining θ 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:

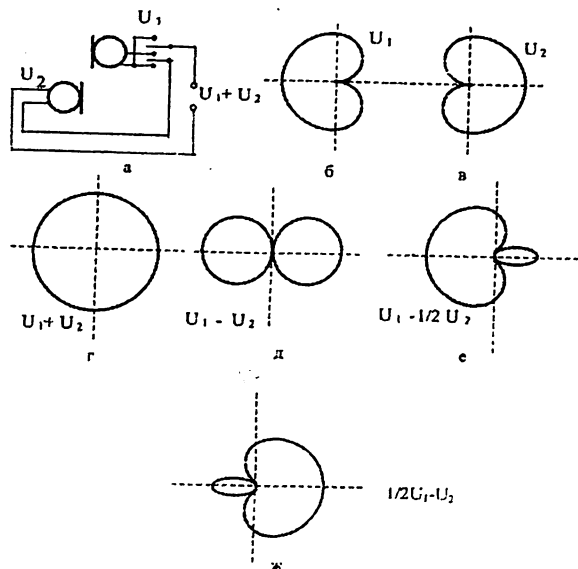
$$u_2 = U_0 \frac{1 + (\cos\theta + 180^\circ)}{2} \quad (5.30)$$

Ularning yig'indisi:

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

ayirmasi:

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



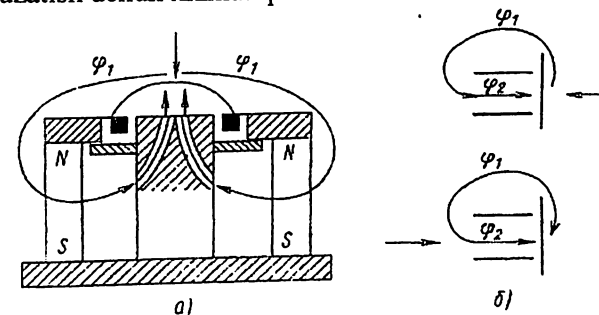
5.26-rasm. Elektr kombinatsiyalangan mikrofon va uning yo'nalganlik karakteristikalari.

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

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

Mikrofonlarning kombinatsiyalangan yo'nalganlik diagrammalarini olish uchun alohida asosiy mikrofonlardan foydalanish zarur emas, turli karakteristikadagi mikrofonlarni bitta akustik-mexanik tizimda

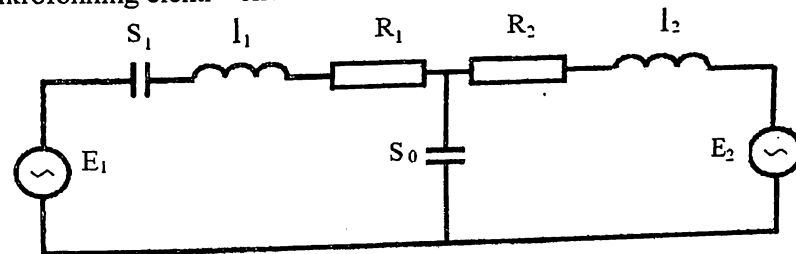
mujassamlashtirish mumkin. Kardioida xarakteristikali akustik kombinatsiyalangan mikrofonning sxemasi 5.27-rasmda keltirilgan. Mikrofon - bosim qabul qilgichdan, farqli ravishda, doimiy magnit to'liq silindr shaklida emas, alohida o'zak shaklida yasalgan. Bu holda tovush maydoni mikrofonning old tomonigagina ta'sir etib qolmasdan, to'liq 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'liqlarini uzatish uchun xizmat qiladi.



5.27- Kardioida 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.

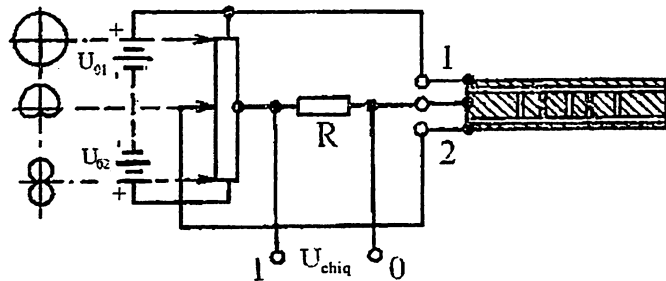
Tovush to'liqini mikrofonning orqa tomonidan tushib, ta'sir etganda diafragma ta'sir etayotgan bosim bir-biriga qarama - qarshi yo'naladi va ularning yig'indisi nolga teng bo'ladi. Yuqorida bayon etilgan mikrofonning elektr - ekvivalent sxemasi 5.28-rasmda keltirilgan.



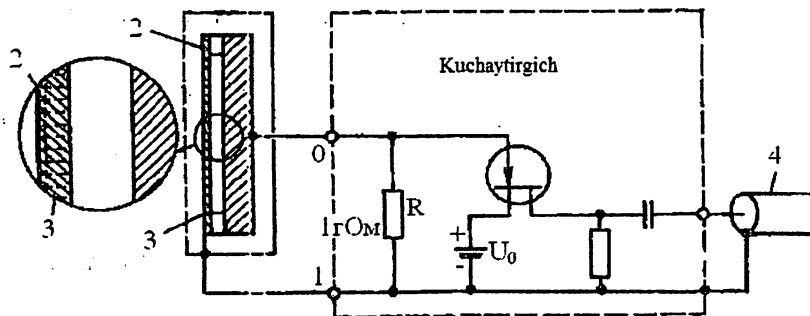
5.28- rasm. Akustik kombinatsiyalangan g'altakli mikrofonning elektr - ekvivalent sxemasi.

Bunday qabul qilgichlarning yoʻnalganlik diagrammasi kardioidaga yaqin. Fazalar farqi φ_1 va φ_2 chastotaga bogʻliq boʻlganligi uchun $\varphi_1 = \varphi_2$ shartning bajarilishi qiyin, shuning uchun toʻlqin orqa tomondan tushganda sezgirlik nolga teng boʻlmaydi. Bunday turdagi mikrofonlar uchun sezgirlikning «front-front orti» farqi 12÷15 dB tashkil etadi.

Ikkita membranali kapsuladan foydalanish mikrofonning yoʻnalganlik diagrammasini boshqarish imkoniyatini beradi (5.29-rasm). Qutblovchi kuchlanish yoʻnalganlik boshqargichi vazifasini bajaruvchi potensiometr ga ulanadi.



5.29-rasm. Yoʻnalganlik diagrammasi masofadan boshqariladigan kondensatorli mikrofon.



5.30- rasm. Kondensatorli mikrofon sxemasi.

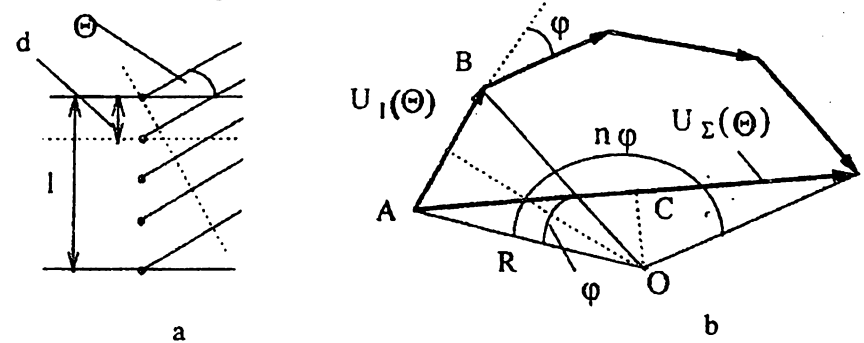
Qoʻzgʻalmas elektrod potensiometr oʻrtasiga rezistor R orqali ulanadi. Chap membrana taʼminot manbainig musbat qutbiga ulangan. Oʻng membrana potensiometrning turli nuqtalariga ulanishi mumkin. 1-nuqtaga ulanishi yoʻnalmagan mikrofoniga mos, 3-nuqtaga ulanishi esa,

ikki tomonlama yoʻnalgan mikrofoniga 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.

5.8. Tovush signallarini qabul qiluvchi oʻtkir yoʻnaltirilgan mikrofonlar

Ayrim hollarda, tovush kuchaytirishni tashkil etishda oʻtkir yoʻnaltirilgan mikrofonlarni qoʻllash zarurati tugʻiladi. Bu masalaning yechimi chiziqli mikrofonlar guruhini yaratish orqali hal etiladi. Bunday mikrofonlar n bir xil mikrofonlardan iborat boʻlib, ular bir chiziqda bir-biridan d masofada joylashgan. Bu vaziyat yuqori sifatli tovush eshittirishni keskin ogʻirlashtiradi. Bunday vaziyatdan yuqori fazoviy tanlovchanlik xususiyatlariga ega boʻlgan mikrofonlarni qoʻllash bilan chiqish mumkin. Bunday mikrofonlar oʻtkir yoʻnaltirilgan mikrofonlar deb ataladi. Chiziqli guruh mikrofonlari 5.31-a rasmda keltirilgan.



5.31- rasm. Chiziqli guruh mikrofonlari.

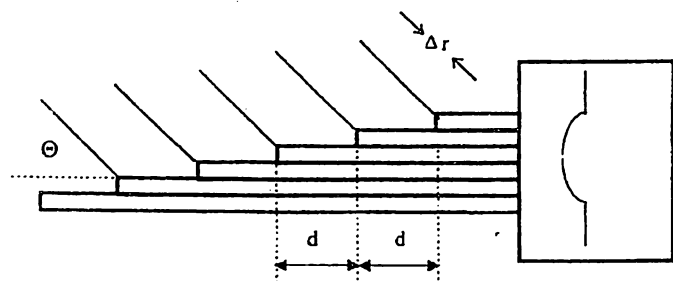
Bunday mikrofonlar guruhining yoʻnalganlik xususiyatlari shakllanishini koʻrib chiqamiz. Mikrofonlar ketma-ket ulanadi.

Agar, tekis tovush toʻlqini akustik oʻqi boʻyicha yoʻnalgan boʻlsa, unda alohida mikrofonlar kuchlanishi oʻrtasida faza siljishi boʻlmaydi va yigʻindi kuchlanish

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

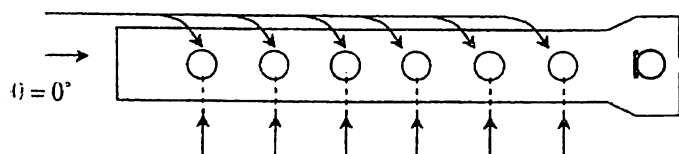
Simmetriya o'qiga perpendikulyar yuzadagi yo'nalganlik diagrammasi bitta mikrofonning yo'nalganlik diagrammasiga o'xshash.

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



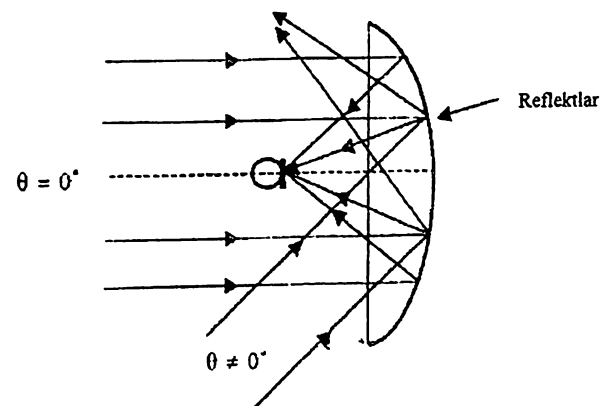
5.32- rasm. Naysimon mikrofonning tuzilishi.

Interferensiya turidagi o'tkir yo'naltirilgan mikrofonning boshqa ko'rinishi 5.33-rasmda ko'rsatilgan. Mikrofon teshikli naycha yoki uning orqa ko'ndalang kesimida yo'naltirilmagan yoki bir tomonlama yo'naltirilgan kapsula joylashtirilgan.



5.33-rasm. O'tkir yo'naltirilgan yuguruvchi to'lqin mikrofon sxemasi.

Naycha teshigi mato yoki g'ovak material bilan birlashtiriladi. Yo'nalganlik diagrammasi naycha teshikchalaridan o'tayotgan parsial tovush to'lqinlarning interferensiyasi hisobiga erishiladi. Tovush fronti naycha o'qiga parallel holda siljiganda barcha parsial to'lqinlar siljuvchi element-membranaga bir xil fazada keladi. Naycha uzunligi to'lqin uzunligidan katta bo'lganda, uning yo'nalganligi sezilarli oshadi. Shuning uchun uzunligi 1 metr va undan ortiq bo'lganda yo'nalganlik past 150÷200 Hz chastotalarda faqat kapsula bilan belgilanadi. Amaldagi o'tkir yo'naltirilgan 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'lqinlari 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'nalganlikka 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 og'ziga yaqin joylashtirilganligini guvohi bo'lyapmiz. Bunday holat o'z-o'zidan akustik uyg'onishni bartaraf etishda juda qo'l 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 qo'llanilishi, televideniya, tok-shoularda, video tasvirga olishda, turli prezentatsiyalarda ishlatiladi. Bu mikrofonlarning o'lchamlari juda kichkina bo'lib ular qistirgich sifatida biriktiriladi. Uzatkich esa, belbog'da yoki cho'ntakka joylashtiriladi. Ko'p radiomikrofonlarda radiokanalda chastota modulyatsiyasi uslubi qo'llaniladi. Oddiy radiomikrofonlar 170÷220 MHz chastota diapazonida ishlaydi. Bu diapazonda bir vaqtning o'zida 8 tagacha tizimni ishlatish mumkin.

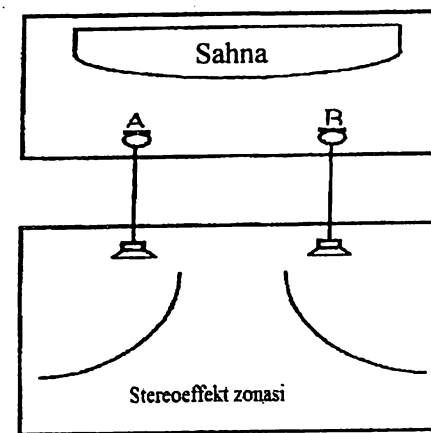
Murakkab va qimmat tizimlar esa, yuqoriroq 1 GHz gacha bo'lgan chastota diapazonida ishlaydi. Ularning texnik yechimi ancha murakkab bo'lib, bir vaqtning o'zida 15 va undan ortiq tizimni ishlatish mumkin. Uzatkichning quvvati odatda 50 mVt bo'lib, uni aniq qabul qilish masofasi 100÷150 metrni tashkil etadi.

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

5.10. Mikrofonli stereofonik tizimlar

Stereoeffekt ikkita omildan iborat: chap va o'ng 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 o'rnatiladi (5.35-rasm). Mikrofon chiqishidagi signallar alohida kabellar orqali xonadagi tinglovchiga nisbatan chap va o'ng 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.

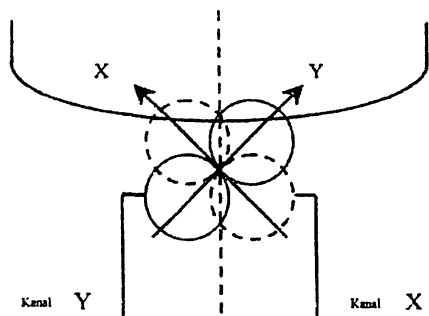
Radiokarnaylar yaqinida bu zona radiokarnaylar o'qi oldida mujassamlanadi va undan uzoqlashgan sari kengaya boradi. Mikrofonlar o'rtasidagi tovush manbaining siljishi natijasida mikrofonlar qabul qilayotgan sathlar nisbati va tovushlarning vaqt siljishi ham o'zgaradi. Shunga mos ravishda tovushlarni 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 mikrofonlarga bo'lgan masofa farqi va interferensiya effekti bilan bog'liq. Masofa farqi faza siljishini 180° 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° tashkil etadi. Mikrofonlar chap va o'ng kanal radiokarnaylari bilan bog'langan. Bunda stereofonik effekt mikrofonlarning tovush manbaidan kelayotgan tovush to'lqinlariga turlicha sezgirligi hisobiga erishiladi.

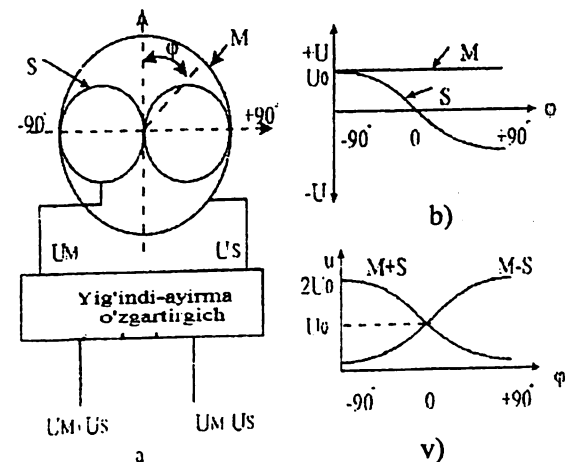
XU tizimi (5.36-rasm) AV tizimiga qaraganda ancha moslashuvchanroq ammo, sahna markazida joylashgan tovush manbalari bir muncha baland tovushga ega va monofonik eshittirishlarda ular tinglovchilarga yaqinroq joylashgandek tuyuladi. XU tizimi sahnada qo'zg'almaydigan ijrochilarni yozishda qo'llaniladi, 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 (5.37-a rasm).

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



5.37- rasm. MS mikrofonli stereofonik tizim.

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 5.37-v 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 magnit yozuv apparatlar uchun; professional maqsadlar uchun va maxsus belgilanishi bo'yicha.

Professional mikrofonlar ham belgilanishi bo'yicha quyidagilarga 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;

- inshootdan 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, eshitaladigan 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, mikrofoniga bevosita ulangan kuchaytirgichning kirish qarshiligi $0,5 \pm 2$ GOhm, 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 kadrga tushishi mumkin bo'lgan mikrofon o'lchamlari katta bo'lmasligi, qoplamlari 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 zarurati bo'lganda ijrochiga bevosita yaqin joylashtiriladi. Bunda tovush manбайдan 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 mikrofonlari» kabi nomlari mavjud.

Ma'lumki, mikrofon to'liq qaytaruvchi yuzaga yoki to'siqqa yaqin joylashgan bo'lsa, unda qo'shimcha amalda yo'qotib bo'lmaydigan chastota tavsifining taroqsimon effekti paydo bo'ladi. RZM mikrofonlar chastota tavsifining taroqsimon effektini yo'qotadi, chunki ular to'liq 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.

RZ2M mikrofonlari tovush manbaiga yaqin joylashgan yo'naltirilmagan mikrofonlarga qaraganda ko'proq subyektiv 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 xususiyatlari. Professional-musiqqa, tovush kuchaytirish tizimlari, teatr, konsert zallaridan eshittirishlarni translyatsiya qilish uchun yana bir guruh mikrofonlar qo'llaniladi. Tovush kuchaytirish tizimlarida mikrofonlarning ishlash xususiyatlaridan biri ayrim chastotalarda (parazit teskari aloqa natijasida mikrofonlarning o'z-o'zidan uyg'onishidir bu hodisa mikrofoniga qaytarilgan to'liq 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.

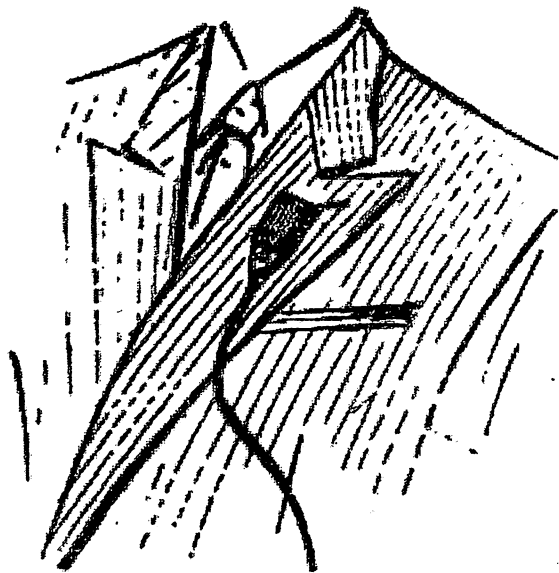
3. Mikrofonning yo'nalganlik diagrammasini to'g'ri tanlash va uning ishchi o'qini shovqin manbai, hamda radiokarnay va tovush kolonkalariga nisbatan to'g'ri yo'naltirish kerak.

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 ko'riladi: mikrofon kapsulasi amortizatsiyalanadi yoki mikrofon g'ilofidan ajratiladi, past chastotalarni qirquvchi elektr filtrlar qo'llaniladi.

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

Nutqlarni kuchaytirish tizimida (konferenzsal, majlislar zali, dramteatrlar va b.q.) asosiy mezon bo'lib tembrni to'g'ri uzatish emas nutqning aniqligi hisoblanadi, shuning uchun mikrofonlarning chastota diapazonini 100÷10000 Hz bilan cheklash va past chastotalarda 300÷400 Hz 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 bo'la oladi. Chastota diapazonini yana ham siqish 500÷5000 Hz nutq aniqligiga zarar yetkazmagan holda notiq tovushi tembrini sezilarli o'zgarishiga olib keladi, bu esa yuqori sifatli tovush kuchaytirishda unchalik zarur emas. Shuning uchun chastota diapazoni 500÷5000 Hz va undan tor bo'lganda bunday mikrofonlardan faqat aloqa qurilmalarida, tovush tembrini saqlash unchalik ahamiyatga ega bo'lmagan, faqatgina harakatlar ma'nosini, komandalarni to'g'ri uzatish uchungina foydalanadilar.



5.38-rasm. Yoqa mikrofonlari.

Yoqa mikrofonlari. Alohida guruh mikrofonlariga ko'krak yoki yoqa mikrofonlari kiradi. Ular televidenie va tovush kuchaytirish tizimlarida qo'llaniladi.

Yoqa mikrofonlari odatda, bosim qabul qilgich bo'lib, ular yengil va o'lchamlari kichik va kiyimga maxsus birlashtiriladigan 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.

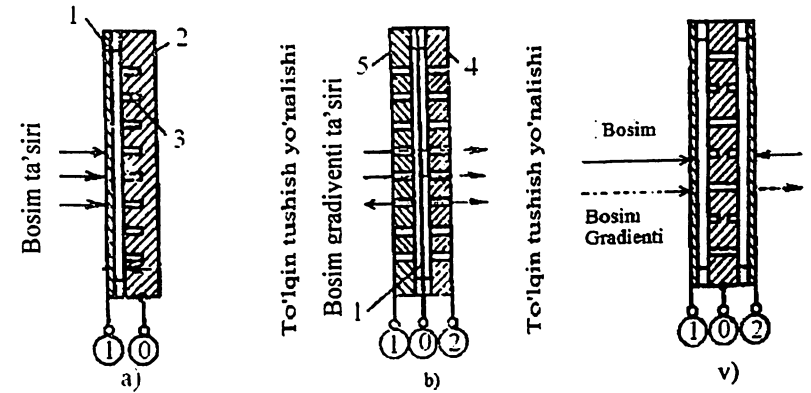
Kamchiligi – mikrofonni ko'krak qafasiga yaqinligi, bu past chastotalarning rangiga ta'sir ko'rsatadi. Ko'pchilik hollarda manba bloki notiqqlarga noqulayliklar yaratadi. Mikrofon kabellari kiyimlarga ishqalanib shovqin hosil qiladi. Undan tashqari bunday mikrofonlarni qo'llashda psixologik noqulayliklar 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'lmashligi 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-83ni (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.

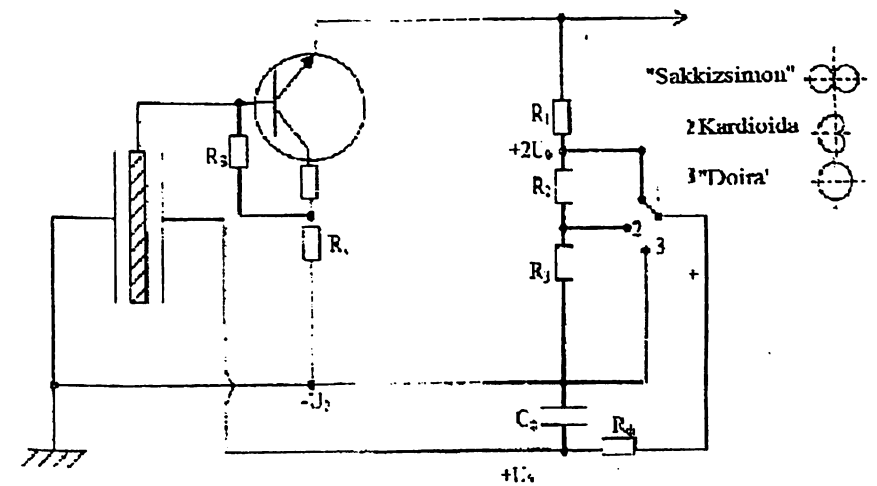
4. G'altakli mikrofonning tuzilishi va ishlash prinsipini tushuntiring.
5. G'altakli mikrofon sezgirligining chiziqli chastota tavsifini shakllantirish mexanizmini tushuntiring.
6. Tasmali mikrofonning tuzilishi va ishlash prinsipini tushuntiring.
7. Tasmali mikrofon bosim gradienti qabul qilgich qo'zg'aluvchi 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.
12. 5.41 rasmdagi yo'nalganlik diagrammasi boshqarilidigan kondensatorli mikrofonning ishlash prinsipini tushuntiring.
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?



5.40-rasm.

«Sakkizsimon»	Giperkardioida	Superkardioida	Kardioida	«Doira»
$\frac{Y_{e1}}{Y_{e2}} = 0$	$\frac{Y_{e1}}{Y_{e2}} = 0,33$	$\frac{Y_{e1}}{Y_{e2}} = 0,5$	$\frac{Y_{e1}}{Y_{e2}} = 1$	$\frac{Y_{e1}}{Y_{e2}} = \infty$
$\kappa = 3$	$\kappa = 4$	$\kappa = 3,7$	$\kappa = 3$	$\kappa = 1$

5.39-rasm.



5.41-rasm.

6 BOB. RADIOKARNAYLAR

6.1. Radiokarnaylarning asosiy texnik tavsiflari

Radiokarnaylar – elektr tebranishlarni akustik tebranishlarga 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 rivojlantirayotgan 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.

$$Ye_x = R_{o'rt} / \sqrt{R_{el}} = R_{nom} / \sqrt{R_{nom}} = R_{o'rt} / \sqrt{0,1} \quad (6.1)$$

Xarakteristik sezgirlik bilan o'rtacha standart tovush bosimi to'g'ridan - to'g'ri bog'langan:

$$R_{csm} = Ye_x \sqrt{0,1} \quad (6.2)$$

Kirish qarshiligi – z_{kir} chastotaga bog'liq bo'lganligi uchun ma'lumot-nomalarda **nominal elektr qarshilik** beriladi.

Yo'nalganlik tavsifi – erkin maydonda ishchi markazdan bir xil masofadagi nuqtada radiokarnay rivojlantirayotgan tovush bosimi R_0 , 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

$$D(\theta) = \frac{R_0}{R_{o'q}} \quad (6.3)$$

Noxiziqli buzilishlar koeffitsiyenti – berilgan chastotalarda radiokarnay kirishiga nominal quvvatga mos sinusoidal kuchlanish berib o'lchanadi.

Foydali ish koeffitsiyenti – radiokarnay nurlatayotgan akustik quvvat R_a ni radiokarnay kirishiga berilgan elektr quvvat R_{el} nisbatiga teng:

$$\eta = \frac{R_a}{R_{el}}, \% \quad (6.4)$$

Akustik o'qi bo'yicha sezgirligi quyidagicha ifodalanadi:

$$Ye_{o'q} = \frac{R_1}{U} = \frac{R_1}{v_m} \cdot \frac{v_m}{F} \cdot \frac{i}{U}, \quad (6.5)$$

bunda,

R_1/v_1 – akustik sezgirlik;

$v_1/F = 1/Z_1$ – mexanik sezgirlik;

F_1/K_{emb} – elektromexanik bog'lanish koeffitsiyenti;

$i/U = z_{el}$ – 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.

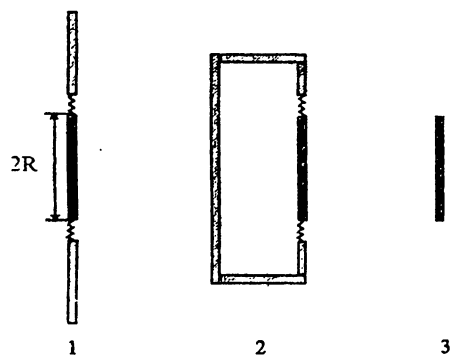
6.2. Nurlatgich turlari

Shar to'liqlar uchun qaytariladigan akustik quvvat quyidagi formula orqali aniqlanadi:

$$R_{ak} = V^2 z_R = V^2 \rho c S (r_R + jx_R) \quad (6.6)$$

(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- rasm. Porshen turidagi nurlatgichlar.

Nurlatgich turlari: 1 – cheksiz qattiq ekrandagi dumaloq porshen;
2– bir tomoni berk porshen; 3 – ikkala tomoni ochiq porshen.

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'liq uzunligi katta bo'lgan past chastotalarda to'liqlar uni osongina aylanib o'tadi. Shunday qilib, **to'liq difraksiyasi** hisobiga nurlanish ikki tomonlama bo'ladi, bu uchinchi turdagi nurlatgichga mos keladi deb hisoblash mumkin.

Yuqori chastotalarda to'liq 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.

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'liq 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 $kR=2,05$.

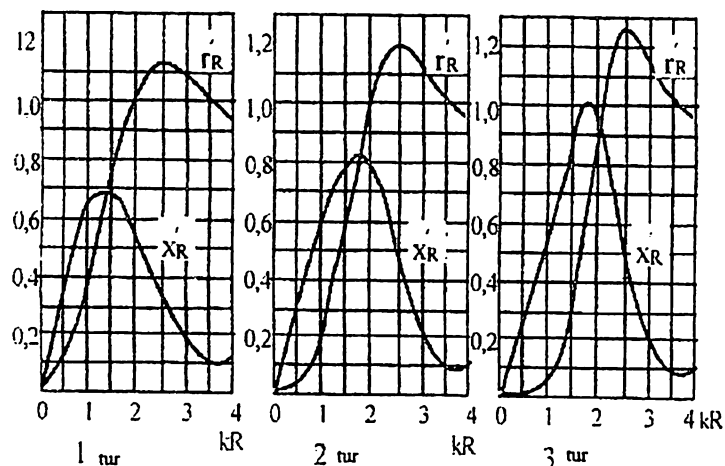
Nurlatgich radiuslari teng bo'lgandagi nurlatish chastota chegaralari quyidagicha aniqlanadi:

$$1- \text{ turdagi: } kR = \frac{\omega_n R}{c} = 1,38 \quad \omega_n = 1,38 \frac{c}{R};$$

$$2- \text{ turdagi: } kR = \frac{\omega_n R}{c} = 2,05 \quad \omega_n = 2,05 \frac{c}{R};$$

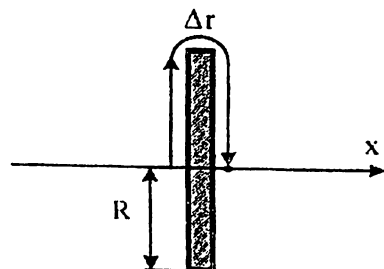
$$3- \text{ turdagi: } kR = \frac{\omega_n R}{c} = 2,05 \quad \omega_n = 2,05 \frac{c}{R},$$

c – tovush tezligi, m/s.



6.2- rasm. Uch turdagi o'lichamsiz 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 diffraksiya bo'lishiga oid.

Bunda uning har bir old va orqa tomonida ikkita to'g'ri va teskari to'liqin 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'liqinlar teskari fazada bo'ladi. Bu siljishni **boshlang'ich siljish** fazasi deb ataymiz $\varphi_{bosh} = \pi$.

O'ng yarim fazoga nurlanishni ko'rib chiqamiz. Diffraksiya sharoitida teskari to'liqin porshenni aylanib o'tib, to'g'ri to'lqinga qo'shiladi.

Natijalovchi bosim to'g'ri va teskari to'liqin faza siljishi yig'indisiga bog'liq bo'ladi. Kuzatuv nuqtasini porshen yuzasining o'ng tomonida, uning o'qida olamiz. Teskari to'liqin ushbu nuqtaga yetishi uchun porshenni aylanib qo'shimcha $\Delta r = 2R$ masofani bosib o'tishi kerak.

Bu yo'lda teskari to'liqinda qo'shimcha faza siljishi $\varphi_{qo'sh} = k\Delta r$ teng bo'ladi. Umumiy faza siljishi $\varphi_{\Sigma} = \varphi_{bosh} + \varphi_{qo'sh}$.

Past chastotalarda $R \ll \lambda$, demak, qo'shimcha faza siljishi

$$\varphi_{\Sigma} = k\Delta R = \frac{2\pi}{\lambda} 2R \approx 0, \text{ chunki } R/\lambda \approx 0.$$

Umumiy faza siljishi $\varphi_{\Sigma} = \varphi_{bosh} + \varphi_{qo'sh} = \pi$, ya'ni barcha chastota diapazonida to'liqinlar teskari fazada bo'ladi va $R \ll \lambda$. Bunda teskari to'liqin to'g'ri to'lqinni «so'ndiradi». Bunday hodisa **akustik qisqa tutashuv** deb ataladi.

Chastota oshishi bilan shunday vaziyat paydo bo'ladiki, f_1 chastotada teskari to'liqinning qo'shimcha yo'li Δr yarim to'liqin uzunligiga teng bo'ladi:

$$\Delta r = \lambda/2. \text{ Shunda } \varphi_{qo'sh} = k\Delta R = \frac{2\pi}{\lambda} \frac{\lambda}{2} = \pi, \text{ umumiy faza siljishi}$$

$\varphi_{\Sigma} = \varphi_{bosh} + \varphi_{qo'sh} = 2\pi$. Ikkala to'liqin bir fazada bo'lib tebranishlarning kuchayishi kuzatiladi.

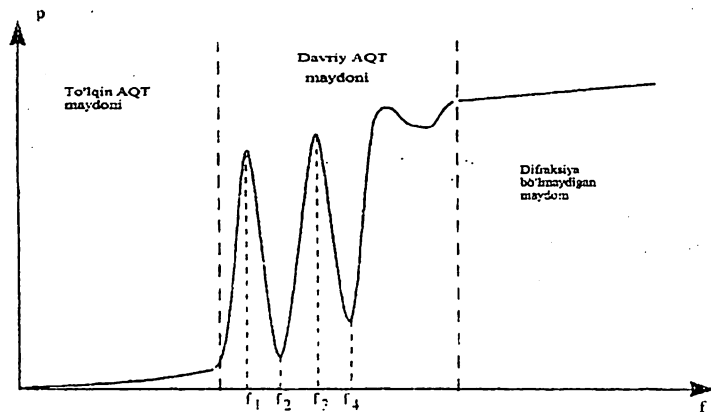
Chastotalarning keyingi oshishida f_2, f_3 va b.q. chastotalarda:

$f_2: \Delta r = \lambda; \varphi_{qo'sh} = \frac{2}{\lambda} \lambda = 2\pi; \varphi_{\Sigma} = \varphi_{bosh} + \varphi_{qo'sh} = 3\pi$ - to'liqinlar qarama-qarshi fazada bo'ladi va akustik qisqa tutashuv susayadi.

$f_3: \Delta r = 3/2\lambda; \varphi_{qo'sh} = \frac{2\pi}{\lambda} \frac{3}{2} \lambda = 3\pi; \varphi_{\Sigma} = \varphi_{bosh} + \varphi_{qo'sh} = 4\pi$ - to'liqinlar bir xil fazada bo'lib, tebranishlar kuchayadi va h.k.

Nurlatgich o'lichamlari to'liqin uzunligidan katta bo'lgan yuqori chastotalarda diffraksiya bo'lmaydi va teskari to'liqin 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

oilmaydi. 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 uchastkalariga bo'lamiz (6.5 - rasm).

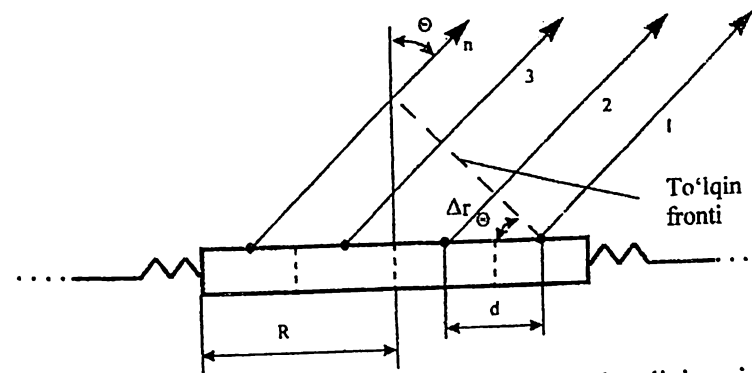
Ikkita holatni ko'rib chiqamiz:

1. Kuzatuv nuqtasi akustik o'qda ($\Theta = 0$), $r \gg R$ masofada joylashgan. Uchastkalarining alohida nuqtalaridan kelayotgan tovush to'liqlari, amalda bir xil yo'l bosadi, demak, ularning fazalari ham bir xil. Kuzatilayotgan nuqtadagi umumiy tovush bosimi $r_{0\Sigma}$, 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 Θ burchak ostida joylashgan. Endi tovush to'liqlari 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 r_{0i} bosimlarning geometrik yig'indisiga teng bo'ladi:

$$P_{0\Sigma} = P_{01} + P_{01}e^{j\varphi} + P_{01}e^{j2\varphi} + P_{01}e^{j3\varphi} + \dots$$

Buni vektorlar diagrammasi ko'rinishida tahlil qilib chiqamiz. Natijalovchi vektor birinchi vektorning boshlanishini oxirgi vektorning uchi bilan bog'laydi. Formuladan ko'rinib turibdiki, to'liq tushish burchagi oshishi bilan siljish faza burchagi osha boradi, yig'indi bosim esa kamayadi.

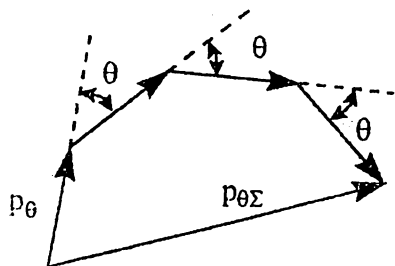
Ammo siljish fazasi d/λ ga ham bog'liq. Past chastotalarda $d \ll \lambda$ va $d/\lambda \approx 0$. Demak, to'liq nurlari o'rtasida faza siljishi bo'lmaydi. Bu d/λ nisbati qanchalik katta bo'lsa, faza siljishi ham shunchalik katta bo'ladi. Yig'indi bosim to'liq tushish burchagi oshgan sari kamaya boradi va nurlatgich yo'nalganlik xususiyatiga ega bo'la boshlaydi.

6.7-rasmda nurlatgichning past va yuqori chastotalardagi yo'nalganlik diagrammasi keltirilgan.

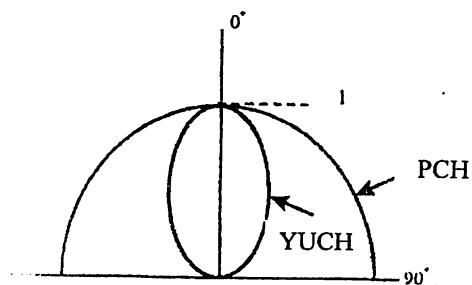
3 - turdagi nurlatgichning yo'nalganlik diagrammasiga kelsak, 6.8-rasmdan ko'rinib turibdiki, nurlatuvchi porshen joylashgan yuzada (AA yuzasi) nurlanish har qanday chastotada ham bo'lmaydi. AA yuzadagi har qanday nuqtagacha ikkala to'liq uchun masofa bir xil, ya'ni $r_1 = r_2$.

To'g'ri va teskari to'lqinlar o'rtasidagi faza nolga teng, faqat boshlang'ich siljish π ga teng. Shuning uchun AA yuzasidagi har qanday nuqtada to'lqinlar teskari fazada to'qnashadi va bir-birini «so'ndiradi».

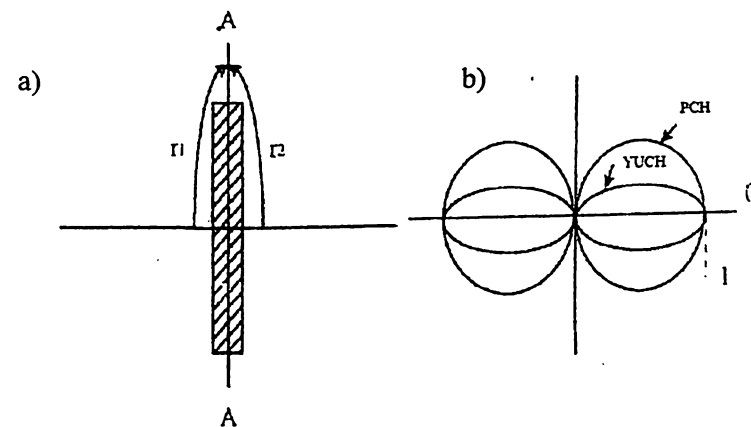
AA yuzaga perpendikulyar yuzda nurlanish samaradorli bo'ladi. $kR \ll 1$ bo'lganda, yo'nalganlik diagrammasi sakkizsimon shaklda bo'ladi: $D(\Theta) = \cos \Theta$. $R > \lambda$ yo'nalganlik diagrammasi bir tomonlama yo'nalgan nurlatgichlardan kam farq qiladi. Shuni aytish lozimki, yo'nalganlik diagrammasi 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 yo'nalganlik xususiyatlariga oid.

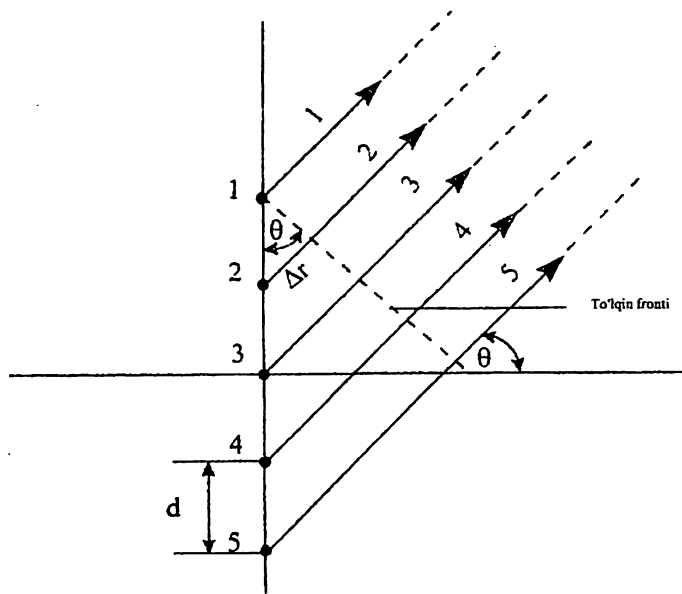
6.3. Chiziqli guruh nurlatgichlari

Chiziqli guruh nurlatgichlar (tovush kolonkalari). Nurlatgichning quvvatini va yo'nalganlik diagrammasini oshirish maqsadida guruhli bir nechta bir xil (ikkitadan sakkiztagacha) ma'lum masofada vertikal liniyada joylashgan diffuzorli radiokarnaylar qo'llaniladi. Ularning gorizontall maydondagi yo'nalganlik diagrammasi yakka radiokarnayning yo'nalganlik diagrammasidan farq qilmaydi. Ammo vertikal maydonda bunday guruhning yo'nalganlik diagrammasi ayrim yakka radiokarnaylarning nurlanish interferensiyasi natijasida sezilarli kuchayadi.

6.9-rasmda chiziqli guruh nurlatgichlarning sxematik ko'rinishi keltirilgan.

Agarda, kuzatuv nuqtasini kolonkaning akustik o'qida $r \gg d$ masofada olsak, unda alohida kallaklarning r_i tovush bosimi bir xil fazada bo'ladi. Demak, umumiy tovush bosimi $R_{0\Sigma}$ alohida kallak bosimlarining arifmetik yig'indisiga teng bo'ladi:

$$P_{0\Sigma} = \sum_1^n P_i, \text{ bunda } n - \text{guruhdagi kallaklar soni.}$$



6.9 - rasm. Tovush kolonkasining yo'nalganlik diagrammasiga oid.

Endi yo'nalganlikni tovush kolonkasining akustik o'qidan tashqarida burchak ostida tushayotgan to'lqin fronti uchun ko'rib chiqamiz. Alohida kallaklardan kelayotgan tovush nurlari kuzatuv nuqtasigacha turli yo'lni bosib o'tadi. Masalan, 1- va 2- nurlar bosib o'tgan yo'l 6.9 - rasmga asosan:

$$\Delta r = d \sin \Theta \text{ teng.}$$

Nurlardagi faza siljishi:

$$\varphi = k\Delta r = \frac{2\pi}{\lambda} d \sin \Theta.$$

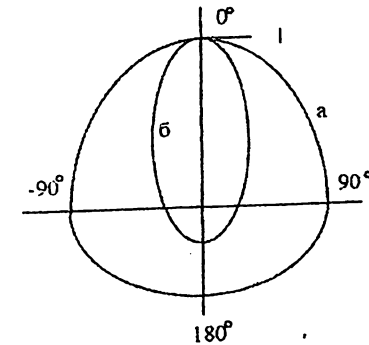
Kuzatuv nuqtasidagi umumiy bosim alohida r_i bosimlarning geometrik yig'indisiga teng, ya'ni :

$$p_{\Theta\Sigma} = p_{\Theta 1} + p_{\Theta 1} e^{j\varphi} + p_{\Theta 1} e^{j2\varphi} + p_{\Theta 1} e^{j3\varphi} + \dots,$$

bunda, $r_{\Theta 1}$ - kuzatuv nuqtasida yakka qallak rivojlantirayotgan tovush bosimi. Tovush kolonkalarining o'lchamlari past chastotalarda ham katta bo'lganligi sababli, u vertikal maydonda ham yo'nalganlik xususiyatiga ega bo'ladi.

Burchak Θ oshishi bilan tovush bosimi $r_{\Theta\Sigma}$ kamayadi. Chastota oshishi bilan kolonka o'lchamining to'lqin 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 gorizontaal a) va b) vertikal yuzalardagi yo'nalganlik diagrammalari.

Chastota oshishi bilan yo'nalganlik diagrammasi oshadi va nurlanuvchi maydon kamayadi. Gorizontaal maydonda yuqori chastotalarda yo'nalganlik diagrammasini kengaytirish uchun kolonkaga yana qo'shimcha akustik o'qlari 60° 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 ovozlashtirishda (ko'cha, hiyobon, maydon va h.k.) ayrim hollarda doira shaklidagi yo'nalganlik diagrammasi 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° 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'liqlarining 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'liq paydo bo'ladi. Gazsimon (va suyuq) muhit uzluksizligi prinsipida diafragmaning tebranish tezligi v_d va unga yondashgan 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_a} qarshiligiga qo'shiladi, ya'ni:

$$\frac{F}{v_m} = z_{m_a} + z_{nur} = z_m. \quad (6.7)$$

Nurlanish qarshiligi aslida muhit bilan radiokarnay nurlatgich yuzasi tutashgan joydagi tovush to'liqining akustik qarshiligi

$$z_{nur} = \delta_{aR} S = R_{nur} + jX_{nur}, \quad (6.8)$$

bunda, S – nurlatgich yuzasi, δ_{aR} – nurlatgich yaqinidagi muhitning solishtirma akustik qarshiligi. To'la nurlanish quvvati:

$$P_{nur} = v_d^2 \cdot z_{nur} \quad (6.9)$$

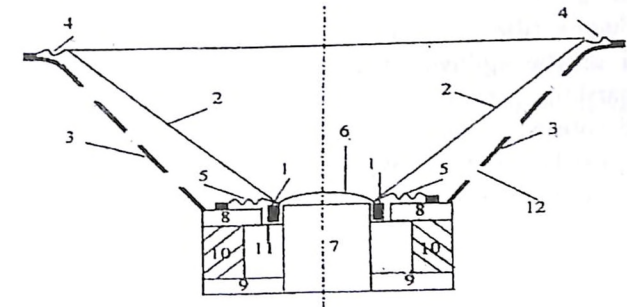
Umumiy holda nurlanish quvvati aktiv – cheksizlikka ketuvchi energiya quvvati va reaktiv - tovush maydonida hosil bo'lib energiya zahirasini belgilovchi tarkiblardan iborat.

Nurlanish qarshiligining reaktiv tashkil etuvchisi **inersion** (kirititilgan) **qarshilik** ωm_{kir} , boshqacha qilib aytganda, kiritilgan havo massasi qarshiligi m_{kir} :

$$m_{kir} = \rho S R / \left(\frac{\omega^2 R^2}{c^2} + 1 \right) \quad (6.10)$$

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:

1–tovush g'altagi; 2–diffuzor; 3–diffuzor ushlagich (qobiq); 4–gofrirovkalanagan ilgich; 5–gofrirovkalanagan 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; ℓ – 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 gofirovkalangan ilgich bilan, ikkinchi uchi gofirovkalangan 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 C_1 , gofirovkalangan markazlashtiruvchi shayba egiluvchanligi C_2 va havo egiluvchanligi C_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

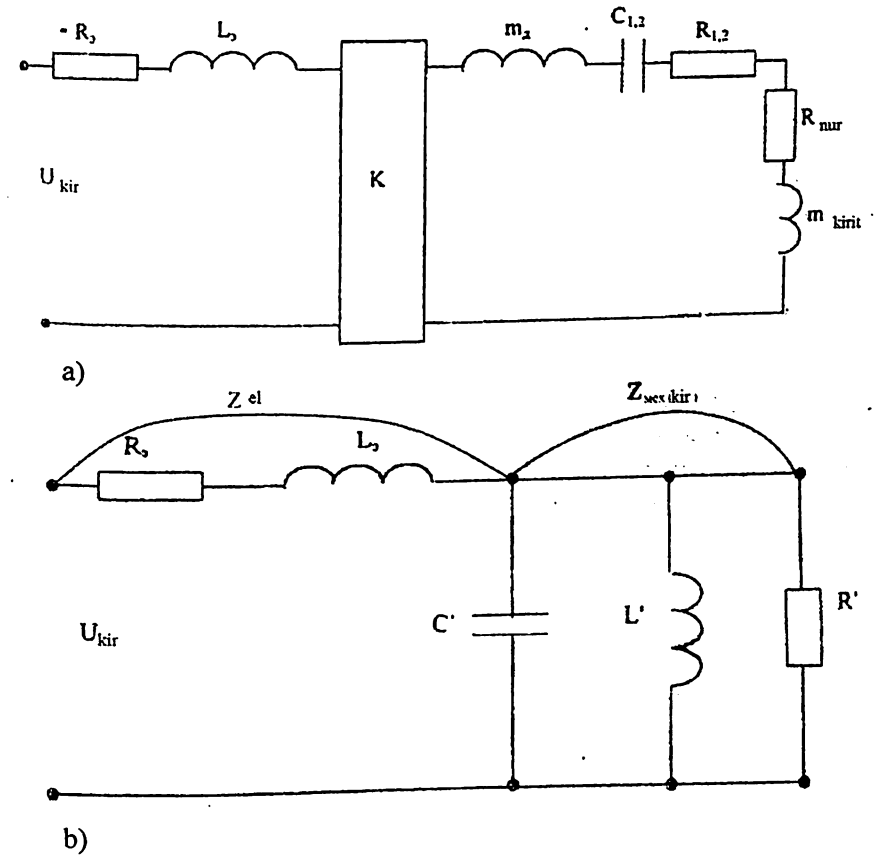
$$z_m = (r_1 + r_2 + r_{nur}) + j\omega(m_d + m_{kir}) + \frac{1}{j\omega} \left(\frac{1}{C_1} + \frac{1}{C_2} + \frac{1}{C_3} \right) = r_m + j\omega m + \frac{1}{j\omega C_m} \quad (6.11)$$

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'liq 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_{vek} g'altakning xususiy Z_g va Z_{kir} kiritilgan qarshiliklar yig'indisi bilan aniqlanadi, ya'ni:

$$Z_{vek} = Z_g + Z_{kir} \quad (6.12)$$

Radiokarnayning xususiy qarshiligi g'altakning aktiv R_{ye} va induktiv L_{ye} qarshiliklardan iborat. Kiritilgan qarshilik esa, to'la mexanik qarshilik z_m va elektromexanik bog'lanish koeffitsiyenti $K_{e.m.b} = V\ell$ bilan aniqlanadi. 6.12-rasmda elektrodinamik radiokarnayning kirish qarshiligi sxemalari keltirilgan.



6.12- rasm. Diffuzorli elektrodinamik radiokarnayning kirish qarshiligi sxemalari: a) elektromexanik o'xshashlik sxemasi; b) elektr ekvivalent sxemasi.

6.12-b rasmdan kiritilgan qarshilik:

$$z_{kir} = B^2 \ell^2 / z_m = B^2 \ell^2 \left(r_m + j\omega m + \frac{1}{j\omega C_m} \right) \quad (6.13)$$

Kiritilgan qarshilikni kiritilgan o'tkazuvchanlik bilan almashtiramiz:

$$\frac{1}{z_{kir}} = Y_{kir} = \frac{r_m}{B^2 \ell^2} + \frac{j\omega m}{B^2 \ell^2} + \frac{1}{j\omega C_m B^2 \ell^2} \quad (6.14)$$

Quyidagi belgilanishni kiritamiz:

$$R' = B^2 \ell^2 r_i ; C' = mB^2 \ell^2 \text{ va } L' = C_i B^2 \ell^2 \quad (6.15)$$

Bu holda, umumiy o'tkazuvchanlik

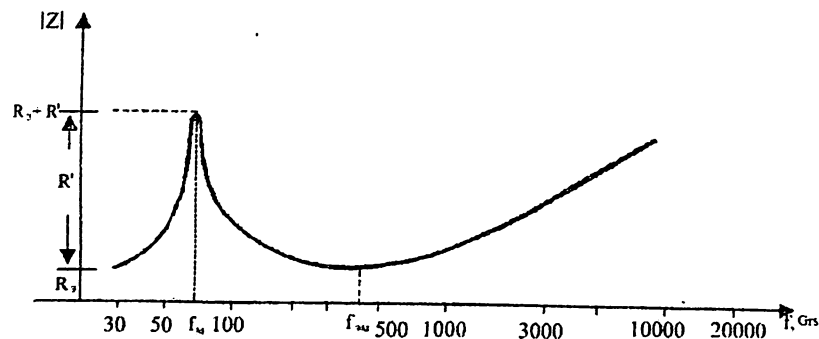
$$Y_{kr} = \frac{1}{R'} + j\omega C' + \frac{1}{j\omega L'} \quad (6.16)$$

Uchta o'tkazuvchanlik R' , C' 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 $|Z| = R_{ve}$ ga teng. Chastota oshgan sari radiokarnay mexanik qismining induktiv qarshiligi oshaboradi, radiokarnay diffuzorining tebranish amplitudasi ham oshadi va mexanik rezonans sodir bo'ladi.

$$|Z| = R_{ve} + R' \quad (6.17)$$

6.13 - rasmga qarang.



6.13 - rasm. Elektrodinamik radiokarnay to'la kirish qarshiligi modulining chastotaga bog'liqlik grafigi.

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

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 ÷ 400Hz chastotalarda ketma - ket C' 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.

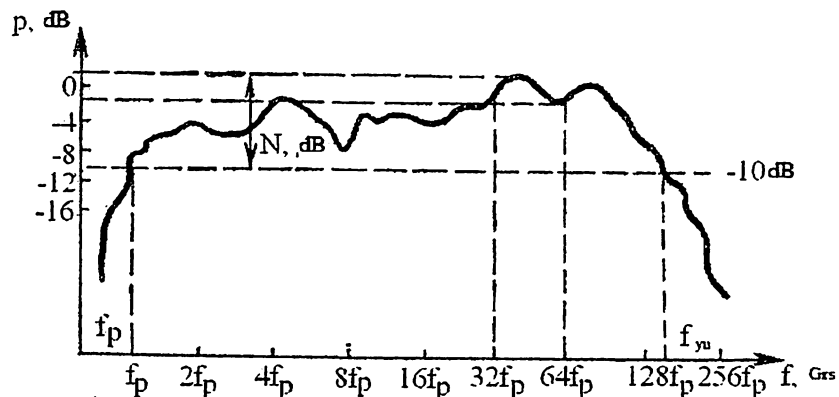
Elektromexanik chastotadan yuqori chastotalarda L_e oshishi hisobiga to'la kirish qarshiligi moduli oshadi, 6.13 - rasm.

Rasmdan ko'rinib turibdiki, mexanik rezonans radiokarnay sezgirligi nochiziqiligini oshiradi, mexanik rezonansdan pastki chastotalarda esa, uning sezgirligi keskin pasayadi.

Radiokarnay 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 Hz dan past bo'lmas ekan, ko'pchilik hollarda bu ko'rsatgich 70÷80 Hz 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.

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 magnit o'zakka halqasimon qalpoqcha kiygiziladi. Radiokarnaylarning yo'nalganlik diagrammasi, mikrofonlardek xarakteristika va

yoʻnalganlik diagrammasi, yaʼni akustik oʻq va turli yoʻnalishdagi nurlatish burchagiga bogʻliqligi bilan baholanadi. 6.15-rasmda nurlatgichlarning turli oʻlcham nisbatlari va tovush toʻlqin uzunligi uchun yoʻnalganlik diagrammalari keltirilgan.

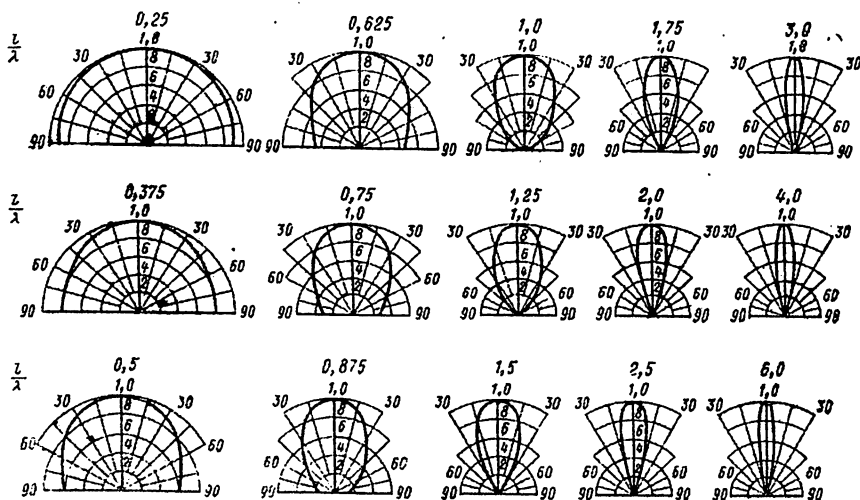


6.14 - rasm. Diffuzorli elektrodinamik radiokarnay sezgirlikining chastotaviy xarakteristikasi.

6.5. Elektrodinamik radiokarnaylarda nochiziqli buzilishlar

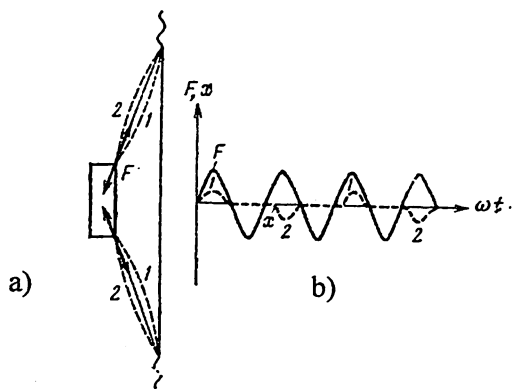
Toʻgʻridan-toʻgʻri nurlatuvchi radiokarnaylarda nochiziqli buzilishlarning asosiy sababi, diffuzor ilgichning nochiziqli elastikligi va ishchi tirqishdagi magnit maydonning oʻqi boʻyicha nojinsliligi. Past chastotalarda konus katta amplituda bilan siljiydi, natijada tashqi gardish va markazlashtiruvchi shayba rivojlantirayotgan elastik kuch ilgichning elastik deformatsiyasiga nisbatan tezroq oshadi. Buning natijasida paydo boʻladigan nochiziqli buzilishlar simmetrik boʻlib, 400 Hz chastotali nominal quvvatda garmonikalar koeffitsiyenti 3–4% tashkil etib, past chastota tomon oshib boradi. Ishchi tirqishdagi magnit maydonning bir jinsli emasligi bilan bogʻliq boʻlgan buzilishlar tovush gʻaltagi egallagan uzunligidagi magnit maydoni induksiyasi (V) belgilaydigan elektromexanik bogʻlanish koeffitsiyenti (VI) bilan belgilanadi. Agarda, magnit maydoni oʻq boʻyicha bir jinsli boʻlmasdan tirqish qirralari tomon kamaysa, siljish tizimi oʻrtacha holatidan u yoki bu tomonga siljiganda, tovush gʻaltagi bilan ilashgan maydon induksiyasi kamayadi, mos holda elektromexanik bogʻlanish koeffitsiyenti ham kamayadi. Bu holat keltirib chiqaradigan sinusoidal signalning buzilishi juda ham kam. Agarda, radiokarnay bir vaqtda ikkita signalni nurlatsa: gʻaltak past chastotada katta amplituda bilan, yuqori chastotada kichik amplituda bilan qoʻzgʻalsa, unda ahvol bir muncha oʻzgaradi. Amplituda boʻyicha modulyatsiyalangan past chastota tebranishlari elektromexanik bogʻlanish koeffitsiyentini oʻzgartiradi. Bu eshittirish signali spektrida nochiziqli buzilishlarga olib keladi. Nochiziqli buzilishlarning boshqa bir sababi, radiokarnay diffuzori katta amplituda bilan tebranganda tebranishlarda eshittirish kallagi siljish tizimini mustahkamlash elastikligining oʻzgarishidir. Nochiziqli buzilishlarning uchinchi sababi, diffuzor konusining parametrik tebranishi.

Gʻaltak oʻng tomonga elektrodinamik kuch F taʼsirida siljiganda diffuzor konusi asosi siqiladi, natijada, u egiladi. Faraz qilaylik, gʻaltakdagi tokning birinchi (musbat) yarim davrida konus ichki tomonga egildi (6.16-rasm, 1-holat). Ikkinchi yarim davrida esa, kuch F ning yoʻnalishi teskari tomonga oʻzgaradi, gʻaltak 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 soʻng uning oʻrtasi inersiya boʻyicha stasionar holatidan oʻtib ketadi.



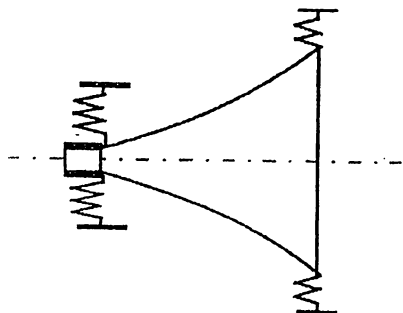
6.15-rasm.

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.



6.17-rasm. Diffuzor asosi bukilgan radiokarnay.

Akustik signal spektrida chastotalari g'altakdagi tok chastotasidan ikki marta kichik spektr tarkiblari paydo bo'ladi. Bu eshittirilayotgan tovushdan keskin ajraladigan tinglovchilarga titroq sifatida eshutiladigan qo'shimcha tovushlar paydo bo'ladi (6.16-b rasm).

Bunday buzilishlarni yo'qotish yoki kamaytirish maqsadida konus asosi bukiladi. Asosi bukilgan diffuzor ko'ndalang siqilganda, u bukilgan tomonga egiladi (6.17-rasm).

6.6. 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 ω_0 bilan cheklangan. Pastki chastotalarni yaxshi eshittirish uchun rezonans chastotasi $\omega_0 = \frac{1}{\sqrt{mc_0}}$ pasaytirish kerak. Rezonans chastotani

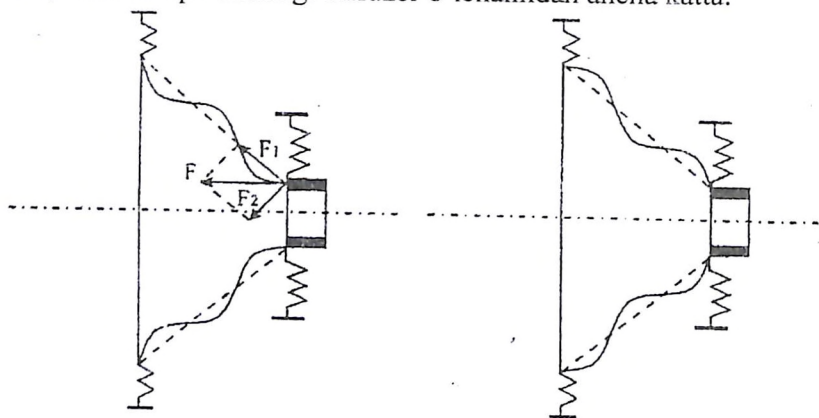
qo'zg'aluvchi tizim massasi m oshirish hisobiga kamaytirish samara bermaydi, chunki bu usul kallak sezgirligini pasayishiga olib keladi. Shuning uchun, rezonans chastotani pasaytirish uchun markazlash-tiruvchi shayba va diffuzorning yuqori uchidagi gofri elastikligini oshirish kerak. Elastiklikni oshirish qo'zg'aluvchi tizimning ishlash barqarorligiga bog'liq. Barqarorlikning buzilishi natijasida tovush g'altagi gorizontalsiljib, tirqish devorlariga ishqalanishi mumkin. Bu buzilishlarga sabab bo'ladi. Keng polosali kallaklarda mexanik rezonans chastotasi 60÷80Hz, past chastotali kallaklarda esa 20÷50 Hz 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 6.16-rasmda ko'rsatilganidek ikkiga ya'ni:

- 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

nohiziqli 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.

Shuning 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 zonalar 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 so'ndiradi. Bu kallak tavsifning yuqori chastotalarida bir qator cho'qqi va cho'kmalar paydo bo'lishiga olib keladi.

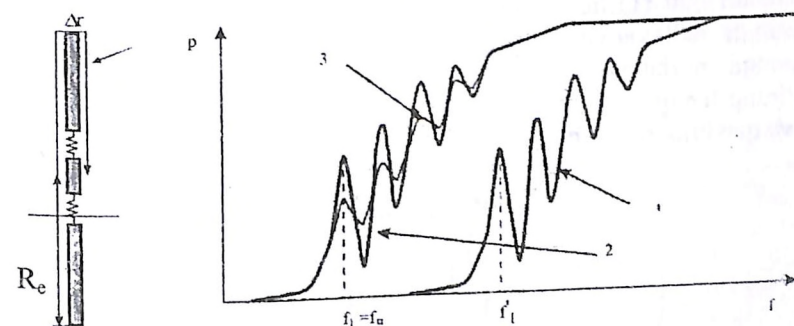
Yuqori chastotalarda chastota buzilishning yana bir sababi, elektromexanik rezonans chastotada tovush g'altaning induktiv qarshiligi oshadi, natijada kallakning to'la kirish qarshiligi Z_{kir} ham oshadi. Z_{kir} oshsa kallakni ta'minlayotgan quvvat kamayadi, demak, akustik quvvat ham kamayadi. Shunday qilib, o'rtacha o'lchamdagi elektrodinamik radiokarnay 500÷800 Hz dan to 5000÷6000 Hz gacha bo'lgan diapazonda ishlay oladi, bu chastota diapazoni yuqori sifatli eshittirishlarni ta'minlay olmaydi.

6.7. To'g'ridan-to'g'ri nurlatuvchi radiokarnaylarning chastota diapazonini kengaytirish usullari

Pastki chastotalar oblasti. Yuqorida aytib o'tilganidek, pastki chastotalarda bo'ladigan buzilishlarning asosiy sababi akustik qisqa tutashuv. U bilan kurashish maqsadida radiokarnaylar turlicha akustik jihozlanadi. Ulardan ayrimlarini ko'rib chiqamiz.

Akustik ekran. Bu turdagi akustik jihozlash ma'lum o'lchamdagi shit bo'lib, unga nurlatuvchi kallak o'rnatilgan (6.18-rasm). Bunday ekraning qo'llanilish g'oyasi shundaki, uning yordamida teskari to'lqin yo'li Δg shunday oshirish kerakki, birinchi tebranish (f_1 chastota, 6.4-rasm) ishchi diapazonning pastki chastotasi f_p da bo'lsin. Shunda 6.20-rasm keltirilgan chastota tavsifi grafigi (1 egri chiziq), past chastotalar tomon chapga siljib f_p va f_1 mos tushadi.

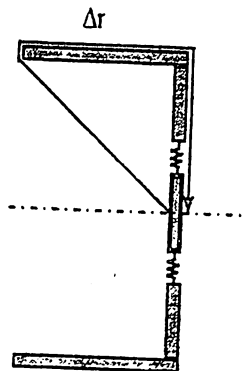
6.19-rasm. Nurlatuvchi kallak ekranga joylashtirilgan



6.20-rasm. Nurlatuvchi kallakning chastota tavsiflari:

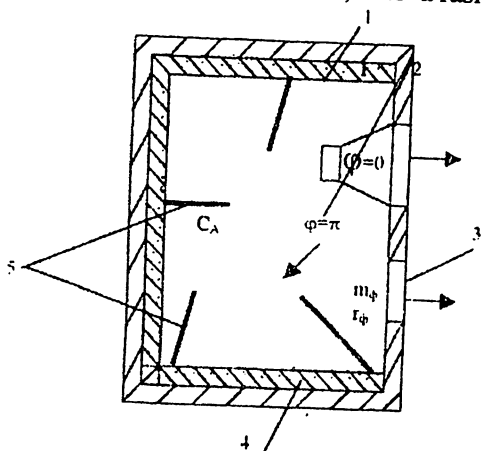
1- ekransiz; 2- kallak simmetrik ekranda; 3- kallak nosimmetrik ekranda.

Aytaylik, 50 Hz 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.



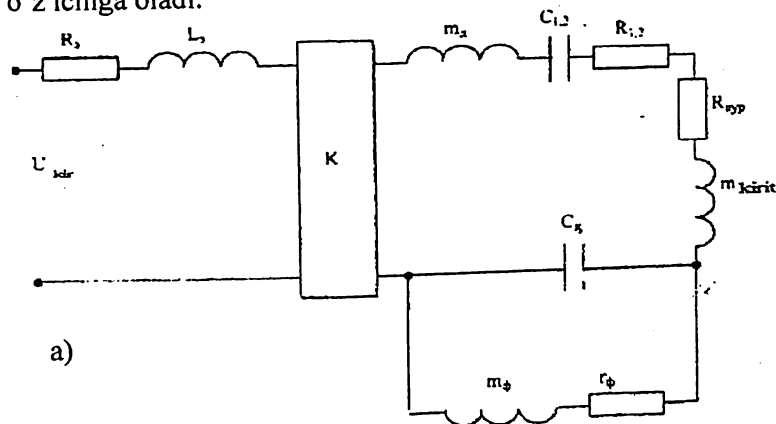
6.21-rasm. Radiokarnay simmetrik ekranda.

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, 6.23-a rasm.

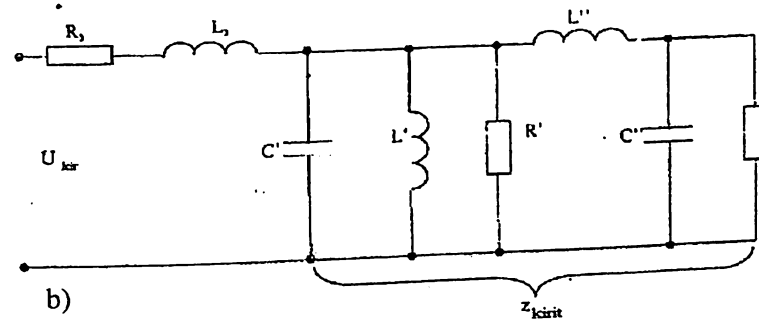


6.22- rasm. El. dinamik radiokarnay fazainvertorda: 1- quti; 2- radiokarnay; 3- invertor tirqishi; 4- tovush so'ndiruvchi materiallardan ichki qoplama; 5- to'siqlar.

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 o'z ichiga oladi.



a)



6.23- rasm. Fazainvertordagi radiokarnayning kirish qarshiligi o'xshashlik sxemalari: a) elektromexanik sxemasi; b) elektr-ekvivalent sxemasi.

Qutining ichki devorlari so'ndiruvchi materiallar bilan qoplanadi. Radiokarnay old nurlanish fazasini fazainvertori tirqishidan chiqayotgan nurlatish fazasiga moslash maqsadida quti devorlariga maxsus to'siqlar o'rnatiladi. Bunday rezonator chastotasini qo'zg'aluvchi tizimning mexanik rezonans chastotasi ω_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

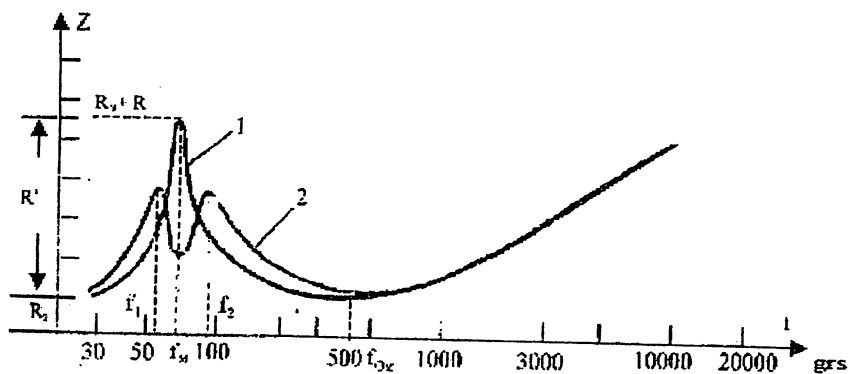
elementlardan iborat mexanik rezonans tizimiga ega bo'lamiz (6.22-a rasm).

6.22-b rasmda radiokarnay elektr kirish qismiga keltirilgan ekvivalent sxema ko'rsatilgan. Bu sxemani 6.12-b rasm bilan solishtirganda qo'shimcha $L''=B^2\ell^2C_0$, $S''=m_f/V^2\ell^2$ va $R''_f=V^2\ell^2/g_f$ zvenolar paydo bo'lganligini ko'ramiz. 6.23 - rasmda fazainvertorisiz va fazainvertoridagi elektrodinamik radiokarnayning to'la kirish qarshiligi modulining chastota tavsiflari keltirilgan.

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 ikki 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_0 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 inverter fazani 180° buradi, diffuzorning old va orqa tomonlaridagi nurlanuvchi to'lqin fazalari 180° farqlanadi.



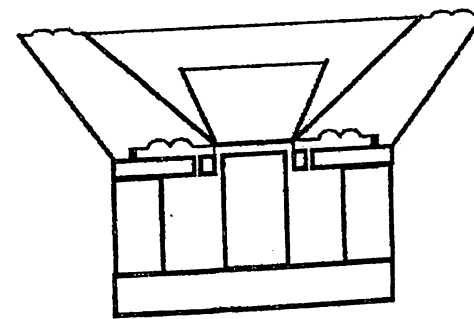
6.24 - rasm. Radiokarnayning to'la kirish qarshiligi modulining chastota tavsifi: 1- fazainvertorisiz; 2- fazainvertorda.

Buning natijasida diffuzorning orqa tomonga nurlanishi old nurlanishga qo'shiladi. Mexanik chastota rezonansida inverter fazani faqat 90° 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 koeffitsiyenti 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 koeffitsiyenti oshirishning bir necha usullari mavjud, ulardan: ikki diffuzorli radiokarnay, ruperli konstruksiya, seksiyalangan ruper, tovush kolonkaları, 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.

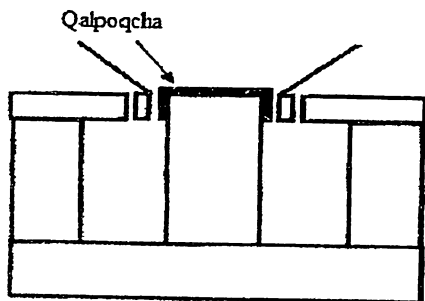
Yuqori chastotalar oblasti. Ikki konusli kallaklar. Yuqori chastotalarda ishchi chastota diapazonini kengaytirish maqsadida ikki konusli kallaklar qo'llaniladi (6.25-rasm). Kichik diffuzorga maxsus ishlov berilishi va konus burchagining kichikligi tufayli uning konstruksiyasi qattiq. Past chastotalarda ikkala konus bir butundek ishlaydi 600÷1000 Hz boshlab yuqori chastotalarda katta diffuzor yuzasi sekin - asta zonalarga bo'linib, kichik amplitudada tebrana boshlaydi. Eng yuqori chastotalarda katta diffuzorning tovush g'altagiga yaqin zonaları samarali qo'zg'alaboshlaydi va qo'g'alish sekin-asta yuqori chastotali (kichik) diffuzorga o'tadi.



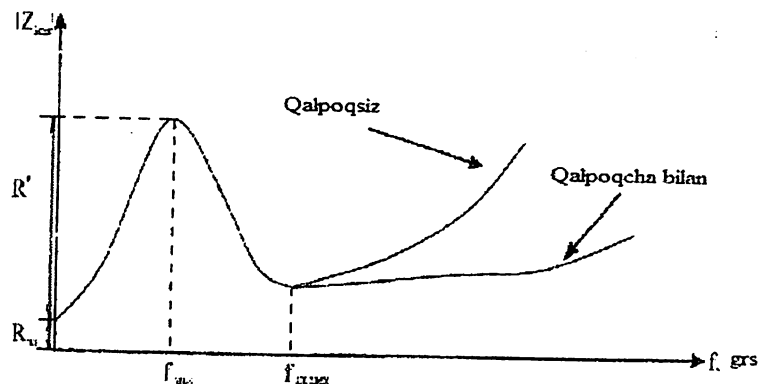
6.25-rasm. Qo'shimcha, yuqori chastota diffuzorli kallak.

Shunday konstruktsiya hisobiga samarali nurlanish chastota diapazonini 12÷15 kHz 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 hech qanday ta'sir ko'rsatmaydi.



6.26-rasm. Kern uchidagi qalpoqcha.



6.27 - rasm. Kallak kirish qarshiligining chastota tavsifiga kompensatsiyalovchi qalpoqchanning ta'siri

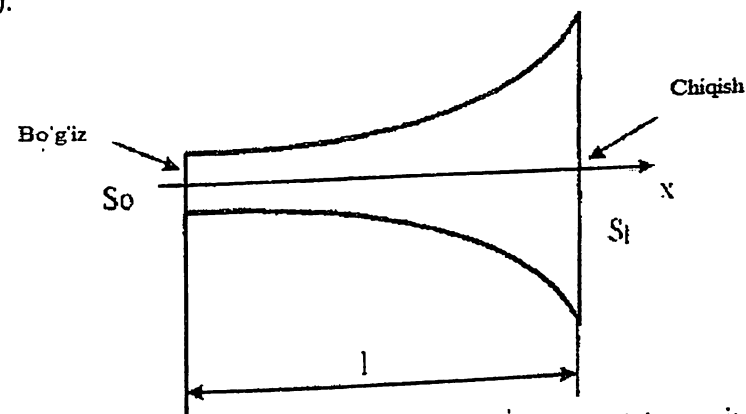
Chastota oshishi bilan o'zaro induksiya EYuK ortadi, qalpoqcha hosil qilayotgan magnit oqimi ham oshadi. Natijada, tovush g'altagining induktiv qarshiligi yezilarli kamayadi. Kompensatsiyalovchi qalpoqchanning qo'llanilishi tovush bosimini 2 kHz boshlab 5÷7 dB ga oshiradi.

Kallakning kirish qarshiligi chastota tavsifiga kompensatsiyalovchi qalpoqchanning ta'siri 6.27 - rasmda keltirilgan.

6.8. Ruporli radiokarnaylar

Ruporning xususiyati va belgilanishi. To'g'ridan-to'g'ri nurlatuvchi kallaklarning asosiy kamchiligi ularning foydali ish koeffitsiyentining 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 ovozashtirganda 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_ϕ chastota bilan quyidagicha bog'liq:

$$V_\phi = \frac{c}{\sqrt{1 - \left(\frac{\beta c}{2\omega}\right)^2}} = \frac{c}{\sqrt{1 - \left(\frac{\omega_{kr}}{\omega}\right)^2}} \quad (6.20)$$

$\omega_{kr} = \frac{\beta c}{2}$ – ruporning kritik chastotasi; s - tovush tezligi.

Ruporda to'lqin jarayoni ω_{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.

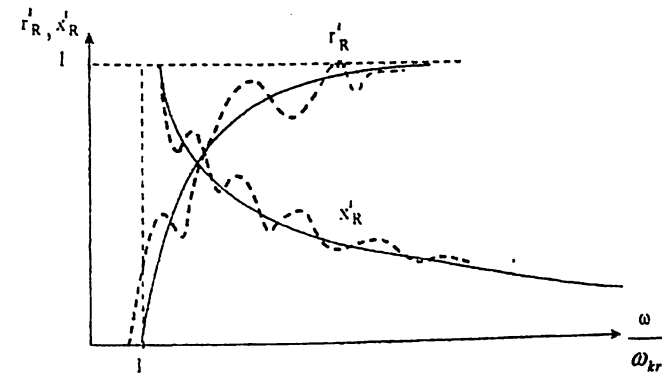
Ruporning kirish qarshiligi quyidagicha aniqlanadi

$$z = r + jX = \rho c S_0 (r'_R + jx'_R) = \rho c S_0 \left(\sqrt{1 - \left(\frac{\omega_{kr}}{\omega}\right)^2} + j \frac{\omega_{kr}}{\omega} \right) \quad (6.21)$$

Cheksiz uzunlikdagi rupor kirish qarshiligi tarkiblarining chastota tavsifi 6.29 - rasmda keltirilgan.

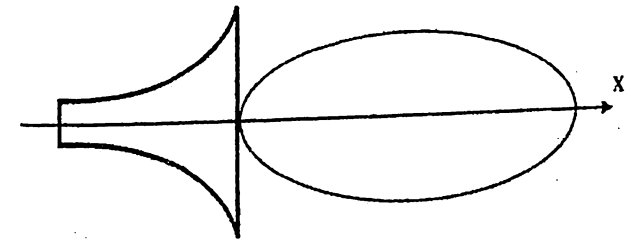
Rasmdan ko'rinib turibdiki, kirish qarshiligining aktiv qismi reaktiv qismidan $\sqrt{2} \omega_{kr}$ chastotadan boshlab osha boradi va rupor kallakni samarali yuklaydi, natijada, nurlanish ham samarali bo'ladi.

Ruporning ajoyib xususiyatlaridan biri shundaki, u o'z nurlanishini o'qi bo'yicha konsentratsiyalashi mumkin.



6.29- rasm. Cheksiz uzun va cheklangan uzunlikdagi (punktir) rupor kirish qarshiligining aktiv va reaktiv tarkibi chastota xarakteristikalarini.

Kesimi doira shaklidagi ruporning yo'nalganlik diagrammasi 6.30-rasmda ko'rsatilgan.

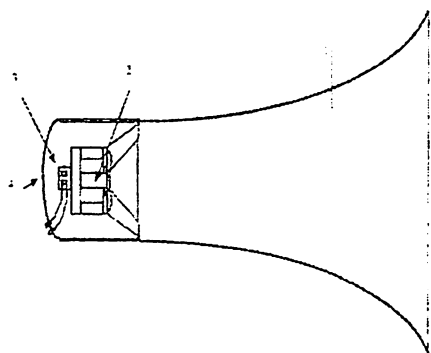


6.30-rasm. Kesimi doira shaklidagi ruporning yo'nalganlik diagrammasi.

Ruporning qo'llanilishi nurlatgichning FIK keskin oshiradi va 5-7 % yetadi. Ruporli radiokarnaylar ikki turga bo'linadi: keng va tor bo'g'izli.

Keng bo'g'izli ruporli radiokarnaylar. Bu turdagi konstruksiyalarda nurlatgich sifatida oddiy elektrodinamik radiokarnaylar qo'llaniladi. Kirish yuzasi kallak konusi yuzasiga teng bo'lganligi uchun uni keng bo'g'izli deb ataydilar.

Akustik qisqa tutashuvni yo'qotish maqsadida ruporning orqa tomoni qalpoqcha bilan berkitilgan. 6.31 - rasmda keng bo'g'izli ruporli radiokarnay konstruksiyasi ko'rsatilgan.



6.31 - rasm. Keng bo'g'izli ruporli radiokarnay konstruksiyasi:
1- rupor; 2- elektrodinamik kallak; 3- moslovchi transformator;
4- qalpoqcha.

Qalpoqcha kallakni mexanik va atmosfera ta'siridan saqlaydi. Moslovchi transformator kallakni uzatilishi kerak bo'lgan 5÷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 Hz.

Tor bo'g'izli ruporli radiokarnaylar. Bunday turdagi konstruksiyalarda nurlatgich sifatida diafragmasi 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.

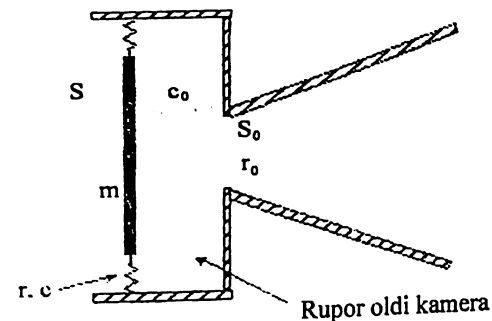
Ruporoldi kameraning transformatsiya koeffitsiyenti: $n = \frac{S_d}{S_0} > 1$

Ruporning transformator orqali hisoblangan kirish qarshiligi:

$$r_0 = r_0 n^2 = \rho c S_0 \left(\frac{S_d}{S_0} \right) = \rho c \frac{S_d^2}{S_0} \quad (6.22)$$

Tor bo'g'izli ruporli radiokarnaylarning FIK 15÷20% tashkil etadi.

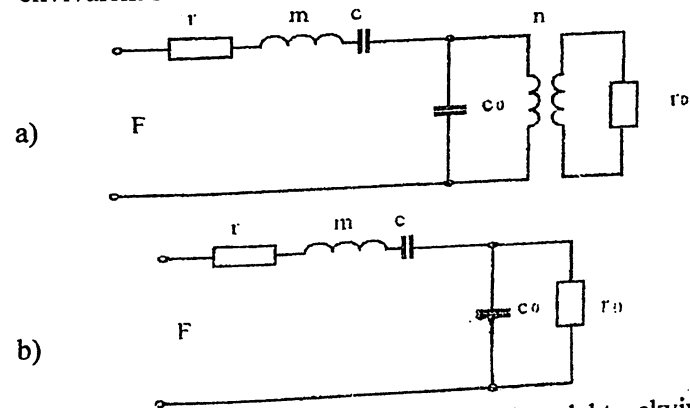
6.32-rasmda tor bo'g'izli ruporli radiokarnay konstruksiyasining kesimi ko'rsatilgan.



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.



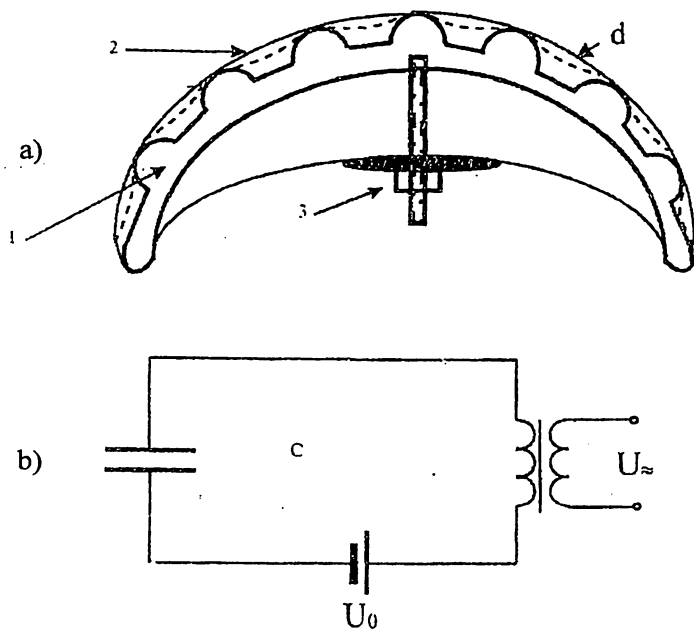
6.33-rasm. Tor bo'g'izli ruporli radiokarnayning elektr- ekvivalent sxemalari:

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 xarakteristikasining yuqori chastotada pasayishiga sababchi bo'ladi. Ikkinchi sababi rupor oldi kameradagi to'liq 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 elektrodleri bo'lib, unga polyarizatsiyalovchi (qutblovchi) U_0 kuchlanish ulansa, elektrodleri tortuvchi elektrostatik kuch paydo bo'ladi.

Agarda, kondensatorga qo'shimcha o'zgaruvchan U_{\approx} - kuchlanish berilsa, elektrodleri tortuvchi elektrostatik kuch paydo bo'ladi. Agar, kondensatorga qo'shimcha o'zgaruvchan U_{\approx} kuchlanish berilsa, yig'indi elektrostatik kuch U_0 va U_{\approx} kuchlanishlar ishorasiga mos holda o'zgaradi. Natijada, plynkaning tebranish amplitudasi ham shunga mos o'zgaradi.

Kondensatorli radiokarnaylar 5÷7 kHz dan to 20 kHz 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.

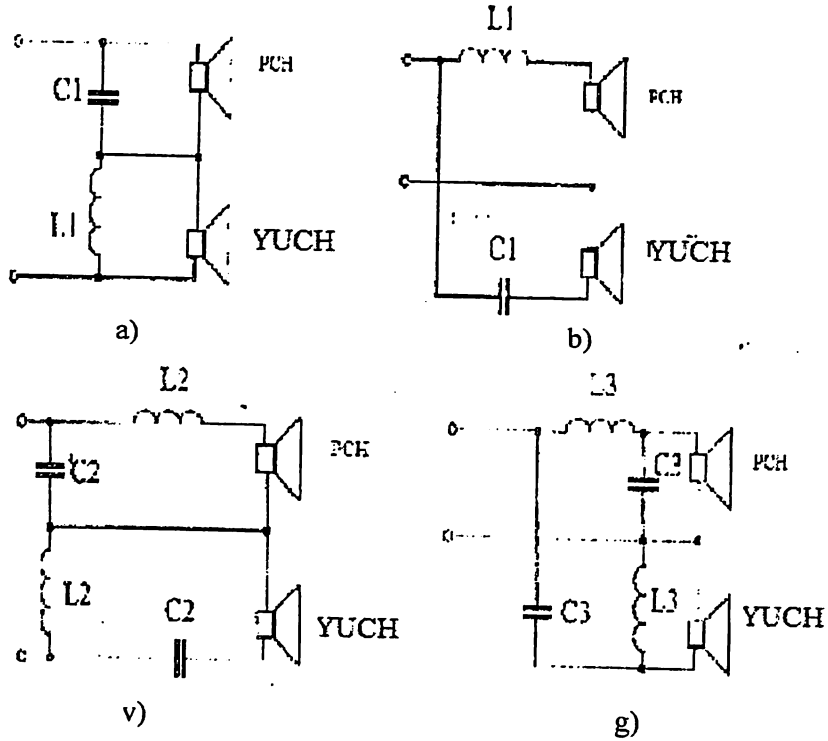
6.10. Akustik tizimlar

Oldingi bo'limlarda radiokarnaylarga nisbatan bir - biriga qarama - qarshi talablar qo'yilgan edi. Past chastotalarni samarali eshittirish uchun katta yuzaga ega bo'lgan porshen zarur, yuqori chastotalarni samarali eshittirish uchun esa, kichik porshen zarur. Bu masalaning yechimi eshittirish chastota diapazonini bir necha polosalarga bo'lishdir. Har bir polosa alohida kallakda eshittiriladi. Kallaklar konstruktiv akustik agregatlarga biriktiriladi va ular **akustik tizimlar** deb ataladi. Hozirgi vaqtda ikki va uch polosali akustik tizimlar mavjud. Ikki polosali tizimlar uchun 300÷500 Hz yoki 2000 ÷ 4000 Hz polosalar tanlanadi. Uch polosali akustik tizimlar uchun esa, 400÷4000 Hz chegaralarida tanlanadi.

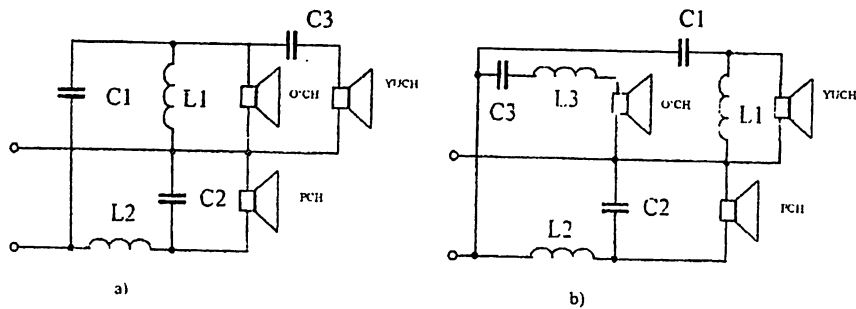
Bunda bitta - ikkita past chastotali, bitta yoki ikkita o'rta chastotali va bitta - ikkita yuqori chastotali radiokarnaylar qo'llaniladi. Polosalar bo'lish uchun elektr filtrlari yoki krossoverlar qo'llaniladi.

6.35-rasmda ikki polosali va 6.36-rasmda uch polosali tizim sxemalari keltirilgan.

Nazorat savollari



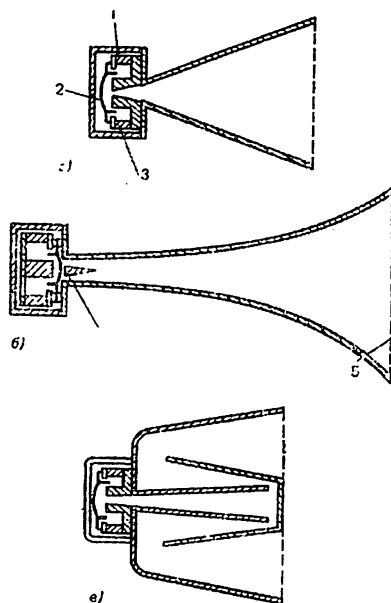
6.35 - rasm. Ikki polosali tizimlarning ajratuvchi filtr sxemalari:
 a, v – kallaklar ketma-ket ulangan;
 b, g – kallaklar parallel ulangan.



6.36 -rasm. Uch polosali tizim filtri sxemalari.

1. Radiokarnaylarning asosiy texnik tavsiflarini sanab o'ting.
2. Nurlatgichlarning qanday turlarini bilasiz?
3. Elektrodinamik radiokarnaylarda noxiziqli 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. 6.37-a rasmdagi ruporli radiokarnayning ishlash prinsipini tushuntiring.
15. 6.37-b rasmdagi ruporli radiokarnayning ishlash prinsipini tushuntiring.
16. 6.37-v rasmdagi ruporli radiokarnayning ishlash prinsipini tushuntiring.
17. 6.37-g rasmdagi seksiyalangan ruporli radiokarnayning ishlash prinsipini tushuntiring.
18. Ovozlashtirish va ovoz kuchaytirish tizimlarida qanday radiokarnaylardan foydalaniladi?
19. Chiziqli guruh nurlatgichlarning ishlash prinsipini tushuntiring.

20. Kondensatorli radiokarnayning ishlash prinsipini tushuntiring.
 21. Akustik tizimlarning afzalliklari nimalardan iborat?



6.37-rasm. Ruporli elektrodinamik radiokarnaylar:

- a) konussimon ruporli; b) eksponensial ruporli v) buralgan ruporli
 1) harakatlanuvchi tovush g'altagi; 2) diafragma; 3) o'zgarimas magnit;
 4) tovush yo'lini tenglashtiruvchi element; 5) ruporning chiqish yuzasi

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 ya.e. avvalgi V-II ming yillikda ajoyib san'at ko'rinishidagi jonli arxitekturaga ega bo'lgan ibodatxonalarni 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'liqlarining 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 Gretsiyaning 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.

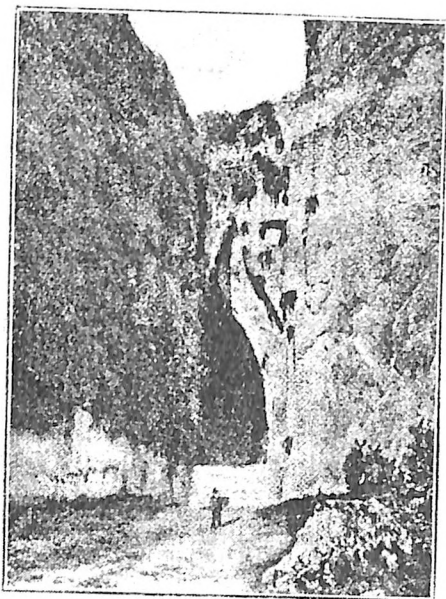
Gresiya arxitektorlarining an'analarini Rim quruvchilari davom ettirdilar. Rim inshootlari grek inshootlaridek tepaliklarga qurilmasada, ularda juda ko'p o'xshashlik bor edi. Ana shunday inshootlardan biri ya.e. avval 80 - 90-yillarda qurilgan 56 ming tomoshabinga mo'ljallangan Flaviya-Kolizey amfiteatrdir. Bunday katta inshootlarda ijrochilarning tovushini ko'p ming kishilik tomoshabinlarga tabiiyilgicha 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 tatbiqlarini 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.

Darmshtatdagi 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 konlaridagi (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 boshqalar 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.Andreyev, I.G.Dreyzen, A.N. Kacherovich, S.Ya.Lifshis, A.V. Rabinovich, S.N. Rjevkin, M.A. Sapojkov va V.V.Furduyevlar 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.

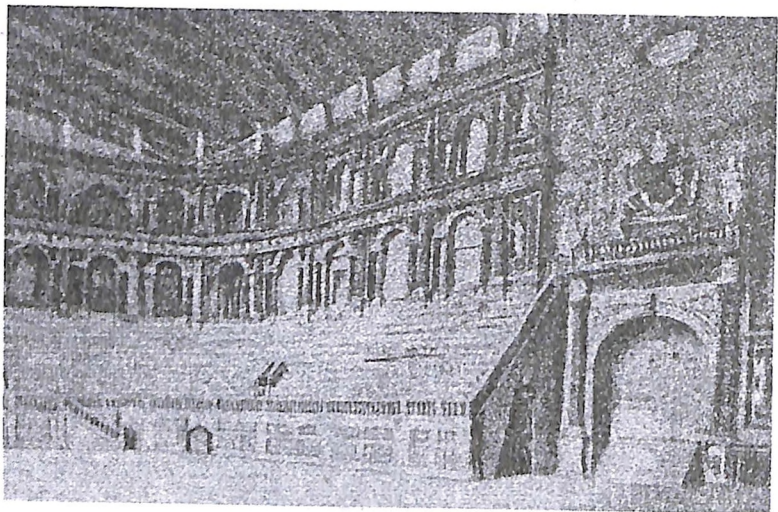
Geometrik nazariya I.G.Dreyzen, A.N.Kacherovich, L.Kontyuri, S.Ya.Lifshis ishlarida yana ham rivojlantirildi.

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, Furduyev va boshqalar tomonidan rivojlantirildi.

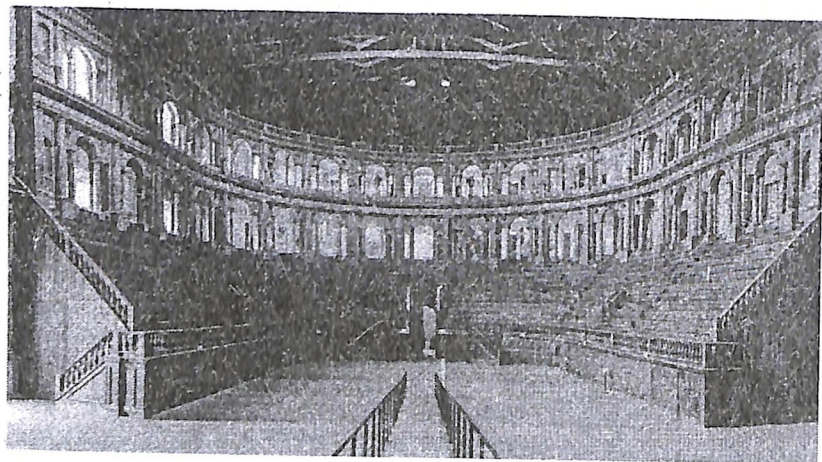
7.2. Zamonaviy teatr, konsert zallari va studiyalar

Zamonaviy teatr qadimiy teatrning sekin-asta evolyutsiyasi va dramatik ijrolarning yangicha ijrosiga moslashishi natijasi hisoblanadi. Biz yuqorida rim teatrining grek teatridan dramatik ijrolarning evolyutsiyalanishi natijasida o'zgarishini ko'rib chiqdik. Rim dramasi xor ijrosini keskin qisqartirdi va birinchi planda akterning tragik ijrosini,

sahna sharoitining barcha holatlarini kuchaytirib berdi. Bu sahnani kengaytirish va orkestr o'Ichamlarini qisqartirishga olib keldi.



7.7-rasm. Vinchenche (Italiya) dagi Olimpiko teatri.



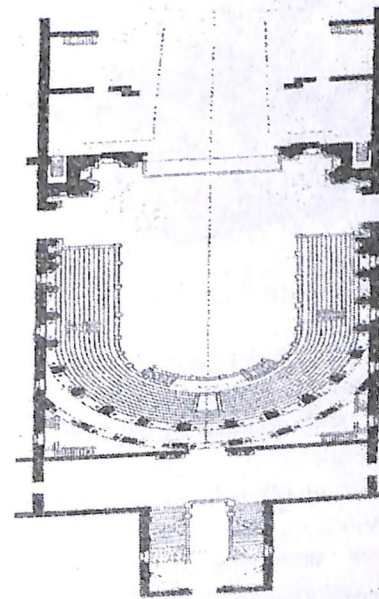
7.8-rasm. Parmedagi Farnese teatri.

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, ananalarini 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 shaklini saqlaydi (7.7-rasm).

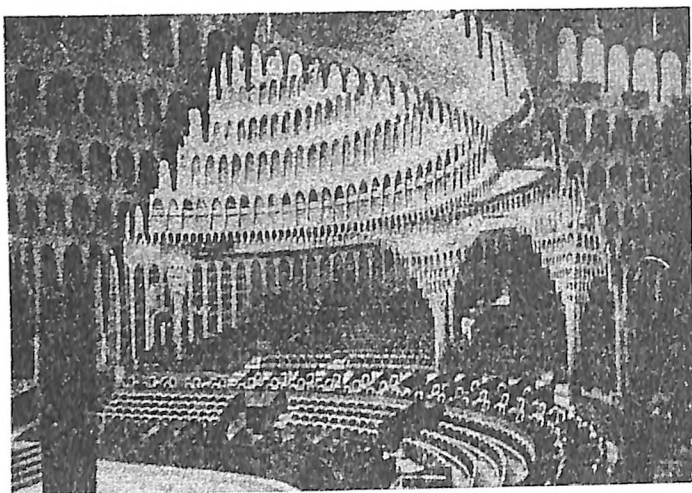


7.9-rasm. Parmedagi Farnese teatr plani.

Orkestr 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 evolyutsiyaning keyingi bosqichini ko'rsatadi (7.8; 7.9-rasmlar).

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).



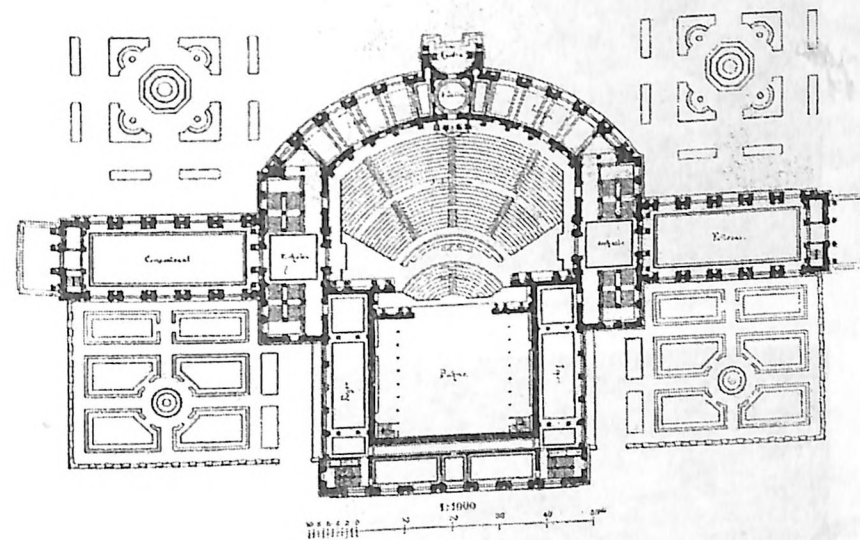
7.10- rasm. Berlindagi Katta teatr tomosha zali.

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 darajasida ko'tarilgan. Devorlarda lojalar yarus va galereyalar bilan almashtirilib joylashtirilgan. Oddiy hisob-kitoblar shuni ko'rsatadiki, bunday usulda joylashtirilish bir xil

yuzaga ega bo'lgan teatrga antik amfiteatrga nisbatan ko'proq tomoshabinlarni joylashtirish imkonini beradi. Akustik nuqtai nazardan bunday joylashtirish anchagina noqulay, chunki parter va galereyalarning oxirgi qatoridagi tomoshabinlar yuzga tovush to'liqlarni 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.

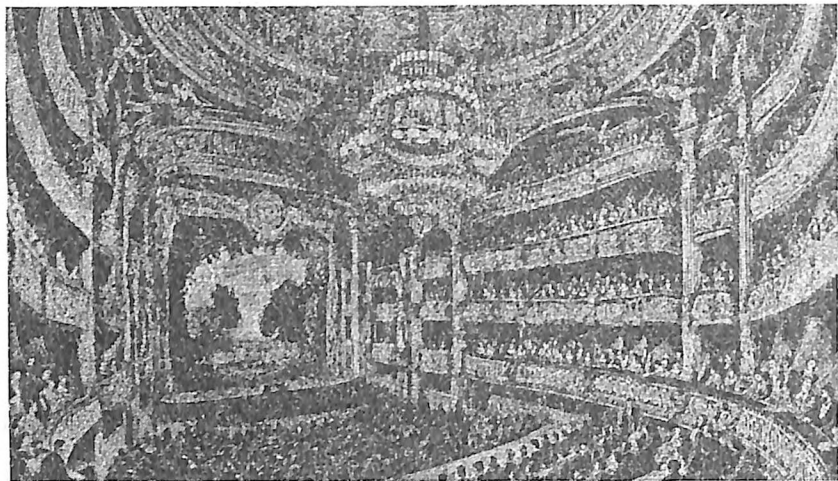
Undan tashqari yuqorida bayon etilgan shakllarning turli kombinatsiyalari shaklidagi teatr binolari ham uchraydi.

O'zining o'lchamlari va belgilanishi bo'yicha teatr bir necha guruhlariga bo'linadi.

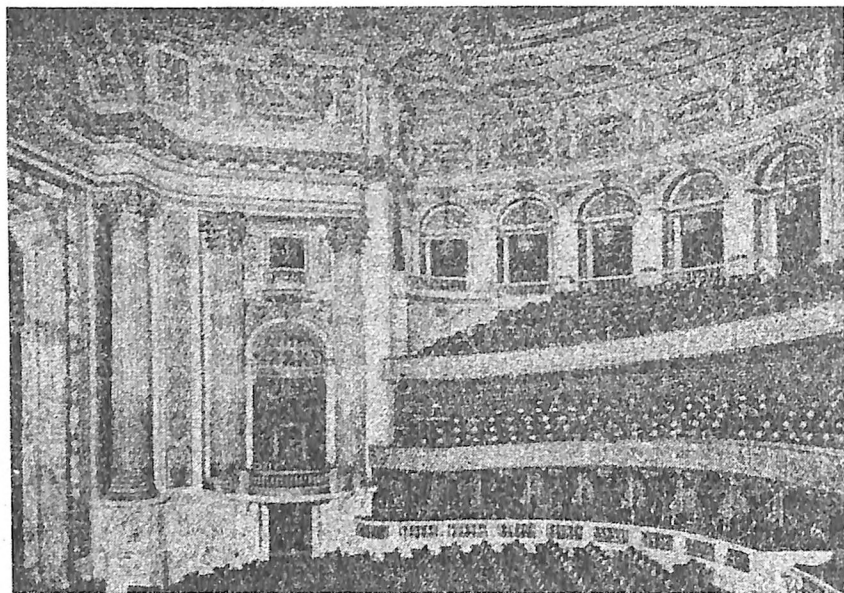
Birinchi guruhga opera va baletga mo'ljallangan teatrlar kiradi.

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.

Misolalar: 1400 o‘rinli Visbadendagi Imperator teatri. 1800 tomoshabinga mo‘ljallangan Kelndagi Shahar teatri.

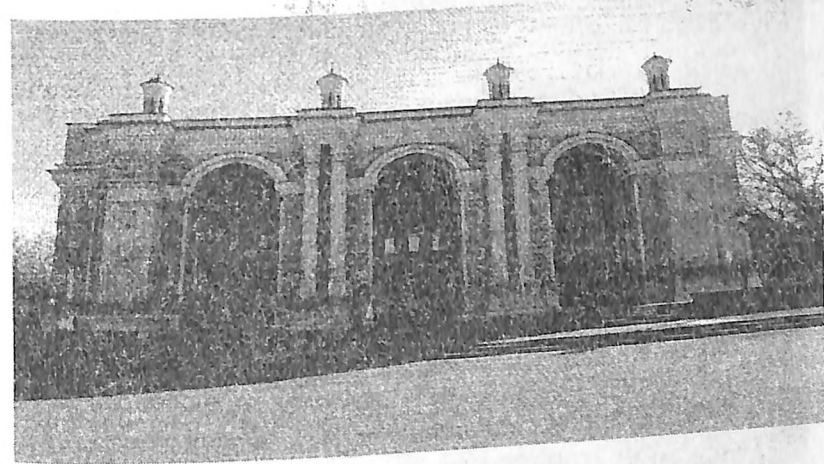
Uchinchi guruhga faqat dramatik ijrolar uchun mo‘ljallangan teatrlar kiradi.

Misolalar: 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.

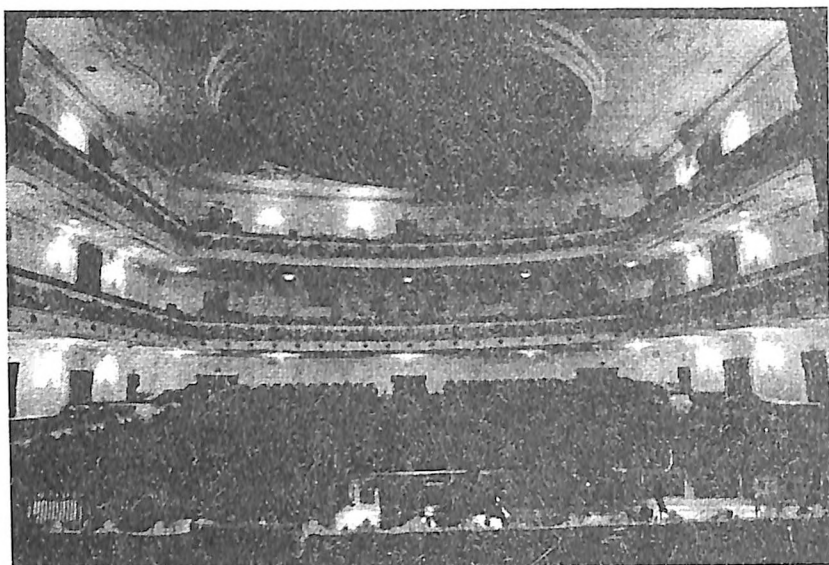
To‘rtinchi guruhga oraliq turdagi, jumladan: Vagner teatrlarini kiritish mumkin. Bu teatrlar Vagner operalarini, ya‘ni musiqali dramalarni ijro etishga belgilangan. Bunday teatrning namunasi sifatida Myunxendagi 1100 o‘rinli Prinz-Regenten teatrlarini keltirish mumkin. O‘zining o‘lchamlari bo‘yicha dramatik teatrlarni 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:



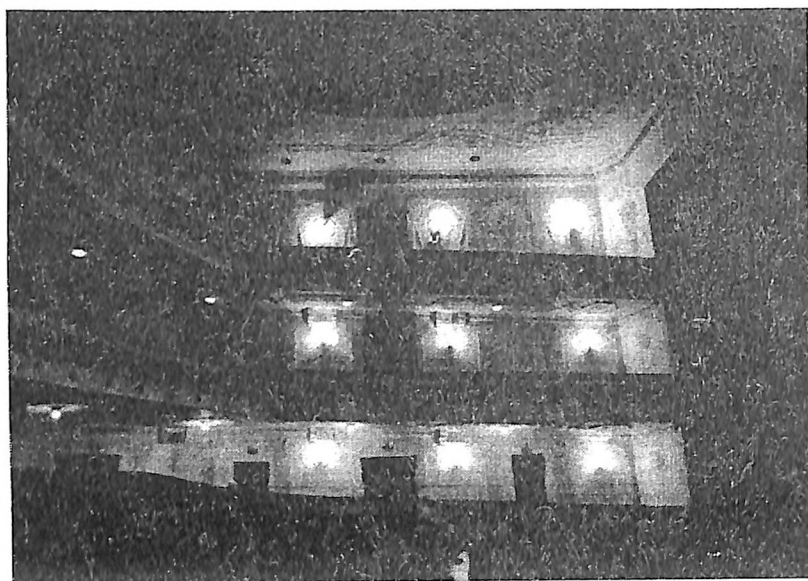
7.14-rasm. AlisherNavoiy nomli Davlat Akademik Katta Teatr binosining old ko‘rinishi.



7.15-rasm. A.Navoiy DAK Teatr tomosha zali.



7.17-rasm. A.Navoiy DAK Teatr tomosha zali sahnasi.



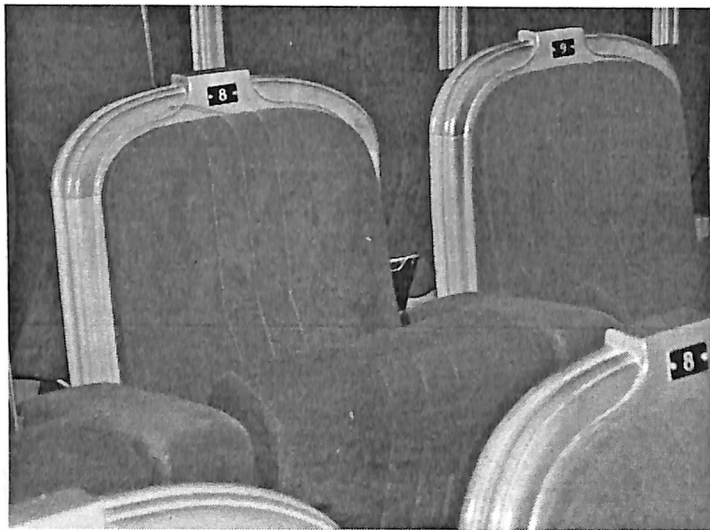
7.16-rasm. A.Navoiy DAK Teatr tomosha zali yon tomoni va balkoni.



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.



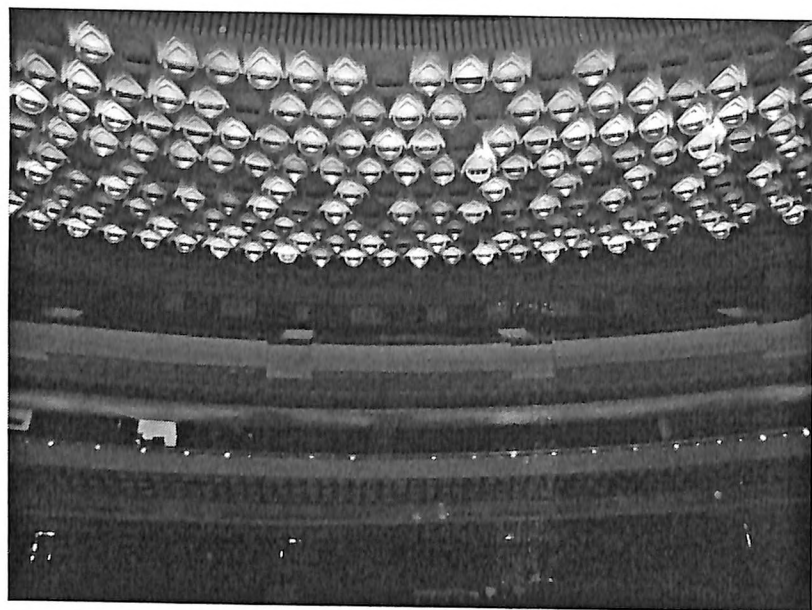
7.21-rasm. "Xalqlar do'stligi" tomosha zali umumiy ko'rinish.



7.22-rasm. "Xalqlar do'stligi" tomosha zali, balkon va shiftning bir qismi ko'rinishi.

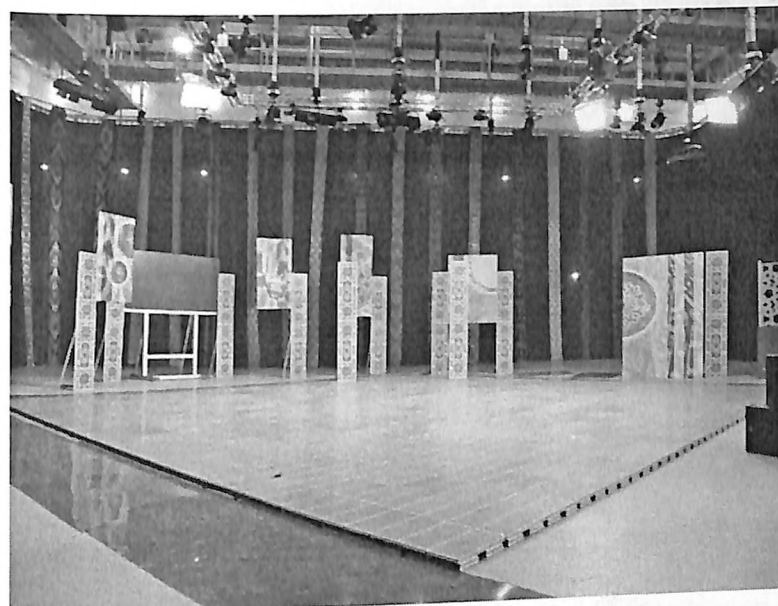


7.23-rasm. “Xalqlar do‘stligi” sahna va sahna oldi shifti ko‘rinishi.



7.24-rasm. “Xalqlar do‘stligi” tomosha zali, balkon va shiftdagi yoritgichlar.

“Media markaz”



7.25-rasm. Tasvirga olish paviloni.



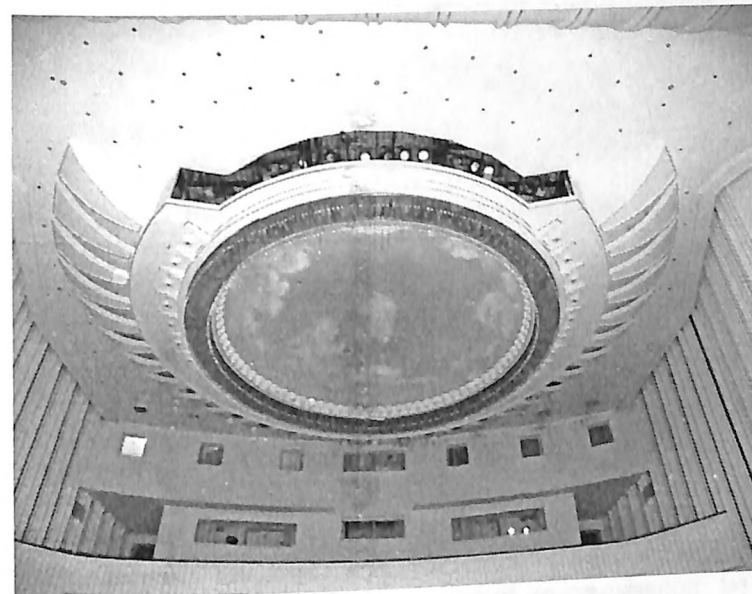
7.26-rasm. Tasvirga olish paviloni shiftiga o‘rnatilgan yoritgichlar.



7.27-rasm. Toshkentdagi Milliy teatr tomosha zalining sahna tomondan ko'rinishi.



7.28-rasm. Toshkentdagi Milliy teatrning tomosha zali va sahnasi.



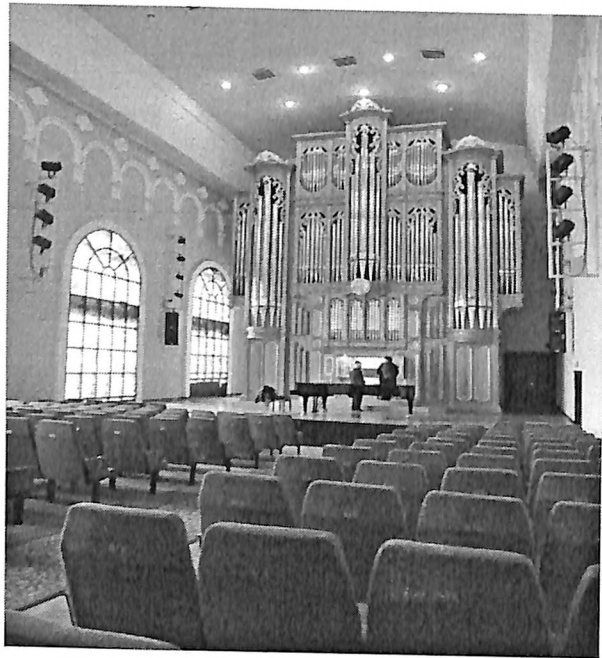
7.29-rasm. Milliy teatr tomosha zali, balkoni va shifti.



7.30-rasm. "Turkiston" saroyi sahnasi.



7.31-rasm. "Turkiston" saroyi tomosha zali.

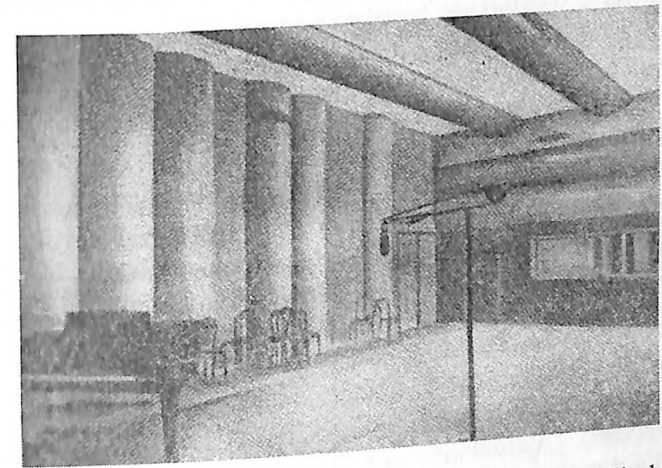


7.32-rasm. O'zbekiston Davlat Konservatoriyasining "Organ" zali.

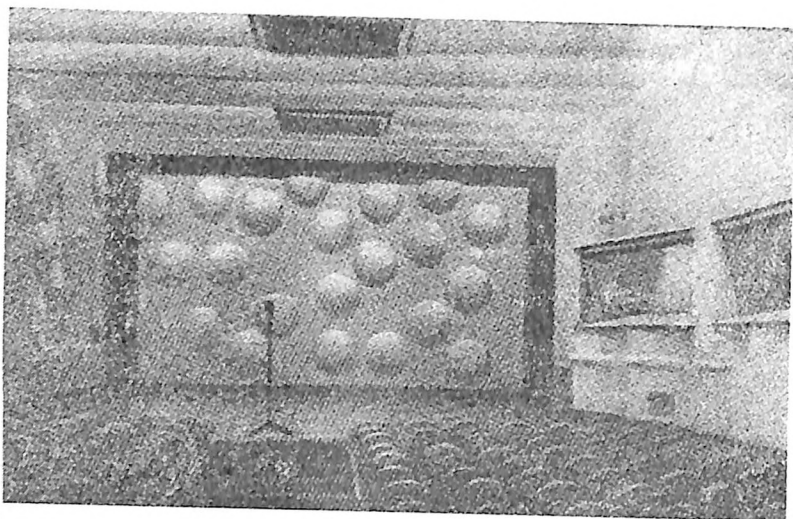
Yuqorida keltirilgan misollardan shuni aytish mumkinki, zamonaviy teatrlar nisbatan katta sonli tomoshabinlarga mo'ljallangan, ularning soni ko'pi bilan-3000 kishi bo'lishi mumkin. Teatrlar o'rtacha 600÷1000 tomoshabiniga mo'ljallab quriladi. Bunday o'lchamdagi teatrlarning akustik sharoitlari biron-bir 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 haqiqiy 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).



7.33-rasm. Devor va shiftda tovush sochuvchi yarimsilindrlar o'rnatilgan radioeshittirish studiyasi (AQSH).



7.34-rasm. Devorga sferik tovush sochuvchi o'rnatilgan 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 o'lchamda va ko'p 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 ta'kidlaganimizdek zallarning shakli turlicha: doira, yarim doira, ellips ko'rinishida bo'lishi mumkin. Ammo shuni ta'kidlash zarurki, zalning turli o'lchamlari nisbati uning badiiyligi didiga zid bo'lmasligi kerak. Zallarning biron bir o'lchami boshqalaridan sezilarli katta (baland, uzun yoki keng va aksincha qisqa, past va tor) bo'lsa, bunday zallar hech qachon akustik nuqtai nazaridan samarali bo'lmaydi, chunki bunday zallarning hajmi bo'yicha tovush energiyasi zichligi turlicha bo'ladi. Agar, zal ellips shaklida bo'lsa, fransuz olimi Burdening ta'kidlashicha, har bir tovush nuri zal devorlarining ma'lum yuzalaridan qaytib boshqa nurlar bilan kesishmasdan tinglovchiga yetib boradi. Ammo bu taxminlar faqat birinchi qaytish nurlarigagina tegishli. Keyingi ko'p sonli qaytarilishlar

turli yo'nalishlar bo'yicha tarqaladi va reverberatsiya vaqti bilan aniqlanadigan oddiy sharoit yuz beradi. Bu holda zalning shakli o'zining spesifik xususiyatlarini yo'qotadi. Umuman olganda zalning shunday shakli yo'qki, u o'z-o'zidan (absolyut o'lchovlaridan qat'i nazar) akustik muvaffaqiyatni kafolatlasin. Boshqa tomondan, akustik kamchiliklarni oldindan ko'rabiladigan yoki biroz susaytiradigan zal shakli yo'q. Zalning shakli to'g'risida shunday fikrni aytish mumkin, zalning turli o'lchamlari nisbati uning badiiyligiga zid bo'lmasligi kerak.

Tovush kuchi. Qadim-qadimdan arxitektura akustikasida shunday qoida mavjudki, unga rim va grek arxitektorlari ham qat'iy amal qilganlar. Bu qoida shundan iboratki, tinglovchiga to'g'ri tushayotgan tovush nuri qanchalik kuchli bo'lsa, tinglovchi tovushni shunchalik yaxshi qabul qiladi. Bu qoidani bajarilishi uchun tinglovchi o'rindiqlari amfiteatr ko'rinishida joylashtirilishi lozim. O'rindiqlarning bunday joylashtirilishi, ayniqsa, tovush nuri tinglovchilarga susaygan holda yetib keladigan joydan, ya'ni sahnadan taxminan 20÷25 metr masofadan boshlangani ma'qul. Hozirgi konsert zallarida parterning tugashidan boshlab o'rindiqlar xuddi shunday, amfiteatr bo'yicha o'rnatiladi. Parter bilan sahna oralig'idagi masofa kamida 3÷4m tashkil etishi lozim. Tinglovchilarga tushayotgan to'g'ri tovush nuri kuchini oshirish maqsadida sahna poldan 1÷1,20 metr balandlikda bo'lgani ma'qul. Katta konsert zallarida turli tovush qaytaruvchi shakl va materiallardan foydalanish hamda, zamonaviy tovush kuchaytiruvchi tizimlarning qo'llanilishi hisobiga zalning reverberatsiya vaqti ma'lum darajada boshqarilishi mumkin va shuning hisobiga tovush kuchi qiymati yetarlicha bo'ladi.

Katta konsert zallarda tinglovchilarga qulaylik yaratish bo'yicha qilinadigan ko'pgina masalalar bilan birga zal ventilyatsiyasi muhim rol o'ynaydi. Bu alohida mavzu bo'lib, uni studiyaning akustik hisobi bo'limida ko'rib chiqamiz.

Ovozning tiniqligi va tovush go'zalligi. Xonada ovoz tiniqligiga unga biron-bir shovqin yoki qaytgan tovush aralashmagandagina erishish mumkin. Xonaning normal reverberatsiyasi tovushga yoqimli mayinlik baxsh etadi. Zalda aks sadolanish bo'lganda ovoz tiniqligi keskin o'zgaradi. Zalda optimum reverberatsiya vaqti ta'minlanadigan darajada loyihalanganda uni sinchkovlik bilan aks sado beradigan biron-bir yuza borligini tahlil etish kerak. Shunday yuzalar mavjud bo'lsa, darhol qayta loyilash yoki bunday yuzalarni tovush qaytaruvchi materiallar bilan qayta

ishlash lozim. Bunday qayta ishlashlar tabiiyki, reverberatsiya vaqtini o'zgartiradi. Hulosa qilib aytganda, zalning dastlabki loyahasiga optimal reverberatsiya vaqti saqlanib qoladigan darajada o'zgartirish kiritilishi lozim.

Tovush go'zalligi – aniqrog'i tovush uzatish go'zalligi deb, odam ovozing, ashula va musiqaning barcha nyanslarini tinglovchilarga aniq va buzilishsiz yetkazib berish tushuniladi. Bu arxitektura akustikasining muammoli masalalaridan biri hisoblanadi. 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 tembrleri 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 teatrlardan tovush signallarini yuqori sifatli uzatish va qayta ishlash muammo darajasida emas.

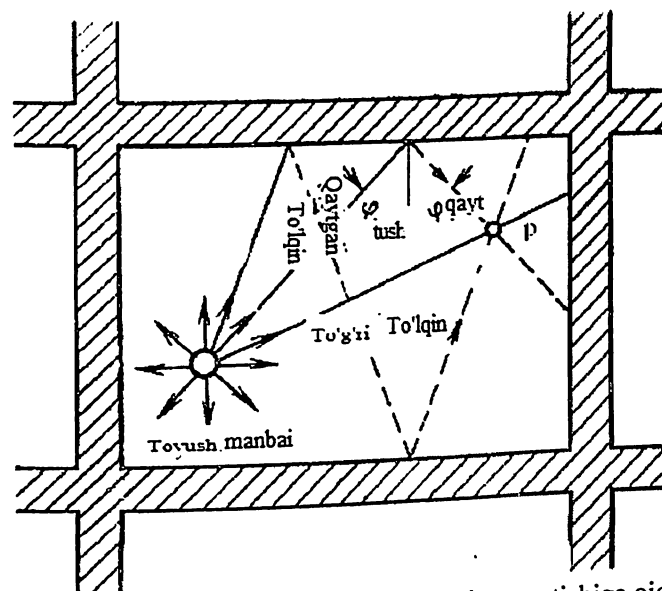
7.3. Xona akustikasining statistik nazariyasi

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 7.35 - rasmda keltirilgan.

Tovush impulsining har bir qaytishida tovush energiyasining bir qismi yutiladi, natijada tinglovchi sekin-asta so'navotgan impulslarni eshitadi. Xonada tovush manbai o'chirilgandan so'ng tovushning bunday "davomli" so'nishi **reverberatsiya** nomini olgan. Xonada tovush manbai o'chirilgan vaqtdan, to qaytgan tovush eshitilarshehtilmas 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» ma'nosini bildiradi.

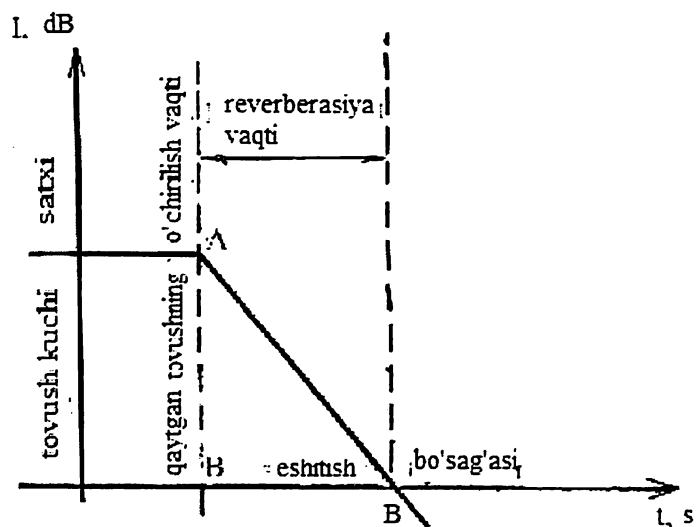
Agarda, tovush so'nishi katta bo'lmasa, xona o'ta jarangdor bo'lib, unda nutq aniqligi yo'qoladi. Aytilgan mulohazalar musiqaga ham taalluqli.



7.35-rasm. Xonada tovush to'liqining qaytishiga oid.

Haqiqatan ham xonada so'nish katta bo'lganda, reverberatsiya vaqti kichik bo'ladi, musiqa quruq yangraydi, natijada musiqa o'zining go'zal, nafis estetik xususiyati va ta'sirini yo'qotadi. Bu mulohazalardan shu narsa kelib chiqadiki, xonaning sifatini aniqlaydigan birdan-bir parametr qaytgan tovush signalining davomiyligi, ya'ni **reverberatsiya vaqti** davomiyligidir.

7.36-rasmda xonada tovush energiyasining so'nish jarayonini aks ettiruvchi grafik keltirilgan. Bunda ordinata o'qi bo'yicha 7.36-rasmdagidan farqli ravishda o'lchamlar 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 τ (tau) harfi bilan belgilaymiz, ya'ni uning qiymati qanchalik katta bo'lsa, reverberatsiya vaqti shunchalik kichkina bo'ladi, AB chiziq keskin tushadi.



7.36-rasm. 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'liq chastotalari oshganda reverberatsiya kamayadi.

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!

Shularni e'tiborga olgan holda quyidagi 7.1- jadvalni tuzamiz:

No	Reverberatsiya oshadi, agarda:	Tushuntirish
1	Xona hajmi oshsa	Xona hajmi oshganda, devor, pol va shift orasidagi masofa oshadi, demak, ketma-ket qaytayotgan ikkita tovush to'liqlari orasidagi vaqt ham oshadi. Qaytayotgan tovush to'liqlari chastotasi pasayadi
2	Xonada tovush yutish koeffitsiyenti 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.

Reverberatsiyaning statistik nazariyasiga murojaat qilganda 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 koeffitsiyenti;
- 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'liqlari xonada turli yo'nalishda tarqaladi. Agarda, qaytgan tovush tez so'nmasa, unda xonaning istalgan nuqtasida bir-biriga ustma-ust tushadigan to'liq 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'liqlar maydoni.

To'liqlarning o'rtacha erkin o'tish yo'li va vaqti. Xonadagi tovush maydonini statistik tekshirishlar, avval to'siqlardan qaytayotgan to'liqlarning 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'liqlar soni:

$$n = \frac{\ell}{\tau} = \frac{cS}{4V}. \quad (7.3)$$

Tovush to'liqining o'rtacha erkin bosib o'tgan yo'li:

$$\ell_{o'rt} = c\tau = \frac{4V}{S}, m/c. \quad (7.4)$$

Tovush energiyasining so'nishi va o'rtacha so'nish ko'effitsiyenti Tovush to'liqini yuzaga tushib qisman undan qaytadi, qisman yuzadagi materialda yutilib issiqlik energiyasiga aylanadi. Tovush to'liqining tushishi va qaytishi akustikaning geometrik qonuniga bo'ysunadi. Xonada qaytishdan so'ng qolgan tovush to'liqini energiyasi qaytish

ko'effitsiyenti β , tovush yutish ko'effitsiyenti α va tovush o'tkazish ko'effitsiyenti γ larga bog'liq:

$$\alpha = \frac{Ye_{yutil}}{Ye_{tush}}; \beta = \frac{Ye_{qayt}}{Ye_{tush}}; \gamma = \frac{Ye_{o'tgan}}{Ye_{tush}}. \quad (7.5)$$

Bunda, Ye_{tush} - yuzaga tushgan tovush energiyasi; Ye_{qayt} - yuzadan qaytgan tovush energiyasi; $Ye_{o'tgan}$ - yuzadan o'tgan tovush energiyasi. α , β va γ - ko'effitsiyentlarning qiymatlari materialga, yuzaning konstruktiv tuzilishi va tovush to'liqining yuzaga tushish burchagiga bog'liq. Tovush yutish ko'effitsiyentining o'rtacha qiymati:

$$\alpha_{o'rt} = \frac{1}{n} \sum_1^n \alpha_i(\varphi_i), \quad (7.6)$$

$\alpha_i(\varphi_i)$ - tovush to'liqining φ_i burchak ostidagi tovush yutish ko'effitsiyenti. Xonaning devorlari turli xildagi so'ndiruvchi materiallar bilan qoplanganligi sababli, ularning umumiy tovush yutish fondi quyidagicha ifodalanadi:

$$A_0 = \alpha_1 S_1 + \alpha_2 S_2 + \dots + \alpha_n S_n = \sum_{i=1}^n \alpha_i S_i. \quad (7.7)$$

Qo'shimcha fondga ijrochilar, tinglovchilar va ular egallagan yuza, hisobga olinishi qiyin bo'lgan anjomlar kiradi, qo'shimcha yutilish fondi:

$$A_{qo'sh} = \alpha_{qo'sh} S.$$

Xonadagi umumiy tovush yutilish qiymati:

$$A = \sum \alpha_i S_i N_k + \sum A_k N_k + \alpha_{qo'sh} S, \quad (7.8)$$

bunda: $A = \sum \alpha_i S_i N_k + \sum A_k N_k + \alpha_{qo'sh} S$ tovush yutilish birligida ifodalangan. Tovush yutish birligi etib $1m^2$ ochiq oynaning yutish ko'effitsiyenti olinadi, $\alpha = 1$ teng. Xona uchun o'rtacha tovush yutilish ko'effitsiyenti:

$$\alpha_{o'rt} = \frac{A}{S} \text{ ga teng.} \quad (7.9)$$

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:

$$T_p = 0,161 \frac{V}{-S \ln(1 - \alpha_{o'ri}) + 4\mu V}, \quad (7.10)$$

bunda, $4\mu V$ – tovushning havoda so‘nish qiymati.

Katta bo‘lmagan xonalar uchun va 1000 Hz dan past chastotalarda havodagi so‘nish koeffitsiyenti $4\mu V$ ni inobatga olmasa ham bo‘ladi. 4000 Hz dan yuqori chastotalarda $4\mu V$ asosiy rol o‘ynaydi va reverberatsiyaning standart vaqti kamaya boradi.

Hisob - kitoblarda ko‘proq so‘nishning reverberatsiya koeffitsiyenti $\alpha = -1 \ln(1 - \alpha_{o'ri})$ 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

$$R = \frac{\mathcal{E}_{dif}}{\mathcal{E}_{to'g'g'}} \text{ yoki } R = \frac{P_{dif}^2}{P_{to'g'g'}^2}, \quad (7.12)$$

akustik nisbat deb ataladi.

Tovush manbaigacha bo‘lgan $R=1m$ masofa **jarangdorlik radiusi** deb ataladi. Yakka tovush maydoni uchun jarangdorlik radiusi

$$r_j = \sqrt{\frac{\alpha S \Omega_j R^2(\theta)}{50,3(1 - \alpha)}} \quad (7.13)$$

Akustik nisbatning o‘zgarishi reverberatsiya vaqti o‘zgarishidek eshitiladi. Bu effektni baholash uchun **reverberatsiya ekvivalenti** tushunchasi kiritilgan.

$$T_{ekv} \approx \frac{1,2T_p}{1,2 + T_p \lg\left(\frac{\Omega_m + R}{R}\right)}, \quad (7.14)$$

Bunda, Ω_m – mikrofonning yo‘nalganlik koeffitsiyenti.

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” nisbatlaridan foydalanib, chiziqli o‘lchamlari: uzunligi ℓ , 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-arxitekturasi 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 qavatlar 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 studiyalarining klassifikatsiyalari 7.2-jadvalda keltirilgan.

7.2-jadval

Studiyaning nomi	Studiyaning belgilanishi	Studiya polining yuzasi, m ²	Studiyaning balandligi, m	Ijrochilar soni, N _{opt}
Katta TV studiya	Musiq, adabiy-dramatik eshittirishlar va ko'p sonli ijrochilar ishtirokidagi murakkab dekoratsiyali sahnalarni tasvirga tushirish uchun	1000	15	400
		600	11,0	250
O'rtacha TV studiya	Musiq, 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- musiq, kichik adabiy-dramatik eshittirishlar va dekoratsiyasi murakkab	150	6,5	30
		100	5,-6,0	20
		50-80	4,-5,0	10-15

7.2-jadvalning davomi

	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'rtali 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
	Katta musiqa (katta simfonik orkestr, xor va b.q. ijrosidagi tinglovchilar ishtirokidagi eshittirishlar	650-1000	11,0-13,0	200-250
Diktor telekommentator studiyasi	Simfonik musiqa (kichik sonli orkestr ijrosida), estrada va djaz muzikasini	750	12	150

7.2-jadvalning davomi

Radioeshit. katta konsert studiyasi	yozish uchun Katta bo'lmagan orkestr va xor ijrolarini yozish uchun	350-450	8,5-10	40-65
RE katta KS (tinglovchilarsiz)	Kamer musiqasini ijro etish, solist-vokalistlar, kichik muzika eshittirishlari uchun	250-300	8,0-8,3	30-35
O'rtacha RE konsert studiyasi	Katta radio spektakllarni yaratish va uzatish uchun	150	6	10-15
O'rtacha RE konsert studiyasi	Badiiy o'qishlar, kichik radio spektakllar uchun	150-200	6-6,5	20-30
Kichik musiqa RE studiyasi	Informatsion eshittirishlar, so'ngi axborot	100	5	10-15
RE kamer studiyasi	Adabiy-dramatik yozuvlarda maxsus effektlar yaratish uchun		3,2-3,5	2-4

7.2-jadvalning davomi

Katta ADS studiya	Fonogrammalarni qayta yozish, programma fragmentlarini konservatsiyalash uchun yozish		4	6-10
O'rtacha ADS	Reverberatsiyasi o'zgaruvchan jarangdor effektlarni yaratish uchun)	3,5	1-2
Nutq studiyasi	Ekspertiza o'tkazish uchun		4	-
Tovush so'ndirilgan studiya		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.

7.3-jadval

Optimal reverberatsiya vaqti va uning chastota xarakteristikasi

Studiya turi	Hajm, m ³	T _{opt 500} , 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 Hz chastotada 50% gacha oshishi mumkin
Radioeshittirish katta konsert studiyasi	≥ 3000	1,7-1,8	Gorizontal-chiziqli, 125 Hz chastotada 20-30% oshishi mumkin
Adabiy-dramatik blok	500-800	0,-0,6	100-5000 Hz polosada gorizontal-chiziqli Gorizontal-chiziqli
Tovush so'ndirilgan adabiy-dramatik blok	100-150	0,2-0,25	150-3000 Hz polosada past va yuqori chastotalarda biroq

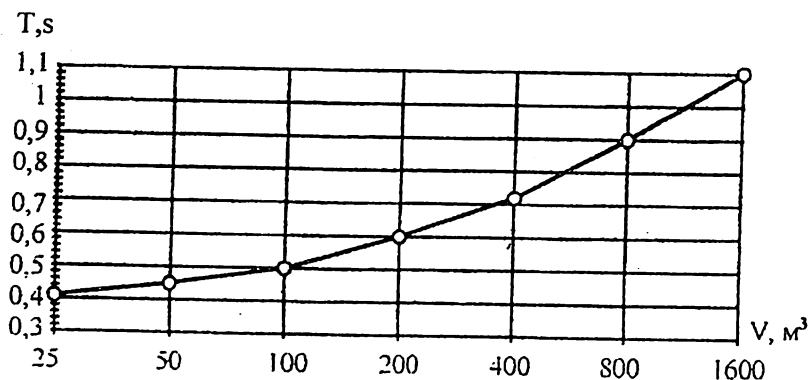
7.3-jadvalning davomi

Tovush so'ndirilgan adabiy-dramatik blok	100-150	3,0-3,5	pasayish bilan, gorizontal-chiziqli Gorizontal-chiziqli Gorizontal-chiziqli
TV telepostanovkalar studiyasi	≥ 3000	0,7-0,8	
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 studiyalarning 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 7.37-rasmda keltirilgan egri chiziqdan aniqlash mumkin.

Shunday qilib, optimal akustik sharoitlarni yaratish uchun nutq studiyasi quyidagicha bo'lmog'i shart:
-reverberatsiya vaqti 0,4÷0,8 s;
- reverberatsiya vaqtining chastota tavsifi yuqori chastotalargacha chiziqli bo'lishi kerak.



7.37- rasm. Optimal reverberatsiya vaqtining nutq studiyasi hajmiga bog'liqligi grafigi.

Musiqa 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 2000m³ 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 Hz chastotada:

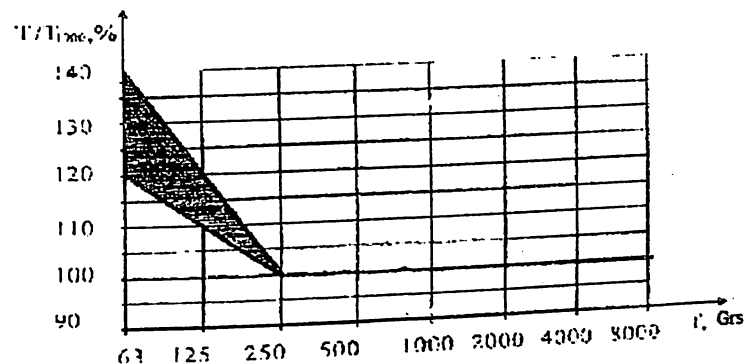
- zamonaviy musiqa uchun – 1,48 s;
- klassik musiqa uchun – 1,54 s;
- romantik musiqa uchun – 2,07 s tashkil etadi.

Kichik hajmdagi musiqa studiyalari uchun optimal reverberatsiya vaqti 7.38 - 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.

Yuqorida bayon etilgan fikrlarga asosan, musiqa studiyalari reverberatsiya vaqtining akustik talablarini quyidagicha ifodalash mumkin:

1. Kichik va o'rta hajmdagi musiqa studiyalarining optimal reverberatsiya vaqti 1÷1,6 s bo'lib, studiyalarning hajmiga nisbatan tanlanadi.



7.38-rasm. Musiqa studiyalari uchun optimal reverberatsiya vaqti grafigi.

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÷1,8 s.

3. Past chastotalarda optimal reverberatsiya vaqti o'rta chastotalardagiga nisbatan 20÷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'liqini yutilish fondi ham o'zgarib turadi;

- TV kadri o'zgarganda unga mos holda ovoz tavsiflari ham o'zgarishi lozim. Shuning uchun TV studiyalarining reverberatsiya xarakteristikalarini sun'iy tizimlar yordamida boshqariladi. Reverberatsiya vaqtini ma'lum diapazonda boshqarish uchun TV studiyasining reverberatsiya vaqti 0,7÷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 talablarning bajarilishiga erishish zarur:

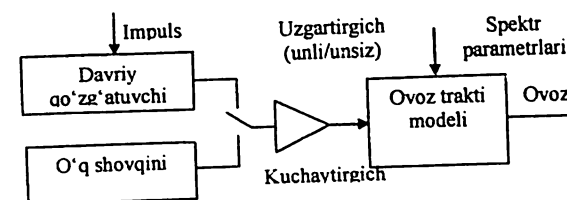
1. Reverberatsiya vaqti $0,8 \div 1,0$ s ga teng bo'lgan holda studiya hajmiga bog'liq bo'lmasligi kerak.
2. TV studiyalarni tovush so'ndirish koeffitsiyenti $0,7 \div 0,8$ ga teng bo'lgan so'ndiruvchilar bilan qayta ishlash zarur.
3. Reverberatsiya vaqti chastota tavsifining chiziqli bo'lishiga erishish 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 garmonik so'zlashuvchi va nutq so'zlovchilarining lineyer 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 harakatga 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 quvyatini 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 etilgan 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

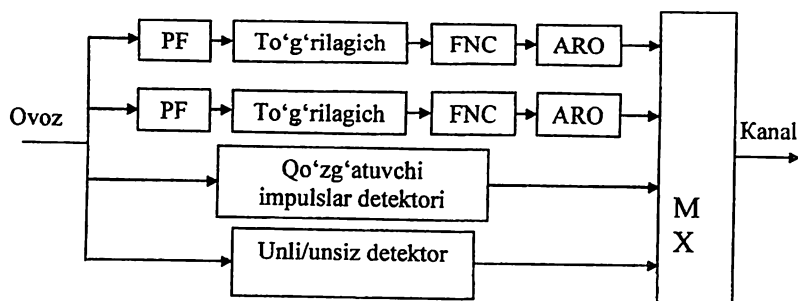
samarali himoya qiladi. Vokoderning asosiy turlarini qisqacha ko'rib chiqamiz.

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.

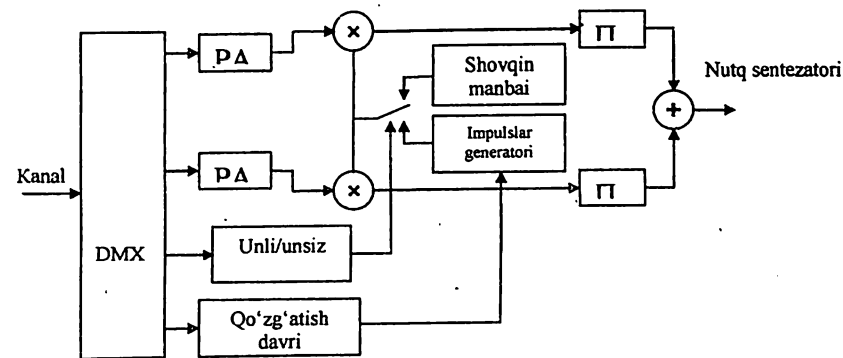
Shunday qilib, ovoz chiqaruvchi traktning sekin o'zgarib boruvchi parametrlari aniqlanadi, bundan tashqari asosiy ton va unli ovozlari detektor yordamida, asosiy ton qo'zg'atuvchi davri va unli/unsiz tovush ko'rsatgichi.

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.k.

Formant vokoderlar

Yuqorida ta'kidlab o'tilganidek, nutq signali haqidagi 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 ovoqli traktning doimiy impulsli o'tkazuvchan xarakteristikasiga ega chiziqli filtr bilan ifodalaydi.

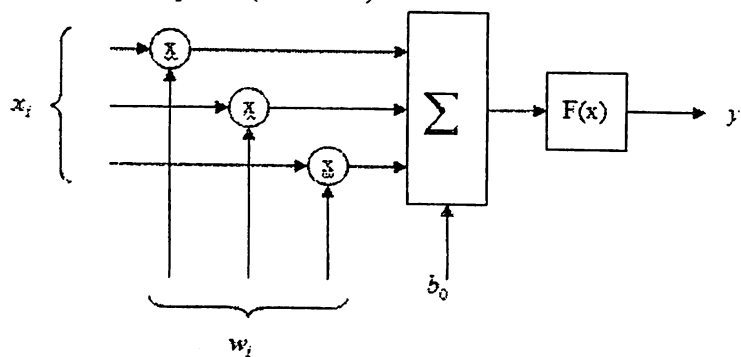
- o'qitish usuli bo'yicha (ruxsat etilgan yoki moslashtirilgan);
- saqlanadigan ma'lumot turi bo'yicha (nutq tanlash yoki shovqinni amalga oshirish).

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 kodlash uchun neyrotarmoqli texnologiyalar tahlili. 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 hisobga 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:

$$y = \int x(t)w(t)dt. \quad (20.3)$$

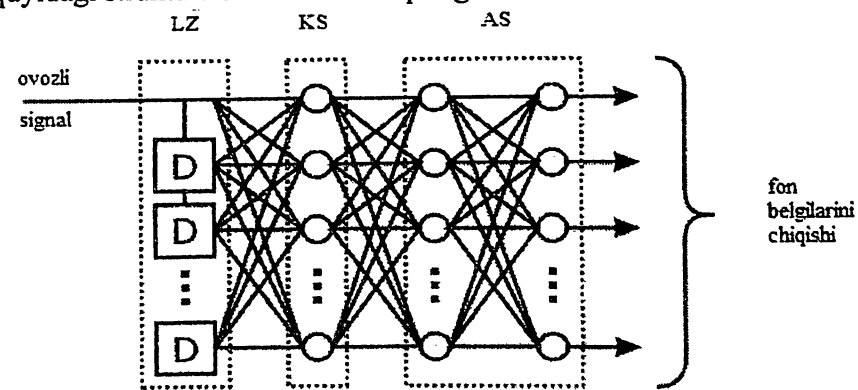
Neyronning kiruvchi vektori "oyna"ga kiruvchi signal qirgimi hisoblanganligi va ushbu "oyna" vaqt o'qi bo'ylab harakatlanishini hisobga olib, neyron chiqishi quyidagi ko'rinishga ega bo'ladi:

$$y(\tau) = \int x(t)w(t - \tau)dt, \quad (20.4)$$

bu yerda, τ – kiruvchi signalga nisbatan oynaning siljishi.

(20.4) ifodadan ma'lumki, tavsiflangan usul bilan neyronni kirishiga diskret signalni uzatganda kiruvchi signal va ichki neyron funksiya og'irligi orasidagi korrelyatsiya neyronning chiqishi hisoblanadi.

Ushbu xususiyatlar asosida ovoz signalarini tanib olishning quyidagi struktura sxemasi taklif qilingan:



8.6-rasm. Fonemani tanib olish struktura sxemasi.

Tahlillovchi kadrğa 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 tahlillovchi tarmoq kirishiga tushadi. Tahlillovchi 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 neyropsessorlar 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 neyropsessorlardan keng foydalanib kelinmoqda. Bundan tashqari, murakkab masalalarni yechishda maxsus dasturiy ta'minotga o'sha 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 neyropsessorlardan 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 yuqori chastotali analog signallarni tahlil qilish uchun mo'ljallangan. Ushbu mikrosxema kam energiya sarflaydi, yuqori ishonchlilik va xalqitbardoshlilikka 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 signallari sifatini oshirish maqsadida neyron tarmoqlar bo'yicha izlanishlar olib borilmoqda.

Foydalanilgan adabiyotlar

1. Сапожков М.А. Электроакустика. Учебник для вузов.-М.: Связь.1978.
2. Ефимов А.П., Никонов А.В., Сапожков М.А., Шоров В.И. Под ред. Сапожкова М.А.. Акустика. Справочник.-М.:Радио и связь, 1989.
3. ГОСТ 16121-91. Микрофоны. Методы электроакустических измерений.
4. ГОСТ 16122-91. Громкоговорители. Методы электроакустических измерений.
5. Лифшиц С.Я. Курс архитектурной акустики. М. Изд-во МВТУ; 1927
6. Фурдуев В.В. Электроакустика.-М.: Связьиздат, 1960.
7. Свикер Е., Фелдкеллер Р.. Ухо как приёмник информации. -М.:Связь, 1971.
8. Римский-Корсаков А.В. Электроакустика.-М.: Связь, 1973.
9. Радиовещание и электроакустика. Учебник для вузов. — М.: Радио и связь, 1999.
10. Катунин Г.П. Микрофоны. Учебное пособие. - Новосибирск.: СибГТИ, 1995.
11. Катунин Г.П., Лапаев О.А. Громкоговорители. Учебное пособие. Новосибирск.: Издательство Сибирской государственной академии телекоммуникаций и информатики (СибГАТИ), 1997..
12. Ржевкин С.Н. Курс лекций по теории звука.- М.: Издательство МГУ, 1960.
13. Катунин Г.П., Лапаев О.А. Проектирование и расчёт акустических параметров помещений. Учебное пособие.- Новосибирск.: Издательство Сибирского государственного университета телекоммуникаций и информатики (СибГУТИ), 2000.
14. Папернов, Л.З. и др. Расчет и проектирование систем озвучения и звукоусиления в закрытых помещениях.-М.: Связь, 1970.
15. Алдошина И.А. Электродинамические громкоговорители.-М.:Радио и связь, 1989.
16. Молодая Н.Т. Акустический расчет радиовещательных и телевизионных студий. М.:ВЗИС,

1961.

17. С.М. Аллон, Н.И.Максимов. Музыкальная акустика. М.: Высшая школа, 1971.
18. Алёхин С. Общие принципы звукоусиления в концертных залах// Звукорежиссёр.-1999.- №1,3,4,7.
19. Ковалгин Ю.А. Стерефония.-М.: Радио и связь, 1989.
20. Сапожков М.А. Звукофикация помещений.-М.: Связь, 1979.
21. Радиовещание и электроакустика. Учебник для вузов. - М.: Радио и связь, 1989.
22. Баранов С. Радиомикрофонные системы. //Звукорежиссер.-1999.-№4.
23. Бабуркин В.Н. и др. Электроакустика и радиовещание. М.: Радио и связь, 1967.
24. Сапожков М.А. Звукофикация открытых пространств. М.: Радио и связь, 1985.
25. Кондрашин П. Применение Р2М-микрофонов. //Звукорежиссёр.-2000.-№1.
26. Зупаров М. Исследование переходных процессов в электродинамических громкоговорителях. Сборник труды МЕИС, выпуск 2, М.1970.
27. Зупаров М. Акустический расчёт системы звукоусиления з&та. Пособие по КП и ВКР для бакалавров. Ташкент, 2003.
28. Зупаров М., Буланбаева С. Акустический расчёт студий. РНТК, том И. Новосибирск,2004
29. Зупаров М.З., Катунин Г.П. Электроакустика. Ташкент. 2005.
30. Алдошина И.А., Войшвилло А.Г. Высококачественные акустические системы и излучатели. - М.: Радио и связь, 1985.
31. В.И.Павловская, А.Н.Качерович, А.П.Лукинов. Акустика и электроакустическая аппаратура. М.: «Искусство». 1986.
32. M.Zuparov. Elektroakustika va radioeshittirishda o'lash va texnik nazorat. T., 2010.

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

ELEKTROAKUSTIKA ASOSLARI

Toshkent – «Aloqachi» – 2018

Muharrir: M.Mirkomilov
Tex. muharrir: A.Tog'ayev
Musavvir: B.Esanov
Musahhiha: N.Hasanova
Kompyuterda
sahifalovchi: F.Tog'ayeva

Nashr.lits. AI №176. 11.06.11.

Bosishga ruxsat etildi: 30.10.2018. Bichimi 60x841 /16.

«Timez Uz» garniturası. Ofset bosma usulida bosildi.

Shartli bosma tabog'i 15,0. Nashr bosma tabog'i 14,75.

Adadi 60. Buyurtma № 61.

«Nihol print» Ok da chop etildi.

Toshkent sh., M. Ashrafiy ko'chasi, 99/101.