

534
3-94

534(07)

ЎЗБЕКИСТОН АЛОҚА ВА АХБОРОТЛАШТИРИШ АГЕНТЛИГИ
ТОШКЕНТ АХБОРОТ ТЕХНОЛОГИЯЛАРИ УНИВЕРСИТЕТИ

М.З.Зупаров, Г.П.Катунин

ЭЛЕКТРОАКУСТИКА

Ўқув қўлланма

Профессор Г.П.Катунин таҳрири остида



ТОШКЕНТ 2005

Тақризчилар:

СибДАТУ радиоэшиттириш ва телевидение кафедрасининг мудури
т.ф.д., профессор Г.В.Мамчев;

ТАТУ РТ ва РА кафедрасининг мудури, т.ф.н., доцент А.А.Абдуазизов;
Тошкент РТУМ бошлиғи, т.ф.н., доцент М.Б.Атамухамедов;

ТАТУ телевидение ва радиоэшиттириш кафедрасининг катта
ўқитувчиси Л.Н.Кропивницкая.

Кириш

М.Зупаров, Г.Катунин ҳамкорлигида ёзилиб талабаларга тақдим этилаётган ўқув қўлланма «Радиоэшиттириш ва электроакустика» курсининг биринчи қисми ҳисобланади. Бу курс «Радиоалоқа, радиоэшиттириш ва телевидение» факультети, ҳамда «Телекоммуникация» факультети педагогика йўналиши талабаларига ўқилади. Қўлланма саккиз бобдан иборат бўлиб, жорий ўқув дастурига мосдир. Қўлланманинг дастлабки тўрт бобида физиологик акустика, товуш майдонининг умумий назарияси, товуш сигналларининг хусусиятлари, ҳамда электроакустик ўзгартиргичларнинг турли жиҳатлари (аспектлари) кўриб чиқилган.

Бешинчи ва олтинчи боблар электроакустик ўзгартиргичлар: микрофон ва радиокарнайларнинг техник тавсифлари, тузилиши ва ишлаш принципларига бағишланади. Уларнинг техник тавсифларини яхшилаш бўйича тавсиялар берилган.

Сўнги икки боб ўзаро боғлиқ бўлган ҳолда архитектура акустикаси, хона ва майдонларни овозлаштириш ва товуш кучайтириш масалаларига бағишланган. Уларда назарий жиҳатлардан ташқари, радиоэшиттириш студиясининг, зал товуш кучайтириш ва овозлаштириш ҳисоблари келтирилган.

Шуни таъкидлаш лозимки, таржима муаллифлаштирилган бўлганлиги учун русча матндаги айрим параграф материаллари ўқув дастуридан четга чиқмаган ҳолда бироз қисқартирилган ёки тўлароқ баён этилган.

Муаллифлар «Сибир давлат ахборот ва телекоммуникациялар университети» СибДАТУ радиоэшиттириш ва телевидение кафедрасининг мудирини, т.ф.д., профессор Г.В.Мамчевга., ТАТУ радиотехника ва радиоалоқа кафедрасининг мудирини т.ф.н., доцент А.А.Абдуазизовга., ТошРТУМ бошлигини, т.ф.н., доцент М.Б.Атамухамедовга ва ТАТУ радиоэшиттириш ва телевидение кафедрасининг катта ўқитувчисини А.Н.Кропивницкаяга қўлланмани кўриб уни яхшилашдаги қимматли маслаҳатлари учун ўз миннатдорчиликларини билдирадilar. Шунингдек, муаллифлар қўлланмани чоп этишга тайёрлашда ва жиҳозлашда берган ёрдамлари учун А.Х.Убайдуллаевага, Н.М.Тожиевага, И.М.Убайдуллаевага, З.М.Қодировага ва О.Г.Щёголевга ўз миннатдорчиликларини билдирадilar.

0'QUV ZALI

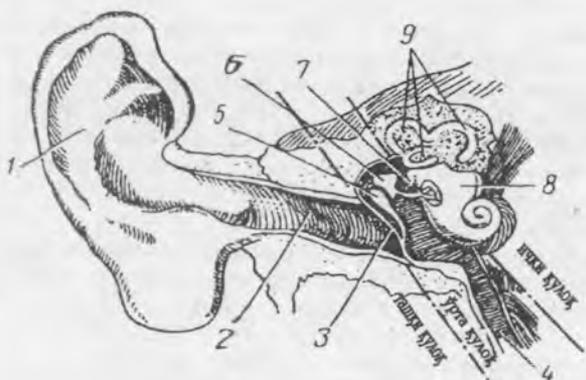
1 боб. Физиологик акустика асослари

1.1. Одам эшитиш аъзосининг тузилиши

Кенг доирадаги электроакустик аппаратлар: телефонлар, микрофонлар радиокарнайлар, товуш ёзиш ва қайта эшиттириш аппаратларига, шунингдек товуш кучайтириш трактлари аппаратларига, радиоэшиттириш ва телевидение дастурлари товуш жўрлигига бўлган талаблар асосан одамнинг эшитиш аъзоси билан белгиланади. Бу хусусиятларни ўрганиш, одам эшитиш аъзосининг тузилиши, кўзнинг тузилиши билан биргаликда ўрганишни «экспериментал психология» ёки «эшитиш психофизиологияси» деб аталувчи фанлар ташкил этади. Бу текширишларнинг асл моҳияти — одамнинг товуш, ёруғлик ва бошқа таъсир қилувчиларга нисбатан миқдорий реакция ифодасини топишдан иборат. Фақат эшитиш аъзосининг миқдорий тавсифлари билангина товуш ва мусиқаларни узатиш учун радиокарнайларнинг частота diapазонлари, манбаларнинг табиий эшитилишига мос бўлган товушнинг шиддатлилиги диапозони (мусиқа асбоблари овозлари), нутқ хабарлари ва концерт дастурларини эшитишдаги белгиланган ҳалақит берувчи товуш шиддатлилиги ва б.қ. техник талабларни таърифлаш мумкин. Бу хусусиятларни билиш нутқ товушининг қандай таркиблари ахборот ташувчи, электроакустика трактларида узатилаётган сигналнинг қандай бузилиши сезиларли ва у эшиттиришнинг бадийлиги ёки аниқлиги билан қандай боғлиқлигини тушуниш учун зарур. Ниҳоят, одамнинг эшитиш аппарати ўта мукамал биологик аниқлайдиган тизим. Бу тизимнинг элементлари сунъий акустик ва электрон—акустик аниқловчи тизимларни тузишда фойдали бўлиши мумкин.

Одам эшитиш аппарати ахборотларни ўзига хос қабул қилгич бўлиб, эшитиш тизимининг олий бўлимлари ва периферик қисмларидан ташкил топган.

Одам эшитиш аъзосининг тузилиши 1.1 расмда кўрсатилган.



1.1-расм. Одамнинг эшитиш аъзоси

Эшитиш аъзоси уч қисмдан: ташқи, ўрта ва ички қулоқдан иборат. Ташқи қулоқ, қулоқ чиганоғи 1 дан иборат бўлиб, ундан қулоқ пардаси 3 билан тутовчи эшитиш йўлакчаси 2 ажралади. Қулоқ пардаси товуш — ни эшитиш жараёнидаги биринчи звено ҳисобланади. Қулоқ пардаси унга етиб келган ўзгарувчан босимли товуш тўлқинларига мос ҳолда тебранади. Атмосфера босими парданинг икки томонида бир хил бўл — гаңдагина унинг нормал тебраниши кузатилади: парда ташқи ва ўрта қулоқнинг чегараси бўлиб ҳисобланади. Парданинг икки томонида то — вуш босимининг мувозанатлашуви ўрта қулоқдаги махсус Евстахиева турубкаси 4 деб аталувчи бурун томоқ билан бирлашувчи канал ҳисо — бига эришилади. Босим мувозанатининг бузилиши натижасида қулоқда қаттиқ овриқ пайдо бўлади. Бундай хиссиётни самолёт қўниши вақтида ташқи атмосфера босимининг учиш вақтидаги босимга нисбатан оши — шини ҳаммализ сезамиз. Ўрта қулоқ учта катта бўлмаган суякчалардан: болгача 5, ички тоғай 6 ва эшитув суякчаси 7 дан иборат. Суякчалар — нинг бундай номланиши уларнинг шу нарсаларга ўхшашлиги туфайлидир. Суякчалар ўзига хос ричаг ҳосил қилиб қулоқ пардаси тебранишини ички қулоққа узатади. Эшитиш суякчаси ички қулоқнинг мўжазгина ясси овал дарчасига бириктирилган бўлиб, унга қулоқ пардаси қабул қилаётган тебранишларни узатади. Ички қулоқда жойлашган чиганоқ 8 мембранани сийпаб утувчи илвириқ суяқлик билан тўддирилган. Мембранада 22 мингга яқин нерв толалари мавжуд бўлиб, бу толалар тебранишларини бош миёа қобиғига узатувчи вазифасини бажаради. Бош миёада товуш тебранишлари онгимиз билан сезувчи маълум товушга айланади.

Ўрта қулоқда ярим доира каналлари қўринишидаги вестибуляр аппарат 9 жойлашган. Бу аппарат эшитишга алоқаси бўлмаган ҳолда

мувозанат аъзоси ҳисобланади. Товуш тебранишлари ички қулоққа қулоқ пардасини айланиб бош мия суюқлари орқали ҳам ўтиши мумкин. Маълумки, аста тебранаётган камертон оёғини тишлаб унинг товушини эшитиш мумкин. Гаранглик дардига мубтало бўлган америкалик ихтироочи Эдисон шундай деган эди: «Мен тишларим ва бош мия суюгим ёрдамида эшитаман. Менга бошимни теккизишим етарли, агарда паст товушларни англай олмасам, мен тишларим билан тахта бўлакчаларини тишлайман ва унда менга ҳаммаси аён бўлади».

Физиологик нуқтаи назардан эшитиш аъзоси мутлоқ ўзига хос аммо ўта субъектив, яъни реал эшитиш жараёнига мавжуд товушларнинг объектив хусусиятларини киритадиган асбобдир. Айниқса, сўз товуш эшитиш баландлиги, кучи ва товуш тембри ҳақида борганда.

Эшитиш аъзосининг биринчи хусусияти, турли баландликдаги товуш эшитиш чегарасининг мавжудлиги. Қулоқ товуш тарзида частота 20 Гц дан 20000 Гц гача бўлган ораликдаги механик тебранишларни эшитади. 20 Гц дан паст частоталардаги тебранишларни биз эшитмаймиз. Бундай товуш тебранишлари **инфра товушлар** деб аталади. 20000 Гц дан юқори частота тебранишлари **ультра товушлар** деб аталади. Бундай тебранишларни ҳам эшитмаймиз. Инфра ва ультра товуш тебранишларини ҳайвонот олами яхши эшитади. Масалан, бир — неча герц частотали ер қимирлашини ҳайвонлар безовталаниб қабул қиладилар, бу уларнинг шу кичик частота тебранишларини эшитишидан далолат беради.

20+20000 Гц оралиғидаги товушларнинг эшитилиши бир хил эмас. Баланс товуш эшитилиш ҳиссиёти унинг баландлиги частотаси тахминан 14000 Гц ни ташкил этганда йўқолади. Бундан юқори частота товушларини эшитиш аъзоси тенг баландлиқдаги товушлардек қабул қилади. Частотанинг 14000 Гц дан юқори чегара 20000 Гц томонга ошиши товуш баландлигининг пасаяётгандек туюлишига олиб келади. Ёш ўтиши билан одамнинг эшитиш юқори чегараси 12000 Гц гача пастайиб, товуш баландлигини сезиш ҳам сусаяди.

Частота тебранишларининг кичик ўзгаришини эшитиш аъзоси қандай сезади? Эшитиш аъзосининг товуш частотаси ўзгаришига бўлган қобилияти эшитиш аъзосининг **нозиклиги** деб аталади. 1000 Гц ли товуш тебранишида частотанинг 3 Гц га ўзгариши сезиларли бўлади. Бундан чиқди 600—4000 Гц оралиғида частотанинг 0.3% га нисбий ўзгариши ҳам сезиларли. Паст ва баланс товушларда бундай ўзгаришни сезиш учун частотани катгароқ қийматга ўзгартириш керак.

Мусиқачиларда мусиқа товуши баландлигини сезиш ва уни баҳолашда иккита тушунча мавжуд бўлиб: **абсолют** ва **нисбий** эшитиш қобилиятига ажратадилар.

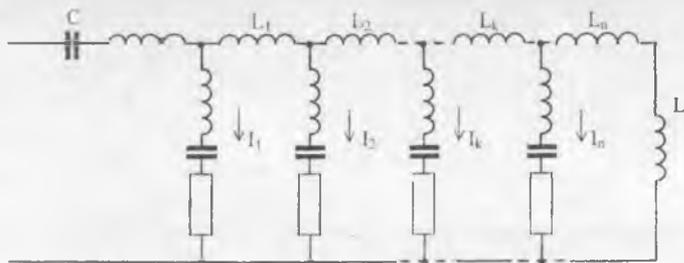
Абсолют эшитиш қобилияти деб, камдан — кам одамларда учрайдиган берилган товуш баландлиги ва товуш нотасини аниқланишига айтилади. Абсолют эшитиш қобилиятига эга бўлган одам исталган нотани бошқа товуш билан солиштирмасдан қайта эшиттириши мумкин. Бундай абсолют эшитиш қобилиятига табиатан камдан — кам инсонлар

эгадирлар, ҳаттоки **ж**упгина композитор ва ижрочи — муסיқачилар ҳам бундай қобилиятга эга эмаслар.

1.2. Частота буйича эшитиш

Юқорида айтилганидек товуш тебраниши таъсирида эшитиш су — якчаси овал дарча мембранасини ҳаракатга келтиради, у ўз навбатида лимфани тебратади. Лимфа асосий мембрана юзасига уринма, яъни унинг толаларига кундаланг тебранади. Лимфанинг тебраниш частота — сига боғлиқ ҳолда фақат маълум толаларгина тебранади. Геликотрема ёнида паст частоталарда резонансландиган узун толалар чиғаноқ асо — сида эса юқори частоталарда тебранадиган қисқа толалар жойлашган. Бирнеча таркиблардан иборат мураккаб товуш бирнеча гуруҳ толала — рини қўзғотади. Шундай қилиб, асосий мембрана частота таҳлилагичи ролини ўйнайди.

Ҳар бир толанинг резонанс частотаси фақатгина тола параметрига боғлиқ бўлибгина қолмай тола билан бирга қўзғолувчи, лимфанинг массасига ҳам боғлиқ. Бу масса резонансланувчи толадан овал дарчагача бўлган масофа билан аниқланади. Шунинг учун паст частоталардаги тебранишларда лимфанинг катта массаси, юқори частоталардаги тебранишларда эса, лимфанинг кичик массаси қатнашади. 1.2 расмда эшитиш таҳлилагичининг электр эквивалент схемаси келтирилган.



1.2 — расм. Чиғаноқнинг электр эквивалент схемаси

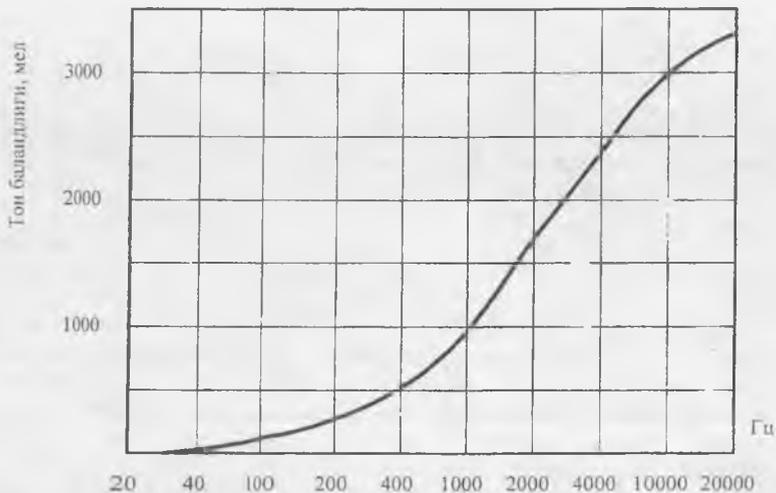
C — овал ва дуғалоқ дарча мембраналари эквиваленти; L — геликотрема эквиваленти; L_k — лимфа массаси эквиваленти; I_k — толаларнинг тебраниш тезлиги

1.2 — расмдан кўришиб турибдики, чиганоқнинг электр эквивалент схемаси плосали фильтр схемасига ўхшаш. Эшитиш аъзосининг частота диапазони чегараси кенг бўлиб 20+20000 Гц ни ташкил этади.

Эшитиш таҳлиллагичининг частота танловчанлиги катта қизиқиш уйғотади, чунки электроакустик аппаратураларга бўлган талаб бу параметрга кўп жиҳатдан боғлиқ.

Одам эшитиш аъзосининг танловчанлик хусусиятини қийматли баҳолаш учун, унинг асосий хусусияти бўлиб товуш баландлиги тушунчасидан фойдаланамиз. Бу хусусият атроф муҳитдаги товушларни айнан тенглаштириш ва классификациялашда катта аҳамиятга эга, эшитиш қобилиятининг бундай хусусияти мусиқали интонация нуқтаи назари, яъни, оҳанглар ва гармонияниялар асосида ётади. ANSI-994 Халқаро стандарт бўйича «Баландлик (Pitch) — бу товуш этишининг ўзига хос хусусияти бўлиб, унда товушларни частота шкаласи бўйича пастдан юқорига жойлаштириш мумкин. Товуш баландлиги асосан уни рағбатлантириш товуш частотасига боғлиқ, шуниндек товушнинг босими ва тўлқин шаклига ҳам боғлиқ». Шундай қилиб, тон баландлиги товуш сигналариининг чизиқли классификацияси бўлиб, кўп — кам деб фикрлаш мумкин бўлган товуш баландлигидан фарқланади, демак бу — нисбий классификация.

Дастлаб шуни таъкидлаш лозимки, эшитиш тизими даврий сигналларнинг товуш баландлигини аниқлайди, шунинг учун тон баландлигини фарқлашда асосий параметр бўлиб, сигнал частотаси ҳисобланади. Агарда, бу мураккаб товуш бўлса, унда эшитиш тизими товуш баландлигини унинг асосий тони орқали аниқлайди, яъни унинг спектри гармоникалардан ташкил топган бўлади (частоталари бутун сон нисбатидаги обертоналар). Агарда бу шарт бажарилмаса, унда эшитиш аъзоси тон баландлигини аниқлай олмайди. Масалан, тарелкасимон мусиқа асбоблари, бонг ва б.қ. маълум тон баландлигига эга эмаслар. Тон баландлигининг частотага боғлиқлиги 1.3 — расмда берилган



1.3— расм. Тон баландлигининг частотага боғлиқлиги

Тоннинг баландлиги махсус ўлчов бирлик — мел ларда ўлчанади. Бир мел 1000 Гц да сатҳ бўйича сезиладиган товуш баландлигининг 40 дБ га тенг. Расмдан кўриниб турибдики, бу боғланиш чизиқли эмас — масалан, частота уч марта ошганда (1000 дан 3000 Гц), товуш баландлиги фақат икки мартага (1000 дан 2000 мел) ошади. Ночизиқли боғлиқлик паст ва юқори частоталарда яққол кўзга ташланади. Частота диапазонининг ўрта қисмида тон баландлигининг мелда ўзгариши частота логарифмига пропорционал.

Частотаси бўйича фарқланувчи иккита турли хил тонлар баландлиги бўсағаларини ажратишга бағишланган масалалар бўйича кўпгина тадқиқот ишлари олиб борилган. Соф тон баландлигини сезиш фақат частотага боғлиқ бўлибгина қолмай, товуш жадаллигига ва унинг давомийлигига ҳам боғлиқ.

Қисқа товушлар қуруқ чертмадек эшитилади, аммо товуш узайтирилган сари чертма тон баландлиги ҳиссини бера боилади. Чертмадан тонга ўтиш вақти частотага боғлиқ: паст частоталарда тон баландлигини аниқлаш учун импульс давомийлиги тахминан 60 мс: 1 кГц дан 2 кГц гача бўлган частоталарда — 15 мс ни ташкил этади. Мураккаб товушлар учун бу вақт ортиб боради, нутқ товушлари учун эса, бу кўрсаткич 20÷30 мс га тенг.

Таъкидлаш зарурки, эшитиш аъзосининг келтирилган юқори частота танловчанлик маълумотлари соф тонларни қабул этиш ҳолига мос. Ҳақиқатда эса, соф тонлар жуда кам учрайди. Шунинг

рига мос. Ҳақиқатда эса, соф тонлар жуда кам учрайди. Шунинг учун мураккаб товушлар таъсир этганда инсон бутун частота диапазонида 250 яқин градацияни аниқлайди, бу градациялар товуш жадаллиги камайиши билан қисқариб 150 яқинлашади. Шундай қилиб, қўшни градациялар ўртача бир—бирдан частота бўйича 4% га фарқ қилади. Шунинг учун секундига 24 кадрли кинофильмларни телевидениеда секундига 25 кадр билан намойиш этиш мумкин. Бу ҳолда абсолют эшитиш қобилиятига эга бўлган муסיқачилар ҳам овоздаги фарқни англай олмайдилар, чунки, частота тебранишлари фарқи 4%дан ошмайди. Бу фарқ секундига иккита кадрни ташкил этсагина овоздаги фарқни англай оладилар.

Кенг полосали спектрга эга бўлган товушлар, масалан шовқинлар эшитиш аъзоси асосий мембранасининг барча толаларини қўзғотади. Эшитиш аъзосининг кучсиз танловчанлиги ҳисобига эшитишнинг ҳар бир критик полосасида спектр интеграцияланади, эшитиш аъзоси узлуksиз спектрни дискретлайди, яъни у шовқин частота спектрига тенг критик полосалар сонига айлантиради.

Эшитиладиган частота диапазони бўйича товушни субъектив баҳолаш учун товуш баландлиги тушунчаси киритилган. Эшитишнинг критик полосаси кенглиги ўрта ва юқори частоталарда тахминан частотага пропорционал бўлганлиги учун, эшитишнинг частота бўйича субъектив масштаби логарифмик қонунга яқинроқ. Шунинг учун товуш баландлигининг объектив бирлиги сифатида субъектив эшитишни тахминий акс эттирадиган частоталарнинг икки қарралик нисбати октава қабул қилинган (1; 2; 4; 8; 16 ва ў.к.). Октаваларни бўлақларга бўладилар: ярим октава, учдан бир октава. Учдан бир октава учун уларнинг қуйидаги чегара частоталари стандартлаштирилган: 1; 1,25; 1,6; 2; 2,5; 3,15; 4; 5; 6,3; 8; 10. Агарда, бу частоталарни частота ўқига бир—бирдан бир хил масофада жойлаштирилса, логарифмик масштаб ҳосил бўлади. Шулардан келиб чиққан ҳолда, барча ўлчовларни субъектив масштабга яқинлаштириш мақсадида, товуш узатиш қурилмаларининг частота тавсифлари логарифмик масштабда чизилади. Товушларни бу частота эшитиш ҳисиятига аниқроқ бўлиш мақсадида, эшитиш тавсифлари учун алоҳида субъектив—1000 Гц частотагача деярлик чизиқли масштаб ва ундан юқори частоталар учун логарифмик масштаб қабул қилинган. Товуш баландлигининг ўлчов бирлиги сифатида «мел» ва «барк» (100 мел = 1 барк) қабул қилинган. Умумий ҳолда мураккаб товуш баландлигини аниқ ҳисоблаб бўлмайди.

1.3. Эшитиш бўсағаси ва оғриқ бўсағаси

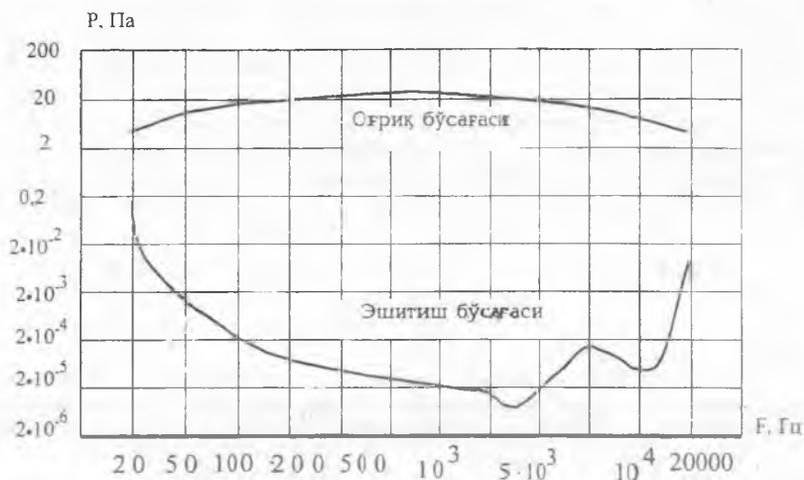
Агарда асосий мембрананинг толаси тебранаётганида ёнидаги тукли катакчага тегмаса, унда одам товушни эшитмайди. Толанинг тебраниш амплитудаси ошганда ёнидаги тукли катакчага теккан заҳоти нерв толалари қўзғолиб бош мия эшитиш марказига электр импульсларини юборади, натижада, товуш эшитилади.

Мутлоқ тинчликда 1000 Гц частотали товуш эшитилиши учун одам қулоғи яқинидаги босим амплитудаси $2,84 \cdot 10^{-5} \text{ Н/м}^2$ (эффektiv қиймати $-2 \cdot 10^{-5} \text{ Н/м}^2$) бўлиши керак. Бу қиймат атмосфера босимининг $2 \cdot 10^{-10}$ ташкил этади. Бу ҳолда, ясси тўлқин жадаллиги 10^{-12} Вт/м^2 га тенг. Шуниси қизиқки, ҳаво заррачаларининг силжиш амплитудаси молекула радиусининг ўндан бир бўлагидан кам.

Қулоқ пардасига таъсир қилаётган флукуацияларнинг тасодифий иссиқлик молекуляр ҳаракати билан боғлиқ бўлган босим кучининг ўзгариши, мутлоқ тинчликдаги товуш босимидан бор — йўғи $5 \div 10$ марта кичик.

Халақит берувчи шовқин ва бошқа товушлар йўқлигида базўр эшитиладиган товуш босими қиймати, бўсаға қиймати, ёки базўр эшитилиб эшитилмас қиймати эшитилиш бўсағаси деб аталади. Тадқиқотчилар эшитилиш бўсағасини аниқлаш устида талайгина ишлар олиб бордилар. Натижада, шу нарса аниқландики, эшитилиш бўсағаси турли одамларда турлича. Бу фарқнинг ўзгариши бир хил ёшдаги эшитиш аъзоси соғлом одамлар учун тасодифийдир. Эшитиш бўсағаси бир кишининг ўзида, эшитиш шароити, чарчоқлиги, ҳаяжонланиши ва б.қ. ҳисобига ўзгариши мумкин. Шунинг учун ишончли эшитилиш бўсағаси ҳақидаги маълумотларни фақат статистик йўл билан, яъни маълум шароитларда кўпчилик одамларда ўлчаш билан аниқлаш мумкин.

Бундай статистик тадқиқотлар АҚШ да (1938 — 1939 й.й), Англияда (1956 — 1957 й.й), собиқ СССР да (1958й) олиб борилган. Халқаро келишувга асосан эшитиш бўсағасининг стандарти сифатида 1.4 — расмда келтирилган соф синусоидал сигналнинг частотага боғлиқлик эгри чизиғи қабул қилинган. Текширишлар 18 ёшдан 23 ёшгача бўлган эшитиш аъзоси соғлом одамлар билан олиб борилган.



1.4 – расм. Эшитиш ва оғриқ бұсағалари эгри чизиги

1.4 – расмдан кўришиб турибдики, эшитиш бұсағаси частотага ўта боғлиқ. Товушлар 2000 Гц дан 4000 Гц гача бўлган диапазонда товуш босими $2 \cdot 10^{-5}$ Па ва ундан кам бўлган қийматларда сезилади. Шу билан бирга паст ва юқори частоталарда эшитиш бұсағаси сезиларли ошади. Биз товуш жадаллигини 20.000 Гц дан юқорисига қанчалик оширмайлик товуш ҳиссиёти пайдо бўлмайди, яъни бу кўпчилик одамлар учун эшитиш чегарасидан юқори. Худди шундай ҳолат товуш частоталари $16 \div 20$ Гц дан паст бўлганда кузатилади.

Агарда, эшитилаётган товуш частотасини секин – аста ошира борсак, товуш баландлиги ошаётгандек туюлади. Товуш босимининг кейинги қийматида қулоқда оғриқ сезила бошланади. Оғриқ сезила бошлаган товуш босими, **оғриқ сезиш бұсағаси** деб аталади. Оғриқ сезиш бұсағасининг частотага боғлиқлик эгри чизиги, эшитилиш бұсағаси эгри чизигига нисбатан, бирмунча текисроқ.

Айрим ўқув қўлланмалар ва сўровномаларда эшитиш бұсағаси абсолют ва частотага боғлиқликнинг турли қийматлари берилган. Бу фарқ эшитиш бұсағасини ўлчашнинг турли усулларидан фойдаланганлиги натижасидир. Масалан, ўлчашлар бир қулоқда эшитиш ёки икки қулоқда эшитиш учун олиб берилган бўлиши мумкин. Ундан ташқари шундай эшитиш бұсағалари мавжудки, айримлари қулоқ чиганоғи ён – гинасида (телефон) аниқланади, бошқалари эса, товуш тўлқинлари фронтал тушиб хонадаги тўсиқлардан бир неча бор қайтиши натижасида аниқланади.

Товуш эшитишнинг юқори чегараси (катта сатҳлар томонидан) частота ўзгаришига камроқ боғлиқ, эшитиш бұсағасининг катта сатҳли

қийматлари 1.1 жадвалда келтирилган. Юқори ва паст эшитиш бўсағаларини солиштириб айтиш мумкинки, ўрта частоталарда нормал эшитиш динамик диапазо ни 120+130 дБ ни ташкил этади.

1.1 – жадвал

Бўсағалар	Соф тонлар	Узлуксиз спектрли шовқинлар
	$P_{эфф} = 2 \cdot 10^{-5} \text{ Па}$ га нисбатан дБ ларда	
Еқимсиз сезиш бўсағаси	90	110
Сезиш бўсағаси	112	132
Оғриқ бўсағаси	120	140

1.4. Товуш жадаллигининг дифференциал эшитиш бўсағаси

Товуш жадаллиги толанинг амплитудаси яна бир катакчага тегмагунча оширилганда эшитиш бўсағаси ўзгармас қолади. Бир тола кейинги катакчага теккан заҳоти, эшитиш бўсағаси сакраб ошади. Товуш жадаллиги ошган сари асосий мембрананинг қўзғолиш зонаси кенгая боради – қушни толалар ҳам тебрана бошлайди, натижада улар ҳам нерв катакчаларини бирин – кетин қўзғотади. Уларнинг ҳар бири эшитиш марказига импульс юборади. Эшитиш бўсағаси қўзғолган катакчалар сони ошган сари сакраб оша боради. Эшитишнинг бундай сакрашли ўзариши жадалликни ажратиш бўсағаси деб аталади. Бундай сакрашлар сони ўрта частоталарда 250 дан ошмайди, паст ва юқори частоталарда уларнинг сони камая боради ва частота диапазо нида 150 яқиндир. Ниҳоят товуш жадаллиги яна ҳам оширилганда оғриқ сезила бошланади – оғриқ бўсағаси (оғриқ сезиш бўсағаси) бошланади. Оғриқ бўсағаси жуда катта жадалликда пайдо бўлади. Оғриқ бўсағасининг энг катта қиймати 800 Гц да кузатилади (1 Вт/м^2 га яқинроқ). Паст ва юқори частоталар томон бу қиймат секин – аста пасая боради. Шундай қилиб, товуш фақат частота бўйича эмас, балки амплитуда бўйича ҳам дискрет эшитилади. Частота ва амплитуда бўйича товуш дискретлигини инюбатга олиб бутун эшитиш бўсағасида 22000 яқин элементар градацияларни аниқлаш мумкин. Бу кўрсаткич нерв толаларининг сонига тахминан тенгдир. Иккита бир хил частотали товуш жадаллигининг минимал ажратилиш фарқи товуш жадаллигининг дифференциал эшитиш бўсағаси деб аталади.

Аммо, товуш босими ёки товуш энергияси кўринишидаги товуш кучи, товуш баландлигини сезиш ёки субъектив товуш кучи деб ата- лувчи ўлчов бирлиги бўла олмайди.

Товуш баландлигини товуш кучининг субъектив ўлчами сифатида қандай баҳолаш мумкин? Бунга 1846 йилда Вебер ифодалаган психо- физик қонун асос бўла олади, унга кўра минимал эшитиллаётган айрим рағбатлангирувчи ўсувчи товуш жадаллиги қийматини унинг дастлабки қийматига нисбати ўзгармасдир. Товуш кучини (товуш рағбатлангирувчиси) J орқали белгилаб, Вебер қонунини қуйидаги кў- ринишида ёзамиз

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

бу ерда, ΔJ — жадалликнинг ўсиши, уни товуш жадаллиги J га қўшганда J ва $J+\Delta J$ лар ўртасидаги товушлар баландлиги аниқ бўлсин. $\frac{\Delta J}{J}$ нисбат тахминан 10%ни ташкил этади. Яна бир бор таъкидлаб ўта- миз, бу нисбат асаб тизимлари хусусиятлари билан боғлиқ бўлиб, у фақат товуш таъсирида намоён бўлиб қолмасдан балки кўриш, сезиш ва б.қ. ҳам намоён бўлади, шунинг учун ҳам умумий физиологик қонун номини олган. Кейинчалик Вебер назариясини 1860 йилда Фехнер ри- вожлантирди. Фехнер ΔJ ўсишини чексиз кичик dJ деб олиб уни сезиш ҳиссиётининг кичик ўсиши dE га пропорционал деб ҳисоблади.

Бу ҳолда

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

бунда, dJ — жадалликнинг ўсиши; dE — мос ҳолда «сезиш ҳиссиё- тининг чексиз кичик ўсиши», A — сезиш ҳиссиётининг ўлчов бирлигига боғлиқ бўлган ўзгармас кагталиқ.

(1.2) ни интеграллаб қуйидаги ифодани оламиз:

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

Бунда, C — интеграллаш доимийси. Эшитиш бўсағасида $E=0$ ва $J=J_0$ деб ҳисоблаб, топамиз

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

ва машҳур Вебер — Фехнер номи билан аталувчи логарифмик қонун формуласини оламиз, унга кўра бир хил нисбий ўзгарувчи қўзғотувчи куч бир хил абсолют ўзгарувчи эшитиш ҳиссиётини уйғотади, яъни эшитиш ҳиссиёти (E) қўзғотиш логарифмига пропорционал

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

Эшитиш ҳиссиётини баҳолаш учун «бел» ($a=1$) деб номланган ўлчов бирлиги қабул қилинган. Бу ўлчам жадалликнинг ўнкаррали нисбатига тенг, шунинг учун ундан кичикроқ ўлчов бирлиги — децибел (ДБ), 0,1 бел киритилган.

(1.5) формулани ўнлик логарифмда ифодалаймиз

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

Бу формула, товушни ҳис этиш сатҳи ўлчамини беради. Товуш эшитиш ҳиссиёти ўлчамини баҳолашда децибел шкаласини қўллашнинг яна бир қулайлиги шундаки, сезишнинг минимал ўсиши тахминан 0,5 ДБ га тенг. Эшитишнинг логарифмик қонуни ва эшитилувчи товушлар жа — дамлигининг диапазони кенг бўлганлиги сабабли объектив баҳолаш мақсадида жадаллик сатҳи тушунчаси киритилган

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

бунда, I_0 — нолинчи жадаллик, бу жадаллик $I_0 = 10^{-12}$ Вт/м² ёки 10^{-12} р₀²/400, яъни

$I_0 = 2 \cdot 10^{-5}$ Па тенг. Демак, жадалликнинг оғрик сатҳи тахминан 120 ДБ га тенг.

Товуш жадаллиги ва товуш босимининг квадрат нисбатига асосан

$$L_p = 20 \lg \frac{P}{P_0} \quad (1.8)$$

бунда, P_0 — нолинчи сатҳдаги товуш босими, $P_0 = 2 \cdot 10^{-5}$ Па ёки $P_0 = \rho_a \rho c = 400$ кг/с · м² тенг; $\rho_a = \rho c$ — тўлқиннинг акустик қаршилиги. $P_0 = 2 \cdot 10^{-5}$ Н/м² одам қулоғининг 1000 Гц частотадаги стандарт эшитиш — бўсағаси ҳисоблаб қуйидаги ифодани оламиз:

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

Товуш жадаллиги сатҳи қиймати қуйидагича аниқланади:

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

(1.9 ёки 1.10) формулалари орқали аниқланадиган сатҳ децибелларда ифодаланган **товуш босими сатҳи** деб аталади.

Энергия зичлиги товуш жадаллигига тўғри пропорционал, шунинг учун унинг сатҳи

$$L_\epsilon = 10 \lg \frac{\epsilon}{\epsilon_0} \quad (1.11)$$

бунда, $\epsilon_0 = 3 \cdot 10^{-15}$ Дж/м³, энергия зичлиги.

Сатҳ тушунчаси фақат акустикадагина эмас, балки электротех — никада ҳам қўлланилади. Электр сатҳ

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

Электр қийматларининг нолинчи сатҳи қуйидагича олинади.

U_0 — кучланишда $R=600$ Ом қаршиликда ажралаётган қувват 1 мВт га тенг бўлмоғи керак. Бундан осонгина $U_0 = 0,775$ В ва $I_0=1,29$ мА қийматларини топамиз. Бу маълумотлар телефониядан олинган. Теле — фонияда кўп йиллар логарифмик шкала — непер қўлланиб келган. Бир непер кучланишлар нисбатининг 2,718га тенг, бўлиб асоси натурал логарифм. Шундай қилиб, агарда $U/U_0 = e$, ундан $L_{Нп} = \ln \frac{U}{U_0} = 1 Нп$, 1 Нп = 8,68 дБ, 1 дБ = 0,115 Нп га тенг.

1.5. Товуш баландлиги ва товуш баландлиги сатҳи

Товуш баландлигини ҳис этиш улчамини биринчи бўлиб Г. Барк — гаузен киритди. Кейинчалик унинг таклифи ҳалқаро кўламда қабул қилинди. Шунга биноан **товуш баландлиги сатҳи катталиги** улчами си — фатида киритилди.

Товуш баландлиги сатҳининг эталони сифатида 1000 Гц частотали соф тон жадаллиги олинган. Товуш баландлигининг улчов бирлиги **фон** деб аталади. Фонларда улчанган 1000 Гц частотадаги товуш баландлиги сатҳи унинг децибеллардаги жадаллиги сатҳига тенг. Қандайдир товушнинг баландлик сатҳини аниқлаш учун 1000 Гц частотали соф тон олиб унинг баландлигини аниқланаётган товуш баландлиги билан баробар бўлгунча узгартириш етарли, бунда эталон тон жадаллиги сон жиҳатдан аниқланаётган товуш баландлиги сатҳига тенг бўлади.

Субъектив статистик усул билан тенг баландликдаги соф тонлар жадаллигининг частотага боғлиқлиги эгри чизиғи аниқланган. Бу эгри чизиқлар товушнинг **тенг баландлик эгри чизиқлари** деб аталади 1.5 — расм.

Расмдан кўришиб турибдики, товуш баландлиги ошган сари тенг баландлик эгри чизиқлари бирозгина текисланади. Масалан, нолинчи сатҳли товуш баландлиги учун (эшитиш бусарасида) 100 Гц частотали тон жадаллиги 38 дБ га тенг, 500 Гц частотали тон эса 7 дБ га тенг. 80 фонга тенг бўлган товуш баландлигини олиш учун (1.5 — расм 80 дБ эгри чизиқ), шу тонларнинг жадаллик сатҳига мос ҳолда 83 ва 80 дБга тенг бўлиши керак, яъни иккала тон амалда бир хил жадаллик сатҳига эга бўлса, товуш баландлиги ҳам тенг бўлади. Демак, юқори частота — ларда товуш баландлигининг частота тавсифи бирмунча текис бўлиб, физик ва субъектив тавсифлар бир бирига яқин. Бу ҳолат иккита ама — лий тавсияга олиб келди.



1.5—расм.Товушнинг тенг баландлик эгри чизиклари

Фараз қилайлик товуш 80 фонга тенг бўлган сатҳда тингланаяпти, биз тембр бошқаргичини ўзимизга оптимал бўлган эшитиш ҳолатига ўрнатганмиз. Энди кучайтиргични 30 дБ га пасайтирамиз, товуш янграши жадаллиги ҳам 30 дБ га пасаяди. Бунинг натижасида 1000 Гц частота яқинида жойлашган частота таркиблари 50 фонга тенг баландлик сатҳига эга бўладилар, 100 Гц частота яқинида жойлашган частота таркиблари баландлиги сатҳи эса, 22 фонгача пасайиб кетади, яъни улар ўрта частота товушларидан пастроқ янграйди. Паст частоталарнинг янграш баландлиги ўрта частоталарникидек қолиши учун товуш узатиш трактининг паст частоталардаги сезгирлиги частота тавсифини коррекциялаш керак (100 Гц да 17 ± 20 дБ га кўтариши керак). Радио қабулқилгичларда кучайтириш коэффиценти камайса паст частоталарда уларнинг кучайиши автоматик равишда коррекцияланади.

Юқори сатҳли шовқин баландлигини ўлчаганда шовқин ўлчовчи асбобларнинг (шумомер) сезгирлиги частотага боғлиқ бўлмаслиги керак, бу товуш баландлигини субъектив эшитишга мос келади. Паст частотали товуш баландлигини ўлчаганда эса, шовқин ўлчагичнинг кўрсаткичи эшитиш аъзонимизнинг паст частоталардаги сезгирлиги ўрта частоталардаги сезгирлигига нисбатан пастроқлиги инobatга олингандагана субъектив бўлиши мумкин. Шунинг учун шовқин ўлчагичларда товуш баландлигини паст частоталарда ўлчаганда кучайтириш коэффиценти пасайтирилиб коррекция киритилади. Масалан, 30 фонлик товуш баландлиги ўлчанаяпти, бунда 100 Гц частотада 1000 Гц частотадагига нисбатан товуш баландлиги сатҳининг пасайиши тахминан 30 дБ бўлиши керак (1.5— расм 30 дБ эгри чизик). Шовқин ўлчагичларда паст частоталарни коррекциялаш учун учта тартиб мавжуд: А, В ва С мос ҳолда 40, 70 ва 85 фондан юқори сатҳлар

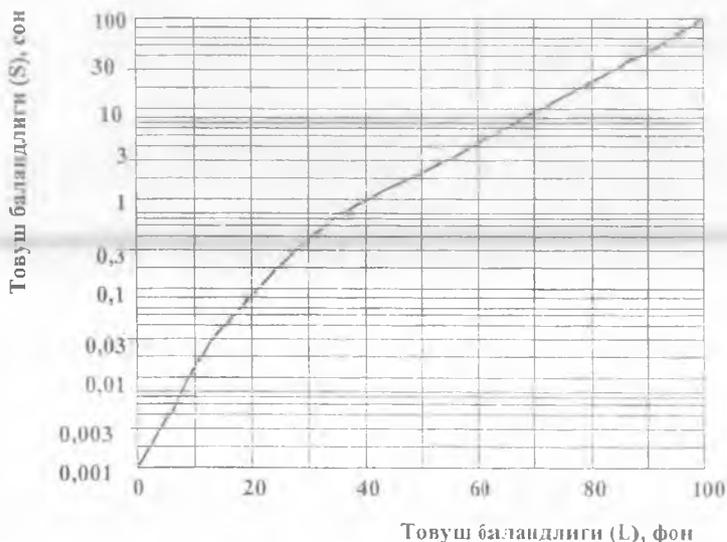
учун. Бу ҳолда ўлчанган товуш баландлиги сатҳлари субъектив ўлчангандагига мосроқ бўлади.

Товуш баландлиги сатҳи товушни субъектив эшитишни характерласа ҳам ҳақиқий субъектив эшитиш масштабига мос эмас. Масалан, товуш баландлигини 40 фонликдан юқори диапазонда 10 фонга ошириш товуш баландлиги субъектив сезгирлигини икки баробар ошишига тенг. Фон, товуш баландлигининг ўлчов бирлиги сифатида ноқулайлиги шундаки, масалан, иккита ҳар хил частотали синусоидал сигналларнинг товуш баландлигини билган ҳолда уларни оддийгина қўшиб иккитоналли сигналнинг товуш баландлигини аниқлаш мумкин эмас. Шунинг учун товуш баландлиги S ўлчов бирлиги сифатида каттароқ ўлчов сон киритилган. $S=1$ сон га га тенг товуш босими 1000 Гцаи 40 дБ тон мос келади.

1.6 расмда товуш баландлигининг фон ва сон ўлчов бирлигидаги соф тонларнинг солиштирма эгри чизиғи келтирилган. Фон ва дБ ларда ўлчанган товуш баландлигини боғлайдиган эмпирик формула қуйидагича:

$$S = 2^{(L_{\text{фон}} - 40)/10}, \text{ сон ёки } \lg S = \frac{L - 40}{33}, \text{ дБ} \quad (1.13)$$

Бу формула фақат $L = 40 \div 120$ дБ диапазонларида яхши натижа беради.



1.6. — расм. Фон ва сон ўлчов бирлигидаги товуш баландлиги соф тонларнинг солиштирма эгри чизиғи

1.2 — жадвалда кўпроқ учрайдиган товуш ва шовқинларнинг фон ва сон ўлчовларидаги сатҳлари келтирилган

1.2 — жадвал

Г/Р №	Товуш ёки шовқин манбаи ва ўлчаш жойи	Баландлик сатҳи, фон	Баландлик сатҳи, сон
1.	5 м масофадаги авиация мотори	116÷120	346÷556
2.	Метро поездининг ҳаракатдаги шовқини	85÷90	25÷38
3.	Ҳаракатдаги автобус, 5 м масофада	85÷88	25÷32,2
4.	10÷20 м масофадаги трамвай	80÷85	17,1÷25
5.	20 м масофадаги хуштак овози	70	7,95
6.	Шовқини куча	60÷75	4,35÷11,4
7.	Кучадаги уртача шовқин	55÷60	3,08÷4,35
8.	Тинч куча, кундузи	40	1,0
9.	Тинч боғ	20	0,097
10.	Қозонхона цеҳи	100÷103	88÷116
11.	Тикув цеҳидаги умумий шовқин	96÷100	62÷88
12.	Дарахт ишловчи фабрика	96÷98	62÷74
13.	Симфоник оркестр	80÷100	17,1÷88
14.	Қарсақлар	60÷75	4,4÷11,4
15.	Радио орқали баланд мусиқа	80	17,1
16.	Радиомарказ (студия ижро вақтида)	40–50	1÷2,2
17.	Кутубхона	25÷30	0,2÷0,36
18.	Қасалхона	20÷30	0,1÷0,36
19.	Нотик, 1 м масофада	70÷80	10÷22
20.	1 м масофадаги оддий суҳбат	55÷60	3,08÷4,35
21.	1 м масофада шивирлаб сўзлаш	20	0,1
22.	Шовқин мажлиси	65÷70	5,87÷7,95

1.6. Мураккаб товушларни эшитиш.

Ниқоблаш

Шу вақтгача синусонал қонун бўйича ўзгарувчи соф тонлар кўриб чиқилди. Аммо, соф тонлар табиатда жуда кам учрайди. Кўпгина мусиқа тонлари соф тон эмас, балки мураккаб тонлардир. Мураккаб тон, асосий тон, обертонлар ёки гармоникалардан иборат. Обертонлар асосий тон частоталари билан оддий қаррали нисбатда бўладилар. Мураккаб тон битта эмас, бир неча обертонлардан ташкил топиши мумкин. Тажриба шуни кўрсатадики, фазанинг жуфт катта оралиқда ўзгариши мураккаб тонларни эшитишга таъсир қилмайди, фақатгина жуда

баланд товушлардагина тонлар ташкил этувчиларининг фазалари таъсир кўрсата бошлайди. Мураккаб тон ночизикли тавсифга эга бўлган у ёки бу қурилманинг чиқишида, ҳатто унинг киришига соф тон берилган ҳолда ҳам олинishi мумкин. Шундай қилиб, бизнинг қулоқ ҳам ночизикли қурилма ҳисобланади. Унга егарлича катта жадалликка эга бўлган соф тон билан таъсир этиб, мураккаб тон ҳис этишимиз мумкин. Шу сабабдан қулоғимизга жуда кучли инфратовуш частотали тон билан таъсир этилса, биз бу тонни қулоғимизда пайдо бўладиган гармоникалар ҳисобига эшитамиз. Шовқин товушнинг тонга нисбатан мураккаброқ кўринишидир. Мураккаб тонлардан фарқли равишда шовқин ташкил этувчиларининг частоталари оддий каррали нисбатда эмас. Бундан ташқари бу ташкил этувчиларнинг частота ва амплитуда лари вақт бўйича ўзгариб туради. Субъегив жиҳатдан тон билан шовқиннинг бир — биридан фарқи шундаки, биринчисида товуш ба ландиги билан тавсифлаш мумкин бўлса, иккинчисига нисбатан, ак сари ҳоларда бундай қилиб бўлмайди. Кундалик ҳаётимизда учрайдиган товушлар шу жумладан инсон нутқнинг анчагина қисми ҳам шовқин характерига эга. Кундалик тажрибамиздан биламизки, агар у аниқ ифодаланган бўлса, ҳар қандай товушнинг субъектив тавсифи унинг катталиги ва баландлигидир. Аммо, бундан ташқари, деярли барча то вушларда уларнинг тембри, яъни товушларнинг табиатини акс этти рувчи ажратадиган субъектив ранг ажралиб туради. Масалан, эркак, аёл ёки бола битта товушни чиқарган. Худди шунга ўхшаш мустика ас боби билан қандай нота олинганлигини аниқлаш жуда осон. Тембр то вуш. Товуш манба айни дақиқада қандай асосий частотани нурлатаёт ганидан қатъий назар шу манбага хос частотавий ташкил этувчилар билан аниқланади. Хусусан одам нутқи ҳолида ҳар бир одам ўзининг индивидуал хусусиятларига кўра, фақат унга хос томоқ ва оғиз бўш лиқларига эга бўлиб, улар резонатор сифатида нутқнинг у ёки бу час тотавий ташкил этувчиларини ажратиб беради.

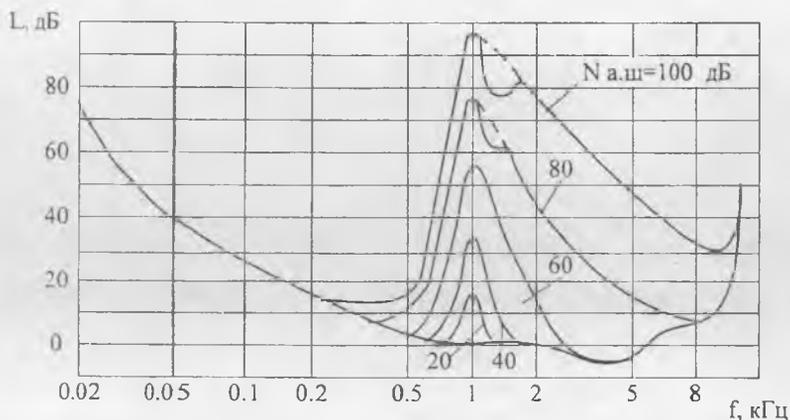
Агарда бир вақтнинг ўзиде турли хил товушлар таъсир этса, то вушларни қабул қилиш кескин ўзгаради. Масалан, тинч пайтда жуда тушунарли бўлган нутқ кучли шовқин таъсирида эшитилмаслиги мум кин. Бу ҳодиса **ниқоблаш** деб аталади. Эшитилиши керак бўлган товуш **ниқобланувчи товуш** ва эшитишга ҳалал берувчи товуш эса **ниқобловчи товуш** деб аталади. Гадқиқотлар шуни кўрсатадики, ниқобловчи товуш қанчалик кучли бўлса ва унинг частотаси ниқобланувчи товуш частотасига қанчалик яқин бўлса, ниқоблаш эффекти шунчалик кучли бўлади. Бунда ниқобловчи товуш частотаси ниқобланувчи товуш частотасидан паст бўлса, ниқоблаш эффекти шунчалик кучсиз сезилади.

Ниқоблаш катталиги қуйидагича формула билан аниқланади

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

бу ерда $L_{a.ш}$ ва L_a – шовқин ва тинч ҳолатлардаги эшитиш бў – сағаларининг сатҳлари. Ҳалақит берувчи товуш фойдали товуш сатҳи – дан етарлича катта бўлганда, фойдали товуш эшитилмаслиги мумкин.

Тор полосали шовқин сатҳининг тонни ниқоблашга таъсири 1.7 – расмда кўрсатилган. Ниқобловчи шовқиннинг полоса кенглиги 160 Гц ни ташкил этади. Унинг $L_{a.ш}$ сатҳи эса, мос ҳолда 100, 80, 60, 40 ва 20 дБ га тенг. Барча бешта эгри чизиқ шовқин поласасининг тон частотасига тенг 1000 Гц ли уртача частотасида аниқ ифодаланган максимумга эга. Частота таркиби қабул қилинаётган товуш частотаси соҳасида ётган, жадаллик сатҳи қабул қилинаётган товуш сатҳидан бир мунча катта бўлган шовқин таъсирида эшитиш бўсағаси ошади, қўзғолган нерв толалари эшитиш марказига шовқинга мос импульслар юборади. Кичик сатҳдаги қабул қилинаётган товуш дискретлиги нати – жасида эшитишга ҳеч нарса қўшолмайди, шунинг учун биз уни эшит – маймиз.

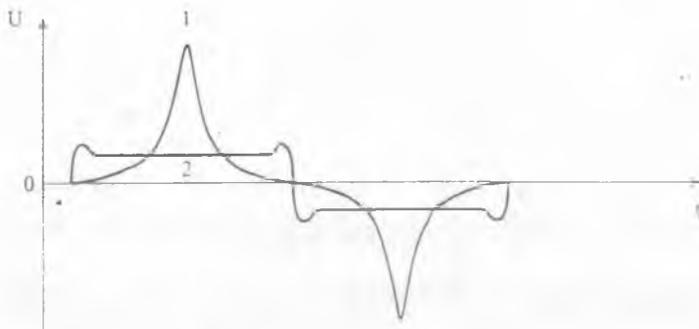


1.7 расм. Турли қийматдаги шовқин сатҳи билан тон бўсағаси ниқоблаганда унинг эшитилиш боғлиқлиги

Тажриба йўли билан, паст частотали тонлар юқори частотали тон – ларни кучлироқ ниқоблаши аниқланган. Бунинг сабаби шундаки, паст частоталарда резонансланадиган ва чиганоқ толалари, овал ойнадан узоқда жойлашган, чиганоқ каналларида у ёки бу даражада тебранаёт – ган лимфа овал ойнага яқин барча толаларни, жумладан юқори частотали толаларни ҳам қўзғотади. Юқори частоталарда резонансланадиган толалар овал ойнага яқин жойлашган ва лимфа тебранишлари узоқда жойлашган паст частотали толаларга етмасдан сўнади.

1.7. Эшитишни сеза билишнинг вақт тавсифлари

Гельмгольц ва Флетчерларнинг маълумотларига қараганда, бир неча частотавий ташкил этувчилардан таркиб топган мураккаб тебра — нишлар ҳолида бу ташкил этувчилар эшитиш аъзосининг турли критик полосаларига тушади, эшитиш аъзоси частотавий ташкил этувчилари орасидаги ўзаро фаза силжишларини сезмай қолади, яъни амалда эгри чизиқ шаклига таъсир этмайди. Масалан, 1.8 расмда кўрсатилган му — раккаб товушларнинг жарангланши товуш баландлиги сатҳи 60 фондан ошганда эшитишнинг фақат ночизиқлиги туфайли ўзаро фарқ қилади.



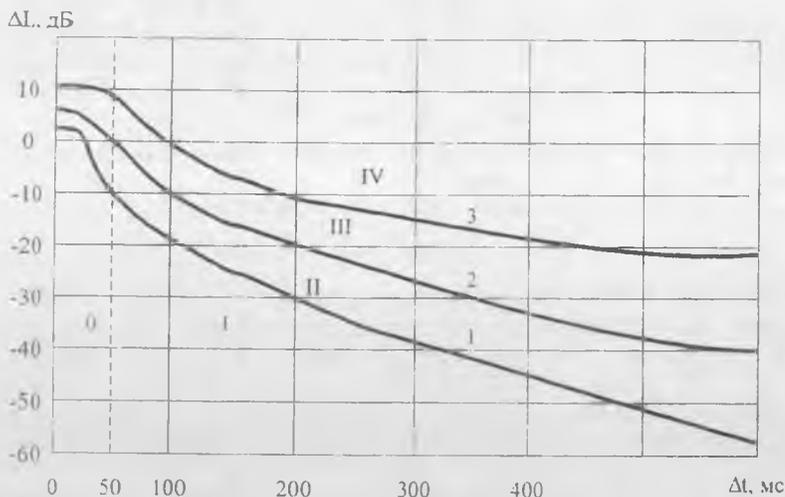
1.8— расм. Эшитиш аъзоси томонида бирхил сезиладиган товуш тебранишлари

Қўзғотувчи куч йўқолганда эшитиш аъзосининг сезгирлиги бир — дан йўқолмасдан, аста — секин нолгача камаяди. Бу эффеќтни эшитиш таассуроти деб аталади. Товуш баландлиги сатҳи бўйича сезгирликнинг 8,7 фонгача пасайишига кетган вақт эшитиш аъзосининг вақт доимийси деб аталади. Бу вақт доимийсининг катталиги бир катор ҳолатларга ва хатто қабул қилинувчи товушнинг параметрларига боғлиқ. Ўртача, бу вақт, ўртача олганда 150÷200 мс га тенг деб ҳисобланади.

Агарда тингловчи иккита товушни қабул қилиб, улардан биттаси иккинчисига нисбатан 50 мс га кечикса, унда бу иккала товуш қушилиб доимо битта товушдек қабул қилинади. (Тўғри, товушлар бир биридан 30 мс дан ортик кечикканида ҳосил бўлган товушнинг жарангланшида айрим сифат ўзгаришлари сезилади). Кечиккини 50 мс дан кўпроққа чў — зилганда эса, товушлар алоҳида — алоҳида эшитилади. Бироқ, агарда иккинчи товушнинг сатҳи биринчисига нисбатан камроқ бўлса, унда у алоҳида товуш сифатида эшитилмаслиги ёки унинг сатҳи биринчиси — никидан қанчалик камлигига қараб алоҳида эшитилиши мумкин. 1.9 — расмда алоҳида — алоҳида қабул қилинадиган иккита товуш сатҳлари фарқи орасидаги боғланишни ифодаловчи эгри чизиқ кўрсатилган (1 — эгри чизиқ). Агарда, товушлар битта манбадан чиқсаю, улардан бири у

ёки бу тусиқдан қайтиши ҳисобига катта йўл босиб ўтса, кейинги ало — ҳида эшитиладиган то вуш **акс садо** деб аталади.

Агарда, тўғри ва қайтарилган товушлар сатҳининг фарқи 2 эгри чизиқда кўрсатилган қийматлардан ошмаса, унда кечикувчи товушни эшитиш мумкин (II зона), кўрсатилган қийматлардан ошганда кечикувчи товуш акс садо сифатида эшитилади ва нутқ аниқлиги пасаймайди (III зона). Сатҳлар фарқи 3 эгри чизиқдаги кўрсаткичлардан ошганданида (IV зона), акс садо ҳисобига нутқ аниқлигининг пасайиши сезила бошлайди.



1.9 — расм. Тўғри ва кечиккан сатҳлар ўртасидаги талаб этилган фарқ ва қайтарилган товушнинг кечикиш вақти ўртасидаги боғлиқликни ифодаловчи эгри чизиқ:

- 1 — акс садонинг эшитилиш чегараси;
- 2 — акс садонинг сезилиш чегараси;
- 3 — акс садонинг ҳалақит бериш чегараси;

Зоналар: 0 — товушларни ягона товушдек эшитиш;

I — эшитилмайдиган акс садо;

II — эшитиладиган акс садо;

III — акс садо эшитилади, аммо нутқни қабул этишга ҳалақит бермайди;

IV — акс садо нутқ аниқлигини пасайтиради.

Бу эгри чизиқлар ҳисоблашлар фақат қўлда бажарилган ҳолда — гина қулайлик туғдиради, электрон ҳисоблаш машиналаридан фойдаланилганда уларнинг аналитик аппроксимацияси ҳақида тушунчага эга бўлиш лозим. Етарли даражада (аниқлиги 1 дБ га яқин бўлган) қуйидаги аппроксимациядан фойдаланади:

$$1 - \text{эгри чизиқ учун: } \Delta L_1 = \frac{100}{3} \lg \Delta t (\text{мс}) - 45, \text{ дБ,} \quad (1.15)$$

бунда Δt – кечикиш вақти;

$$2 - \text{эгри чизиқ учун: } \Delta L_2 = 35 \lg \Delta t (\text{мс}) - 54, \text{ дБ:} \quad (1.16)$$

$$3 - \text{эгри чизиқ учун: } \Delta L_1 = \frac{80}{3} \lg \Delta t (\text{мс}) - 51, \text{ дБ.} \quad (1.17)$$

Мисол. Тингловчи, товуш манбаи ва 17 м масофадаги қайтарувчи девор оралиғи турибди. Агарда товушнинг девордан қайтиш коэффициенти бирга яқин бўлса, унда тўғри товуш жадаллиги қайтарилган товуш жадаллигидан 9 марта ($51^2:17^2$) катта бўлади. Сатҳ бўйича бу фарқ $10 \lg 9 = 9,5$ дБ га тенг. Тўғри ва қайтарилган товушлар йўлининг айирмаси 34 м ни ташкил этади, шунинг учун қайтарилган товуш тўғри товушга нисбатан $(34 \times 1000)/340 = 100$ мс га кечикади. Бу ҳолда товуш ва унинг акс садоси орасидаги фарқ сезиларли бўлади.

Агар товуш манбаи тингловчидан 3 м олдинда турган бўлса, сатҳлар фарқи $10 \lg X \frac{(3+2X \cdot 17)^2}{3^2} = 21,8 \text{ дБ}$ ни ташкил этади. Бу ҳолда, товуш ва унинг акс садоси сезилиш чегарасида ташқарида бўлади (1 – зона).

Эшитиш аъзосининг вақтий тавсифларидан яна бири **ниқоблашдан кейинги ҳодисадир**: кучли товушлардан сўнг келадиган кучсиз товушлар олдинги товушнинг қайтиши ҳисобига бутунлай ёки қисман ниқобланган бўлади. Сигналнинг эшитиш таасуроти туфайли юзага келган ниқоблашдан кейинги ҳодисаси олдинги сигнал сатҳига боғлиқ бўлиб, унинг сатҳи қанчалик юқори бўлса, шунчалик узоқроқ давом этади. Нутқ товушининг ниқоблашдан кейинги ҳодисасини кўпинча **ўз-ўзини ниқоблаш** деб атайдилар. Қулоқнинг қисқа импульсларни эшитиш чоғида интеграциялаш хусусиятини ҳам эслатиб ўтиш лозим. 50 мс чегарасида импульс жадаллиги интеграцияланади, бунинг ҳисобига узоқроқ (50 мс гача), аммо амплитудаси кичик бўлган импульс, ҳам катта амплитудали қисқа импульс каби баланд эшитилади (агар импульслар жадаллигини уларнинг давомийлигига кўпайтмаси бир хил бўлса). Эшитиш аъзосининг вақтий тавсифларига товуш тоналлигининг, аниқроғи, товуш баландлигининг гикланиш вақти ҳам киради. Эшитиш аъзоси товуш баландлигини, яъни тебраниш частотасини аниқлаб олиши учун икки–уч тебраниш даври керак. Паст частоталарда бу вақт тахминан 30 мс ни юқори частоталарда – бир мунча кичикроқ вақт оралигини ташкил этади.

Эшитиш сезгирлиги бирданига пўқолмаслиги сабабли частоталари бўйича фарқи катта бўлмаган иккита кетма–кет тонларнинг тепкили тебранишлари эшитилади, бунинг эвазига частоталарнинг жуда кичик фарқини ва частотанинг унча катта бўлмаган оралиқда суст тарзда ўзгаришини аниқлаш мумкин.

1.8. Эшитиш аъзосининг ночизиқли хусусиятлари

Бизга битта частотавий ташкил этувчига сатҳи 100 дБ га тенг соф тон таъсир этганда, биз сатҳи 88 дБли иккинчи, сатҳи 74 дБли учинчи ва ҳ.к тон гармоникаларини эшитамиз. Эшитиш сезгисида бу гармо — никаларнинг мавжудлиги тажрибада «қидирувчи» тон ёрдамида аниқлаш осон. Бунинг учун қулоққа частотаси текшириляётган тон частотасидан юқори диапазонда ётган ва аста — секин (силлик) ўзгара — ётган «қидирувчи» тон берилади. Бу тоннинг ҳар бир каррали частотасида тепкили уриш — гўё қулоққа ҳақиқатдан ҳам шу турдаги гармоникалар берилгандек сезги пайдо бўлади. Шунинг учун улар (бу гармоникалар) субъектив деб аталади. Айнан шу сабабдан ниқобловчи тон частоталарига каррали бўлган частоталарда товушнинг ниқобланиши кузатилади. Частоталари эшитиш аъзосининг битта критик полосасига тушмайдиган иккита соф тон тингланганда, одам купинча тон частотаси частоталар фарқига тенг тонни яхши сезади. Частотаси частоталар йиғиндисига тенг тон ёки частоталарнинг

$f = mf_1 \pm nf_2$ кўринишидаги бошқа комбинацияси билан аниқланадиган тонни эса ёмон эшитади (бу ерда m ва n — бутун сонлар). Эшитиш аъзосига каррали бўлмаган ташкил этувчиларга эга бўлган тонлардан тарқиб топган мураккаб товуш таъсир этганида спектр купгина комбинацион частоталар билан «ифлосланади». Баланд товушли 1000 Гц дан паст частота диапазонини қирққанимизда одам эшитиш аъзосининг ночизиқлилиги туфайли барибир паст частоталарни эшитади. Шу сабабдан одамлар паст частоталарни яхшироқ эшитиш учун эшиттиришларни баланд овозда эшитадилар, шунда паст частотали эшиттириш гўё яхши эшитилаётгандек туюлади. Ўз — ўзидан равишанки, бу ҳолда юқори частоталардаги товушнинг янграши бузилади. Шунинг ҳисобига юқори частоталарда ҳам кичик бузилишлар бўлади, ва бу ҳам

1.9. Бинаурал эффе́кт

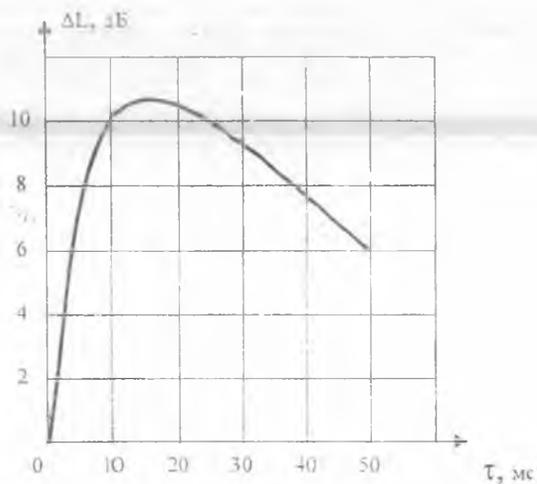
Одатдаги шароитларда товуш манбаи жойлашган жойни аниқлаш осон. Ҳатто, бир неча товуш манбаи бўлганида ҳам биз уларнинг фа — зода жойлашишини осонликча тасаввур қиламиз. Одамнинг товуш манбаи жойлашган йўналишини топа олиш хусусиятига **бинаурал эффе́кт** деб аталади. Бинаурал эффе́кти туфайли икки қулоқ билан эши — тишимиз натижасида, бир хил фазали товуш тебранишларининг қулоғимизга келиш вақти фарқини ажрата оламиз. Бу, асосан бинаурал эффе́ктни паст ва урта частоталарда аниқлайди. Одам эшитишда товуш тўлқинларининг йўналишини горизонтал текисликда $3 \div 4^\circ$ аниқлик би — лан аниқлайди, вертикал текисликда эса, бу курсатгич 20° дан ошмайди. Бир қулоқ билан эшитадиган одам бинаурал эффе́кт хусусиятидан маҳрумдир.

Тинглашдаги стереоакустик эффект шундан иборатки, одам товуш манбаининг «кундаланг» ўлчамларини, ҳамда унинг «чуқурлигини», яъни товуш тўлқини йўналиши бўйича товуш манбаининг ўлчамларини «сезади». Тингловчи осонгина у ёки бу мусиқа асбобининг оркестрда жойлашган жойини аниқлай олади. Бошқача қилиб айтганда икки қулоқ билан тинглаш акустик истиқболни яратади.

Агарда одам эшиттиришни иккита турли жойда жойлашган ва оралари тингловчига яқин бўлган бир хил товуш манбаидан эшитса, товуш манбалар сатҳи бир хил бўлганда мавҳум товуш манбаи гўё шу икки товуш манбалари ўртасида жойлашгандек бўлади.

Манбалар сатҳи бир хил бўлмаганда мавҳум манба сатҳи баланд – роқ товуш манбаи томон силжигандек туюлади. Мавҳум манба жойлашган жойни товуш манбалари ҳосил қилаётган жадалликка нисбатан аниқлаш мумкин (жадалликлар нисбати мавҳум манба ва ҳақиқий манбалар оралиқлари нисбатига тахминан тенг).

Агар тингловчи товуш манбаидан (масалан, радиокарнайда) битта эшиттиришни ўзидан турли масофаларда эшитса, ёки ундан бир хил масофада жойлашган икки манбаининг биридан келаётган сигнал иккинчисидан келаётган сигналга нисбатан бироз кечикса, унда асосий ва кечиккан манбалар сатҳи тенг бўлганда мавҳум манба асосий манба жойлашган ерда жойлашгандек туюлади. Бошқача қилиб айтганда кечиккан сигналнинг, қўшилиши товуш жарангдорлигини оширса ҳам унинг манбаи гўё йўқдек туюлади. Демак, асосий сигнал кечиккан сигнални (агар уларнинг сатҳи бир хил бўлса) бутунлай босади. Агарда кечиккан сигнал сатҳини аста – секин оширсак, иккала товуш манбаи ҳатто, кечикиш вақти 50 мс дан кам бўлганида ҳам алоҳида – алоҳида эшитилади.



1.10 расм. Сигналнинг кечиккан қайтарилиши мавҳум сигнал манбаини локаллашга таъсири

1.10 расмда кечиккан сигнал сатҳининг ортиши ва ушланиш вақти орасидаги боғлиқлик эгри чизиғи келтирилган. Ордината ўқи бўйича асосий ва кечиккан сатҳлар фарқи берилган. Ушланиш вақти 15÷20 мс бўлганда иккала сигнал бирдек эшитилиши учун кечиккан сигнал сатҳ бўйича 11 дБ га оширилиши керак. Ушланиш вақти 50 мс бўлганда асосий ва кечиккан манбалар сатҳлари фарқи 6 дБ ни ташкил этади. Бу боғланиш кулгина олимлар томонидан, жумладан, батафсил тарзда Хаас томонидан урганилган. Шунинг учун 1.10 расмдаги эгри чизиқ **Хаас эгри чизиғи** деб аталади. Юқорида баён этилган хусусиятлар стерео – акустик эффект ва акустик истикбол яратиш учун ишлатилади, яъни стереофоник эшиттиришларда қўлланилади.

Назорат саволлари

1. Эшитиш аппаратининг асосий қисмларини санаб ўтинг.
2. Эшитиш аъзосини тавсифловчи асосий катталикларини санаб ўтинг.
3. Товушни эшитишнинг қандай бусағавий сатҳларини биласиз?
4. Товуш баландлиги ва баландлик сатҳи ўртасида қандай боғланиш бор?
5. Ниқоблаш ҳодисасининг моҳияти нимада?
6. Бинаурал эффектнинг моҳияти нимада?
7. Хаас эгри чизиғини тушунтиринг.

2 боб. Товуш тебранишлари ва тўлқинлар

2.1. Таърифлар

Товуш тўлқини деб эластик муҳитда узгарувчан қўзғолувчанликни тарқалиш жараёнига айтилади, **товуш тебранишлари** деб эса, ҳаво зар – рачаларининг шу қўзғолиш кучи таъсиридаги силжишига айтилади. Бу жараён содир буладиган фазо **товуш майдони** деб аталади.

Товуш тебранишлари механик тебранишларнинг хусусий кури – нишидир. Суyoқ ва газсимон муҳитларда товуш тебранишлари буйлама **тебранишларга** эга, яъни муҳит заррачалари тўлқин тарқалиши йўналиши буйлаб ҳаракатланади. Қаттиқ жисмларда эса, буйлама тебранишлардан ташқари кўндаланг тебранишлар ҳам содир бўлади яъни муҳит заррачалари тўлқин тарқалиши чизигига перпендикуляр ҳаракатланади. Товуш тўлқинларининг тарқалиш йўналиши **товуш нури**, бир хил фазали ёнма – ён заррачаларни бирлаштирувчи сирт **тўлқин fronti** деб аталади. Одатда, тўлқин fronti товуш нурига перпендикуляр. Умумий ҳолда тўлқин fronti мураккаб шаклга эга, ammo амалиётда тўлқин frontлари: ясси, шарсимон ва цилиндрик шаклга эга бўладилар.

Товуш тўлқинлари **товуш тезлиги** деб аталувчи маълум бир тезликда тарқалади.

Агарда T тебраниш даври, c товуш тезлиги ва f товуш частотаси бўлса, унда тўлқин узунлиги

$$\lambda = cT = \frac{c}{f}, \text{ м} \quad (2.1)$$

Алоқа ва эшиттиришда қўлланиладиган товуш тебранишлари частотаси $20 \div 20.000$ Гц оралигида ётади. **Босим** деб, бирлик юзага таъсир этаётган кучга айтилади. **Босим** P билан белгиланиб улчов бир – лиги Н/м^2 ёки Па.

$$p = \frac{F}{S}, \text{ Па.} \quad (2.2)$$

бунда F – жисмга таъсир этаётган куч; S – куч таъсир этаётган юза.

Товуш босими деб майдоннинг маълум нуқтасидаги йиғинди оний ва атмосфера босимларининг айирмасига айтилади.

$$p(t) = p_c - p_0. \quad (2.3)$$

бунда $p(t)$ – товуш босими; $p_c(t)$ – майдоннинг маълум нуқтасидаги йиғинди оний босим; p_0 – атмосфера босими.

Муҳит заррачалари зичлашган жойда $p_c(t)$ атмосфера босимидан катта ва ишораси мусбат. Сийрақлашган жойда эса, атмосфера боси – мидан кичик ва ишораси манфий.

Акустикада одатда амплитудаси 100 Па дан ошмайдиган босим билан иш қурилади. Агарда атмосфера босими $1,01 \times 10^5$ Па лигини ино – батта олсак, товуш босими қанчалик кичик эканлигига иқрор бўлаемиз.

Техник ҳисобларда товуш босимини амплитуда қиймати эмас, балки эффектив қиймати эътиборга олинади.

Тебранма тезлик заррачаларнинг мувозанат ҳолатига нисбатан силжиш тезлигидир. Бу катталикни товуш тезлиги билан адаштириш керак эмас. **Товуш тезлиги** —бу манбага яқин бўлган муҳит заррачалари қўзғолишининг манбадан узоқдаги заррачаларга тарқалиш тезлиги. Бунда энергиянинг бир нуқтадан иккинчи нуқтага кўчиши амалга ошади.

Агарда муҳит заррачаларининг қўзғолмас нуқтага нисбатан оний силжиши $x = X_m e^{j\omega t}$ бўлса, унда тебранма тезлик

$$V = \frac{dx}{dt} = j\omega X_m e^{j\omega t} = j\omega x, \quad (2.4)$$

бунда X_m — заррачаларнинг максимал силжиш амплитудаси.

Техник ҳисобларда тебранма тезлик, босим сингари эффектив қийматларда ўлчанади.

Товуш қуввати —бу товуш тўлқини бирлик вақтда бутун тўлқин fronti юзаси орқали тарқалиши йўналиш бўйича кўчираётган энергия. Товуш қуввати ўзининг физик хусусиятларига кўра механик қувватдир. Маълумки, қувват бирлик вақтда бажарилган иш. Электро – акустикада бажарилган иш деб, муҳит томонидан нурлатгичга таъсир этаётган кучга қарши бажарилган ишга айтилади.

$$P = \frac{dA}{dt} = \frac{Fdx}{dt} = FV = pSV, \quad \text{Вт} \quad (2.5)$$

бунда P — товуш қуввати; A — иш; F — муҳит томонидан нурлатгичга таъсир этаётган куч; x — нурлатгичнинг силжиши; p — товуш босими.

Жадаллик ёки товуш кучи — тўлқин фронтининг бирлик юзасидан бирлик вақтда ўтаётган товуш энергияси оқими.

$$I = \frac{P}{S} = \frac{pSV}{S} = pV \quad \text{Вт/м}^2 \quad (2.6)$$

бунда I — товуш кучи; S — тўлқин fronti юзаси.

Товуш энергиясининг zichлиги —бирлик ҳажмга туғри келадиган ўртача товуш энергияси. ρ ё билан белгиланади, ўлчов бирлиги $[\text{Дж/м}^3]$.

$$I = \rho c \text{ ёки } \rho = \frac{I}{c}, \quad (2.7)$$

бунда c — товуш тезлиги.

Ҳаракат тенгламаси. Товуш майдони иккита параметр: товуш бо – сими r ва тебранма тезлик V билан тавсифланади. Булар ўзаро қандай

боғланганлигини кўриб чиқамиз. Бунинг учун dS майдончалар билан чегаралаган элементар ҳаво қатламини ажратамиз. Қатлам қалинлигини dx деб белгилаймиз.

Фараз этайлик, ажратилган қатламга чап томондан p босим, унг томондан эса $p+dp$ таъсир этсим. Мос ҳолда қатлам томонларига таъсир этаётган кучлар: $F_1 = pdS$; $F_2 = (p + dp)dS$ тенг бўлади.

Қатламга тезлик берувчи натижавий куч кучлар айрмасига тенг:

$$dF = F_2 - F_1 = dpdS \quad (2.8)$$

Инерция қонунига асосан бу куч тескари ишорали инерция кучига тенг;

$F_{ин} = -ma$, бунда $a = \frac{dV}{dt}$ – тезланиш; $m = \rho dS dx$ – қатлам массаси; ρ – ҳаво муҳитининг зичлиги.

$$dF = F_{ин} \text{ ёки } dpdS = -\frac{dV}{dt} \rho dS dx \quad (2.9)$$

dS га қисқартирганимиздан сўнг:

$$\frac{dp}{dx} = -\rho \frac{dV}{dt} \quad (2.10)$$

Шундай қилиб, тескари ишора билан олинган босим градиенти муҳт зичлиги ва тезланиш кўпайтмасига тенг. Бу тенглама ҳаракат тенгламаси деб аталади ва ҳар қандай шаклдаги тўлқинларнинг товуш босими ва тебранма тезликни боғлайди.

Фронтларининг шакли бўйича ясси ва сферик тўлқинларга ажралади.

2.2. Ясси тўлқин

Ясси товуш тўлқини деб, фронт сирги тўлқин тарқалишига перпендикуляр бўлган тўлқинга айтилади. Тўлқин фронтга перпендикуляр бўлган товуш нурлари бир-бирига параллель бўлади. Бу шуни кўрсатадики товуш энергияси фазода сочилмасдан, гўж бўлиб тарқалади, яъни биз йўналган нурланиш ҳолатини кузатамиз. Ясси тўлқин нурлатгич ўлчамлари нурланувчи тўлқин узунлигидан катта бўлганда – гина юзага келиши мумкин. Радиокарнай юкори частоталарда ишлаганда бу шарт бажарилади. Деворлари қаттиқ трубага радиокарнайнилари юклаб ясси тўлқинни сунъий равишда ҳосил қилиш мумкин. Нурлатгич тўлқин узунлигидан кичик булганда ҳам труба деворлари тўлқин тарқалишига йўл бермайди.

Ясси тўлқин хусусиятларини билиш учун босим ва тебранма тезлик уртасидаги боғлиқликни аниқлаймиз. Фараз қилайлик, нурлатгич

қаттиқ поршень кўринишида бўлиб X уқи бўйлаб тебранади ва ясси тўлқин тарқатади.

Гармоник тебранишлар нурлатаётган манба сирти яқинидаги нуқтада товуш майдони қуйидагича аниқланади:

$$p = p_m e^{j\omega t} \quad (2.11)$$

Нурлатгичдан X масофадаги нуқтада босим фаза бўйича $\tau = \frac{x}{c}$ вақтга кечикади ва унда ясси тўлқин учун товуш босими

$$p = p_m e^{j\omega(t-\tau)} = p_m e^{j(\omega t - kx)}, \quad (2.13)$$

бунда k – тўлқин сон.

$$k = \frac{\omega}{c} = \frac{2\pi}{\lambda} \quad (2.14)$$

$c = \frac{\omega}{k} = \frac{x}{\tau}$, инобатга олсак, унда (2.11) ва (2.12) кўра $\omega\tau = kx$.

Координаталари ихтиёрий бўлган X нуқтадаги товуш босимини қуйидагича ифодалаш мумкин:

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

Тебраниш тезлиги ифодасини олиш учун ҳаракат тенгламаси (2.10) дан

фойдаланамиз, унга кўра $dV = -\frac{1}{\rho} \frac{dp}{dx} dt$.

$p = p_m e^{j(\omega t - kx)}$, ундан

$$\frac{dp}{dx} = \frac{d}{dx} (p_m e^{j(\omega t - kx)}) = -jk p_m e^{j(\omega t - kx)} \quad (2.16)$$

Шундай қилиб

$$dV = j \frac{k p_m}{\rho} e^{j(\omega t - kx)} dt, \quad (2.17)$$

$$V = j \frac{k p_m}{\rho} \int e^{j(\omega t - kx)} dt = j \frac{k p_m}{\rho j \omega} e^{j(\omega t - kx)} = \frac{k p_m}{\rho \omega} e^{j(\omega t - kx)} \quad (2.18)$$

$p = p_m e^{j(\omega t - kx)}$ ва $k = \frac{\omega}{c}$, қийматларини қўйиб товуш тебраниши тезлиги формуласини оламиз

$$V = \frac{P_m}{\rho c} e^{i(\omega t - kx)} \text{ ёки } V = \frac{P}{\rho c} \quad (2.19)$$

Товуш босими ва тебраниш тезлиги ўртасидаги боғланиш ясси тўлқинларнинг хусусиятларини аниқлайди.

1. Товуш босими ва тебраниш тезлиги амплитудалари товуш манбаидан узоқлашган сари камаймайди. Шунга мос ҳолда муҳит заррачаларининг силжиши ҳам ўзгармайди. Буни физик нуқтаи назаридан қуйидагича тушунтириш мумкин: тўлқин тарқалмаганлиги сабабли тўлқин фронти майдони масофа ўзгариши билан ўзгармайди, шунинг учун исталган масофада бирлик тўлқин фронти майдонига бир хил қийматдаги энергия тўғри келади.
2. Ясси тўлқинда говуш босими ва тебраниш тезлигининг фазалари тенг.
3. Товуш босими (муҳит заррачаларининг зичлашиш ва сийраклашишц области) ясси тўлқинларда нурлатгичдан узоқдаги заррачаларнинг нурлатгич яқинидаги заррачаларга нисбатан фаза бўйича кечикиши ҳисобига пайдо бўлади, чунки, энергия чекланган тезликда кўчади.

$$\rho c = \frac{P}{V} \text{ солишгирма акустик қаршилик деб аталади.}$$

Бу катталикини, қуйидагича белгилаймиз

$$Z_0 = \rho c = \frac{P}{V}. \quad (2.20)$$

Техник ҳисоблар учун

$$Z_0 = 1,23 \times 340 = 418 \text{ кг/м}^2\text{с қабул қилинган.}$$

Физик нуқтаи назаридан Z_0 нурлатгичнинг бирлик юзасига кўрсатаётган қаршилиги. Агарда бу катталик нурлатгичнинг бутун юзасига кўпайтирилса, унда муҳитнинг реакция қаршилиги, бошқача қилиб айтганда, нурланиш қаршилиги ҳосил бўлади.

$$Z_R = Z_0 S = \rho c S = \frac{P}{V} S = \frac{F}{V} \quad (2.21)$$

Ясси тўлқинларда босим ва тебраниш тезлиги ўртасида фаза силжиши булмаганлиги учун нурланиш қаршилиги актив катталикдир.

Товуш кучи (2.6) формуласини бошқа кўринишда

$$I = pV = \frac{P^2}{Z_0} = V^2 Z_0 \text{ ифодалаймиз} \quad (2.22)$$

Амплитуда қийматларига ўтиб,

$$I = \frac{P_m^2}{2Z_0} \text{ ёзамиз} \quad (2.23)$$

Манба нурлатаётган акустик қувват актив ва у қуйидагича ифо — далади:

$$P = IS = V^2 Z_0 S = V^2 Z_R. \quad (2.24)$$

2.3. Сферик тўлқин

Сферик (шарсимон) тўлқин фронти гумбаз шаклида бўлиб, марказида тебраниш манбаи жойлашган, товуш нурлари эса сферанинг радиуси билан мос.

Манбадан чиқаётган ва ҳар томонга тарқалаётган товушнинг тўла қуввати, товуш манбаидан узоқлашган сари, муҳитнинг қовушқоқлиги ва молекуляр сочилишни, инобатга олмаганда ўзгармайди, яъни $P_s = \text{const}$. Товуш интенсивлиги манбадан узоқлашган сари квадратик қонун бўйича камаяди $I_r = I_1 r^2$, бунда I_1 — манбадан бир ўлчам оралиқдаги товуш жадаллиги; r — тўлқин фронтининг шу марказгача бўлган масофаси. Товуш босими шар тўлқинларда масофа ошиши билан гиперболик қонун бўйича камаяди $p_r = p_1/r$, бунда p_1 — товуш манбаи марказидан бир тўлқин узунлиги масофасидаги товуш босимидир.

Сферик тўлқин тенгламасининг умумий кўриниши қуйидагича ифода — ланади

$$p = (p_1/r) [\phi_1(t-r/c) + \phi_2(t+r/c)] \quad (2.25)$$

(2.25)нинг биринчи ҳади тўлқиннинг мусбат йўналишда тарқалиши, иккинчи ҳади эса, манфий йўналишда тарқалишига мос.

Сферик тўлқин тебраниш тезлиги

$$v = (v_1/r) e^{i[\alpha(t-r/c) - \psi]} \quad (2.26)$$

бунда v_1 — товуш манбаидан бирлик узунликдаги тебраниш тезлиги амплитудаси, ψ — товуш босими ва тебраниш тезлиги ўртасидаги фаза силяжиши.

Сферик тўлқиннинг солиштирма акустик қаршилиги

$$Z_A = \rho c \left[\frac{k^2 r^2}{1+k^2 r^2} + i \frac{kr}{1+k^2 r^2} \right] \quad (2.27)$$

Акустик қаршиликнинг актив таркиби

$$r_R = \rho c \frac{k^2 r^2}{1+k^2 r^2} \quad (2.28)$$

Реактив таркиби

$$X_R = \rho c \frac{kr}{1+k^2r^2}. \quad (2.29)$$

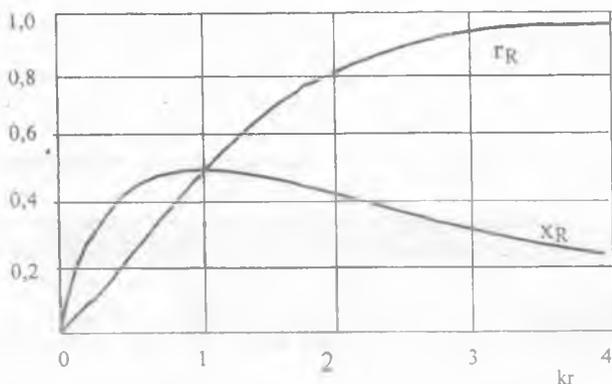
Қаршилик модули

$$|Z_A| = \rho c \cos \psi, \quad (2.30)$$

яъни сферик тўлқин акустик қаршилиги, яъси тўлқин акустик қаршилигидан катта эмас.

Реактив қаршилик инерцион қаршилик бўлиб, бирга тебранувчи масса қаршилиги характериға эға.

Ҳар бир турдағи нурлатгичлар учун улчамсиз $\Gamma_R \cdot X_R$ коэффициентиларни частотаға боғлиқлиғи турли кўринишға эға. Тешкили шар тавсифи 2.1 – расмда кўрсатилган.



2.1 – расм. Тешкили шарнинг улчамсиз актив ва реактив коэффицентлари таркибининг частота тавсифи.

Агарда нурланиш қаршилигининг актив таркиби, яъни $\Gamma_R > X_R$ шарт бажарилса, нурланиш самарадорли ҳисобланади. Коэффициентларнинг тенглиғи самарадор нурланиш чегарасини аниқлайди.

Тешкили шар учун самарадор нурланиш чегараси 2.1 – расмға асосан $kr = 1$. Бунда $k = \frac{\omega}{c}$, тўлқин сон, у ҳолда 2.1 – расмдан кўриниб

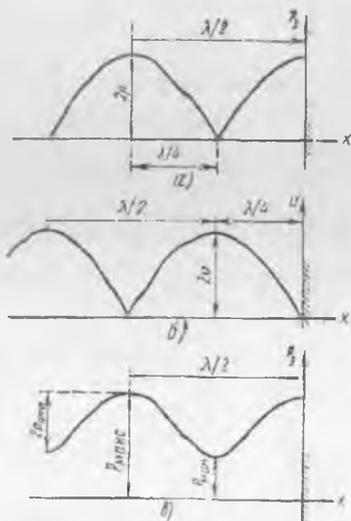
турибдики, нурланишнинг реактив таркиби X_R аввалиға частотаға пропорционал ўзгаради. Аслида шундай бўлиши ҳам керак, чунки,

$X_R = \omega m_R$. Аммо, X_R максимумға эришиб, кейин нолға интилади. Бу ўзгариш частота ошганда тўлқин узунлиғи камайиши билан тушунтирилади. Бу ҳолда яқин зона банд этадиган ҳажм ҳам камаёйди, демак муҳитнинг бирға қўзғолувчи массаси ҳам частота ошиши билан нолға интилади.

2.4. Тўлқинлар интерференцияси

Агарда иккита бир хил амплитудали товуш тўлқинлари қарама – қарши йўналишда тарқалаётган бўлса, унда дўнглик ва тугунли турғун тўлқин ҳосил бўлади. Қўшни тугунлар ва дўнгликлар ораси ярим тўлқин узунлигига тенг (2.2 – расм), тугун ва дўнглик оралиғи эса, чорак тўлқин узунлигига тенг. Дўнгликда товуш босими амплитудаси икки – ланган югурувчи тўлқин амплитудасига, тугунда эса, амплитуда нолга тенг. Босим ва тебраниш тезлиги дўнглиги бир – бири билан мос кел – майди, балки улар бир – биридан чорак тўлқин оралиғида бўлади (2.2 расм а ва б). Худди шундай, дўнгликда тебраниш тезлиги амплитудаси иккиланган қийматга эга.

Турғун тўлқинларда энергия оқими нолга тенг, шунинг учун уларни буткул энергия ёки товуш босимининг квадрати билан тавсифлайдилар. Тўғри ва тесқари тўлқин амплитудалари тенг бўлмаганда турғун тўлқин, қайтган тўлқин ва қисман амплитудаси қайтган тўлқин амплитудасига тенг тўғри тўлқин йиғиндиси натижасида содир бўлади. Тўғри тўлқиннинг қолган қисми югурувчи тўлқин ҳосил қилади (2.2 в – расм).



2.2 – расм. Интерференция вақтида товуш босими ва тебраниш тезлигининг тақсимланиши:

- бир хил амплитудали товуш босими учун;
- тебраниш тезлиги учун;
- турли амплитудали товуш босими учун.

2.5. Товушнинг қайтиши

Агарда товуш тўлқини ўз йўлида қандайдир тўсиқ ёки бошқа па – раметрли муҳитга дуч келса, унда товуш тўлқинининг қайтиши кузати – лади. Қайтишнинг самарадорлиги қайтиш коэффициентини билан тавсиф – ланади. Акустикада қайтиш коэффициенти деб қайтган товуш тўлқин интенсивлигининг $I_{\text{қайт}}$ тушаётган тўлқин интенсивлиги $I_{\text{туш}}$ нисбатига

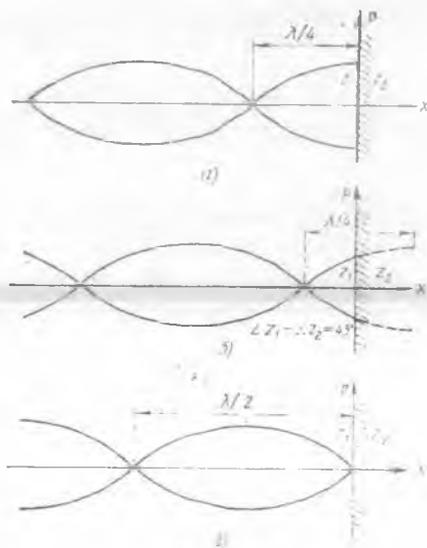
айтилади, яъни $\alpha_{\text{қайт}} = I_{\text{қайт}} / I_{\text{туш}}$ Қайтаришда тушаётган ва қайтган товуш тўлқини босимлари ўртасида фаза силжиши пайдо бўлади.

Иккала муҳитнинг қаршилиги актив бўлса, унда фаза силжиши нольга тенг (қайтарувчи муҳитнинг қаршилиги бирламчи муҳит қаршилигидан катта), ёки 180° (қайтарувчи муҳитнинг қаршилиги бирламчи муҳит қаршилигидан кичик). Бир ёки иккала акустик қаршилиқлар реактив таркибга эга бўлса, унда фаза силжиши 0° ёки 180° ўртасида бўлади.

Товуш қайтганда босим бўйича силжиш фазаси нольга тенг бўлса (атроф муҳит акустик қаршилиги бирламчи муҳит қаршилигидан анча катта), унда муҳитлар чегарасида товуш босимининг дўнглиги (2.3 а - расм), тебраниш тезлиги эса, тугун ҳосил қилади. Иккала муҳитнинг акустик қаршилиқлари нисбати тескари бўлганда, товуш босими учун силжиш фазаси 180° : муҳит чегарасида товуш босимининг тугуни (2.3 в - расм) ва тебраниш тезлигининг дўнглиги ҳосил бўлади.

Агарда товуш босими бўйича қайтаришда фаза силжиши ноль ва 180° га фарқланса, унда тугун ва дўнглик мос ҳолда муҳитларни бўлиб тугувчи чегара юзасидан силжийди.

2.3 б расмда силжиш фазаси 90° бўлган ҳолат кўрсатилган.



2.3 – расм. Турли фаза силжишларида қайтаришдаги товуш босими амплитуда – сининг тақсимоти:
 а) фаза силжишисиз;
 б) фаза силжиши 90° ;
 в) фаза силжиши 180° .

Назорат саволлари

1. Товуш майдонини тавсифлайдиган асосий: товуш тезлиги, тўлқин узунлиги, товуш босими, товуш қуввати, товуш кучи, товуш энергиясининг зичлиги тушунчаларини тушунтиринг.
2. Ҳаракат тенгламасини тушунтиринг.
3. Ясси тўлқинлар таъқалишининг хусусиятлари қандай?
4. Сферик тўлқин таъқалишининг хусусиятлари қандай?
5. Сферик тўлқинда яқин зона ўлчами нима билан аниқланади?
6. Нима ҳисобига сферик тўлқинда яқин зонада босим ва тебраниш тезлиги пайдо бўлади?
7. «Нурланиш қаршилиги»ни тушунтиринг.
8. «Муҳитнинг бирга қўзғолувчи масса»си тушунчасини тушунтиринг.

3 боб. Товуш сигналлари

3.1. Таърифлар

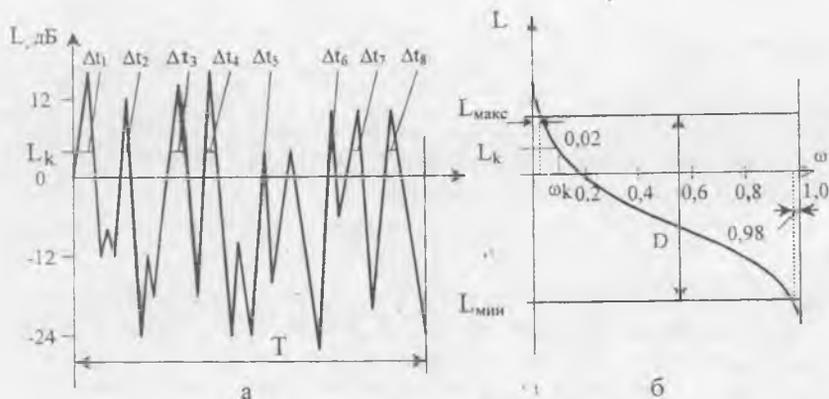
Товуш сигналлари **бирламчи** ва **иккиламчи** сигналларга бўлинади. Бирламчи сигналларга: музика асбоблари, ашула, нутқ; музика ва ба – дийй нутқ эшиттиришларида қўлланиладиган фонограмма сигналлари (поезд шовқини, денгиз шов – шуви, шамол хуштаги ва б.қ). Алоқа ва эшиттириш трактларини баҳолаганда шундай фараз қилинадики, ҳар бир акустик сигнал эҳтимолик маъносида ҳар доим тасодифий ва ўзида ҳажмига мос ахборот ташиydi. Тингловчиларга бу сигналлар ахборот эмас, балки эстетик ҳузур бахшида этади. Музика сигналларининг кўп участкалари даврий тавсифга эга бўлса ҳам катта вақт оралиғида уларни тасодифий деб кўриш мумкин. Шунинг учун товуш сигналлари параметрларини уларнинг сатҳи бўйича, частота диапазони ва вақти бўйича тақсимланишга қараб аниқлайдилар.

Иккиламчи сигналларга, электроакустик қурилмалар ёрдамида қайта эшиттирадиган сигналлар киради, яъни электроакустик алоқа ва эшиттириш трактларидан ўтган ва мос ҳолда параметрлари ўзгарган бирламчи сигналлар киради.

3.2. Динамик диапазон

Ҳар қандай эшиттириш жараёнида акустик сигналнинг сатҳи уз – луксиз ўзгаради, шу билан баробар унинг ўзгариши диапазони кенг. 3.1 а расмда **сатҳграмма** деб аталувчи сигнал сатҳининг вақт бўйича ўзга – риши кўрсатилган. Одатда уни улчов асбобининг доимий вақти 150÷200мс билан аниқланадиган (субъектив сатҳграмма), ёки 20÷30 мс (объектив сатҳграмма) сатҳлар учун берадилар.

Сигнал сатҳи, одатда тасодифий қонун билан ўзгаргани учун, унинг интеграл ва ўртача тақсимотини қуйидагича аниқлаш мумкин. Қандайдир сатҳни, масалан L_k (3.1 а - расм) ни оламиз. Сигналнинг сатҳи L_k дан кичик бўлмайдиган йиғинди вақтни $\tau = \Delta t_1 + \Delta t_2 + \Delta t_3 + \dots + \Delta t_n$, ёзиш мумкин. Бунда Δt_n – сигналнинг вақтий таъсир оралиғи. Демак, берилган сигналдан нисбий ошилш вақти $\omega_k = \frac{\tau_k}{T}$. Бунда T – сигналнинг тахлил вақти давомийлиги (у етарлича катта бўлиши керак: нутқ учун 15 с ва музика учун 1 мин.). Шундай қилиб турли сатҳлар учун ω_k ни аниқлаб, мазкур сигнал учун интеграл тақсимот эгри чизигини тузиш мумкин. 3.1 б – расмда кўрилаётган сатҳграмманинг шундай тақсимот эгри чизиги кўрсатилган.



3.1 расм. Динамик диапазонни аниқлашга оид:
 а) сатҳграмма;
 б) сатҳграмма бўйича интеграл тақсимот графиги.

Шу нарса белгиланганки бирламчи мусиқа ва нутқ сигналлари —нинг шакли нормал тақсимот қонунига яқинроқ. Товуш сигналларини таҳлил қилиш учун сигналларнинг квазимаксимал L_{\max} ва квазиминимал L_{\min} сатҳлари тушунчаси киритилган. Уларни берилган сигнал сатҳидан нисбий вақт бўйича ошиши билан аниқланади. Квазимаксимал сатҳлар учун бу вақтни мусиқа сигналининг 2%, нутқ сигналининг 1% тенг, квазиминимал сатҳлар учун мос ҳолда 98 ва 99% олишга келишилган (3.1, б- расм). Айнан шундай қийматларни L_{\max} ва L_{\min} учун тағлаш, сигналларнинг ўткир чўққи ва чўкмалари амалда эшитилмаслигига асосланган.

Сигналнинг квазимаксимал ва квазиминимал сатҳлари айирмаси динамик диапазон деб аталади.

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

Айрим товуш сигналлари учун динамик диапазон 3.1 жадвалда келтирилган.

3.1 жадвал

Сигнал тури	Динамик диапазон, дБ
Диктор нутқи	25÷35
Бадий ўқиш	35÷45
Телефон орқали сўзлашув	35÷45
Катта бўлмаган ансамбллар	45÷65

Синфоник оркестр	75+55
Рок – мусиқа	118 гача
Реактив самолет мотори	120

Сигналнинг динамик диапазонини товуш узатиш какали динамик диапазони D_k билан солиштириш керак:

$$D_k = 20 \lg \frac{U_{ном}}{U_{ш}} - (\Delta N_1 + \Delta N_2), \quad (3.2)$$

бунда $U_{ш}$ – каналдаги шовқин сатҳи; $U_{ном}$ – номинал кучланиш; ΔN_1 – шовқин ва ҳалақитларни босувчи сатҳ сатҳи, ДБ (одатда 10 ДБ дан кам эмас); ΔN_2 – ортикча юклама қиймати (3+6) ДБ.

Жадвалдан кўришиб турибдики, табиий сигналларни узатиш учун юқори сифатли апаратуралар талаб этилади. Кўпчилик ҳолларда бир – ламчи акустик сигналлар динамик диапазони аналогли алоқа ва эшит – тириш воситаларининг имкониятларидан юқори. Шунинг учун уларни ишлатишдан олдин динамик диапазонни сиқиш лозим ёки узатиш трактларида пайдо бўладиган сезиларли бузилишларга кўниқиш керак.

3.3. Ўртача сатҳ

Акустик сигнал жадаллиги ўртача сатҳини эшитиш аъзоси билан (ўртача субъектив), ёки узоқ вақт оралиқлари учун ўртача статистик (ўртача давомий), ёки вақт доимийлиги катта бўлмаган ўлчов асбоби билан аниқлаш мумкин (ўртача объектив). Иккиламчи сигнал учун ўртача сатҳни сезги бўйича аниқлаш кифоя, бирламчи сигнал учун барча ўртача сатҳларни билиш зарур, чунки, бу сигналлар бизга эшиттириш ва алоқа апаратуралари тизими орқали ўтади.

Бу ўртача сигнал сатҳларини асбобнинг вақт доимийлигини ўз – гарттириш йўли билан ўлчаш мумкин. Сигналнинг оний қуввати нолдан амплитуда қийматигача ўзгаришини ҳисобга олган ҳолда, ўртача объектив сатҳни ўлчовчи асбобнинг минимал вақт доимийлиги сигналнинг максимал ярим давр тебранишидан ($f = 30$ Гц учун, $T_{\max} / 2 = 17$ мс) ош – маслиги керак. Чунки эшитиш аъзосининг доимий вақти ўртача 150 мс, унда ўртача сатҳни сезги аъзоси бўйича ўлчаш учун вақт доимийси 150 мс атрофида бўлиши керак.

Сигнал сатҳининг давомийлигини ошириш учун, ўлчаш асбоб – нинг ўртача вақт доимийсини: нутқ учун 15с ва мусиқа учун 1 мин олиш керак.

Ҳар бир ўртача сатҳ учун ўртача жадаллик қуйидагича формула орқали аниқланади

$$I_{ypr} = \frac{1}{T} \int_{-x}^{+x} f(t) \exp\left(-\frac{t_0 - t}{T}\right) dt \quad (3.3)$$

бунда $\exp(-\frac{t_0-t}{T})$ – сигнални асбобнинг «хотира»сини инобатга олган

ҳолда ўлчайди; T –асбобнинг вақт доимийси;

$f(t)$ – сигнал жадаллигининг вақт бўйича ўзгариши.

Ўртача акустик сигнал сатҳи (1.6) формулага асосан

$$L_{\text{орт}} = 10 \lg \frac{I_{\text{орт}}}{I_0} \quad (3.4)$$

Квазимаксимал ва ўртача сатҳлар айирмаси **пикфактор** деб аталади:

$$П = L_{\text{макс}} - L_{\text{ср}} = N_{\text{эл.макс}} - N_{\text{эл.ср}} \quad (3.5)$$

Пикфактор, канални ортиқча юкланишдан сақлаш учун сигналнинг узатиш сатҳи белгиланган максимал сатҳидан қанча кам олинишини кўрсатади. Муסיқа сигналлари учун пикфактор 20 дБ гача ва ундан юқори, нутқ сигналлари учун 12 дБ дан ошмаслиги керак. Бу маълумотлар акустик қайта ишланмаган, шу жумладан хонанинг акустик хусусиятлари таъсир этмаган сигналлар учун тааллуқдир.

3.4. Частота диапазони ва спектрлар

Эшиттириш ва алоқа тизимларида қўлланиладиган бирламчи товуш манбаидан чиқадиган акустик сигнал, одатда, узлуксиз ўзгарадиган шакл ва спектр таркибига эга. Спектрлар юқори ва паст частотали, дискрет ва узлуксиз бўлиши мумкин. Ҳар бир товуш манбаида, хатто оркестрдаги скрипканинг ҳам товушига хос оҳанг берадиган хусусий спектрлари бор. Бу оҳангни **тембр** деб атайдилар. Скрипка тембри, трембон тембри, орган тембри ва ҳ.к муסיқа асбоблари тембрлари деган тушунча бор, шунингдек жарангдор ва бўғиқ овоз тембрлари мавжуд бўлиб биринчиси сигналнинг юқори частотали таркибларини чизиб ўтади, иккинчиси эса, уни бостиради. Биринчи навбатда ҳар бир турдаги товуш манбалари учун ўртача спектр қиймати қизиқиш уйғотади, бузилишларни баҳолаш учун эса, давомли вақт ораллигидаги (15 с ахборот сигналлари учун ва 1 мин. бадий сигналлар учун) спектр ўртачалаштирилган. Ўртачалаштирилган спектр одатда, узлуксиз ва шакли бўйича нисбатан текислашган бўлади.

Узлуксиз спектрлар **спектрал зичликнинг частотага боғлиқлиги** билан тавсифланадилар (бу боғлиқликни энергетик спектр) деб атайдилар. Спектрал зичлик деб, бирлик частотага тенг частота полосаси кенлигидаги товуш жадаллигига айтилади. Акустикада бу полоса 1 Гц га тенг. Спектрал зичлик

$G = \frac{I_{\Delta f}}{\Delta f}$, бунда $I_{\Delta f}$ – тор полосали филтлар ёрдамида ўлчанган жадаллик.

Қулай бўлиши учун спектр зичлигини баҳолашда логорифмик ўлчов киритилган. Бу ўлчамни спектрал зичлик сатҳи ёки спектрал сатҳ деб атайдилар.

Спектрал сатҳ $V = 10 \lg \frac{J}{I_0}$, бунда $I_0 = 10^{-12}$ Вт/м² —нолинчи сатҳга мос жадаллик. Кўпинча спектрал зичлик ўрнига спектрни тавсифлаш учун октава, ярим октава ва учдан бир октава частота полосаларида ўлчанган жадаллик ва жадаллик сатҳларидан фойдаланилади.

Спектрал сатҳ ва октава (ярим октава, учдан бир октава) сатҳи полосаларидаги сатҳ ўртасидаги боғланиш

$$V = 10 \lg \frac{I_{\Delta f_{\text{окт}}}}{\Delta f I_0}, \quad (3.6)$$

октава полосасидаги сатҳ

$$L_{\text{окт}} = 10 \lg \frac{I_{\Delta f_{\text{окт}}}}{I_0}, \quad (3.7)$$

бунда $\Delta f_{\text{окт}}$ —мос октава полосаси кенглиги.

Сигнал спектри маълум бўлса, унинг йиғинди жадаллигини аниқлаш мумкин. Учдан бир октавали полоса учун спектр жадаллиги сатҳларда берилган бўлса, унда бу сатҳларни (ҳар бир полосадаги) жадалликка ўтказиш $I_{\text{окт}} = I_0 10^{0,1 L_{\text{окт}}}$ ва барча жадалликларни қўшиш кифоя. Барча $I_{\text{окт}}$ йиғиндиси ҳамма спектрлар учун йиғинди жадаллик I_{Σ} ни беради. Йиғинди сатҳ

$$L_{\Sigma} = 10 \lg \frac{I_{\Sigma}}{I_0}. \quad (3.8)$$

Агарда спектр, спектрал сатҳларда берилган бўлса, унда таърифга кўра, барча спектрлар учун аниқ йиғинди сатҳи

$$L_{\Sigma} = 10 \lg \int_{f_{\text{н}}}^{f_{\text{в}}} 10^{0,1 B} df, \quad (3.9)$$

Бунда $f_{\text{ю}}$ ва $f_{\text{н}}$ —частота диапазонининг юқори ва пастки чегаралари. Йиғинди сатҳни частота диапазонини спектрал сатҳи B_k ўзгармас бўлган эни Δf_k га тенг n полосаларга бўлиб аниқлаймиз. Йиғинди сатҳ

$$L_{\Sigma} \approx 10 \lg \sum_{k=1}^n 10^{0,1 B_k \Delta f_k}. \quad (3.10)$$

Акустик сигналнинг частота диапазонини спектрал сатҳларнинг частотага боғлиқлигидан аниқлаш мумкин. Буни спектрал сатҳларнинг пасайишидан ёки эшитиш йўли билан аниқлаш мумкин. 75% тингловчилар учун эшитиш диапазони чегараланишининг сезилиши субъектив

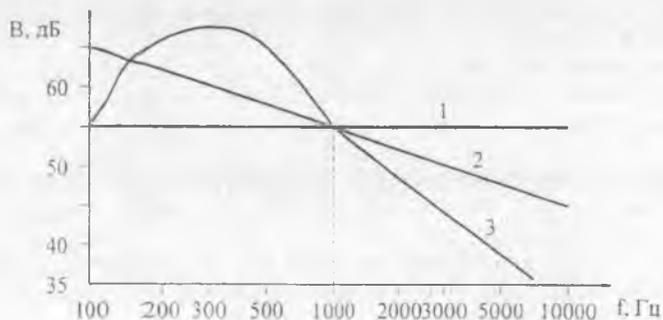
чегара деб, ҳисобланади. 3.2 жадвалда бир қанча бирламчи акустик сигналларнинг частота диапазонлари келтирилган.

3.2 жадвал

Товуш манбаи	Частоталар диапазони, Гц
Эркак товуши	100÷7000
Аёл товуши	200÷9000
Рояль	100÷5000
Скрипка	200÷15000
Най	250÷14000
Тарелкалар	400÷12000
Ногора	65÷3000
Бас – труба	50÷6000
Орган	20÷15000
Оёқ товуши	100÷10000
Қарсақлар	150÷15 000

Агарда спектрлар, у ёки бу томонга текис оғса, унда уларни яна мойиллик билан яъни, спектр сатҳларининг паст ёки юқори частоталар томон ўртача оғиши билан баҳолайдилар. Масалан, нутқ спектри 6 дБ/окт юқори частота томон оғишга мойиллиги бор.

Айрим ҳолларда, акустик сигналлар қаторига акустик шовқинларни ҳам қўшадилар. 3.2 расмда уч турдаги шовқинлар спектри келтирилган: оқ, пуштиранг ва нутқ шовқинлари. «Оқ» иборасига бутун частота диапазонида бир хил спектрал зичликка эга бўлган шовқинлар киради, «пуштиранг» – юқори частота томон зичлиги 3 дБ/окт камайишга мойил шовқинлар киради. Нутқ шовқинларига бир вақтда бир неча киши гаплашиши натижасидаги шовқинлар киради.



3.2 расм. Шовқинларнинг спектрал сатҳлари (1 – оқ шовқин, 2 – пуштиранг шовқин, 3 – нутқ шовқини)

3.5. Акустик сигналларнинг вақт тавсифлари

Сигналнинг вақт тавсифларига сатҳграмма ва вақт корреляцияси киради. Сигналнинг сатҳграммаси жадалликнинг кескин ўтишларини аниқлаш имконини беради, демак унинг ёрдамида сигналларни узатиш тракти вақт доимийсига талаблар қўйиш мумкин. Сигналнинг бундай вақт тавсифлари, яъни корреляция вақти камдан — кам ишлатилади, ammo тажрибалар шуни кўрсатадики, бу параметр товуш жарангдорлиги сифатини аниқлашда асосий ролни ўйнайди.

3.6. Сигналнинг бирламчи параметри

Ҳар бир одам ўзига хос тарзда нутқ товушларини талаффуз этади. Нутқ товушларини талаффуз этиш кўшни товушларга урғу бериш ва бошқа омиллارга боғлиқ. Чекланган сондаги умумлаштирилган нутқ товушларини амалга оширилиши **фонема** деб аталади. Фонема бу одам айтмоқчи бўлгани, нутқ товуши — бу одам талаффузи. Фонема товушга нисбатан **графема** деб аталувчи намунавий харф ролини ўйнайди. Нутқ товушлари жарангдор ва буғиқларга бўлинади. Жарангдор товушлар таранг бўлиб турган товуш боғламалари иштирокида пайдо бўлади. Ўпкадан чиқаётган ҳаво оқими натижасида товуш боғламалари вақти — вақти билан силжийди, натижада узук — узук ҳаво оқими пайдо бўлади. Товуш боғламалари ёрдамида ҳосил бўлаётган ҳаво оқими импульсларини даврий деб ҳисобласа бўлади. Импульсларнинг мос ҳолдаги так — рорланишини асосий тоннинг товуши T_0 деб атайдилар. Унга тескари бўлган катталиқни асосий тоннинг частотаси $f_0 = \frac{1}{T_0}$ деб атайдилар.

Асосий тон частотасининг ўзгариши **интонация** деб аталади. Ҳар бир одамда ўзига хос асосий тон частотасининг ўзгариш диапазони ва ўзининг интонацияси бор. Интонация одамларни фарқлашда жуда катта аҳамиятга эга. Асосий тон, интонация, оғзаки «услуб» ва товуш тембри одамларни танишда хизмат қилади.

Нутқ товушларини талаффуз қилишда тил, лаблар, тишлар, пастки жағ, товуш боғламалари ҳар бир фонема учун маълум ҳолатда ёки ҳаракатда бўлиши керак. Бу ҳаракатлар нутқ аъзосининг артикуляцияси деб аталади.

Товушларни талаффуз қилганда нутқ тракти орқали тонал импульс сигнали ёки шовқин ёки иккаласи ҳам биргаликда ўтади. Нутқ тракти артикуляция аъзолари ёрдамида бир қатор мураккаб акустик филтрларни ташкил қилади. Бунинг натижасида бир хил эгиб ўтаётган тонал ёки шовқин спектрлари бир қатор максимум ва минимумларга эга бўлган спектрларга айланади.

Спектрнинг максимуми **форманта**, минимум ёки ноль қийматлари — **антиформанта** деб аталади. Спектрнинг эгилиши ҳар бир фонема учун шахсий ва маълум шаклга эга. Нутқларни талаффуз қилганда нутқ

спектри узлуксиз ўзгаради, натижада формант ўзгаришлари бўлади. Нутқнинг частота диапазони 70÷7000 Гц оралиғида.

3.7. Иккиламчи сигнал

Идеал ҳолатда иккиламчи сигнал бирламчи сигнални аниқ қайта эшиттириши керак, аммо бундай аниқлик ҳамма вақт керак эмас, чунки одам эшиттиришдаги ноаниқликларни сезмаслиги мумкин. Ундан ташқари амалда бундай аниқликни таъминлаш ёки сақлаш анча мушкул. Бадий эшиттиришларда, телевидение ва овоз ёзишда мосликка имконият борича ҳаракат қилиш керак, унда тингловчиларда ҳосил бўладиган товуш эшитилиши, тингловчи айнан шу товушни акустик шароитлари яхши бўлган жойда эшитганига мос бўлсин. Эшиттиришнинг ахборот воситалари ва телефон алоқаси учун бу мослик фақатгина нутқ аниқлигини таъминлаш билан кейинчалик эса, эшиттириш сифатини ошириш билан боғлиқ. Фақат шу ҳоллардагина иккиламчи сигнални бирламчи сигналга мослигини таъминлаш зарур. Иккала ҳолатда ҳам иқтисодий кўрсаткичлар алоҳида аҳамиятга эга.

Эшиттириш аниқлигининг бузилиши турлича бўлиши мумкин. Улардан айримларини кўриб чиқамиз.

Акустик келажакнинг йўқолиши. Товуш сигнални бир каналли тизимдан узатганда, ҳонада бир неча микрофонлар бўлишига қарамай эшитиш бир қулоқ билан тинглагандек туюлади. Эшитиш азсои учун товуш манбаи ҳар доим амалдаги иккиламчи манбаларга нисбатан қандайдир ўртача ҳолатда жойлашгандек туюлади, чунки вақт силжиши ва тингловчининг иккала қулоғидаги сатҳлар фарқи бирламчи манбаининг жойлашган жойига боғлиқ эмас. Бу бузилишни қисман стереофоник узатиш тизими, яъни сигналларни кўпканалли узатиш тизими ёрдамида тузатиш мумкин.

Сатҳларнинг силжиши. Сигналларни узатиш тракти бўйича бирламчи сигнал жарангдорлигининг абсолют сатҳи бўйича ахборот берилмаганлиги туфайли, тингловчи иккиламчи сигнал сатҳи тўғрисида узича фикр юритади. Бундан ташқари қабул қилиш томонидаги аппаратурасининг қуввати етмаслиги, ҳамда тинглаш шароити ўзгариши натижасида бирламчи сигнал сатҳини тиклаб бўлмайди. Сатҳларнинг силжиши бирламчи ва иккиламчи сигналларнинг паст ва ўрта частотали таркибларини нурлатаётган радиокарнайлар ўртасидаги нисбат ўзгаришига олиб келиши мумкин. Чунки, иккиламчи сигнал ўртача сатҳининг бирламчи сигнал ўртача сатҳига нисбатан юқорига силжиши паст частотали сигналлар таркибини субъектив кўтарилишига, пастга силжиши эса, уларнинг пасайишига олиб келади.

Товуш сигнали динамик диапазонининг чекланиши. Товуш сигналларининг динамик диапазони сигнал узатиш канали динамик диапазонидан катта бўлганлиги $D_c \geq D_k$ сабабли сигналларни қанадан бузилишларсиз утказиш мақсадида, узатиш канали бошланишида сиқувчи ва тугашида кенгайтирувчилардан фойдаланилади. Узатиш каналининг

динамик диапазони 40 дБ га тенг. Шундай қилиб, динамик диапазони 40 дБ дан юқори бўлган эшиттириш сигналларининг динамик диапазони 40 дБ гача компрессор ёрдамида сиқилади. Натижада сигнал сифати бирмунча ўзгаради. Бу камчиликни узатиш каналининг охирида кенгайтирувчи — экспандер улаш билан йўқотилади. Экспандер ёрдамида динамик диапазонни кенгайтириш аппаратурани мураккаблашувига олиб келади.

Частота диапозонининг чекланганлиги. Юқориде айтилган акустик сигналларни узатиш тракти барча частота диапозонини утказмайди, шунинг учун частота диапозонини чеклаш ҳақида фикр юритилади.

Ҳалақитлар. Сигнални узатиш вақтида унга турли ҳалақит ва шовқинлар, шу жумладан электр ва акустик шовқинлар қўшилади. Акустик шовқинлар бирламчи товуш манбаи жойлашган жойда ва тингловчи жойлашган жойда ҳам мавжуд.

Бузилишлар. Бирламчи ва иккиламчи сигналларнинг мос эмаслигининг сабаби кенг маънодаги бузилишлардир. Одатда, бузилишларни тор маънода тушунадилар ва уларга: чизиқли, ночизиқли, параметрик ва ўтувчи бузилишлар киради. Улардан айримларини кўриб чиқамиз.

3.8 Шовқин ва ҳалақитлар

Шовқин ва ҳалақитларнинг таъсири, иккиламчи акустик сигналларнинг келиб чиқишидан қатъий назар, уларни ниқоблашга олиб келади. Шовқинлар, эшитиш бўсағасини силжитади, у агарда «текис» бўлса, вақтга боғлиқ эмас. Бу шовқинларга турли флукутация шовқинлари киради, масалан майдалаш шовқини эффекти, бир вақтда бир неча одамларнинг сўзлашуви шовқинлари ва т.к. киради.

Электр шовқинларининг спектрлари бир текис, акустик шовқинларнинг спектрлари эса, нутқ спектрларига яқинроқдир. Шунинг учун Биринчисининг эшитиш бўсағаси юқори частоталар томон ўсишга мойилдир. Нутқ шовқинлари эшитиш бўсағасида деярлик частотага боғлиқ эмас.

3.9. Чизиқли бузилишлар

Трактнинг узатиш коэффициентини умумий кўринишда

$$K = \frac{p_2}{p_1} = |K| e^{i\varphi} \text{ аниқланади,} \quad (3.11)$$

бунда, p_1 ва p_2 — трактнинг бошланиши ва охиридаги товуш босими;

$|K|$ — узатиш коэффициенти модули;

φ — трактдаги фаза силжиши.

Узатиш коэффициенти одатда частотага боғлиқ. Эшитиш аъзоси сигналларнинг фаза силжишига таъсир кўрсатмаганлиги сабабли уларни таҳлил этмаймиз ва «узатиш коэффициенти» иборасида унинг модулини тушунаемиз.

Узатиш коэффициентининг частотага боғлиқлиги узатиш трактининг частота тавсифи деб аталади. У бирламчи сигнал частоталари таркибига кирувчи амплитудалар нисбатининг ўзгаришига олиб келади. Бу бузилишлар субъектив бирламчи сигналнинг тембри ўзгаргандек сезилади. Масалан, паст частота таркиблари бостирилганда, эшиттиришлар жарангдор бўлади, юқори частота таркиблари бостирилганда эса товуш бўғиқ бўлади.

Бузилишлар чизиқли ёки амплитуда-частотали бўлиб, частота тавсифининг нотекислиги билан баҳоланади

$$M = K_{\max} / K_{\min}, \quad (3.12)$$

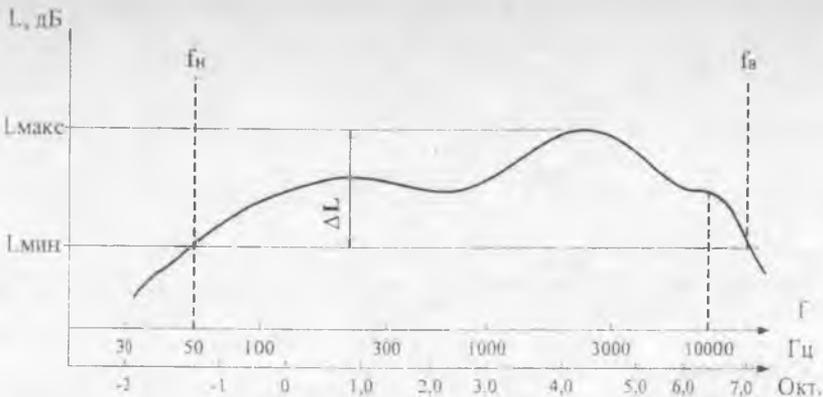
бунда, K_{\max} ва K_{\min} — берилган частота диапазонидаги максимал ва минимал узатиш коэффициентлари.

Нотекислик, одатда логарифмик масштабда ўлчанади, унда

$$\Delta L = L_{\max} - L_{\min}, \quad (3.13)$$

Бу ерда L_{\max} ва L_{\min} — иккиламчи сигналнинг максимал ва минимал сатҳлари.

3.4 расмда узатиш тракти сигналининг тавсифларидан бири келтирилган. Амплитуда-частота тавсифларини таҳлил этганда, эни 1/8 октавадан тор чўққи ва чўкмалар инobatта олинмайди. Бу шарт эшитиш аъзосининг кенг критик полосалари ҳамда бирламчи сигнал тез ўзгарганда унинг спектри кенгайиб, бу чўққи ва чўкмалар текисланиш ҳисобига киритилган.



3.4 расм. Частота диапазони ва частота тавсифининг нотекислигини аниқлашга оид

Амплитуда-частота бузилишлари одатда, бузилишларга мойил бўлган звеноларида пайдо бўлади. Частота бузилишларининг нормалари

тажриба йўли билан аниқланади. Паст частотали бузилишлар юқори частотали бузилишларга нисбатан кўпроқ сезиларлидир. Бузилишлар частота коррекцияси йўли билан йўқотилади.

3.10. Ночизиқли бузилишлар

Ночизиқли бузилишлар деб табиий товуш манбаи спектри тарки — беда бўлмаган ва эшиттириш сигналида янги частота таркибларини пайдо бўлиши билан боғлиқ бузилишларга айгилади.

Фараз қилайлик товуш манбаи бир вақтнинг ўзида бир хил ам — плитуда U_m ва икки частота ω_1 ва ω_2 тебраниши ҳосил қилади, унда:

$$u = U_m(\cos \omega_1 t + \cos \omega_2 t). \quad (3.14)$$

Чиқишдаги сигнал

$$u_{\text{чик}} = aU_m(\cos \omega_1 t + \cos \omega_2 t) + bU_m^2(\cos \omega_1 t + \cos \omega_2 t)^2 = \\ aU_m(\cos \omega_1 t + \cos \omega_2 t) + bU_m^2(\cos^2 \omega_1 t + 2 \cos \omega_1 t \cos \omega_2 t + \cos^2 \omega_2 t). \quad (3.15)$$

$$\cos^2 \alpha = \frac{1 + \cos 2\alpha}{2}, \quad \cos \alpha \cos \beta = \frac{\cos(\alpha - \beta) + \cos(\alpha + \beta)}{2}, \text{ инобатга олиб}$$

$$u_{\text{чик}} = aU_m(\cos \omega_1 t + \cos \omega_2 t) + bU_m^2 \left[1 + \frac{1}{2} \cos 2\omega_1 t + \cos(\omega_1 + \omega_2)t + \right. \\ \left. + \cos(\omega_1 - \omega_2)t \right]. \quad (3.16)$$

Бу ифодадан кўриниб турибдики, асосий частота ω_1 ва ω_2 лардан ташқари сигналда янги паразит таркиблар $2\omega_1$ ва $2\omega_2$ иккинчи гармо — никалар, ҳамда $\omega_1 \pm \omega_2$ йиғма — айирма тонлар пайдо бўлди.

Йиғма — айирма тонлар биринчи ҳадди комбинация тонлари деб аталади, ҳосил бўлган ночизиқли бузилишлар эса квадратик бузилиш деб аталади. Ночизиқли бузилишлар гармоника коэффиценти билан баҳоланади:

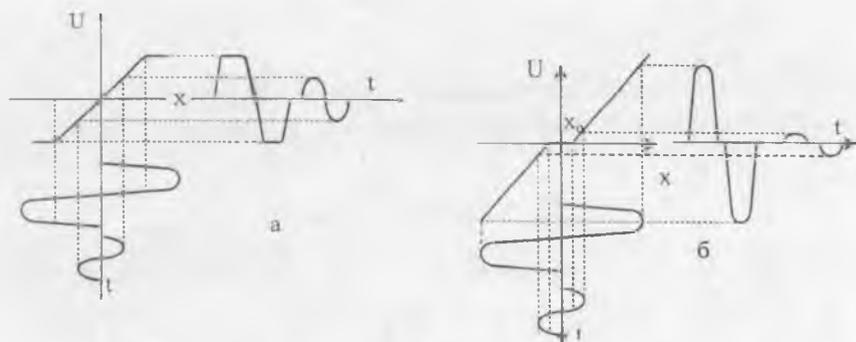
$$K_r = \frac{\sqrt{U_{m2}^2 + U_{m3}^2 + \dots}}{U_{m1}} 100, \% \quad (3.17)$$

бунда U_{m1} — сигналнинг асосий таркиб амплитудаси.

Гармоника коэффицентларини баҳолашнинг турли усуллари мавжуд, булар: гармоника усули, тонлар айирмаси усули.

Тажрибалар шуни кўрсатдики тингловчи носимметрик* бузи — лишларни камроқ сезади. Юқоридан амплитуда чекланиши билан боғлиқ бузилишлар, эшитишга камроқ таъсир этади, марказдан чекла — нишда эса бузилишлар кўпроқ сезилади.

* Носимметрик бузилишлар $y = f(x)$ боғланишининг тоқ даражала — рида, симметрик — жуфт даражаларида пайдо бўлади.



3.5 расм. Катта ва катта бўлмаган сигнал амплитудаларининг амплитуда чекланиши:

а) юқоридан чеклаш; б) пастдан (марказдан) чеклаш

Тингловчилар учун овозни қайта эшиттириш сифати етарлича юқори бўлиши учун овоз эшиттириш электр канали трактларининг параметрлари давлат стандарти (ГОСТ 11515–91) томонидан белгиланган талабларга жавоб бериши лозим.

Товуш эшиттириш электр каналлари ва трактларининг параметрлари сифатини меъёрлаштириш шу канал ва трактларда сигналларнинг рухсат этилган шовқин сатҳларини субъектив–статистик экспертиза йўли билан аниқлашга асосланган.

Бузилишлар қуйидаги босқичлар билан белгиланади:

- умуман сезилмайдиган бузилишлар, 15% дан кам ҳолларда сезилади;
- амалий сезилмайдиган бузилишлар, 30% ҳолларда сезилади;
- ишончсиз сезиладиган бузилишлар, 50% ҳолларда сезилади;
- ишончли сезиладиган бузилишлар, 75% ҳолларда сезилади;

Бузилишларнинг сезилиши ҳамда техник–иқтисодий курсаткичларига қараб товуш жарангдорлигининг уч классы белгиланган;

- **олий класс** — бузилишлар юқори малакали экспертларга деярлик сезилмайди;
- **биринчи класс** — бузилишлар юқори малакали экспертларга ишончсиз сезилади ва оддий тингловчиларга амалда сезилмайди;
- **иккинчи класс** — бузилишлар юқори малакали экспертларга ишончли сезилади ва оддий тингловчиларга ишончсиз сезилади.

Ҳар бир класс аниқ рухсат этилган бузилишлар билан характерланади. Шу билан бирга қуйидаги сифат параметрларини регламентлайди:

- узатиш частоталари кенглигини;
- амплитуда–частота тавсифининг нотекислигини;

- гармоникалар коэффициентини;
- аниқ сезиларли ўтиш ҳалақитлардан ҳимояланганликни;
- стереофоник эшиттиришда чап ва ўнг каналлардаги фазалар фарқини;
- чап ва ўнг каналлар ўртасидаги сатҳлар фарқини;
- чиқиш сатҳининг номинал қийматидан оғишини.

Назорат саволлари

1. Қандай товуш сигналлари бирламчи ва иккиламчи сигналларга киради?
2. Товуш сигналининг динамик диапазони қандай аниқланади?
3. Товуш сигналларининг ўртача сатҳи қандай аниқланади?
4. Қандай шовқинларни биласиз, спектр таркиблари нима билан фарқланади?
5. Асосий тон, фонема, форманта, интонация тушунчаларини тушунтиринг.
6. Иккиламчи сигналда қандай турдаги бузилишлар содир бўлиши мумкин?
7. Канал ва трактлар параметрлари сифатини нормалаш принципини тушунтиринг.
8. Акустик сигналнинг эшитилишига частота, нозизиқли ва фаза бузилишлари қандай таъсир кўрсатади?

4 боб. Электромеханик тизимлар ва элементлар

4.1. Электромеханик ўзгартириш

Товуш эшиттиришни узатиш электр йўли билан бажарилади, электр каналининг бошида акустик энергияни электр энергияга ўзгартирадиган ўзгартиргич – микрофон, чиқишида эса, электр энергияни акустик энергияга ўзгартирадиган ўзгартиргич – радиокарнай ўрна – тилган. Сигналарни бир шаклдан иккинчи шаклга ўзгартирадиган бошқа аппаратлар тури ҳам мавжуд. Масалан: граммофон пластинкасидаги ёзувни қайта эшиттирганда адаптер, игнанинг механик тебранишини электр кучланишга; қулоқ телефони, қулоқ эшитиш йўлакчасида телефонга берилган товуш частота тонини товуш босимига ўзгартиради.

Сигналарни бир турдан иккинчи турга ўзгартирадиган аппаратлар **электромеханик ўзгартиргичлар** деб аталади (акустик сигналлар механик тебраниш жараёнининг айрим бир кўринишидир).

Агарда ўзгартиргич, электр энергияни механик энергияга айлантирса – бу **двигател**. Агарда ўзгартиргич, механик энергияни электр энергияга ўзгартирса, бундай ўзгартиргич – **генератор**.

Ўзгартиргич – двигателга радиокарнайлар, ўзгартиргич – генераторга микрофонлар мисол бўлаолади. Электроакустика фанининг асосий вазифаси тузилиши ва белгиланиши турларига қараб товуш частотаси тебранишларини электромеханик ўзгартирувчи асбобларни лойиҳалаш ва ҳисоблашдан иборат.

Ўзгартиргичларнинг умумий назарияси турт кутбликлар назария – сига асосланади.

4.2. Чизиқли ўзгартиргичларнинг умумий тенгламаси

Акустик сигналларни электр сигналларга ва аксинча, электр сигналларни акустик сигналларга ўзгартириш эшиттириш каналининг узатиш ва қабул қилиш томонларида амалга оширилади. Юқорида айтилгандек, бундай ўзгартиришларни амалга оширадиган аппаратлар, **электромеханик ўзгартиргичлар** деб аталади, яъни механик тебранишларни электр тебранишларга айлантирадиган ўзгартиргичлар – **генератор**, электр тебранишларини механик тебранишларга айлантирадиган ўзгартиргичлар – **двигател** деб аталади.

Сигналарни ўзгартириш ноқизиқли бузилишларга олиб келмаслиги учун, эшиттириш техникасида қўлланиладиган электромеханик ўзгартиргичлар етарли аниқликда чизиқли ўзгартириш шартини қаноатлантириши керак. Бу шарт вақт бўйича ўзгарувчи катталиклар, ўзгартиргичнинг икки томонидаги электр ва механик сигналлар ўзаро чизиқли тенгламалар билан боғланган.

Шартли равишда ўзгартиргичнинг айнан ўзгартиришни амалга оширадиган қисмини бир томонидан кучланиш улаш ёки олиш қисқичи, иккинчи томонига ташқи куч таъсир этиш ёки механик юк — лама улаш учун муаллақ стержни бўлган қурилма сифатида қабул қиламиз 4.1—расм. Бундай қурилманинг ишлаш вақт бўйича тўрт қийматнинг ўзгариши билан белгиланади: электр томонида кучланиш U ва ток I , механик томонида эса, куч F ва тебраниш тезлиги v .



4.1—расм. Электромеханик ўзгартиргичнинг умумий схемаси

Бундай ток I ва v йўналишлари ўзгартиргичнинг киришидан чиқиш томон бўлса мусбат, куч ўзгартиргич томон йўналган бўлса, йўналиш — мусбат, кучланишнинг йўналиши, ўзгартиргичнинг электр томони қисми бўлганда, йўналиш соат стрелкасига мос бўлса — мусбат, агарда электр томони чиқиш қисми бўлса ва соат стрелкасига тесқари бўлганда — мусбат деб қабул қилинади. Демак, ўзгартиргичнинг 4.1—расмдаги кўринишида чап томони кириш ва унинг томони чиқиш қисмидир.

Стационар режимда, ҳамма ўзгарувчан (U, I, F, v) қийматлар вақт бўйича, яъни $e^{j\omega t}$ ўзгарса, улар ўртасидаги чизиқли нисбатларни алгебраик тенглама кўринишида ёзиш мумкин.

$$\left. \begin{aligned} U &= Z I + K_1 v \\ F &= K_2 I + Z v \end{aligned} \right\} \quad (4.1)$$

Тенгламадаги коэффицентлар маъносини аниқлаймиз.

1) Биринчидан тенглама (4,1) дан

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

Z умумий ҳолда тормозланган (тўхтатилган) ўзгартиргичнинг комплекс электр қаршилиги, яъни ўзгартиргичнинг механик томони тўхтатилганда ($v=0$) ўлчанган қаршилик.

2) Иккинчидан (4,1) тенгламадан

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

Механик тизимлар тебраниши назариясига биноан таъсир кучининг стационар режимда куч таъсир этаётган нуқта тезлигига нисбати, ти —

зимнинг механик қаршилиги деб аталади (ўлчов бирлиги $1 \cdot 10^{-3}$ Н·с/м) (4,3) формуладаги Z — ўзгартиргичнинг электр томони салт юришидаги механик томонида ўлчанган қаршилик.

$$3) \text{ Учинчидан (4,1) тенгламадан } K_1 = \left(\frac{U}{U} \right)_{I=0}, K_2 = \left(\frac{F}{I} \right)_{U=0}, \quad (4.4)$$

қийматлар қурилма бажараётган электромеханик ўзгартиришни белгилайди ва электромеханик боғланиш коэффициентини деб аталади. Электромеханик боғланиш коэффициентлари, энергияларнинг ўзгартирилиш кўламини аниқлайди.

Кўпчилик электромеханик ўзгартиргичлар қайтарилиувчан, яъни улар ўзгартирилишни икки томонлама бажаради. Қайтарилмайдиган ўзгартиргичлар тури кам, уларга кўмирли микрофонлар мисол бўла олади.

Ишлаш принципига қараб ўзгартиргичлар қуйидаги турларга бўлинади: индуктивли ва сизимли ўзгартиргичлар.

Индуктивли ўзгартиргичларда силжитувчи куч тоқларнинг ўзаро таъсири туфайли пайдо бўлади, электр юритувчи куч эса, магнит оқими ўзгаришига боғлиқ. Сизимли ўзгартиргичларда силжитувчи куч зарядларнинг ўзаро таъсири натижасида пайдо бўлади, ҳосил бўлган ўзгарувчан кучланиш эса, сизимларнинг ўзгариши натижасидир. Пьезо — электрик ўзгартиргичларни алоҳида гуруҳга киритадилар, аммо расмий равишда улар сизимли турдаги ўзгартиргичларга киради.

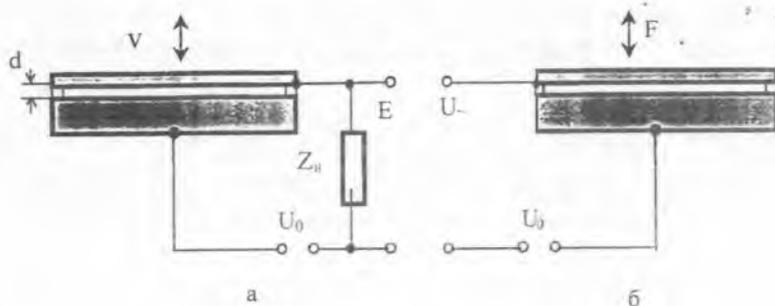
4.3. Электростатик ўзгартиргичлар

Электростатик ўзгартиргичларнинг ишлаш принципини электростатик майдон қонунларидан фойдаланиб тушунтириш мумкин. Агарда, қопламаларида доимий кучланишли U_0 конденсатор олиб ва битта қопламасига ўзгарувчан тезлик V таъсир этсак (4.2,а — расм), унда конденсаторда ўзгарувчан ЭЮК ҳосил бўлади

$$E = \frac{U_0 V}{j\omega d} \quad (4.5)$$

бунда d — тебраниш бўлмагандаги конденсатор қопламалари орасидаги масофа; ω — тебраниш частотаси.

Ҳақиқатан, конденсатор қопламалари оралигини ўзгартириш унинг сизимини ўзгартиради, ўз навбатида конденсатор зарядини ўзгартиради. Конденсаторли микрофоннинг ишлаши шу принципга асосланган.



4.2 — расм. Конденсатор туридаги микрофон

Шу билан бирга бу конденсатор орқали уланган ўзгарувчан куч — ланиш U_0 таъсирида ўзгарувчан ток I оқиб, унда конденсатор қопламларидаги ўзгарувчан куч қуйидаги формула орқали аниқланади:

$$F = \frac{U_0 I}{j\omega d} \quad (4.6)$$

Конденсаторли (электростатик) радиокарнайларларнинг ишлаши ҳам шу принципга асосланган.

(4.5) ва (4.6) ифодаларидан сифимли (электростатик) тизимларнинг электромеханик боғланиш коэффициентини аниқлаш мумкин.

$$k = \frac{F}{I} = \frac{E}{V} = \frac{U_0}{j\omega d} \quad (4.7)$$

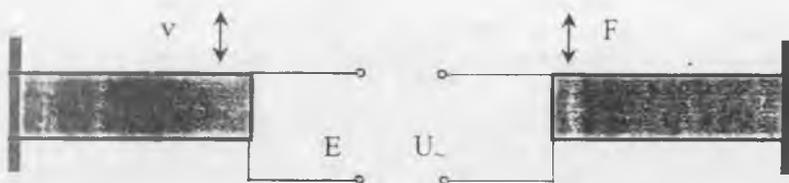
Электромеханик боғланиш коэффициентининг мавҳум қиймати шуни кўрсатадики, куч ва ток фазаси бўйича 90° га силжиган.

Электромеханик боғланиш коэффициентининг узатилаётган час — тотта тебранишларига боғлиқлигига эътиборни қаратиш лозим. Ночи — зикли бузилишлар содир бўлмаслиги учун $U_0 \gg U$ шарт бажарилмоғи лозим.

Агарда кристалл пластикасини деформацияласак, масалан, пластиканинг бир учини ташқи куч таъсирида V тезликда тебранишга мажбур қилсак (4.3, а расм), унда унинг электродларида ўзгарувчан ЭЮК E пайдо бўлади:

$$E = \frac{k I v}{j\omega h} \quad (4.8)$$

бунда, I , h — пластиканинг узунлиги, k — пьезоэффект коэффициентини. Бу ходиса тўғри пьезоэффект деб аталади ва ўзгартиргич — генераторларда (микрофонларда) қўлланилади.



4.3— расм. Пьезоэлектрик туридаги ўзгартиргич

Агар бундай пластиканинг электродларига ўзгарувчан I токни пайдо қилувчи U кучланиш берсак (4.3, б — расм), унда куч пайдо бўлиб пластинка V тезликда тебранади:

$$F = \frac{kI^2}{j\omega h^2} \quad (4.9)$$

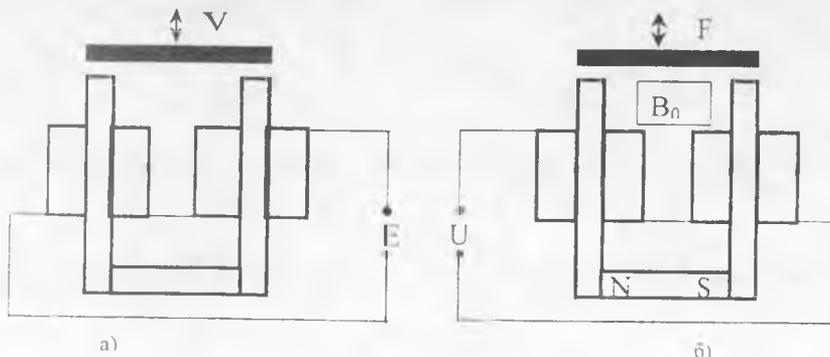
Бу ҳодиса тескари пьезоэффкт деб аталади ва ўзгартиргич — двигателларда (радиокарнайларда) қўлланилади. Пьезоэлектрик ўзгартиргичларнинг эгилувчан деформацияли боғланиш электромеханик коэффициенти қуйидагича аниқланади:

$$K_{\text{об}} = \frac{kI^2}{\omega h^2} \quad (4.10)$$

Агар, ферромагнит материалдан ясалган мембранани ўзгармас — магнитнинг учига яқинлаштирсак ёки узоқлаштирсак (4.4, а — расм), яъни ғалтак ўзагидан оқаётган магнит оқимини ўзгартирсак, ғалтакларда ЭЮК индукцияланади:

$$E = B_0 L_r v n S. \quad (4.11)$$

бунда n — ғалтак ўрамлари сони; B_0 — магнит занжиридаги индукция; L_r — ғалтак индуктивлиги. Электромагнит микрофонлар ва механик товуш ёзувчи товуш олувчилар шу принципада ишлайди.



4.4-расм. Электромагнит туридаги ўзгартиргичлар

Ғалтакларга уларда ток I пайдо этувчи ўзгарувчан U кучланиш уласак (4.4, б — расм), унда $V_0 \ll V_0$ шартида мембранага ўзгарувчан куч

$$F = B_0 L_n S, \quad (4.12)$$

таъсир этади.

Электромагнит радиокарнайлар ва телефонлар шу принцида ишлайди. Электромагнит тизимидаги электромеханик ўзгартиргичнинг электро-механик боғланиш коэффициенти

$$K = B_0 L_n S. \quad (4.13)$$

Ўзгартиргич — двигателнинг тула электр қаршилиги:

$$Z = Z_0 + \frac{K^2}{Z_0 + Z} = Z_0 + Z_{\text{кпр}} \quad (4.14)$$

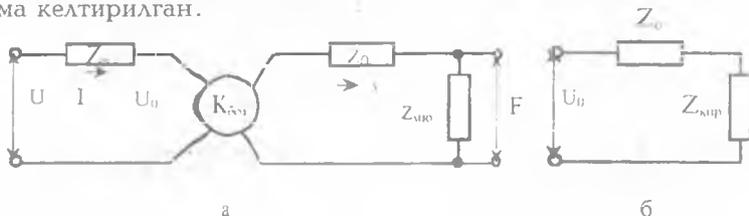
$Z_{\text{кпр}}$ — киритилган электр қаршилик. Ўзгартиргичнинг хусусий электр қаршилиги Z_0 механик қисмнинг реакцияси натижасида

$Z_{\text{кпр}} = \frac{K^2}{Z_0 + Z}$ қийматга ошади, бу қиймат **киритилган электр қаршилиги** деб аталади. Унинг физик маъноси шундан иборат. Агар, магнит майдони — даги симга кучланиш берсак, унда ҳосил бўлган ток кучи симнинг ҳа-

ракатланишига сабабчи бўлади. Аммо, ўзгартиргичнинг қайтарилувчанлиги ҳисобига симнинг ҳаракати шу симда ЭЮК пайдо этади. Кейинги ЭЮК индукция қонунига асосан «ўзини пайдо этган кучга қаршилик қилади» ва кўпинча уни тескари ЭЮК деб атайдилар, чунки у берилган кучланишга қарши йўналтирилган. Шунинг натижасида ток ва кучланиш пасаяди, бу электр занжирга қўшимча қаршилик улаган билан баробар.

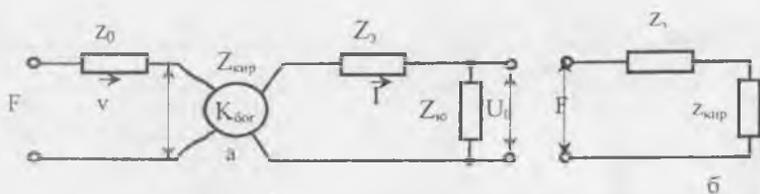
4.4. Ўзгартиргичнинг эквивалент схемалари

Ўзгартиргич — двигателнинг умумий эквивалент схемаси 4.5, а — расмда келтирилган. K ўзгартиргич бўлиб унинг чап қисми ўзгартиргичнинг электр схемасини кўрсатади, K нинг ўнг томони эса ўзгартиргичнинг механик эквивалент схемаси. 4.5, б — расмда иккита электр қаршилик Z_0 ва киритилган электр $Z_{\text{кпр}}$ дан иборат электр эквивалент схема келтирилган.



4.5 — расм. Ўзгартиргич — двигателнинг а — умумий, б — электр эквивалент схемалари.

Ўзгартиргич – генераторнинг эквивалент схема 4.6 – расмда келтирилган.



4.6 расм. Ўзгартиргич – генераторнинг эквивалент схемалари:
а – умумий; б – механик.

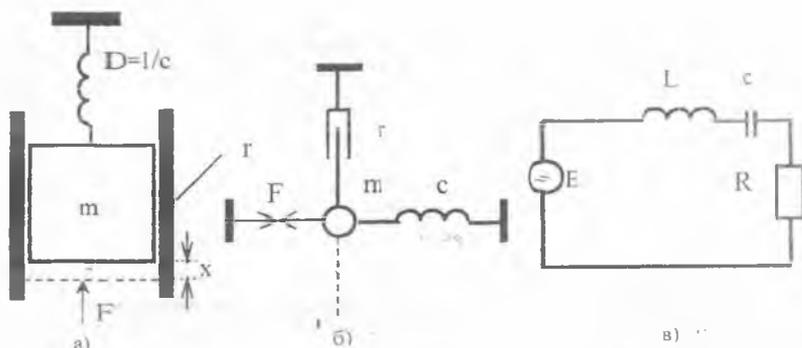
Генераторнинг механик кириш қаршилиги қуйидагича ифодаланади:

$$\frac{F}{V} = z_0 + \frac{K^2}{z_0 + z} = z_0 + z_{\text{мех}} \quad (4.15)$$

4.5. Электромеханик ўхшатишлар усули

Электроакустик қурилмаларда мураккаб механик ёки меканоакустик тебраниш тизимлари қўлланилади. Уларни механиканинг оддий – ҳар бир элементи учун тенгламаларини тузиш ва ечиш анчагина қийинчилик туғдиради. Мураккаб тебраниш тизимларининг техник ҳисоби электромеханик ўхшатишлар усулини қўллаганда анча содда – лашади. Бу усул асосида турли физик табиат – электр ва механик тебраниш ҳодисаларини ифодаловчи тенгламаларнинг ўхшашлиги ётади. Агар тенгламалар ўхшаш бўлса, уларнинг ечими ҳам ўхшаш. Шунинг учун, у ёки бу механик масаланинг ечими электротехник масала ечими билан ўзгартирилиши мумкин.

Шундай қилиб, электромеханик ўхшатишлар усулининг асоси шундан иборатки, исталган механик тебраниш тизимини унга ўхшаш электр схема билан алмаштириш мумкин. Энг кўп қўлланиш кетма – кет электр контури учун Кирхгоф тенгламаси, механик тугун учун Д’Аламбер принципининг электромеханик тизимлари ўхшашлиги асосида бажарилади. Бир даражаси озод оддий механик тизимнинг тебраниш жараёнини кўриб чиқамиз (силжиш фақат вертикал йўналишда бўлади). Фараз қилайлик эластиклиги D га тенг бўлган, пружина билан маҳкамланган m массага эга бўлган жисмга F куч таъсир қиляпти (4.7, а – расм).



4.7 расм. \odot Ддий механик тизим модели (а) ва унинг электр ўхшашлиги (б) схемаси

Д'Аламбер қонунига асосан тизим мувозанатда бўлиши учун, ташқи таъсир куч тизим реакцияси билан мувозанатланиши керак:

$$F = F_1 + F_2 + F_3 \quad (4.16)$$

бунда $F_1 = m \frac{d^2x}{dt^2}$ — пружина массасининг реакция кучи; $F_2 = r \frac{dx}{dt}$ — пружинанинг ишқаланиш кучи; $F_3 = Dx$ — пружинанинг эластиклик кучи.

$$F = m \frac{d^2x}{dt^2} + r \frac{dx}{dt} + \frac{x}{c} \quad (4.17)$$

бунда r — ишқаланиш коэффициенти; $c = \frac{1}{D}$ — пружинанинг эгилувчанлиги.

Бу тенглама бирламчи кетма-кет контурдаги зарядларнинг силжиш тенгласига ўхшаш (4.7, в — расм):

$$E = L \frac{dq}{dt} + R \frac{dq}{dt} + \frac{q}{C} \quad (4.18)$$

L, R, C — индуктивлик, қаршилик ва сирим; q — заряд.

Ток ва тебраниш тезлиги ўртасидаги математик ўхшашликни таъкидлаб ўтаемиз: $I = \frac{dq}{dt}$ ва $v = \frac{dx}{dt}$.

Электротехникада кучланишнинг токка нисбати электр қаршилик деб аталади, унда 4.7, в расмдаги занжир учун:

$$Z = R + j\left(\omega L - \frac{1}{\omega C}\right) \text{ га} \quad (4.19)$$

мос ҳолда механик тебраниш тизими учун:

$$\frac{F}{v} = z = r + j\left(\omega m - \frac{1}{\omega C}\right) \quad (4.20)$$

Кейинги (4.20) формулани Омнинг механик қонуни дейиш мумкин. Табиийки, механик қаршиликнинг ўлчов бирлиги мехом. Механик қаршиликнинг ўлчов бирлиги кг/с.

Шунга ўхшаш резонанс частоталарни ҳам аниқлаш мумкин: электр

занжир учун $\omega_0 = \frac{1}{\sqrt{LC}}$, механик занжир учун эса: $\omega_0 = \frac{1}{\sqrt{mc}}$.

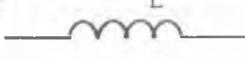
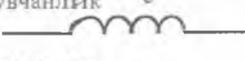
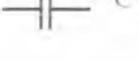
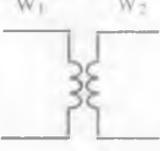
Демак, индуктивлик, актив қаршилик ва сифим мос ҳолда масса, ишқаланиш қаршилиги ва эгиловчанликка ўхшаш. Шуни айтиш керакки юқоридаги ўхшашлик расмий бўлиб, физик маънога эга. Электр занжиридаги индуктивлик кучланиш манбаини узиб — улаганда токнинг оний ўсиши ва камайишига тўсқинлик қилади. Механик тизимлардаги масса ҳам худди шундай вазифани бажаради. Жисм инерционлиги унга куч таъсир этганда тезликнинг оний ошишига ва тўхташига тўсқинлик қилади. Электр занжиридаги актив қаршилик ҳисобига энергиянинг бир қисми иссиқлик энергиясига айланади. Ишқаланиш бўлганда механик энергиянинг бир қисми ҳам иссиқлик энергиясига айланади. Зарядланган конденсатордаги энергия сиқилган пружинага ўхшаш.

Барча айтилганларни электромеханик ўхшашлик жадвали 4.1 га киргатамиз.

4.1. жадвалдан кўриниб турибдики механик боғланишларнинг электр тизимидаги ўхшашликлари мавжуд:

- механик элементларнинг занжир усулида боғланиши икки қутблик электр занжирларнинг параллель уланишига ўхшаш;
- механик тизимдаги тугун боғланиш электр занжирдаги кетма — кет уланишга мос.

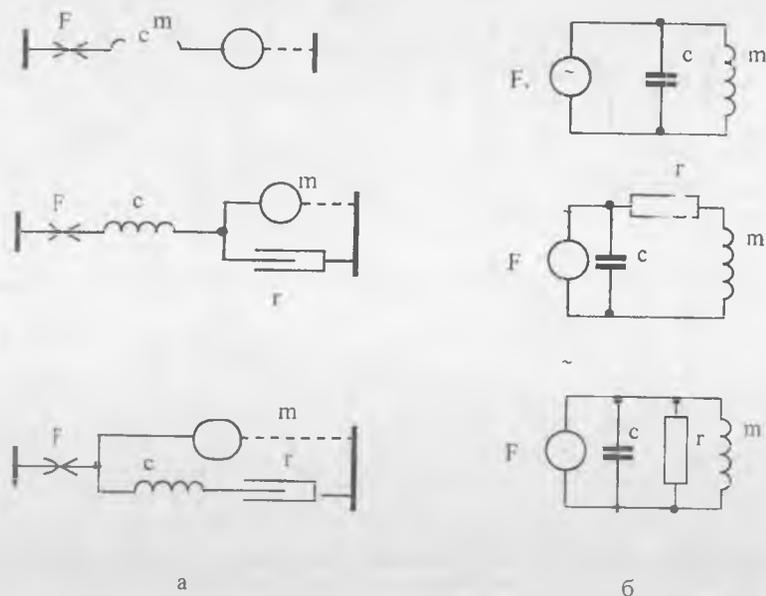
Юқорида баён этилган мулоҳазалар асосида биз эквивалент схе — маларни, яъни берилган механик схеманинг электр ўхшашлик схемасини чизишимиз мумкин (4.8 — расм).

Номи	Белгиланиши	Номи	Белгиланиши
Масса		Индуктивлик	
Эгилувчанлик		Сифим	
Ишқаланиш		Актив қаршилик	
Куч	F 	ЭЮК кучланиш	E, U 
Тебраниш тезлиги	v	Ток	I
Комплекс механик қаршилик	Z 	Комплекс электр қаршилик	Z 
Акустик трансформатор	 $n = \frac{S_2}{S_1}$	Электр трансформатори	 $n = \frac{W_2}{W_1}$

4.8 — расмда келтирилган оддий механик тизимларнинг электр эквивалент схемаларини тузиш қийинчилик туғдирмайди. Мураккаб механик тизимлар учун умумий қоидаларга риоя қилган ҳолда электр эквивалент схемасини беҳато тузиш лозим. Г.А. Гамбурцев таклиф этган эквивалент схемалар тузиш усулларидан бирини кўриб чиқамиз.

Шуни айтиш лозимки, энг кийини қурилманинг механик тизими — ни қуришдир. Уни қуриш ҳаракатда қағнашадиган механизм элементларини аниқлашдан бошланади. Кейин массага таъсир этадиган ташқи куч аниқланади.

Механик схемадаги куч массага механизмнинг силжиядиган нуқтасига нисбати: $\frac{F}{m}$ қаратилган бўлиши керак. Масса билан боғлиқ бўлиб қолган элементлар унинг йўналишига нисбатан параллель ёки кетма — кет уланади.

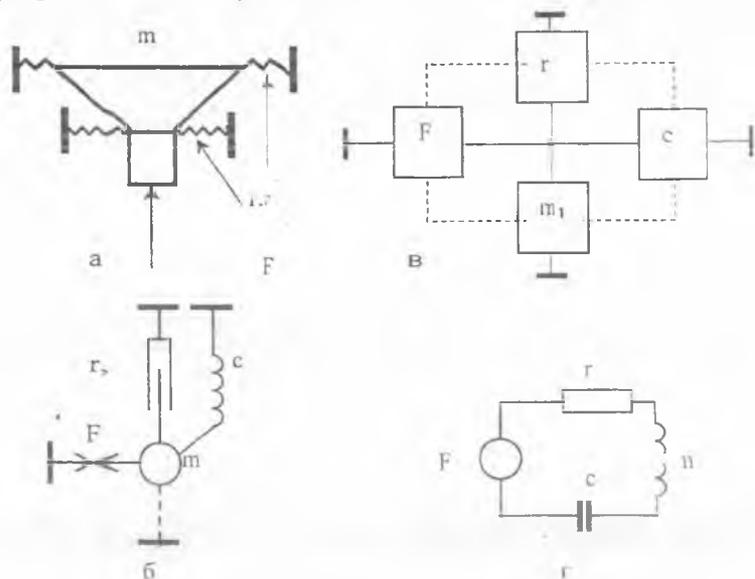


4.8 расм. Оддий механик моделларнинг электр эквивалент схемалари

Уланиш усулини аниқлашда оддий қоидага риоя қилиш зарур: ҳаракат элемент орқали узатилса, c элементнинг олиб ташланиши ҳаракат узатишини тўхтатса, унда m элементнинг узаро кетма — кет уланса; бу элементнинг олиб ташланиши ҳаракат уланишини тўхтат — маса, унда бу элемент таъсир кучи йўналишига нисбатан параллель уланади. Ҳаракатнинг кейинги узатилиши схемадаги бошқа элементлар ёрдамида амалга оширилади.

Механик тизимларнинг электр ухшашлиги схемаларини тузиш қоидаларини электродинамик раёпокарнай қаллагининг содалашти — рилган модели мисолида кўриб чиқамиз (4.9, а — расм).

Схемада F — ток ғалтақдан оққандаги таъсир куч; c — диффузорнинг умумий илиниш эгилувчанлиги; r — илинишнинг молекуляр ишқаланиш йўналиши; m — ғалтак ва диффузор массалари.



4.9 — расм. Электродинамик радиокарайнинг механик ва электр ўхшашлик схемалари

Шундай қилиб электр ўхшашлик схемасини тузиш учун:

1. Механик тебраниш тизими чизиб олинади. Схемани тузиш механик куч қўлланилиш нуқтасидан бошланади (4.9, а — расм). механик элементлар схемасини боғловчи линиялар, механик боғланиш линиялар деб аталади. Бунда албатта, масса қўзғолмас нуқтага nisbatan силжийди деб ҳисоблаб, у қўзғолмас нуқтага штрихли линия билан боғланади.
2. Механик схема қайта чизилади. Бунда схеманинг барча элементлари квадратларда элементларнинг ҳарfli белгилари билан чизилади. Истисно тартиқасида трансформаторнинг бирламчи ўрамини тўғри тўртбурчак, иккиламчи ўрамини эса, тўғри тўртбурчакка тўташган квадрат қилиб чизилади (4.10÷4.11 расм). Масса элементлари штрих линиялари бўйлаб қўзғолмас нуқтага томон силжийди, штрихли линия узлуксиз линия билан алмаштирилади (4.9, в расм). Массалар ўрнида тугунлар шаклланади. Барча квадратлар штрихли линиялар билан боғланади, улар ҳар бир квадратни кесиб ўтганда механик боғланиш линияларига перпендикуляр ўтади ва

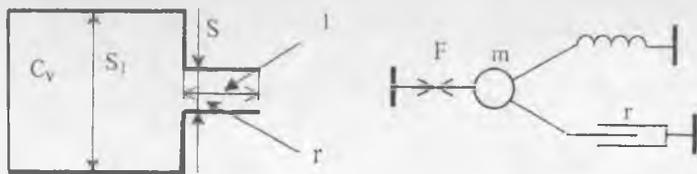
ёпиқ контурлар ҳосил қилади. Бу штрихли линиялар механик боғланиш линияларини кесиб ўтмай шундай боғланиши керакки, берк контурлар ичида силжймайдиган механизм қисмлари қолмасин.

3. Штрихли линиялар ташкил этган схема қайта шундай чизиладики, квадратлар электр ўхшашлик белгиланганига мос бўлиши керак (4.9, г— расм). Ҳосил бўлган схемада механик белгилар қолдирилади.

4.6. Акустик тизимлар

Механик тебраниш тизимларидан ташқари электроакустик ўзгартиқчиларда акустик тебраниш тизимлари деб аталувчи тизимлар қўлланилади. Улардаги айрим элементлар газсимон муҳитдан иборат. Акустик тизимлар бушлиқ, каналлар, ҳажм резонаторлари турида бўлиб, биргалиқда мураккаб қурилмаларни ташкил этади, ўзининг ҳаракати билан резонанс контурлари, филтрлар ва б.қ. ларга ўхшайди. Акустик тебраниш тизимининг оддий мисоли сифатида Гельмгольц резонатори бўлиши мумкин (4.10— расм). Резонатор параметрлари тарқалган тизимни ифодалайди. Аммо, резонаторнинг ўлчамлари унга таъсир этмаётган тўлқин узунлигидан кичик бўлганда, унда бундай тизимни, параметрлари мужассамлашган тизим деб қараш мумкин.

Резонатор ҳажми V ва кўндаланг кесими S га тенг, бўғиз узунлиги l бўлган идишдан иборат. Резонатордаги ҳаво шартли равишда икки бўлакка бўлинади: бир қисми идиш тубида, қолган қисми эса резонатор бўғизидеб фараз этилади.



4.10 расм. Гельмгольц резонатори (а) ва унинг механик эквивалент схемаси (б)

Резонаторнинг барча ҳаво массаси m унинг бўғизидеб мужассамланган, аммада сиқилмайди ва қаттиқ поршень каби ҳаракатланади деб фараз қиламиз. Бундай поршеньнинг ҳаракатланишида унинг девори билан ҳаво заррачалари ўртасида ишқаланиш r пайдо бўлади. Резонаторнинг тубида жойлашган ҳаво эластиклик хусусиятига эга, яъни эгилувчанлик C_v ролини бажаради. Бундай тақсимлаш фақат тахминийдир, чунки резонатор тубидаги ҳавонинг бир қисми инерциал қаршиликка эга. Аммо $\frac{S_l}{S}$ нисбат катта бўлгандагина бундай тахмин

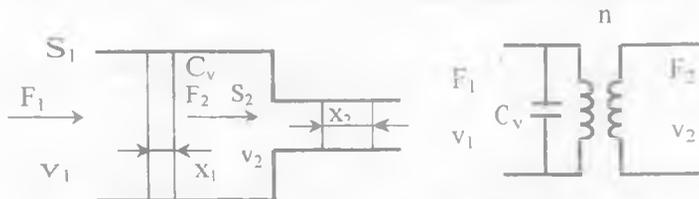
қониқарлидир, чунки тебраниш кинетик энергиясининг асосий қисми резонатор бўғизида бўлади.

Шундай қилиб, биз маълум механик тугун схемасига (4.10 – расм) эга бўламиз. Шунинг учун олдинги олинган натижалар акустик тебраниш тизимлари учун ҳам ҳақлидир. Масалан, резонаторнинг механик

резонанс частотаси $\omega_0 = \frac{1}{\sqrt{m C_v}}$ га тенг.

Резонаторлар амалда кўп қўлланилади. Унинг актив қаршилиги қиймати ва характерига қараб қўлланилиши турлича бўлиши мумкин. Агар актив қаршилигини инobatга олмасак, унда резонатор товуш қулайтиргич вазифасини бажаради. Ишқаланиш қаршилиги сунъий равишда оширилса, унда резонатор товуш энергиясини ютувчи хусусиятга эга бўлади. Резонансли товуш сундиргичларнинг ишлаши шу принцинга асосланган, улардаги ишқаланиш резонатор бўғизини беркитувчи мато ҳисобига ошади.

Акустик трансформатор. Кўпинча электроакустик аппаратлар конструкциясида тебранувчи ҳаво оқимини ўзгарувчи юза кесими таъминлайдиган қурилмалар қўлланилади. Оддий қурилишда бундай қурилмани иккита идеал турли юзадаги ўзаро камерадаги ҳаво ҳажми орқали боғланган поршень сифатида қуриш мумкин.



4.11 расм. Акустик трансформатор

Фараз қилайдиқ юзаси S_1 га тенг поршень (4.11, а – расм) куч F_1 таъсирида v_1 тезликда тебранади. У сиқиб чиқараётган ҳаво оқими $v_1 S_1$ ҳажмий тезликка эга. Камерадаги ҳавонинг сиқилшсини инobatга олмаган ҳолда барча сиқиб чиқарилган ҳаво оқими S_2 кесим юзасидан ўтади, шундай қилиб $v_1 S_1 = v_2 S_2$ ёки

$$\frac{v_2}{v_1} = \frac{S_1}{S_2} = n \quad (4.21)$$

Камерадаги биринчи поршеннинг x қийматга силжиши натижа – сида, ташқи кучни мувозанатлаштирувчи ортиқча $P_{\text{топ}}$ босим ҳосил бўлади, у $F_1 = P_{\text{топ}} S_1$ га тенг.

Бу босим камеранинг барча деворларига таъсир этади, шу жумладан S_2 поршенга ҳам. Шунинг учун $F_2 = P_{\text{топ}} S_2$.

Аmmo: $p_{\text{ос}} = \frac{F_1}{S_1}$ тенг бўлгани учун $F_2 = \frac{F_1 S_2}{S_1}$ ёки:

$$\frac{F_2}{F_1} = \frac{S_2}{S_1} = n \quad (4.22)$$

Олинган қийматлар электр трансформаторидаги нисбатларга мос. Электр трансформатори ўрамлари сонининг аналоги бўлиб камеранинг юзаси ҳисобланади. Шундай қилиб, акустик камера куч ва тезликларнинг акустик трансформатори ҳисобланади. Амалда камерадаги ҳаво сиқилади, демак, ҳаракатланаётган S_1 поршендан ҳаво заррачалари S_2 юзага камерада ҳаво ҳажмининг эластиклиги орқали ўтади. Бу эластик элемент акустик трансформаторнинг электр аналоги схемасида трансформаторнинг бирламчи, ёки иккиламчи ўрамига параллель улаиши мумкин. Электр трансформаторида бир неча иккиламчи ўрам ҳам бўлиши мумкин. Худди шунга ўхшаш акустик трансформаторда ҳам бир неча чиқиш тешиклари бўлиши мумкин.

Назорат саволлари

1. Электромеханик ўзгартиргичларда қўлланиладиган ўзаролик принципи нимадан иборат?
2. Механик тебраниш тизимларининг электр ўхшашлиги схема-ларини тузишни тушунтиринг.
3. Ўзгартиргич — двигатель ва ўзгартиргич — генераторнинг ўхшашлик эквивалент схемаларини чизинг.
4. Электромеханик ўхшашлик услуги принципини тушунтиринг.
5. Акустик тебраниш тизимларининг қандай хусусиятларини биласиз?

5 боб. Микрофонлар

5.1. Микрофонларнинг классификациялари ва техник таъсифлари

Электроакустик узатишларнинг асосий мақсади товуш эшиттиришларни табиийлигича қайта эшиттиришдир. Товуш эшитиш таассуротлари фақатгина товуш босимига боғлиқ бўлмасдан, балки тўлқин фронтлари эгрилигига ҳам боғлиқ. Шунинг учун товушни қайта эшиттириш нуқтасида товуш босими ва тўлқин fronti эгрилигини табиийлигича сақланишига эришиш зарур. Тўлқин фронтининг эгрилиги ўтиш жараёнлари характерини белгилайди, чунки, уларнинг эгрилик радиуси қанчалик кичик бўлса, яқин майдон шунчалик кучлироқ ва паст частотанинг нисбий кучи шунчалик катта бўлади. Йўналганлик таассуротини ҳосил қилиш учун эса, бир неча узатиш каналларидан фойдаланиш керак ёки эшиттиришларни бир неча радиокарнайлар орқали узатиш лозим. Тўлқин fronti эгрилигини инобатга олмасак, бу ҳолда, тингловчилар ўтиш жараёнларига муносабатларини билдиришлари учун ўрнатилган радиокарнайлардан эшитиришларни бивосита тинглаганларидаги масофаларга мос равишда жойлашишлари керак. Аммо, микрофонларнинг сифатли бўлиши учун яна бир қатор омиллар керакки, улардан бири, фойдали кучланишни шовқин кучланишига нисбатидир.

Идеал микрофоннинг вазифаси фазонинг қандайдир нуқтасида товуш майдонини характерлайдиган улчамларни, электр кучланиши ёки токига ўзгартиришдир.

Микрофонларнинг кўлдан – кўп турлари мавжуд бўлиб, улар радиоэшиттириш ва телевидение тизимларида, телефонияда, овозлаштириш, товуш кучайтириш, овоз ёзиш ва б.қ. қўлланилади. Микрофон ҳар қандай электроакустик ва радиоэшиттириш трактларининг биринчи ва энг асосий элементларидан ҳисобланиб, у эшиттириш каналининг сифат кўрсаткичини белгилайди.

Микрофонлар, бир бирларидаги кўйидаги кўрсаткичлари билан фарқланадилар:

- акустик тебранишларни электр тебранишларига ўзгартириш усули билан;
- товуш тебранишларини микрофон диафрагмасига таъсир этиш усули билан;
- йўналганлик диаграммаси ҳамда белгиланиши билан.

Акустик тебранишларни ўзгартириш усули бўйича микрофонлар:

- электродинамик (галтакли ва тасмали);
- конденсаторли (сигимли шу жумладан электретли);
- электромагнитли;
- пьезоэлектрик;
- кўмирли;
- транзисторли турларига бўлинади.

Микрофон диафрагмасига товуш тебранишларининг таъсири бўйича микрофонлар:

- қабул қилгич;
- градиент қабул қилгич;
- комбинацияланган турларига бўлинади.

Микрофонлар йўналганлик диаграммаси бўйича:

- йўналмаган (доира);
- бир томонлама йўналган — кардиоидали ва суперкардиоидали;
- чикки томонлама йўналган (саккизсимон ва косинусоидали) турларига бўлинади.

Микрофонларнинг асосий техник кўрсаткичларни кўриб чиқамиз.

Сезирлик — микрофон чиқишидаги U кучланишнинг унга таъсир этаётган $P_{\text{тов}}$ товуш босимиغا нисбати:

$$E = \frac{U}{P_{\text{тов}}}, \left[\frac{\text{мВ}}{\text{Па}} \right]. \quad (5.1)$$

Сезирлик кучланишнинг салт юриши ҳолатида ёки юкламадаги номинал кучланиш қиймати бўйича аниқланади. Микрофоннинг номинал юки сифатида унинг 1000 Гц частотадаги ички қаршилиги модули олинади.

Ўлчаш шароитларига қараб микрофон сезирлигини эркин майдон ва диффузия майдони бўйича белгилайдилар.

Эркин товуш майдони деб, тўғри товуш майдони устунлик қиладиган, қайтган тўлқинлар бўлмаган, бўлса ҳам кам миқдорда бўлган майдон — ларга айтилади.

Диффузияли товуш майдони — бундай майдонки, ундаги ҳар бир нуқтада товуш энергияси зичлиги бир хил ва унинг турли йўналишларида бир вақтда бир хил энергия оқими йўналади.

Сезирлик сатҳи — 1 В/Па га нисбатан децибелларда ифодаланган сезирлик.

Сезирликнинг стандарт сатҳи — 1 Га товуш босимида номинал $R_{\text{ном}}$ қаршилиқда ривожланаётган, децибелларда ўлчанадиган кучланишнинг $P_0=1$ мВт қувватга мос кучланишга нисбати, яъни $P_{\text{тов}}=1$ Па га тенг бўлгандаги микрофоннинг номинал кучланишга берилган қувват сатҳи.

$$N_{\text{с}} = 20 \lg \frac{U_{\text{ном}}}{\sqrt{R_{\text{ном}} P_0}} = 20 \lg \frac{E}{\sqrt{R_{\text{ном}} 10^{-4}}} \quad (5.2)$$

Йўналганлик диаграммаси микрофонга товуш θ бурчак остида тушганда ўлчанган сезирлиги E_{θ} ни унинг ўқи бўйича сезирлигига нисбати билан баҳоланади:

$$D_{\theta} = \frac{E_{\theta}}{E_{\text{ук}}}. \quad (5.3)$$

Микрофоннинг йўналганлик тавсифлари кутб координаталарида қурилади ва бундай график **йўналганлик диаграммаси** деб аталади.

Микрофоннинг йўналганлиги ҳисобига унинг диффузия майдони бўйича сезgirлиги $E_{\text{диф}}$ ўқи бўйича сезgirлигидан кичик. Бу камайишни ҳисобга олиш учун йўналганлик коэффициенти киритилган.

$$\Omega = \frac{E_{\text{рк}}^2}{E_{\text{диф}}^2} \quad (5.4)$$

Децибелларда ифодаланган йўналганлик коэффициенти, йўналганлик индекси деб аталади:

$$Q_{\text{н}} = 10 \lg \Omega \quad (5.5)$$

Йўналганлик индекси микрофоннинг иккита товуш манбаларидан: бири микрофон ўқида жойлашган ва бошқаси тарқалган товуш тўқинлари манбаи ривожлантираётган қувват сатҳлари фарқини кўрсатади (агарда иккитаси микрофон жойлашган жойда бир хил босим яратса). Бошқача қилиб айтишда, йўналганлик индекси микрофон ўқидан ўтаётган сигналнинг сўзатан шовқиннинг бостирилишини кўрсатади.

Диффузия майдонидаги сезgirлиги — бу микрофоннинг ўқи бўйича сезgirлигини йўналиш коэффициентининг илдиз ости қиймати нисбати тенг, яъни

$$E_{\text{диф}} = \frac{E}{\sqrt{\Omega}}$$

Йўналганлик тавсифи қанчалик ўткир бўлса, шунчалик диффузия майдонидаги сезgirлиги кичик, яъни реверберацияланувчи товушга бўлган сезgirлиги кичик.

Микрофоннинг фронт бўйича сезgirлиги — бу олдинги ярим фазодан тушаётган товушларга бўлган интеграл сезgirлик:

$$E_{\text{ф}} = \frac{E}{\sqrt{\Omega_{\text{ф}}}} \quad \text{да:}$$

$$\Omega_{\text{ф}} = \frac{\pi}{2} \int_0^{\pi/2} D^2(\theta) \sin \theta d\theta$$

«Фронт томон» сезgirлигининг бир-бирдан фарқи — микрофон ўқи бўйича сезgirлигининг E_{180° сезgirлигига нисбати:

$$Q_{\text{ф}} = 20 \lg \frac{E_{180^\circ}}{E_{\text{ф}}} = N_{\text{ф}} - N_{\text{диф}} \quad (5.6)$$

Шунинг айтиб ўтиш лозимки, микрофонга ҳеч қандай сигнал таъсир этмаганда ҳам унинг чиқишидаги кучланиш нолга тенг эмас. Унинг чиқишидаги мавжуд кучланиш атроф муҳит заррачаларининг флукутуацияси ва микрофон электр қисмидаги иссиқлик шовқинлари билан белгиланади.

Хусусий ҳалақатлар (шовқинлар) сатҳи, акустик киришига келтирилган бу катталикларни эквивалент товуш босими $P_{\text{шов}}$ сатҳи сифатида аниқлайдилар, яъни у микрофонга таъсир этганда, микрофон

чиқишидаги кучланиш $U_{\text{шов}}$ микрофоннинг киришида товуш тўлқинлари бўлмагандаги ривожлантираётган кучланиш нисбатига тенг:

$$L_{\text{шов}} = 20 \lg \frac{E_{\text{шов}}}{p_0} \text{ да:} \quad (5.7)$$

бунда $p_{\text{шов}} = \frac{U_{\text{шов}}}{E_0}$; $p_0 = 2 \cdot 10^{-5} \text{ Па}$

Юқорида қайд этилган кўрсаткичлардан ташқари микрофон яна бошқа кўрсаткичлар, шу жумладан частота диапазонида берилган частота тавсифи нотекислиги билан фарқланади.

5.2. Микрофонларнинг шўлаш принципи

Энг машҳур ва кенг тарқалган товуш қабул қилувчи бу — микрофондир. Кўмирли микрофоннинг (5.1—расм) диафрагмасига товуш босими таъсир қилганда у тебранабошлайди, бу тебранишлар тактига мос ҳолда кўмир кукуни 2 заррачаларининг сиқилиш кучи ҳам ўзгаради, натижада 1 ва 3 электродлар ўртасидаги қаршилик ўзгаради ва оқётган ток ҳам ўзгаради. Кўмирли микрофон унга тушаётган товуш энергиясидан тахминан 10 баробар кўпроқ электр энергиясига эга. Босимнинг қаршиликка даврий ўзгаришини куйидагича ифодалаш мумкин:

$$R = R_a(1 + m \sin \omega t) \quad (5.8)$$

Агар микрофон ташқи қаршилик ва ўзгармас манба билан кетма — кет уланган бўлса, унда ташқи қаршилик R да ажралаётган узгарувчан кучланиш куйидаги ифода орқали аниқланади:

$$U = R_a I = \frac{R_a U_0}{R_a + R_0(1 + m \sin \omega t)} = \frac{U_0 R_a}{R_a + R_0} \left[1 - \frac{R_a}{R_a + R_0} m \sin \omega t + \left(\frac{R_a}{R_a + R_0} \right)^2 m^2 \sin^2 \omega t + \dots \right] \quad (5.9)$$

Фойдали узгарувчан кучланиш иккинчи қўшилувчи билан ифода — ланади, энг катта қийматга $R_0 = R_a$ да эришади, яъни манбанинг ички қаршилиги микрофон қаршилиги билан мослаштирилганда:

$$U_{\text{аф}} = \frac{U_0 m}{4} \sin \omega t \quad (5.10)$$

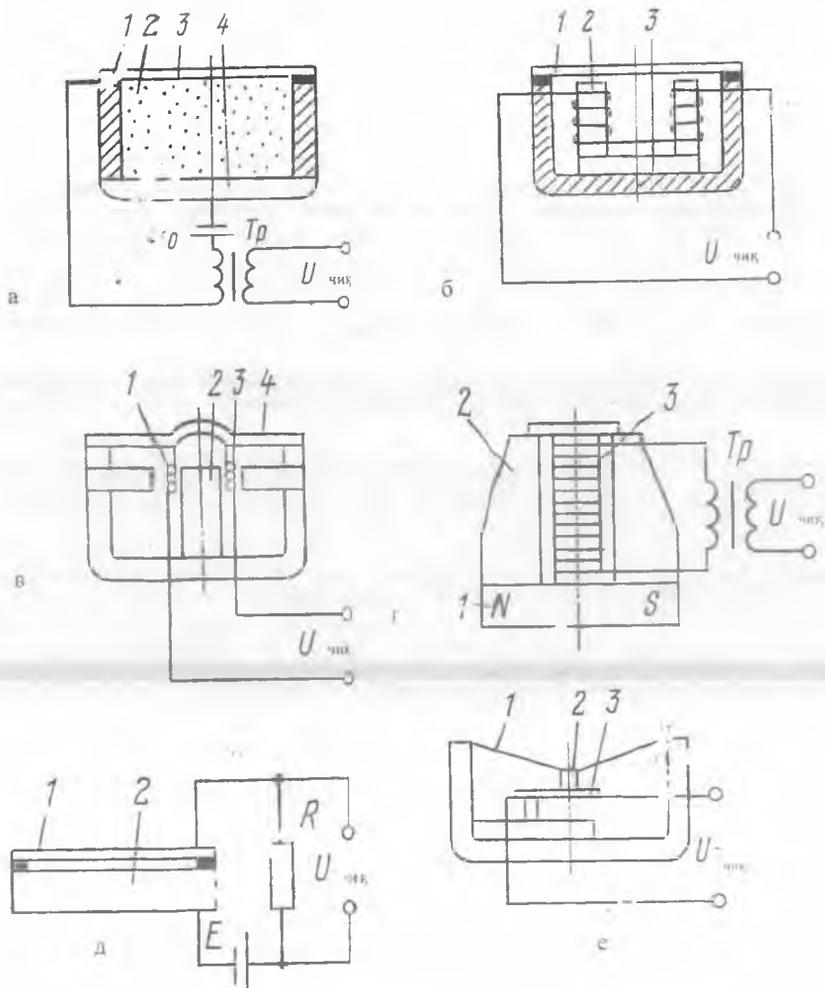
Амалда U_0 кучланишни $0,1 \text{ В}$ дан ошириш мумкин эмас, чунки электр ёйи кўмир кукунини кўлдириб юборади.

Кўмирли микрофоннинг асосий афзаллиги — унинг юқори эзгирлиги, натижада уни кучайтиргичларсиз қўллаш мумкин. Игидир.

Камчилиги сифатида частота тавсифи нотекислигининг катталиги ва улар билан боғлиқ бўлган ночизиқли бузилишларнинг катталигидир. Кўмирли микрофоннинг бу камчиликлари, уни ўзгартиришнинг юқори сифати талаб этилган жойларда, масалан товуш эшиттиришда, овоз ёзишда ва ўлчашларда ундан фойдаланмайди.

Кўмирли микрофонлардан кейин электромагнит микрофони их — тиро этилган (5.1, б — расм). Унда электромагнит диафрагма 1, магнит 3

нинг қутблари 2 олдида жойлаштирилади. Диафрагма тебранганда ҳаво тирқишининг магнит қаршилиги ўзгаради, демак магнит ўтказувчи ти-зимга ўралган симлари орқали ўтаётган магнит оқими ҳам ўзгаради. Шунинг эвазига, микрофоннинг чиқишида ўзгарувчан частотали товуш кучланиши пайдо бўлади



5.1 – расм. Ҳар хил турдаги микрофонларнинг ишлаш принципи

Товуш эшиттиришда электродинамик микрофоннинг энг кўп тарқалган икки: галтакли ва тасмали турлари қўлланилади. Электроди — намик галтакли микрофон, ҳалқа магнит тизимининг тирқиши 1 да (5.1, в — расм) қўзғолувчи галтак 3 жойлашган, у диафрагма 4 билан бириктирилган. Диафрагма товуш босими таъсирида қўзғолувчи галтак билан биргаликда тебранади. Бунинг натижасида, галтак ўрамларида кучланиш пайдо бўлади, у микрофоннинг чиқиш кучланишидир. Галтакли микрофон конструктив мустаҳкам, ишлаши барқарор, частота диапазони кенг, аммо частота тавсифининг нотекислиги нисбатан катта.

Тасмали электродинамик микрофоннинг тузилиши галтакли микрофондан бир мунча фарқланади (5.1, г — расм). Магнит тизими ёки икки қутблик учли 2 ўзгармас магнитдан иборат бўлиб, улар, орасида енгил ва ингичка (2 мкм) гофрланган алюмин тасмача 3 тортилган. Тасмачага товуш босими таъсир этганда у тебранабошлайди ва магнит куч чизиқларини кесиб ўтади, натижада тасманинг учларида кучланиш пайдо бўлади. Тасманинг қаршилиги кичик бўлганлиги сабабли, уловчи симларда тушиш кучланишини камайтириш мақсадида, тасма учидаги кучланиш, унга бевосита яқин жойлаштирилган кучайтирувчи трансформатор (Тр) нинг бирламчи ўрамига узатилади. Тасмали микрофон юқори сезгирликка эга, частота диапазони кенг ва частота тавсифининг нотекислиги жуда кичик.

Замонавий электроакустика трактларида энг кўп тарқалган конденсаторли микрофонлардир. Конденсаторли (сигимли) микрофон қуйидагича ишлайди (5.1, д — расм). Қаттиқ тортилган мембрана 1 товуш босими таъсири остида қўзғолмас электрод 2 га нисбатан тебранади. Мембрана ушбу электрод билан электр конденсаторининг қоплами ҳисобланади. Бу конденсатор электр занжирига ўзгармас ток манбаи E га ва юк қаршилиги R га кетма — кет уланади. Мембрананинг тебраниши натижасида конденсаторнинг сигими ўзгаради, электр занжирда ўзгарувчан ток пайдо бўлади ва R юк қаршилигида тушиш кучланиши ҳосил бўлади, бу кучланиш микрофоннинг чиқиш кучланиши.

Электретли микрофон конденсаторли микрофонга ўхшаш, аммо қопламалар потенциаллар фарқи ташқи манба билан таъминланмасдан мембранани ёки қўзғолмас электродни электр заряддаш натижасида эришилади.

Пьезоэлектр микрофонларининг (5.1, е — расм) ишлаш принципи қуйидагича: мембрана 1 га таъсир этаётган товуш босими 2 стержень орқали пьезоэлектр элементи 3 га таъсир этади. Пьезоэлементи деформациялаганда кучланиш пайдо бўлади. Пьезоэлектр микрофонларининг кейинги йиллардаги қўлланилиши бир мунча кенгайди.

Транзисторли микрофонларнинг ишлаши қўзғолувчи, диафрагма бириктирилган учлик найза бир вақтнинг ўзида яримўтказгичли триоднинг эмиттери ҳисобланиб, товуш босими таъсирида эмиттернинг

ўтиш қаршилигини ўзгартиришига асосланган. Бундай микрофонлар анчагина сезгир бўлсаларда, аммо қўлланишда барқарор эмас, ҳамда тор ва нотекис частота тавсифига эга. Шунини айтиш керакки, кумирли ва транзисторли микрофонлар қайтарилиувчан ўзгартиргичлар турига кирмайди улар релели ўзгартиргичлар турига киради.

5.3. Микрофон – электромеханик ўзгартиргич

Микрофоннинг сезгирлиги унинг чиқишидаги кучланишни унга таъсир этаётган товуш босими (5.1) нисбатига тенг:

$$E = \frac{U}{P_{\text{тов}}}$$

4.7 расмдан кўриниб турибдики микрофон юк қаршилигига иш – лаганда унинг чиқишидаги кучланиш:

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

Салт юришидаги (4.6) формулага биноан кучланиш:

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

Ўз навбатида (4.27) формуладан:

$$v = \frac{F}{Z_0 + Z_{\text{кит}}} \text{ да:} \quad (5.13)$$

$$Z_{\text{кит}} = \frac{|K|^2}{Z_0 + Z_{\text{юк}}} - \text{киритилган қаршилик}$$

Микрофонга таъсир этувчи куч эркин товуш майдонидаги товуш босимига пропорционал

$$F = a_{\text{тов}}, \quad (5.14)$$

Бунда a – акустик тавсиф деб аталувчи ва юза ўлчов бирлигига эга бўлган пропорционаллик коэффициентини.

(5.12÷5.14)ларни (5.11) га қўйиб микрофон сезгирлигини қуйидагича ифодалаймиз:

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

Бундан ташқари микрофон сезгирлигини қуйидаги нисбатлар кў – пайтмаси ҳолида ҳам ифодалаш мумкин:

$$E = \frac{U}{P_{\text{тов}}} = \frac{U}{V} \cdot \frac{V}{F} \cdot \frac{F}{P_{\text{тов}}}$$

$$\frac{F}{V} = \varphi_{\text{мех}} = \frac{K}{Z_0 + Z_{\text{кит}}} - \text{механик тавсиф;}$$

$$\frac{U}{V} = \varphi_{\text{эл}} = \frac{Z_{\text{кит}}}{Z_0 + Z_{\text{кит}}} - \text{электр тавсиф;}$$

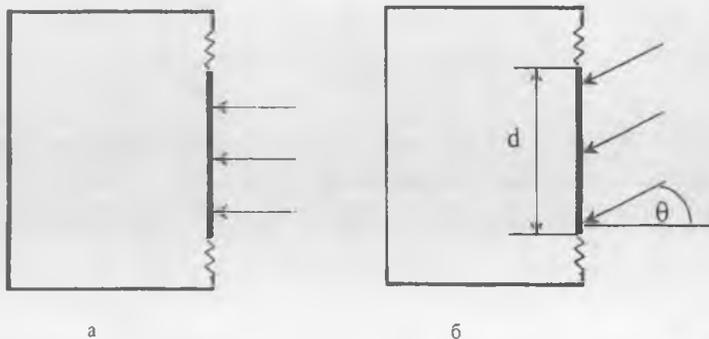
$$\frac{F}{P_{\text{тов}}} = \alpha = \varphi_{\text{ак}} - \text{акустик тавсиф.}$$

Бундан микрофоннинг умумий сезгирлигини аниқлайдиган қуйидаги формула келиб чиқади:

$$E = \varphi_{\text{ак}} \cdot \varphi_{\text{мех}} \cdot \varphi_{\text{эл}} = \varphi_{\text{ак}} \cdot \frac{K}{z + \frac{K^2}{z_0 + z_{\text{кпр}}}} \cdot \frac{z}{z + z_0} \quad (5.16)$$

5.4. Микрофон – товуш қабул қилгич

Микрофонларнинг акустик қисми тузилишига қараб улар: **товуш босими қабул қилгич**, **товуш босими градиенти қабул қилгич** ва **комбинацияланган микрофонларга** бўлинади. Босим қабул қилгичнинг характер — ли хусусиятларидан бири шуки, унинг қабул диафрагмаси таъсир этувчи товуш тўлқинлари учун биргина — фронтал томондан очик (5.2, а — расм).



5.2 расм. Микрофон босим қабул қилгичнинг схематик кўри — ниши

Ўлчамлари тўлқин узунлигидан кичик бўлган $d \ll \lambda$ диафрагмаларга таъсир этаётган куч қуйидагича аниқланади $F = p_{\text{ак}} \cdot S$. Агар диафрагманинг ўлчамлари тўлқин узунлиги билан баробар бўлса, унда интерференция ҳолисаси рўй беради ва диафрагмага таъсир этаётган куч $F = (1 - 2) p_{\text{ак}} S$ га тенг.

Диафрагма ўлчамлари ошган сари ундан қайтган товуш тўлқинлари ҳисобига куч ортаборади. Диафрагма яқинида товуш босими дўнглигида турғун тўлқинлар пайдо бўлади. Бу ҳол микрофон сезгирлигининг ошишига сабабчи бўлади.

Товуш босими диафрагмага бурчак остида тушганда, диафрагма — нинг турли нуқталари, энди бир фазада қўзғолмай, турли фазаларда қўзғолади. Диафрагманинг бир — биридан d масофада турувчи четки нуқталари фазаси қуйидагича ҳисобланади

$$\varphi = 2\pi \frac{d \sin \theta}{\lambda} \quad (5.17)$$

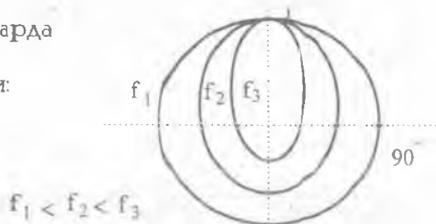
Бу ҳолда диафрагмага таъсир этувчи йиғинди куч камаля боради ва микрофон йўналганлик хусусиятига эга бўла бошлайди (5.3 – расм). Шундай қилиб, товуш босими қабул қилгич микрофони учун частота ошиши билан сезгирлигининг ва йўналганлик диаграммасининг ошиши характерлидир.

Энди микрофон – товуш босими градиенти қабул қилгични қўриб чиқамиз. Бундай микрофоннинг диафрагмаси ўлчамлари чекланган экранда жойлашган, деб фараз этиш мумкин (5.4, а – расм). Диафрагма таъсир товушга иккала томондан очиқ бўлганлиги учун унга товуш нуралари, кучлар фарқи таъсир этади.

Масофа фарқи эса:

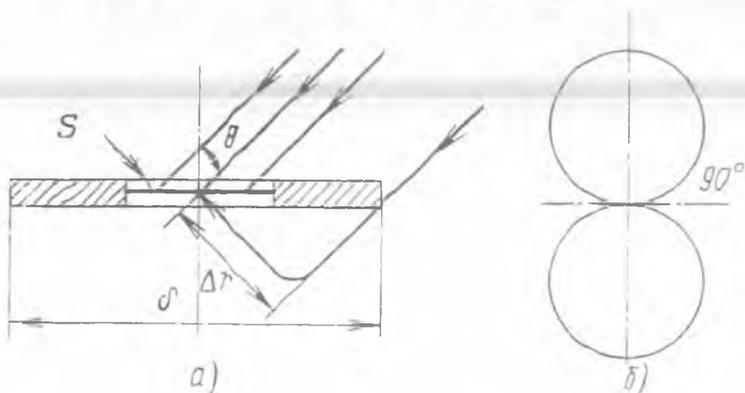
$$\Delta r = \delta \cos \theta \text{ га тенг.} \quad (5.18)$$

5.3 расм. Турли частоталарда босим қабул қилгичнинг йўналганлик диаграммаси:



Диафрагмани тебратувчи куч F , кучлар айирмасига тенг $F_1 = p_{\text{тош}} S \sin \omega t$ ва $F_2 = p_{\text{ош}} S \sin(\omega t - \varphi)$, гармоник тебранишларда:

$$F = F_1 - F_2 = p_{\text{тош}} S [\sin \omega t - \sin(\omega t - \varphi)] = 2 p_{\text{ош}} S \sin \frac{\varphi}{2} \cos \left(\omega t - \frac{\varphi}{2} \right). \quad (5.19)$$



5.4 – расм. Босим градиенти қабул қилгич (а) ва йўналганлик диаграммаси (б)нинг схематик кўриниши

Фазалар фарқи

$$\varphi = 2\pi \frac{\delta \cos \theta}{\lambda} \quad \text{генг.}$$

Шунинг учун:

$$F = 2p_{\text{тош}} S \sin \left(\pi \frac{\delta \cos \theta}{\lambda} \right) \cos \left(\omega t - \frac{\varphi}{2} \right) \quad (5.20)$$

Улчамлари тўлқин узунлигидан анча кичик бўлган диафрагмалар учун $\frac{\delta}{\lambda}$ кичик ва қандайдир аниқлик билан:

$$\sin \left(\pi \frac{\delta \cos \theta}{\lambda} \right) \approx \pi \frac{\delta \cos \theta}{\lambda} \quad \text{деб ҳисоблаш мумкин.} \quad (5.21)$$

Бунда

$$F = p_{\text{тош}} S \frac{2\pi\delta}{\lambda} \cos \theta \cos \left(\omega t - \frac{\varphi}{2} \right) = F_m \cos \left(\omega t - \frac{\varphi}{2} \right) \quad \text{да.} \quad (5.22)$$

$$F_m = p_{\text{тош}} S \frac{\delta}{c_{\text{тош}}} \omega \cos \theta. \quad \text{Демак, диафрагмага таъсир этаётган}$$

куч частотага ва микрофон ўқи ва товуш тўлқини келиш йўналиши орилидаги косинус бурчагига пропорционал.

Микрофоннинг йўналганлик тавсифи «саккизсимон» (5.4, — б) кўринишда. Микрофон акустик ўқи буйича тарқалаётган товуш тўлқинларига сезгир бўлиб, акустик ўқига перпендикуляр бўлган тўлқинларни қабул қилмайди, яъни $\theta = \frac{\pi}{2}$ (5.4, а — расм).

Хулоса қилиб шуни айтиш керакки, микрофон ясси тўлқин май — донида жойлашган ёки шар тўлқинидан етарлича масофада жойлашган шартига тўғри келиб, ундаги фронт эгрилиги амалда аҳамиятга эга эмас.

Паст частоталарда амалда кенг тарқалган (манбадан 0,5 м) масофада микрофон яқин зонада бўлади (тўлқин узунлиги 6,8 м). Юқори частоталар учун, масалан 10.000 Гц, у энди узоқ зонада ($\lambda = 3,4$ см) ҳисобланади. Шунинг учун паст частоталарда микрофон диафрагмасига таъсир этаётган куч, асосан фронт ва фронт орти тўлқинлари амплитудаси фарқи билан аниқланади.

Юқори частоталарда фаза фарқлари каттароқ бўлиб, амплитуда — ларининг ўзгариши эса кам. Шунинг учун диафрагманинг икки томонидаги босимлар фарқи тебранишлар фазаси фарқи билан аниқланади. Товуш манбаидан яқин масофаларда стандарт микрофонлар учун, паст частоталарда сезгирлик юқори частоталардагига қараганда юқори. Демак, микрофон — босим градиенти қабул қилгичларни товуш манбаи яқинига жойлаштириш мумкин эмас, чунки микрофон паст частоталарни «чизиб» ўтади. Зарур ҳолларда бундай жойлаштирилганда микрофон кучайтиргичига мос ҳолдаги коррекция киритилади.

Комбинацияланган микрофонлар деб, икки ёки учта умумий чиқишга эга бўлган базавий микрофонларга айтилади. База микрофонларнинг кичик тизимларини бирлаштириш турли электр, электромеханик ёки механик кўринишда бўлиши мумкин.

Бири босим қабул қилгич, иккинчиси босим градиенти қабул қилгичлардан иборат, иккита микрофоннинг биргаликда ишлашини кўриб чиқамиз.

Фараз қилайлик, босим қабул қилгичнинг сезгирлиги E_1 , босим градиенти қабул қилгичнинг сезгирлиги $E_2 \cos \theta$. Уларни кетма – кет улаб сезгирлиги E_0 га тенг бўлган қабул қилгични оламиз.

$$E_0 = E_1 + E_2 \cos \theta \quad (5.23)$$

Бундай қабул қилгичнинг ўқи бўйича сезгирлиги

$$E_0 = E_1 + E_2 \quad (5.24)$$

$q = \frac{E_2}{E_0}$ – босим градиентининг умумий сезгирликни ташкил этишдаги ҳиссасини аниқловчи параметрни киритиб, комбинацияланган қабул қилгичнинг сезгирлигини аниқлаймиз:

$$E_0 = E_0(1 + q + q \cos \theta) \quad (5.25)$$

Бундай қабул қилгичнинг йўналганлик тавсифи:

$$D_\theta = \frac{E_0}{E_0} = 1 + q + q \cos \theta \quad (5.26)$$

Қабул қилгич умумий сезгирлик E_0 ни ҳосил қилишдаги улушини аниқловчи $q = \frac{E_2}{E_0}$ – параметрини киритиб, уни ўзгартириш йўли билан турли йўналганлик тавсифларни олиш мумкин. Масалан $q = 0$ бўлганда, микрофон босим қабул қилгич сифатида ишлайди ва йўналганлик диаграммаси доира шаклида бўлади. $q = 0,5$, қийматда эса: $E_1 = E_2$ йўналганлик диаграммаси:

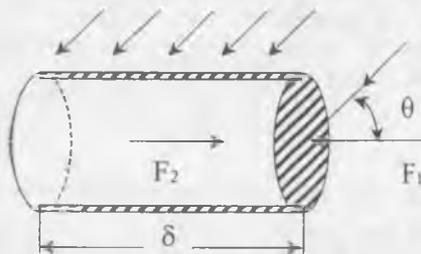
$$D_\theta = \frac{1}{2}(1 + \cos \theta) \quad (5.27)$$

ифодаланиб кардиоида кўринишида бўлади. $q = 1$ бўлганда $D_\theta = \cos \theta$, йўналганлик диаграммаси саккизсимон бўлади. q параметрига 0 ва 1 оралиғидаги қийматларни бериб супер ва гиперкардиоида турндаги йўналганлик диаграммаларини олиш мумкин.

Электр комбинацияланган микрофон. Бундай микрофонларда чиқиш кучланишлари бир фазада ёки тескари фазада қўшилади. Кучланишларни қўшиш бевосита ёки фаза силжитувчи занжирлар ёки бошқаргичлар ёрдамида амалга оширилади. Электр комбинацияланган микрофонлар эксплуатация нуқтаи назаридан жуда муҳим сифатни, йўналганлик тавсифини масофадан ўлчаш имкониятини беради. Чизикли микрофонлар гуруҳининг натижавий йўналганлик тавсифи алоҳида микрофонларнинг йўналганлик тавсифлари кўпайтмасига тенг.

Микрофонларнинг бундай хусусиятлари ўта йўналган тавсифларни олиш имконини беради.

Акустик комбинацияланган микрофонлар. Бундай микрофонларнинг акустик тизимлари шундай тузиладики, таъсир этаётган куч икки таркибий қисмга бўлиниб, биттаси товуш тўлқинининг тушиш бурчагига боғлиқ бўлмаган жолда, иккинчиси эса $\cos \theta$ га пропорционал. Бундай микрофоннинг схемаси δ узунликдаги трубага жойлаштирилган диафрагма кўриниши да 5.5 – расмда келтирилган.



5.5 – расм. Бир томонлама йўналтирилган қабул қилгичнинг схематик кўриниши

Диафрагманинг тебраниши $F = F_1 - F_2$ кучи таъсирида бўлади. Диафрагманинг икки томонига таъсир этувчи F_1 ва F_2 , кучлар бир – биридан фазалари билан ажралиб туради. Кучлар айирмасининг амплитудаси қуйидаги формула билан аниқланади:

$$F_m = p_{\text{тош}} S \frac{\omega}{c_{\text{тош}}} \delta (1 + \cos \theta) \quad (5.28)$$

Бундай қабул қилгичнинг йўналганлик тавсифи $D = (1 + \cos \theta)$ га тенг. Трубканинг очиқ қисмини ва узунлигини ўзгартириб исталган кўринишдаги йўналганлик диаграммасига эга бўлган микрофони олиш мумкин.

5.5. Ғалтакли микрофон

Ғалтакли босим қабул қилгич микрофонининг соддалаштирилган конструктив тузилиши 5.6, – а расмда кўрсатилган. Микрофон магнит ва қўзғолувчи тизимлардан ташкил топган. Магнит тизими цилиндр шаклидаги доимий магнит 1 дан ташкил топган ва унга қалин пўлат диск шаклидаги гардиш бириктирилган. Гардиш 2 нинг марказида керн деб аталувчи думалоқ стержень 3 жойлаштирилган, юқори гардиш 4 нинг марказида керн 3 дан катта бўлган диаметрдаги думалоқ ойна бор. Унда ҳалқасимон тирқиш мавжуд бўлиб ундаги магнит майдони радиал йўналишга эга. Магнит юқори коэрцитивли қоришмадан тайёрланган бўлиб, гардиш ва кернлар кам углеродли юқори магнит ўтказувчанлик хусусиятига эга бўлган пўлатдан тайёрланган.

Микрофоннинг қўзғолувчи тизими енгил диафрагма⁴⁵ дан иборат бўлиб, унга қаттиқлик бериш мақсадида қуббасимон шаклда ясалган. Диафрагма гофрланган 6 ёқа орқали юқори гардишга бириктирилган ва марказлаштирилган шайба вазифасини бажариб диафрагмани фақат ўқи бўйича эркин силжишига имконият беради. Диафрагма билан ғалтак 7 қаттиқ бириктирилган ва у ҳам радиал майдонда жойлашган. Диафрагма товуш босими таъсирида тебранганда, ғалтак радиал магнит майдони чизиқларини кесиб ўтади ва унинг қисқичларида ЭЮК пайдо бўлади. Ҳар қандай микрофоннинг ишлаш принципини унинг сезгирлигини таҳлил этишдан бошлаймиз. Ғалтакли микрофон учун унинг сезгирлиги (5.16 ва 4.9) формуллари асосида:

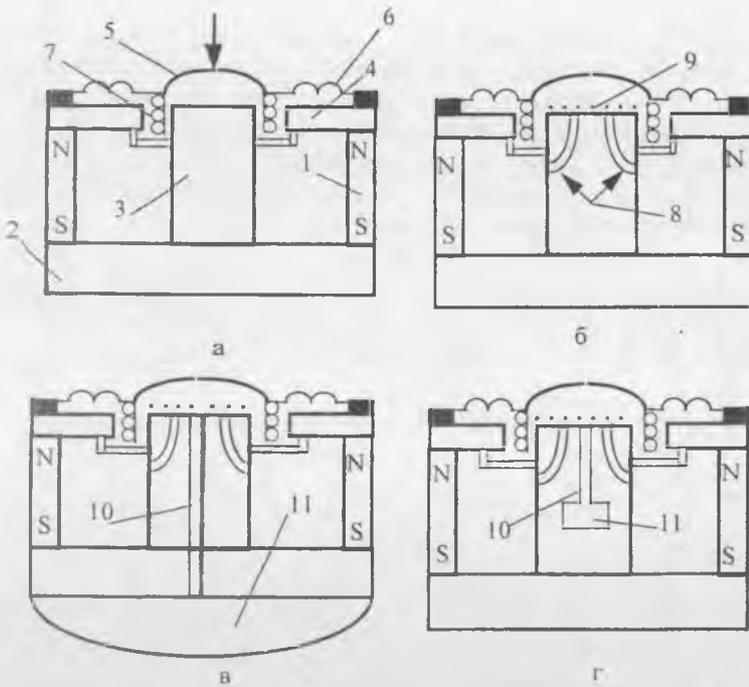
$$E_s = \frac{B l a}{z_s + \frac{B l^2}{z_s + Z_0}} \cdot \frac{Z_{\infty}}{Z_0 + Z_{\infty}} \quad (5.29)$$

Микрофоннинг юкламаси Z_{∞} сифатида одатда микрофон кучайтиргичининг қириш қаршилиги олинади, хусусий қаршилиги эса: $Z_0 = R_s + j\omega L_s$, бунда: R_s ва L_s — ғалтакнинг актив ва индуктив қаршиликлари.

Ғалтак одатда кам сонли ўрамларга эга, шунинг учун унинг электр қаршилигини актив деб ҳисоблаймиз, яъни: $Z_0 \approx R_s$.

Микрофоннинг ўлчамлари тўлқин узунлигига нисбатан кичик бўлган частота областида унинг акустик тавсифи $\varphi_{av} = S$, юза ўлчамига эга. Айтилганларга асосан микрофоннинг сезгирлиги:

$$E_s = \frac{1}{2} \frac{B l S}{z_s + \frac{B l^2}{2R_s}} \quad (5.30)$$



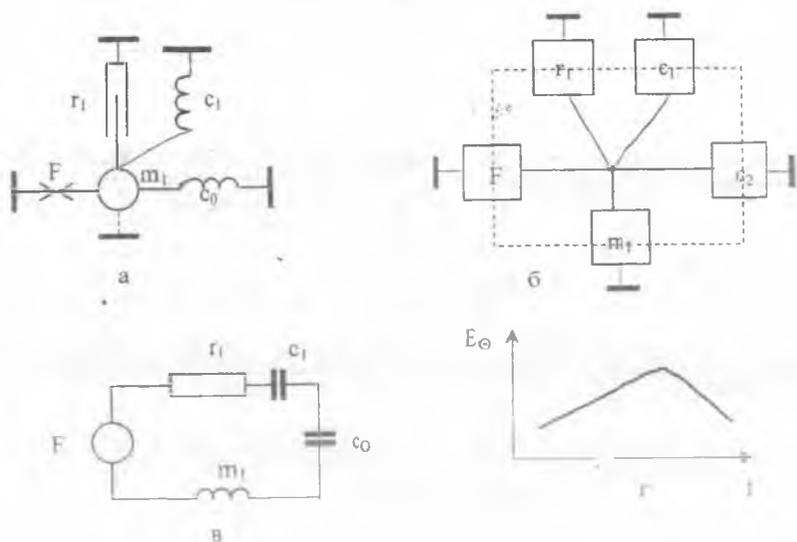
5.6 — расм. Ғалтакли микрофон — босим қабул қилғич конструкцияси

Формула (5.30) дан кўришиб турибдики, сезгирликнинг частота тавсифи фақат унинг хусусий механик қаршилиги z_0 га боғлиқ, чунки: $Z_0 = (\frac{F}{V})_{j=0}$, $V = j\omega x$, бунда: x — силжиш. Шунинг учун микрофонни конст — рукциялашда унинг механик қаршилигини берилган ишчи частота по — лосасида ўзгармас бўлишига эришиш зарур.

5.7 — расмда кўрилаётган микрофоннинг электр ўхшашлик схемаси келтирилган. Бунда C_1 , C_0 — диафрагманинг илينيш ва унинг остидаги ҳаво ҳажмининг эгилувчанлиги; m_1 — диафрагма массаси; r_1 — силжувчи тизимнинг актив йўқолишлари. Сезгирликнинг келтирилган частота тавсифидан (5.7, — г расм) кўришиб турибдики, у катта нотекисликка эга, C_1 ва C_0 кетма — кет уланганлиги сабабли резонанс частотаси юқори.

Шуни айтиш керакки кўриб чиқилган микрофон кичик сезгир — ликка эга. Сезгирликни ошириш мақсадида кернда тор канал 8 лар очилади ва шу йул билан диафрагма ости ҳажми ички магнит

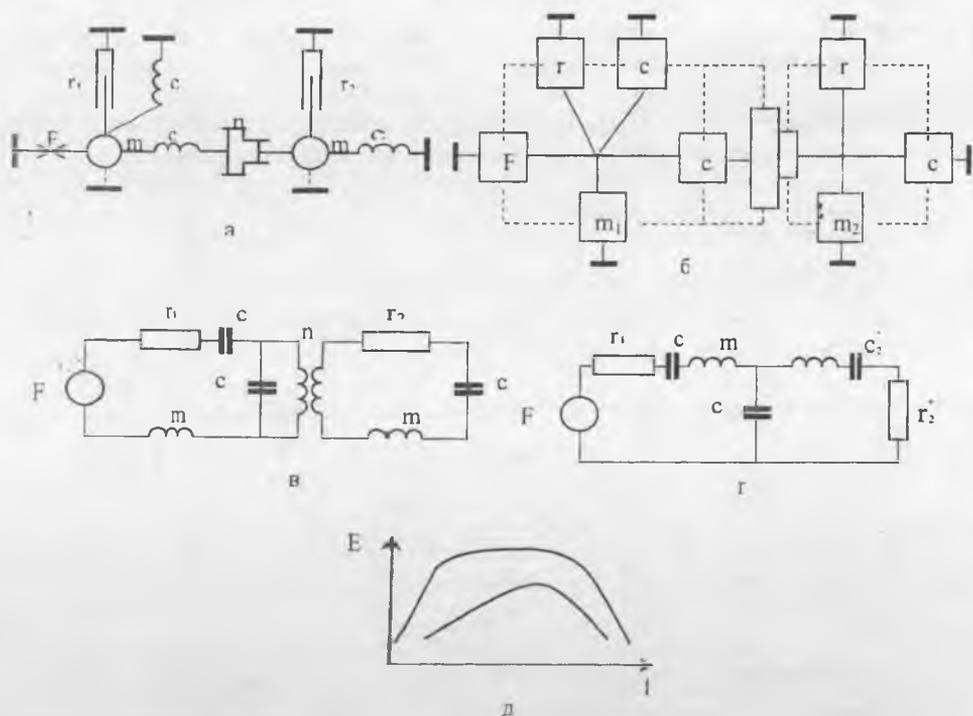
билан туташтирилади (5.6, — расм). Каналларнинг магнит ичи ҳажмлари Гельмгольц резонаторини ташкил этади ва уларнинг параметрлари: m_2 ҳаво массаси; Γ_2 — каналдаги актив йўқолиш қаршилиги ва C_2 — магнит ичидаги ҳаво ҳажмининг эгилувчанлиги. Микрофоннинг электр ўх-шашлик схемаси 5.8 — в расмда ва ўзгартирилган Гельмгольц резонаторининг трансформация коэффициенти орқали ҳисобланган Γ_2 , C_2 , m_2 параметрлари 5.8 — г расмда келтирилган.



5.7 расм. Ғалтакли микрофоннинг электр ўхшашлик схемаси

Схемалардан кўриниб турибдики ўхшашлик схема Т-симон по- лосали фильтрнинг звеносини ташкил этади. Фильтр параметрлари тўғри танланганда, унинг частота тавсифи $\omega_1 = \frac{1}{\sqrt{m_1 c_1}}$ дан

$\omega_2 = \sqrt{\omega_1^2 + \frac{4}{m_1 c_0}}$ гача бўлган частота диапазонида текис бўлади. Резо- нанс ҳодисаларини йўқотиш мақсадида сунъий равишда керга ипак мато 9 ёпиштириш йўли билан Γ_2 қаршилиқни оширадилар.

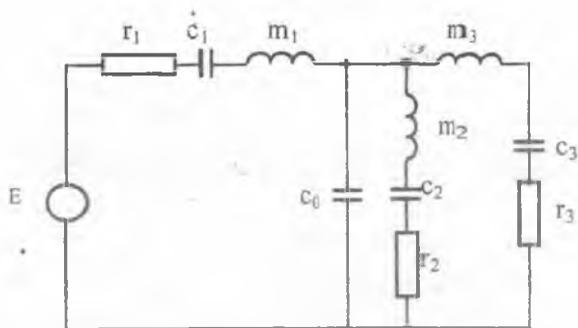


5.8— расм. Частота тавсифи коррекцияланган ғалтакли микрофоннинг электр ўхшашлик схемаси

Паст частоталарда частота тавсифининг пасайиши микрофоннинг қўзғолувчи тизими билан боғлиқ, пасайишини диафрагма массаси ва унинг эгилювчанлигини ошириш эвазига камайтириш мумкин. Аммо, микрофон сезгирлигини ошириш мақсадида, диффузорнинг массаси конструкцияси йўл қўйган энг кичик қийматда олинади. Микрофонни силкенишларга барқарор бўлишига эришиш, диафрагма эгилювчанлиги частота диапазони кенгайтириш мақсадидагидек оширишга йўл бермайди. Ҳақиқатан, бу диффузор илиншининг юмшоқлигига олиб келади ва тасодифий турткилар тирқишдаги ғалтакни оғишига сабабчи бўлади. Шунинг учун микрофон частота тавсифининг пастки чегараси тахминан 300 Гц гача текис. Бу чегарани пастга томон кенгайтириш учун қўшимча коррекцияловчи элементлар киритилади. Шундай коррекцияларнинг иккита варианты 5.6, в, г — расмларда кўрсатилган.

Биринчи вариантда (5.6в — расм) магнитнинг марказий стержнида канал 10 очилади, ундаги ҳаво массаси m_2 . Канал магнит ортидаги эги —

лувчанлик C_3 дан иборат қўшимча ҳажм 11 га қўшилади. Бу қўшимча резонатор паст частотанинг пастки ω_1 чегарасига созланади ва шу йўл билан пастки частота чегараси кенгайтирилади. 5.6 – г расмда кўрса – тилган конструкция ҳам худди шундай ишлайди. Кенг частота полосаси талаб этилганда бир нечта шундай резонаторлардан, фойдаланиб текис частота тавсифини олиш мақсадида уларни ω_1 дан пастки частоталарга созлайдилар. Бундай микрофоннинг электр ўхшашлик, схемаси 5.9 – расмда кўрсатилган. Элементларни мос ҳолда танлаш йўли билан пастки частота чегарасини 50÷80 Гц гача пасайтириш мумкин.



5.9 – расм. Паст частоталарда қўшимча коррекция қўлланилган ғалтакли микрофоннинг электр ўхшашлик

Электродинамик ғалтакли микрофоннинг асосий афзалликлари: кон – струкциясининг ишончилиги, частота диапазонининг кенглиги, алоҳида таъминот манбаининг йўқлиги, узун микрофон кабели билан ишлаши мумкинлиги. Мураккаб коррекция тизими қўлланилишига қарамай, ғалтакли микрофонлар ишчи частота диапазонида катта ноте – кисликка эга.

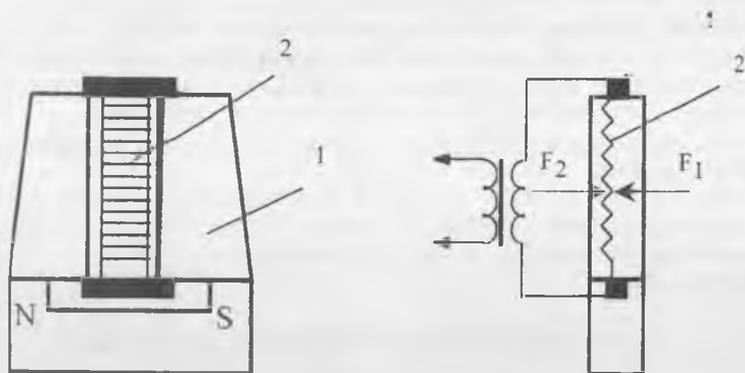
5.6. Тасмали микрофон

Тасмали микрофоннинг ишлаш принципи ғалтакли микрофоннинг ишлаш принципига ўхшайди, аммо конструкция тизилиши тубдан фарқ қилади (5.10 – расм). Магнит тизими тақасимон шаклда бўлиб, магнит қутблари учлари 1 да юлқа гофрланган тасма 2 жойлаштирилади. Тасма магнит майдонининг куч чизиқларига параллель жойлашади.

Микрофоннинг ўзи товуш манбаига нисбатан шундай жойлаша – дики, акустик тўлқин яратаётган куч тасма юзасига перпендикуляр йўналган бўлиши керак.

Тасмага товуш тўлқини икки томондан таъсир эта олади, шунинг учун у иккала томондаги товуш босими айирмаси таъсирида тебранади, шундай қилиб, у босим градиенти қабул қилгичдир. Тасма тебраниб, магнит майдони чизиқларини кесиб ўтади ва унинг қисқичларида аку –

стик сигнални акс эттирувчи ЭЮК индукцияланади. Тасмали микрофон индуктив турдаги ўзгартиргич. Микрофон ўлчами унга таъсир этаётган тўлқин узунлигидан кичик бўлганда, унинг йўналганлик диаграммаси саккизсимон бўлади. Микрофон конструкцияси ички қаршилик R_i ни юклама қаршилик R_{Σ} билан мослаштирувчи микрофон трансформатори унга олиб берилади. Трансформатор бевосита микрофон ёнига ўрна- тилиб кабель ёрдамида кучайтиргичга уланади. Микрофон кон- струкцияси шойи мато тортилган перфорацияланган филоф билан қопланади.



5.10 — расм. Тасмали босим градиенти қабул қилгич конструкцияси

Тасмали босим градиенти қабул қилгич микрофонининг сезгир- лигини аниқлаймиз.

(5.21) формулани (5.13) формулага қўйиб (5.11) ни инобатга олган ҳолда

$$E_{\theta} = \frac{\omega S d}{C_{\text{тош}}} \cos \theta \cdot \frac{B l}{Z_0 + \frac{B^2 l^2}{Z_0 + Z}} \cdot \frac{Z_{\Sigma}}{Z_0 + Z_{\Sigma}} \quad (5.31)$$

Формуладан кўриниб турибдики, микрофон сезгирлиги частотага пропорционал.

Механик тизимнинг хусусий қаршилиги

$$Z_0 = j\omega m + \frac{1}{j\omega c} = j\omega m \left(1 - \frac{1}{\omega^2 m c} \right) \quad (5.32)$$

Тасманинг электр қаршилиги кичик бўлганлиги сабабли уни ино- батга олмаيمиз. Унда:

$$E_{\theta} = \frac{1}{2} \cdot \frac{\omega S d}{C_{\text{тош}}} \cos \theta \cdot \frac{B l}{j\omega m \left(1 - \frac{\omega_0^2}{\omega^2} \right) + \frac{B^2 l^2}{2R_i}} \quad (5.33)$$

Микрофон сезгирлиги частотага боғлиқ бўлмаслиги учун қуйидаги шарт бажарилиши керак:

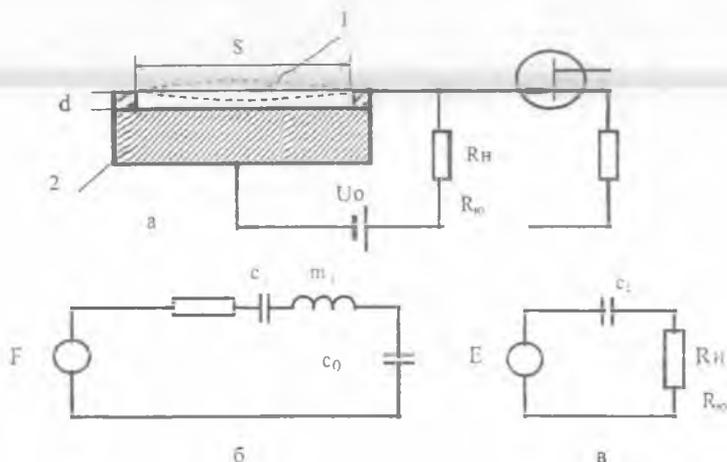
$$\omega_0 \ll \omega \quad \text{ва} \quad \frac{B^2 l^2}{2R_1} \ll \omega m \quad (5.34)$$

Биринчи шартни бажариш, яъни тасманинг эластиклигини ошириш учун уни гофрлайдилар ва шу йўл билан $\frac{\omega_0}{2\pi}$ қиймати 10÷15 Гц гача пасаяди. Микрофон сезгирлигини тасманинг юзасини ошириш йўли билан эришиш ҳеч қандай натижа бермайди, чунки тасма юзасининг ошиши унинг массасинининг ошишига олиб келади, у ўз навбатида эгилувчанликни камайтиради. ~~Ушундан~~ Микрофон ўлчамларини оширади. Иккинчи шарт, нисбатан ўрта ва юқори частоталарда осон бажарилади. Паст частоталарда частота тавсифининг берилган пасайиши тирқишдаги индукцияни танлаш йўли билан эришилади.

Тасмали микрофоннинг энг нозик томони шундаки, тасма кучсиз шамол таъсирида узилиши мумкин. Шу сабабли бу турдаги микрофон «елвизак» дан қўрқади дейишади. Шунинг учун бу турдаги микрофонлар хоналарда ва бинолар ичида фойдаланилади. Кўпроқ телестудияларда қўлланилади.

5.7. Конденсаторли ва электретли микрофонлар

Конденсаторли микрофон (5.11 — а расм) конструктив конденсатордан иборат бўлиб битта электроди қўзғолмас массив 1, иккинчиси эса, юпқа таранг тортилган мембрана 2 дан ташкил топган. Конденсаторга юқори омли юк қаршилиги $R_{ю}$ орқали қутбловчи U_0 кучланиш уланади.



Мембрана тебранганда C_{Σ} конденсатор сизими ўзгаради, заряд ўзгармас бўлгани учун, ундаги кучланиш ўзгаради. Бу қўшимча кучланиш, мембранага товуш босими таъсирида пайдо бўлган ЭЮК дир. Микрофонда нозизиқли бузилишлар пайдо бўлмаслиги учун $U_0 \gg U_{\Sigma}$ шарти бажарилиши керак.

Электретли микрофон. Бу турдаги микрофонда конденсаторли микрофондан фарқли равишда қутбловчи кучланиш, полимердан ёки қутбланувчи керамик материаллардан тайёрланган бир электродини олдиндан электрлаш натижасида олинади. Бундай электрод металл қопламадан иборат бўлиб, у аслида конденсатор электроди ҳисобланади, электрет эса, қутблаш манбаи бўлиб хизмат қилади. Механик, акустик ва конструктив тавсифлари бўйича электретли микрофон конденсаторли микрофондан фарқ қилмайди.

Конденсаторли микрофон босим қабул қилгич сезгирлиги формуласини келтириб чиқарамиз.

Конденсаторли микрофоннинг электр ўхшашлик схемаси 5.11, брасмда келтирилган. Микрофоннинг хусусий механик қаршилиги

$$z_0 = r_1 + j\omega m_1 + \frac{1}{j\omega C_{\Sigma}}, \quad (5.35)$$

бунда: $C_{\Sigma} = \frac{C_1 C_2}{C_1 + C_2}$ — микрофон капсули тизимининг силжиш эгилувчанлиги;

C_0 — мембранаosti ҳаво ҳажмининг эгилувчанлиги;

C_1 — мембрананинг эгилувчанлиги.

Мембрананинг конструктив хусусиятларини инобатга олиб, унинг актив қаршилигини ҳисобга олмаган ҳолда микрофоннинг хусусий механик қаршилиги:

$$z_0 = j\omega m_1 + \frac{1}{j\omega c_\Sigma} = \frac{1}{j\omega c_\Sigma} (1 - \omega^2 m_1 c_\Sigma) = \frac{1}{j\omega c_\Sigma} \left(1 - \frac{\omega^2}{\omega_0^2}\right), \quad (5.36)$$

бунда: $\omega_0 = \frac{1}{\sqrt{m_1 c_\Sigma}}$ — мембрананинг резонанс частотаси.

Микрофоннинг хусусий электр қаршилиги сизим характериға эға ва у: $Z_0 = \frac{1}{j\omega c_\Sigma}$ аниқланиши мумкин;

Электромеханик боғланиш коэффициенти $K_{\text{гор}} = \frac{U_0}{j\omega d}$; микрофон босим қабул қилғич бўлганлиги учун, акустик тавсифи $\varphi_{\text{ак}} = S$. Шунинг учун механик тавсифи: $\varphi_{\text{м}} = \frac{K_{\text{гор}}}{Z_0 + Z_{\text{кпр}}} \equiv \frac{U_0}{j\omega d Z_0}$

Киритилган қаршилик $Z_{\text{кпр}}$ ни инобатға олмаймиз. Конденсатор микрофонининг сезгирлик формуласи:

$$E_0 = s \cdot \frac{U_0}{j\omega d \left(1 - \frac{\omega^2}{\omega_0^2}\right)} \cdot \frac{R_{\text{юк}}}{R_{\text{юк}} + \frac{1}{j\omega c_\Sigma}} = \frac{U_0 c_\Sigma S}{d} \cdot \frac{R_{\text{юк}}}{R_{\text{юк}} + \frac{1}{j\omega c_\Sigma}} \quad (5.37)$$

(5.37) формуладан кўрииб турибдики, конденсаторли микрофоннинг сезгирлиги частотаға боғлиқ, унинг характери электр занжири (5.11, в-рasm) ва механик тизим параметрлари (ω_0) билан аниқланади.

Конденсаторли микрофоннинг сезгирлиги частотаға боғлиқ бўл-маслиги учун қуйидаги иккита шарт бажарилиши керак:

$$R_{\text{юк}} \gg \frac{1}{\omega_n c_\Sigma} \quad \text{ва} \quad \omega_0 > \omega_{\text{ю}}, \quad (5.38)$$

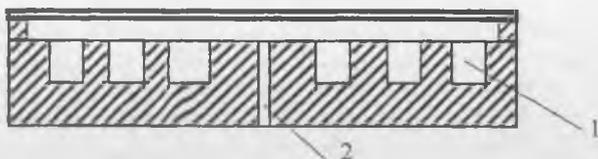
Бунда $\omega_{\text{п}}$ ва $\omega_{\text{ю}}$ — микрофон ишчи диапазонининг пастки ва юқори частоталари.

(5.38) шартларининг бажарилиши хусусиятларини куриб чиқамиз.

Биринчи шарт частота диапазонининг пастки чегарасида бажарилиши қийин. Агарда, пастки чегара частотаси $\omega_{\text{п}} = \frac{1}{R_{\text{юк}} C_0}$ деб олинса, бу частотада сезгирлик урта частоталардагиға нисбатан 3 дБ га пасаяди. Микрофоннинг сизими C_0 кичик бўлганлиги туфайли $R_{\text{юк}}$ жуда катта бўлади. Масалан, $C_0 = 100$ пФ ва $f = 50$ Гц бўлганда, $R_{\text{юк}} = 30$ МОм га тенг. $R_{\text{юк}}$ нинг бундай катта қийматға эға бўлиши микрофоннинг хусусий шовқин сатҳининг катта бўлишиға олиб келади. Иккинчи шартнинг бажарилиши учун тебраниш тизимининг хусусий резонанс частотаси жуда юқори бўлиши талаб этилади. Қўзғалувчан тизимнинг массасини камайтириш мақсадида у, жуда юпқа ($20 \div 25$ мкм) дюралюминий фольгасидан тайёрланади ёки молекуляр тила пурқалган юқори полимерли органик плёнка ишлатилади. Микрофон шахсий резонанс частотасини мембрана ни таранг тортиш ҳисобига ошириш мумкин. Аммо, мембрана

юпқа (20—25 мкм) дюралюминий фольгасидан ёки молекуляр тилла пуркалган юқори полимерли органик плёнкадан тайёрланганлиги ту—файли биринчидан, уни таранглиги чекланган. Иккинчидан, мембрана таранглигининг ошиши унинг эгилувчанлигини сусайишига, ўз навба—тида бу микрофон сезгирлигини пасайишига сабабчи бўлади.

Бундай қарама—қаршилиқ конденсаторли микрофон конструкциясида муросали ҳал этилади. Талаб этилаётган кичик букилувчанлик ҳаво ҳажмининг қайишқоқлиги ҳисобига эришилади. Одатда конденсаторли микрофон ҳаво ҳажми берк бўлади, аммо ташқи атмосфера босими тирқиш d га таъсир қилмайди (шу жумладан микрофон сезгирлигига), бу ҳажм ташқи муҳит билан қўзғолмас электроддаги капилляр каналлар орқали боғланган. Конденсаторли микрофоннинг кичик сезгирлиги, юқори хусусий шовқин сатҳига тўғри келмайди. Сезгирликни ошириш мақсадида қўзғолмас (статик) электродда тароқсимон кесимлар қилинади 5.12—расм.



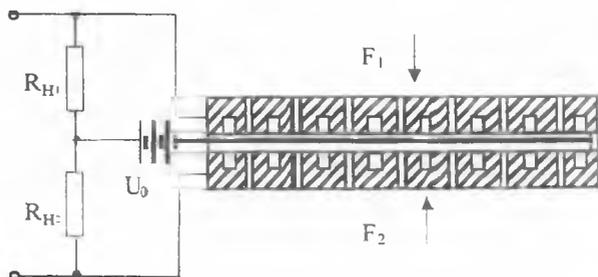
5.12—расм. Микрофон капсули қирқими.

Шу йўл билан сизимни ўзгартирмай мембрана ости ҳажми 10 мартагача ошириш мумкин, бу микрофон сезгирлигини 20 дБ гача ошириш демакдир.

Шундай қилиб (5.38) шартлари бажарилганда, конденсаторли микрофоннинг сезгирлиги частотага боғлиқ бўлмайди ва қуйидагича ифодаланади.

$$E_e \approx \frac{U_0 S c_e}{d} \quad (5.39)$$

Конденсаторли микрофонлар ўзининг сифат параметрлари билан энг яхши, частота характеристикаси текис микрофон ҳисобланади. Аммо конструкцияси анча мураккаб ва таннархи қиммат. Яна бир камчилиги, алоҳида таъминот манбаи кераклигида ва шу боис қўлланилиши чек—ланган. Конденсаторли микрофонлар босим, босим градиенти қабул қилгич ва комбинацияланган турларида ишлаб чиқилади. Кондесаторли босим градиенти қабул қилгич микрофоннинг конструкцияси 5.13—расмда кўрсатилган.



5.13—расм. Конденсаторли босим градиент қабул қилгич микрофони

5.8. Комбинацияланган микрофонлар

Илгари сўз юритилган электр комбинацияланган микрофонларнинг бир неча турларини кўриб чиқамиз. Фараз қилайлик, акустик ўқлари қарарма—қарши томонга йўналтирилган, йўналганлик диаграммаси кардиодал иккита бир хил микрофон комбинацияланган (5.14—расм). Акустик ўқлари бир—бирига нисбатан 180° бўлганлиги учун бирининг θ тўлқин тушиш бурчагига нисбатан чиқиш кучланиши қуйидаги нис—бат билан аниқланади:

$$u_1 = U_0 \frac{1 + \cos \theta}{2}, \quad (5.40)$$

Иккинчиси эса:

$$u_2 = U_0 \frac{1 + (\cos \theta + 180^\circ)}{2} \quad (5.41)$$

Уларнинг йиғиндиси:

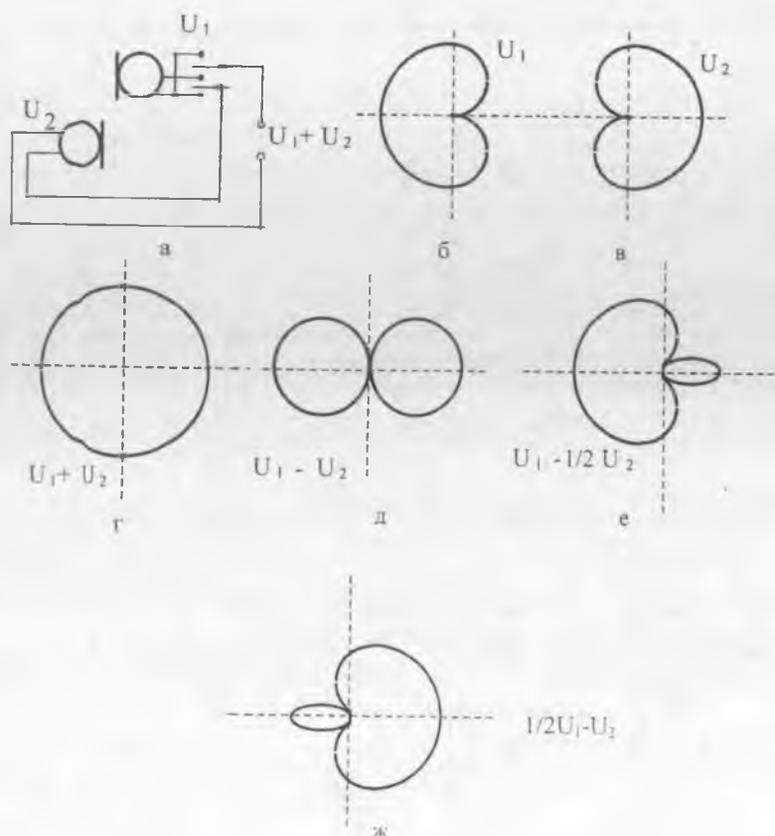
$$u = u_1 + u_2 = U_0 \frac{2 + \cos \theta + (\cos \theta + 180^\circ)}{2}, \quad (5.42)$$

айирмаси:

$$u = u_1 - u_2 = U_0 \cos \theta. \quad (5.43)$$

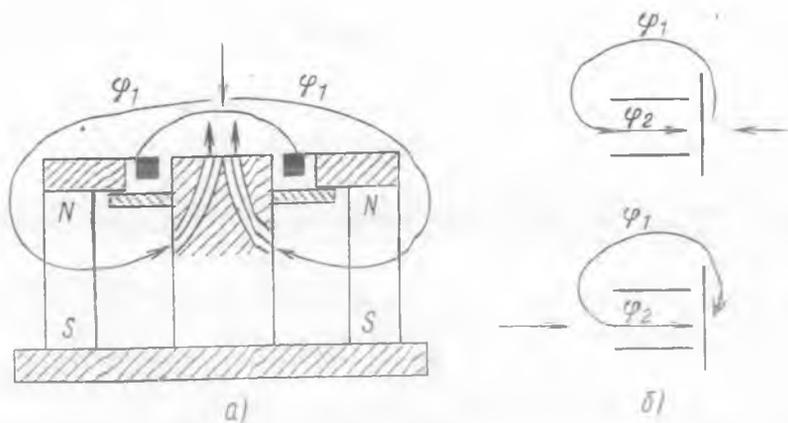
Чиқиш кучланишлари қўшилганда, тизим диаграммаси йўналмаган қўринишда, (5.14-г, расм) кучланишлар айирилганда эса, тизим диаграммаси йўналганлик хусусиятига эга бўлади (5.14-д, расм).

Биринчи ёки иккинчи микрофони учирганимизда, чиқиш кучланишлари тенг бўлмаганда, ёки чиқиш кучланишларини айирганимизда бир қатор оралик йўналганлик диаграммаларини олиш мумкин. Улардан айримлари 5.14-е, ж, расмда келтирилган. Микрофонларнинг акустик ўқини 180° эмас 90° буриб кучланишлар u_1 ва u_2 максимумига 90° бурчак оралиғида эришиш мумкин.



5.14-расм. Электр комбинацияланган микрофон ва унинг йўналганлик тавсифи

Микрофонларнинг комбинацияланган йўналганлик диаграммала — рини олиш учун алоҳида асосий микрофонлардан фойдаланиш зарур эмас, турли тавсифдаги микрофонларни битта акустик — механик ти — зимда мужассамлаштириш мумкин. Ғалтак акустик комбинацияланган микрофоннинг схемаси 5.15 — расмда келтирилган. Микрофон — босим қабул қилгичда, фарқли равишда, доимий магнит тўлиқ цилиндр шак — лида эмас, алоҳида ўзак шаклида ясалган. Бу ҳолда товуш майдони микрофоннинг олд томонигагина таъсир этиб қолмасдан, тўлқин мик — рофони айланиб, кернадаги тор каналлардан ўтиб, диафрагма остидаги ҳажмда товуш босими ҳосил қилади. Шунини айтиш лозимки, кернадаги каналлар микрофон частота тавсифини коррекциялаш учун эмас, то — вуш тўлқинларини узатиш учун хизмат қилади.



5.15- Ғалтакли акустик комбинацияланган микрофоннинг тизими ва ишлаш принципи

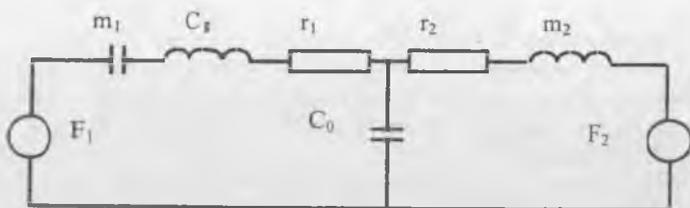
5.15 — расмдан кўриниб турибдики, микрофон диаграммасининг олд ва орқа томонига таъсир этувчи босим фазалари бўйича $\varphi = \varphi_1 + \varphi_2$ фарқланади. Бу ерда φ_1 — товуш тўлқинининг диафрагманинг олд то — монидан кернадаги каналларнинг киришигача бўлган энг қисқа йўлни босишдаги фаза силжиши:

$$\varphi_1 = 2\pi \frac{d \cos \theta}{\lambda} \text{ Га тенг.}$$

φ_2 — қўшимча акустик тебраниш тизимининг реактив қаршилиги мембрана остидаги ҳаво массаси ва эгилувчанлиги ҳосил қилган фаза силжиши.

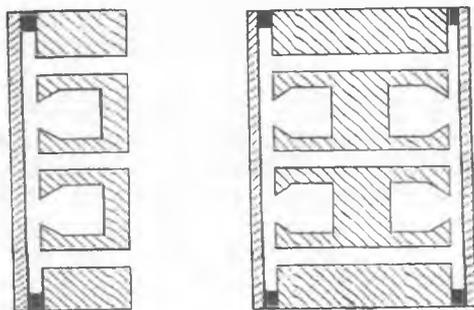
Микрофоннинг конструктив параметрлари шундай танлаб олинадики, товуш тўлқини фронтал ($\theta=0^\circ$) тушганда, фазалар фарқи $\varphi=180^\circ$ ёки унга яқин бўлиб, унинг икки таркиби қўшилади.

Товуш тўлқини микрофоннинг орқа томонидан тушганда, таъсир этганда диафрагмага таъсир этаётган босим бир—бирига қарама—қарши йўналади ва уларнинг йиғиндиси нолга тенг бўлади. Юқорида баён этилган микрофоннинг электр ўхшашлик схемаси 5.16—расмда келтирилган.



5.16—расм. Акустик комбинацияланган галтакли микрофоннинг электр ўхшашлик схемаси

Бундай қабул қилгичларнинг йўналганлик диаграммаси кардиоидага яқин. Фазалар фарқи φ_1 ва φ_2 частотага юзглик бўлганлиги учун $\varphi_1 = \varphi_2$ шартининг бажарилиши қийин, шунинг учун тўлқин орқа томондан тушганда сезгирлик нолга тенг бўлмайди. Бундай турдаги микрофонлар учун сезгирликнинг «фронт—фронт орти» фарқи 12÷15 дБ ни ташкил этади. Акустик комбинацияланган микрофоннинг соддалаштирилган схемаси 5.17, а—расмда келтирилган. Бир томонлама йўналганлик диаграммасининг шаклланиш механизми 5.16—расмдагидан фарқ қилмайди. Амалда куриляётган микрофон тури икки мембранали бажарилади 5.17, б—расм. Расмдан кўриниб турибдики, мембрана ости қатламида икки турдаги катакча пайдо бўлади: ёниқ тагликда—қабул қилгич, икки томони очиқ тагликда эса—босим градиент қабул қилгичи.



5.17 — расм. Акустик комбинацияланган конденсаторли микрофон қурилмаси

Иккала мембрананинг тебраниши иккита: синфазали босим градиент қабул қилғичи ва қарама—қарши фазали босим градиент қабул қилғич билан аниқланадиган асосий тебранишларни қўшилиши сифатида кўриш мумкин. Қўтловчи кучланиш фақат битта электр актив деб аталувчи мембранага уланади.

Бир йўналишли хусусиятларнинг шаклланишини 5.18—расм тўшунтиради, унда турли бурчак остида тушаётган иккита асосий тебранишларни қўшиш натижаси кўрсатилган $\theta=0^\circ$ (электр актив мембрана товуш манбаига қаратилган); $\theta=90^\circ$ (товуш ён томондан таъсир этади); $\theta=180^\circ$ товуш манбаига ҳаракатсиз мембрана қаратилган. Юқоридаги стрелкалар босим градиенти билан белгиланган синфазали силжишларни ифода қилади; пастдаги стрелкалар эса қарама—қарши силжишларни ифода қилади. $\theta=0^\circ$ бўлганда синфазали ва қарама—қарши фазали (электр актив) мембрананинг силжиши бир хил ишорага эга ва бу мембрана иккиланган амплитуда билан тебранади. Шунини таъкидлаб ўтамизки ўнг томондаги мембрананинг тебраниши бизни қизиқтирмайди, у қарама—қарши ишорага эга, бу мембрана силжи—майди.

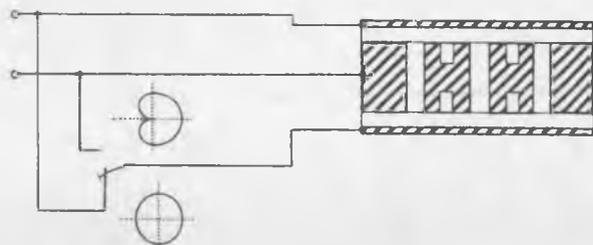


5.18 — расм. Кардиоидали йўналганлик диаграммаси шаклланишига оид.

Микрофонга тўлқин $\theta=90^\circ$ бурчак остида тушганда синфазали силжишлар бўлмайди ва чап мембрананинг тебраниш амплитудаси фақат товуш босими билан белгиланади.

у $\theta=0^\circ$ дагига қараганда икки марта кам бўлади. $\theta=180^\circ$ га тенг бўлганда, ўнг мембрана иккиланган амплитуда билан тебранади, чап мембрана эса, силжймайди, бу ҳолда табиийки, микрофон ўзгарувчан кучланиш ривожлантирма йди.

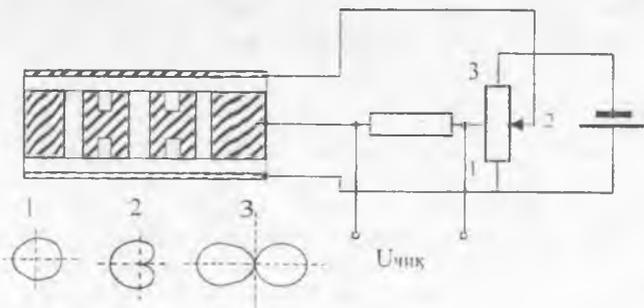
Шундай қилиб, кардиоидали йўналганлик тавсиф тизимнинг электр асимметрияси ҳисобига эришилади. Йўналганлик диаграммаси узиб-уланувчи конденсаторли микрофон сземаси 5.19 – расмда кўрсатилган.



5.19 – расм. Йўналганлик диаграммаси турли шаклдаги конденсаторли микрофон

У иккита кардиоидали микрофондан ташкил топган бўлиб, улар диаграммасининг йўналганлик максимуми 180° га силжиган. Агар иккита кардиоидида тавсифли мембрана кучланишлари қўшилса, йўналмаган микрофон олинади.

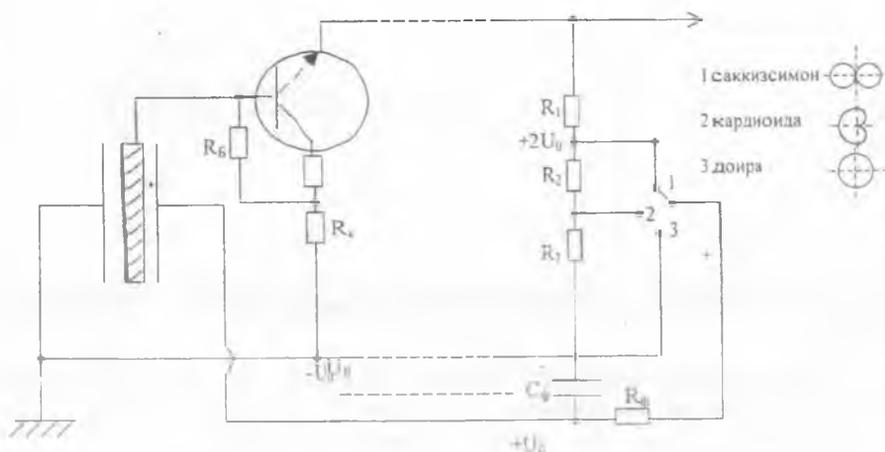
Иккита мембранали капсуладан фойдаланиш микрофоннинг йўналганлик диаграммасини бошқариш имкониятини беради (5.20 – расм). Қўтбловчи кучланиш йўналганлик бошқаргичи вазифасини бажарувчи потенциометрга уланади.



5.20 – расм. Йўналганлик диаграммаси масофадан бошқариладиган конденсаторли микрофоннинг ишлаш принципи

Қўзғолмас электрод потенциометр ўргасига резистор R орқали уланади. Чап мембрана таъминот манбаининг мусбат қутбига уланган. Ўнг мембрана потенциометрнинг турли нуқталарига уланиши мумкин. 1 нуқтага уланиши йўналмаган микрофонга мос, 3 нуқтага уланиши эса, икки томонлама йўналган микрофонга мос. 2 ҳолатда мембрана қўзғолмас электрод олаётган электр потенциални олади, шунинг учун у электр актив бўлмайди, унинг йўналганлик диаграммаси кардиоида шаклида бўлади.

Комбинацияланган конденсаторли микрофон тузилишининг бир кури — ниши 5.21 — расмда берилган.

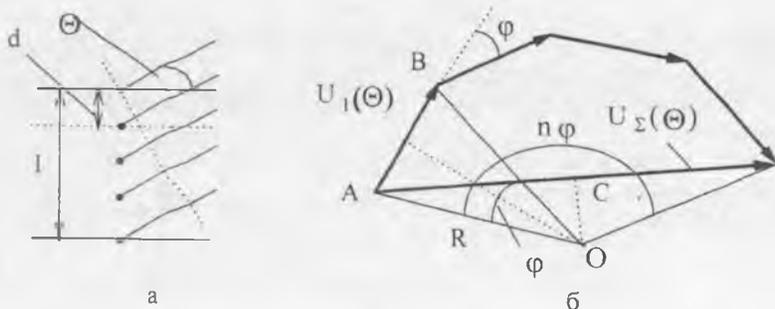


5.21 — расм. Комбинацияланган конденсаторли микрофон тузили — шининг бир кўриниши

5.9. Товуш сигналларини қабул қилувчи ўткир йўналтирилган микрофонлар

Айрим ҳолларда, товуш кучайтиришни ташкил этишда ўткир йў — налтирилган микрофонларни қўллаш зарурати туғилади. Бу масаланинг ечими чизиқли микрофонлар гуруҳини яратиш орқали ҳал этилади. Бундай микрофонлар n та бир хил микрофонлардан иборат бўлиб, улар бир чизиқда бир — биридан d масофада жойлашган. Бу вазият юқори сифатли товуш эшиттиришни кескин оғирлаштиради. Бундай вазиятдан юқори фазовий танловчанлик хусусиятларига эга бўлган микрофонларни қўллаш билан чиқиш мумкин. Бундай микрофонлар ўткир йўнал —

тирилган микрофонлар деб аталади. Чизиқли гуруҳ микрофонлари 5.22 – а расмда келтирилган.



5.22 — расм. Чизиқли гуруҳ микрофонлари

Бундай микрофонлар гуруҳининг йўналганлик хусусиятлари шаклланишини кўриб чиқамиз. Микрофонлар кетма – кет уланади. Агар, ясси тўлқин гуруҳ ўқиға нисбатан θ бурчағи остида тушиб U_1 кучланишни ҳосил қилса, у билан қўшни бўлган микрофон шундай амплитудали, кучланишни пайдо этади, фазаси эса:

$$\varphi = k\Delta r = kd \sin \theta = 2\pi \frac{d}{\lambda} \sin \theta \text{ га силжийди.}$$

Микрофонлар ҳосил қилган кучланишларни вектор диаграммасида кўрсатилганидек (5.22 – б расм) φ бурчағига буриб кетма – кет қўшиб бутун гуруҳ микрофонлари ривожлантираётган кучланишни оламиз. OAB ва OAC учбурчаклари учун мос ҳолда:

$$\sin \frac{\varphi}{2} = \frac{AB}{R} = \frac{U_1}{2R} \quad (5.40)$$

$$\sin \frac{n\varphi}{2} = \frac{AC}{R} = \frac{U_2}{2R} \quad (5.41)$$

Умумий кучланиш:
$$U_{\Sigma} = U_1 \frac{\sin \frac{n\varphi}{2}}{\sin \frac{\varphi}{2}} \quad (5.42)$$

Микрофоннинг қисқичларидағи кучланиш унинг сезгирлиги ва йўналганлик тавсифи билан аниқланади, яъни: $U_1 = U_{\text{макс}} D_1(\theta)$.

Унда:

$$U_{\Sigma} = U_{1\max} D_1(\theta) \frac{\sin \frac{n\varphi}{2}}{\sin \frac{\varphi}{2}}, \quad (5.43)$$

бунда $D_1(\theta)$ - чизиқли гуруҳдаги алоҳида микрофоннинг йўналганлик тавсифи.

Агар, текис товуш тўлқини акустик ўқи бўйича йўналган бўлса, унда алоҳида микрофонлар кучланиши ўртасида фаза силжиши бўлмайди ва йиғинди кучланиш:

$$U_{\Sigma 0} = nU_{1\max} \quad \text{га тенг} \quad (5.44)$$

Унда, гуруҳ микрофонларининг йўналганлик тавсифи:

$$D_{\Sigma}(\theta) = D_1(\theta) \frac{\sin \frac{n\varphi}{2}}{n \sin \frac{\varphi}{2}} \quad (5.45)$$

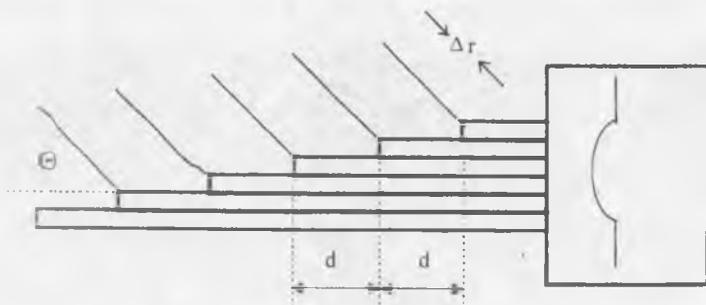
ёки:

$$D_{\Sigma}(\theta) = D_1(\theta) D_{гр}(\theta), \quad (5.46)$$

$$D_{гр}(\theta) = \frac{\sin \frac{n\varphi}{2}}{n \sin \frac{\varphi}{2}} = \frac{\sin \left(\frac{n\pi d}{\lambda} \sin n\theta \right)}{n \sin \left(\frac{\pi d}{\lambda} \sin \theta \right)} \quad \text{-- чизиқли гуруҳ ёки } n \text{ йўнал --}$$

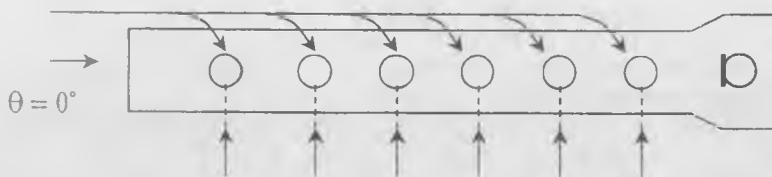
маган микрофонлардан иборат тизимнинг йўналганлик тавсифи. Шундай қилиб: чизиқли гуруҳ микрофонларининг $D_{\Sigma}(\theta)$ йўналганлик тавсифини битта микрофон йўналганлик тавсифи $D_1(\theta)$ ни гуруҳ микрофонлари йўналганлик тавсифи $D_{гр}(\theta)$ купайтмасига тенг. Йўналганлик фақат кўрилаётган юзадагина ошади. Симметрия ўқига перпендикуляр юзадаги йўналганлик диаграммаси битта микрофоннинг йўналганлик диаграммасига ўхшаш.

Чизиқли гуруҳ микрофонларини найсимон ёки пистолет микрофон деб ҳам атайдилар. Унинг схематик тузилиши 5.23 -расмда кўрсатилган.



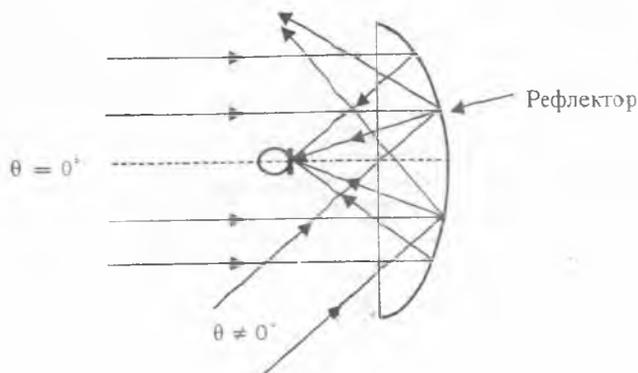
5.23 – расм. Найсимон микрофоннинг тузилиши

Интерференция туридаги ўткир йўналтирилган микрофоннинг бошқа кўриниши 5.24 – расмда кўрсатилган. Микрофон тешикли найча еки унинг орқа кўндаланг кесимида йўналтирилмаган ёки бир томон – лама йўналтирилган капсула жойлаштирилган.



5.24 – расм. Ўткир йўналтирилган югурувчи тўлқин микрофони

Найча тешиги мато ёки ғовак материал билан бириктирилади. Йўналганлик диаграммаси найча тешикчаларидан ўтаётган парциал товуш тўлқинларининг интерференцияси ҳисобига эришилади. Товуш фронти найча ўқиға параллел ҳолда силжиганда барча парциал тўлқинлар силжувчи элемент – мембранага бир хил фазада келади. Найча узунлиги тўлқин узунлигидан катга бўлганда, унинг йўналганлиги сезиларли ошади. Шунинг учун узунлиги 1 метр ва ундан ортиқ бўлганда йўналганлик паст 150÷200 Гц частоталарда фақат капсула билан белгиланади. Амадаги ўткир йўналтирилган микрофонлардан рефлекторли микрофонларни айтиш мумкин. Бундай микрофонларда капсула параболик қайтаргич фокусига жойлаштирилади.



5.25 расм. Рефлектор туридаги ўткир йўналтирилган микрофон

Параболанинг хусусиятларига асосан, қайтарилган товуш тўлқинлари капсула жойлашган ер парабола фокусидида йиғилади. Уларнинг фазаси бир хил. Парабола ўкига бурчак остида тушаётган товуш тўлқинлари рефлектор ёрдамида тарқатилади, натижада улар микрофонга тушмайди.

Рефлектор тизимида йўналганлик диаграммаси интерференция тизимидагига қараганда кўпроқ частотага боғлиқ ва амалда паст частотада йўналмаган диаграммадан, юқори частотада тор йўналганликкача узга — ради.

5.10. Радиомикрофонлар

Азал — азалдан микрофонларни ишлатиш билан боғлиқ бўлган муаммо, бу микрофонларнинг ашаратураларга бўлган «боғлиқлиги» — кабеллар артистларга, журналистларга, видео ва товуш операторларига овоз режиссёрларига кўпгина ташвиш келтиради. Шунинг учун йи — гирма йиллар илгари пайдо бўлган радиомикрофонлар товуш узатиш ва эшиттириш масалаларини ҳал этишда қўл келади. Ҳозирги вақтда кўп — гина радиомикрофонлар тизими мавжуд бўлиб, улар радиосигналларни узатиш ҳамда конструкциялари билан фарқланадилар. Кўп тарқалган радиомикрофонлар турига узаткич ва антеннаси «қўл» микрофони гилофида жойлаштирилган радиомикрофондир. Бундай микрофонлар асосан концерт эшиттиришларида қўлланилади. Театр — концерт эшит — тиришларида бош микрофонлари кўп қўлланилади, унда узаткич бел — боғга бириктирилган ёки чўнтакда бўлиб ижрочи қўллари максимал бўш бўлиб қолади.

Кейинги пайтларда бундай микрофонларни ижрочининг бевосита оғзига яқин жойлаштирилганлиги гувоҳи бўляпмиз. Бундай ҳолат ўз — ўзидан акустик уйғонишни бартараф этишда жуда қўл келади.

Радиомикрофонларнинг бошқа тури мусиқа асбоби микрофонларидир. Бундай микрофонлар мусиқа асбобига (саксафон, труба) ёки элек — трогитарага бириктирилиб узаткичнинг чизиқли киришига уланади. Радиомикрофонларнинг яна бошқа бир тури — бу ёқа микрофонларидир, уларнинг асосий қўлланилиши, телевиденида, ток — шоуларда, видеотасвирга лишда, турли презентацияларда ишлатилади. Бу микрофонларнинг улчамлари жуда кичкина бўлиб улар қистиргич сифатида бириктирилади. Узаткич эса, белбоғда ёки чўнтакка жойлаштирилади.

Кўпчилик радиомикрофонларда радиоканалда частота модуляцияси услуги қўлланилади. Оддий радиомикрофонлар 170÷220 МГц частота диапазонида ишлайди. Бу диапазонда бир вақтнинг ўзиде 8 та — гача тизимни ишлатиш мумкин.

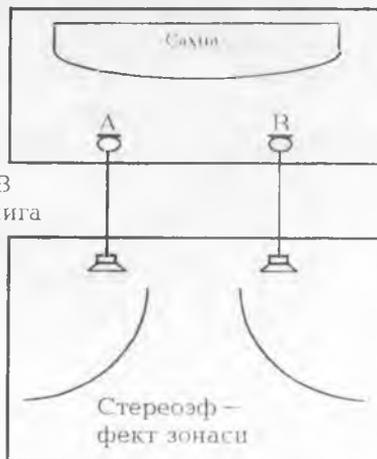
Мураккаб ва қиммат тизимлар эса, юқорироқ 1 ГГц гача бўлган частота диапазонида ишлайдилар. Уларнинг техник ечими анча мураккаб бўлиб, бир вақтнинг ўзиде 15 тагача тизимни ишлатиш мумкин. Узаткичнинг қуввати одатда 50 мВт бўлиб, уни аниқ қабул қилиш ма — софаси 100÷150 метрни ташкил этади.

Оддий радиомикрофонлар одатда битта антеннага эга. Аммо, бу частота диапазонида радиотўлқинлар турли жисмлардан, девор ва б қ лардан қайтиб мураккаб интерференция ҳосил қилади, шу сабабли қабул қилиш жойида «жимлик» зонаси пайдо бўлади. Шунинг учун мураккаблиги ва қимматлигига қарамасдан икки антеннали тизимлар ишлатилади. Уларнинг ишлаш принципи шуидай, агарда битта антенна «жимляк» зонасида бўлса, иккинчиси фазода биринчиси билан ажра — тилган ҳолда ишончли қабул қилишни давом эттиради.

5.11. Микрофонли стереофоник тизимлар

Стереоэффект иккита омилдан иборат: чап ва ўнг қулоққа келувчи сигналларнинг турли вақти ва бу сигналларнинг турлича жадаллиги. Бир қарашда бу икки омил тўла АВ тизимида амалга ошириладигандек, бу тизимда бир жил тавсифли А ва В микрофонлари хонанинг икки томонига симметрик ўрнатилади (5.26 — расм). Микрофон чиқишидаги сигналлар алоҳида каналлар орқали хонадаги тингловчига нисбатан чап ва ўнг томонда жойлашган радиокарнайларга келади.

5.26- расм. АВ микрофонли тизим



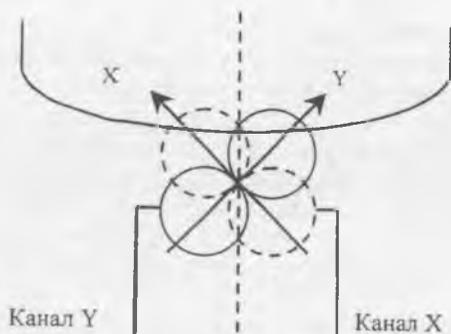
Стереофоник эффект товуш манбаига яқин турган микрофон қабул қилган товуш сатҳи шу товушни қабул қилган иккинчи микрофон сатҳидан катталиги, ҳамда вақт бўйича ўзиши ҳисобига эришилади. Бу сатҳлар нисбати ва вақт силжиши стереоэффект зонасида турувчи тингловчилар учун радиокарнайлар орқали эшиттирувчи товушларда ҳам мос равишда сақланади. Радиокарнайлар яқинида бу зона радиокарнайлар ўқи олдидан мужассамланади ва ундан узоқлашган сари кенгай боради. Микрофонлар ўртасидаги товуш манбаининг силжиши натижасида микрофонлар қабул қилаётган сатҳлар нисбати ва товушларнинг вақт силжиши ҳам ўзгаради. Шунга мос равишда товушларни тинглаш хоналарида қайта эшиттириш шароитлари ҳам ўзгаради. Эшитиш аъзосига бу радиокарнайлар ўртасидаги мавҳум манбаининг силжишидек туюлади.

АВ стереофоник тизимининг асосий камчилиги шундаки, иккита стереофоник сигналларнинг йиғиндиси монофоник эшиттиришда тула мослашмайди. Аммо, кўриниб турибдики А ва В микрофонларни қабул қилган сигналларни қўшганда, частота бузилишлари бўлиши шарт, бу бузилишлар товуш манбаидан микрофонларгача бўлган масофа фарқи ва интерференция эффекти билан боғлиқ. Масофа фарқи фаза силжишини 180° гача буриши мумкин, бунда монофоник сигналда шу товуш частотаси умуман бўлмайди.

Интерференция эффектларини йўқотиш учун қўшма микрофонлар тизими ишлаб чиқилган, уларда стереоэффект сигналлар сатҳининг фарқи ҳисобига шаклланади. Бундай тизимларда микрофонлар турли ва турлича белгиланган йўналиш диаграммаларига эга бўлишлари керак.

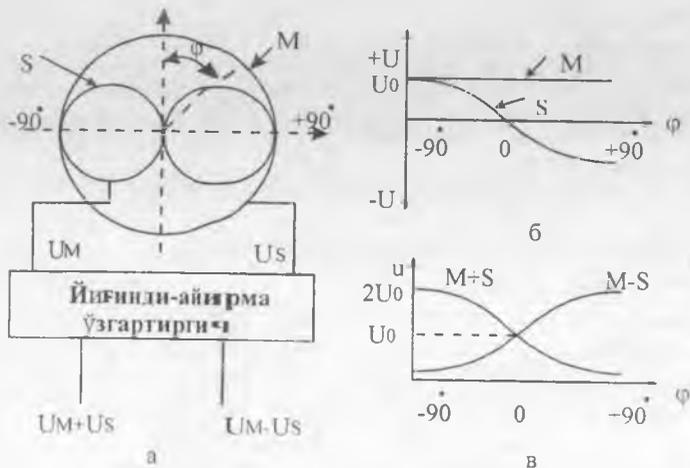
ХҲ тизимида (5.27 — расм) иккита бир хил тавсифли ва йўналганлик диаграммаси саккизсимон микрофон бир нуқтада шундай жойлашган — ки, уларнинг йўналганлик диаграммаси ўқлари 90° ни ташкил этади. Микрофонлар чап ва ўнг канал радиокарнайлари билан боғланган. Бунда стереофоник эффект микрофонларнинг товуш манбаидан келатган товуш тўлқинларига турлича сезирлиги ҳисобига бўлади.

ХҲ тизими АВ тизимига қараганда анча мослашувчанроқ аммо саҳна марказида жойлашган товуш манбалари бир мунча баланд товушга эга ва монофоник эшиттиришларда улар тингловчиларга яқинроқ жойлашгандек туюлади. ХҲ тизими саҳнада қўзғолмайдиган ижрочиларни ёзишда қўлланилади. Саҳна марказидаги ижрочилар эса микрофондан узоқроқда жойлаштирилади.



5.27 – расм. XY микрофонли тизими

Товушни MS усулида узатишда микрофонлар XY усулидагидек саҳна марказида жойлаштирилади. Бироқ бу ҳолда микрофонлардан биттаси йўналтирилмаган, иккинчиси йўналтирилган, бўлиб йўналганлик диаграммаси «саккизсимон» шаклда бўлади (5.28 а – расм).



5.28 – расм. MS микрофонли тизими

Микрофонлар чиқишидаги кучланишларнинг товуш келиш бурчагига бўлган боғлиқлиги 5.28– б расмда кўрсатилган. М канал микрофони кучланиши доимо ўзгармас, S канали микрофони чиқишида эса, кучланиш товуш канали йўналиши -90° ва $+90^\circ$ бўлганда максимал қийматга эга.

Товушларни қайта эшиттиришда чап радиокарнайга иккала мик – рофондан йиғинди (U_M+U_S) кучланишлар, ўнг радиокарнайга эса – айирма кучланишлар (U_M-U_S) берилади. Чап ва ўнг канал стереофоник сигналларнинг бўлиниши қўшма – айирма ўзгартиргич ёрдамида амалга оширилади. Қўшма – айирма ўзгартиргичнинг ишлаши 5.28 – , в расмда кўрсатилган.

MS тизими аниқ афзалликларга эга. М канали тўлақонли монофо – ник каналдир, шундай қилиб MS тизими тўлалигича монофоник канал билан мосдир.

5.12. Микрофонларни ишлатиш хусусиятлари

Микрофонлар белгиланиши бўйича учта катта гуруҳга булинади – лар: маиши й магнит ёзувлар учун; профессионал мақсадлар учун; мах – сус белгиланиши бўйича.

Профессионал микрофонлар ҳам белгиланиши бўйича қуйидагиларга ажратилади: овоз ёзиш ва узатиш, мусиқа ва бадий нутқларни, ёзиш студиялари теле – киностудиялардан узатиш, товуш ва мусиқа кучайтириш тизимлари учун, акустик ўлчовлар учун; диспетчер алоқаси учун.

Ундан ташқари микрофонлар конструктив ечими ва сигнал ман – баига нисбатан жойлашиши бўйича:

- пол устидаги устунчага ўрнатилган;
- столда ёки минбарда ўрнатилган;
- ичига ўрнатилган (масалан, йиғилишлар столи);
- эстрада солистаари учун (қўл микрофонлари);
- ёқа мик рофонлари (кийимга бириктириладиган);
- радиомикрофонлар;
- иншоатдан узоқ масофада жойлашганда репортаж олиб бориш ёки хужжатли тасвирларга туширишда қўлланиладиган (ўта йўналти – рилган микрофонлар);
- қатлам чегараси микрофонлари (PZM – микрофонлари).

Микрофонларни танлашда уларнинг ишлаш шароитларини бил – масдан туриб бирон – бир тавсия бериш жуда қийин, чунки маълум конструктив ечимдаги микрофон бошқа шароитларга ва белгиланишига мутлоқ тўғри келмаслиги мумкин.

Студия микрофонларининг эксплуатацияси. Товуш ёзиш ва телевидение эшиттириш студиялари юқори электроакустик параметрларга эга бўлган кенг полосали микрофонлар билан таъминланган бўлиши шарт. Шунинг учун студияларда йўналган, диаграммалари ўзгарадиган кенг частота ва динамик диапазонли конденсаторли микрофонлар қўлланилади. Ундан ташқари конденсатор микрофонларининг сезгирлиги динамик микрофонларга қараганда 5—10 марта юқори бўлиб, эшитиладиган ўтиш бузилишлари деярлик йўқ, чунки қўзғолувчи тизимининг резонанс частотаси юқори частота чегарасига яқин бўлиб, жуда кичик асликка эга.

Шунинг учун овоз ёзиш студиялари ва овоз ёзиш тизимларида универсал микрофонлар сифатида кардиоидали йўналганлик диаграммага эга бўлган конденсаторли микрофонлар КМ 84, КМ 184 (Неман), С460В (АКГ) ва МКЭ-13м (М-микрофонлар) қўлланилади. Конденсаторли микрофонларнинг камчилиги сифатида алоҳида таъминот манбаи ва у билан боғлиқ бўлган кучланиш блоки зарурлиги, сезгирлиги ҳароратнинг кескин ўзгариши ва намликка боғлиқлигини айтиш керак. Ҳароратга боғлиқлиги шундаки, микрофонга бевосита уланган кучайтиргичнинг кириш қаршилиги 0,5±2 ГОм, шунинг учун намлик катта бўлганда бу қаршилиқ камаёди, натижада паст частоталар сусайиб, шовқин сатҳи ошади. Шу сабабми конденсаторли микрофонларни очиқ ҳавода деярлик қўлламайдилар.

Микрофонларни студияларда одатда пол устунчаларига ёки «лайлак» таёқчаларга ўрнатадилар. Микрофонлар студияларда ёзув вақтида қўзғотилмайди, таёқчалар эса, мустаҳкам этиб амортизаторларга ўрнатилади. Микрофонларни ўрнатишга бўлган кўп талаблар одатда кўз билан чамаланади. Масалан, телевидение ёзувида кадрга тушиши мумкин бўлган микрофоннинг ўлчамлари катта бўлмаслиги, қопламалари ялтироқ бўлмаслиги, телевидение ранг тасвирларини аниқ кафолатли узатиш керак. Кадрдан ташқарида кучма микрофонлар қўлланилади. Кучма микрофонларни эшиттириш давомида жойларидан қўзғотиш мумкин бўлганлиги учун уларни шамолдан сақлаш, титраш ва силкин-ишлардан ҳимоялашнинг махсус чора-тадбирлари курилади. Товуш манбаигача бўлган нисбатан узоқ масофа ва катта шовқин одатда йўналган ёки ўта йўналган микрофонларни қўллашни тақозо этади.

Бир томонлама йўналган микрофонлар ижрочилар кенг бурчакда ташқин этиб жойланганларида ва ёзув вақтида бир неча микрофонлардан фойдаланиб алоҳида гуруҳларни ажратиш зарурати булганда ва шунингдек ташқин шовқинларни ёзув жараёнига таъсирини камайитириш мақсадида қўлланилади.

Икки томонлама йўналтирилган микрофонлар дуэт ёзувларида, ашулачи ва аккомпаниатор мулоқатларида, кичик мусиқа таркибидаги ёзувларда, ҳамда шовқин манбаи йўналишини сусайитириш мақсадларида қўлланилади. Бу вазиятда микрофонлар шовқин манбаига ёки тўлқин қайтарувчи юза зоналарига минимал сезгирликдаги йўналишда ўрнатадилар.

Йўналганлик диаграммаси «саккиссимон» микрофонлар ҳам яккахон хонандани ёки алоҳида мусиқа асбобларини ажратиш зарурати бўлганда ижрочига бевосита яқин жойлаштирилади. Бунда товуш манбаидан яқин масофаларда товуш тўлқинларининг доирасимонлиги натижасида рўй берадиган «яқин зона эффекти» дан фойдаланилади. Микрофоннинг биринчи ва иккинчи акустик киришларига фазалари — гина эмас, балки амплитудалари ҳам бошқа бўлган сигналлар таъсир этади. Бу эффект кўпроқ «саккиссимон» диаграммали микрофонларда намоён бўлиб, бошқаларида умуман кузатилмайди.

Йўналтирилмаган микрофонлар хонада бир неча микрофонларни қўлаб ёзув жараёни олиб боришда, умумий акустик муҳитни узатиш учун қўлланилади, шунингдек нўтқ, ашула ва мусиқаларни товуш кучли сўндирилган хоналарда, турли учрашувларни ёзиш учун қўлланилади.

Кейинги пайтларда шундай ёзувлар учун кўпроқ **PZM микрофонлари** қўлланилмоқда. Овоз режиссёрлари орасида PZM аббревиатураси микрофон турининг белгиланиши сифатида ўрнашиб қолди. Унинг бир неча альтернатив номлари, масалан инглизча, «boundary microphone» ёки русча «чегара қатлам микрофони» каби номлари мавжуд.

Маълумки, микрофон тўлқин қайтарувчи юзага ёки тусиққа яқин жойлашган бўлса, унда қўшимча амалда йўқотиб бўлмайдиган частота тавсифининг тароқсимон эффекти пайдо бўлади. PZM микрофонлари частота тавсифининг тароқсимон эффектини йўқотади, чунки улар тўлқин товушларини янгича принципа қабул қилади. Товуш чегарага етган заҳоти (девор, стол, пол) унинг олдидан 4—5 миллиметрли товуш қатлами пайдо бўлади. Шу қалинликда турри ва қайтган сигналлар когерент, фазалари сақланган ҳолда кушиладилар. PZM микрофонларида ўзгартиргич шу босим зонаси чегарасида жойлашган, шу боис фаза интерференцияси пайдо бўлишини йўқотади. Бундай микрофонларнинг йўналганлик диаграммаси микрофон жойлашган юза йўналиши ва ўлчамларига боғлиқ бўлиб ярим доирага яқин. «Чегара қатлами» микрофонига мисол тариқасида C562BL (AKG) ва МК 403 (Неватон)ларни келтириш мумкин.

PZM микрофонлари декорацияларда яхши ниқобланиб, столда ўрнатилганлиги сезилмайди.

Чегара қатламида товуш босимининг ошиши, микрофон сезгирлигини 6 дБ га оширади.

PZM микрофонларининг жаранглаши бошқаларникидан ажралиб туради. Биринчидан, ижрочиладан узоқда бўлганда уларга тирик тембр хос ва диффузия майдонининг сигнал қиймати катта. Иккинчидан, сигнал тушиш бурчагига боғлиқ бўлмаган текис амплитуда — частота тавсифи хос.

PZM микрофонлари товуш манбаига яқин жойлашган йўналтирилмаган микрофонларга қараганда кўпроқ субъектив фазовийроқ тўлқин товушини беради. Ва ниҳоят, ижрочи қўзғолганда унинг тембри аъъанавий техника ёзувларидагига қараганда камроқ ўзгаради. Гап

шундаки, товуш сигнадини қабул қилиш жойида сигналнинг частота тавсифи доимо **чўққи** ва **чўкмалардан** иборат бўлади. Агарда, товуш манбаи микрофонга нисбатан силжий бошласа, микрофонга тушаётган товуш ва биринчи товуш қайтарилиши фазалари нисбати ҳам ўзгаради. Натижада, тавсиф **чўққи** ва **чўкмалари** сурилабошлайди ва тембр ўзга — риши эффектини беради. Иккита PZM микрофонидан яхши стереомикрофон ҳосил қилиш мумкин.

Алоҳида гуруҳни «камера устида»ги микрофон ташкил этади. Ви — деокамераларда одатда нисбатан катта бўлмаган енгил, йўналганлиги кардионда диаграммасидан ўткирроқ микрофонлар қўлланилади. Мисол сифатида МКЭ — 24 ва МКЭ — 25 (Микрофон — М) микрофонларини айгиш мумкин.

Товуш кучайтириш тизимларида микрофонларнинг ишлаш хусусиятлари. Профессионал — мусиқа, товуш кучайтириш тизимлари, театр, концерт залларидан эшиттиришларни трансляция қилиш учун яна бир гуруҳ микрофонлар қўлланилади. Товуш кучайтириш тизимларида микрофонларнинг ишлаш хусусиятларидан бири айрим частоталарда паразит тескари алоқа натижасида микрофонларнинг ўз — ўзидан уйғонишидир, бу ҳодиса микрофонга қайтарилган тўлқин товушлари тўғридан — тўғри радиокарнайдан шип, девор ва бошқа юзалардан келиши натижасида содир бўлади. Булар одатда зални овозлаштиришдаги товуш босимини чеклайди. Тизимнинг барқарорлигини ошириш, сигнални махсус электрон қайта ишлаш куйида куриладиган бир неча оддий йўللар билан амалга оширилади.

1. Микрофонни бирламчи сигналга максимал яқинлаштириш (ижрочиға, нотикқа, мусиқа асбобига), яъни ёқа ва қўл микрофонларини қўллаш. Таъкидлаб ўтамиз, ёқа микрофонлари одатда йўналтирилмаган, шунинг учун уларни нотикқа яқинлаштирилиши уларнинг частота тавсифларига таъсир этмайди.
2. Нотикқни ва микрофонни радиокарнайдан ҳамда товуш қайтарувчи юзалардан имконияти борича узоқлаштириш.
3. Микрофоннинг йўналганлик диаграммасини тўғри танлаш ва унинг ишчи ўқини шовқин манбаи, ҳамда радиокарнай ва товуш колонкаларига нисбатан тўғри йўналтириш.

Товуш кучайтириш тизимларида ва телевидение трансляциясида кичик микрофонлардан кўпроқ фойдаланилиши мақсадга мувофиқдир.

Концерт залларида, эстрада, трибуналарида катта ҳамақиллар ва вибрациялар бўлиши эҳтимоли бор, шунинг учун кўпчилик микрофон устунлари тебраниш ютичларга эга. Бундай микрофонларда тебранишга қарши махсус чоралар кўрилади: микрофон капсуласи амортизацияланади ёки микрофон гилофидан ажратилади, паст частоталарни қирқувчи электр филтрлари қўлланилади.

Европа фирмалари ўнлаб шундай микрофонларни ишлаб чиқаради (AKG, Sennheiser, Beverdynamic), американинг (Electro-Voice, Shure), россиянинг — Бойтон — 2. Шунинг айтиш керакки, динамик микрофонлар конденсаторли микрофонларга қараганда тебранишларга анча чидамли.

Нутқларни кучайтириш тизимида (конференцзал, мажлислар зали, драмтеатрлар ва б.қ.) асосий мезон бўлиб тембрни тўғри узатиш эмас нутқнинг аниқлиги ҳисобланади, шунинг учун микрофонларнинг час — тота диапазони 100÷10000 Гц билан чеклаш ва паст частоталарда, 300÷400 Гц дан бошлаб 10÷12 дБ га пасайишига қониқиш ҳосил қилиш керак. Бундай микрофонларга Д541, Д558В, Д590, С580 (АКГ) ва МД — 91, МД — 96, МД — 97 (Микрофон — М) мисол бўла олади. Частота диапа — зонини яна ҳам сиқиш 500÷5000 Гц гача нутқ аниқлигига зарар етказ — маган ҳолда, нотиқ товуши тембрини сезиларли ўзгаришига олиб ке — лади, бу эса юқори сифатли товуш кучайтиришда унчалик зарур эмас. Шунинг учун частота диапазони 500÷5000 Гц ва ундан тор бўлганда бундай микрофонлардан фақат алоқа қурилмаларида, товуш тембрини сақлаш унчалик аҳамиятга эга бўлмаган, фақатгина ҳаракатлар маъно — сини, командаларни тўғри узатиш учунгина фойдаланадилар.

Ёқа микрофонлари. Алоҳида гуруҳ микрофонларига кўкрак ёки ёқа микрофонлари киради. Улар телевидение ва товуш кучайтириш тизимлариди қўлланилади. Ёқа микрофонлари одатда босим қабул қилгич бўлиб, улар енгил ва ўлчамлари кичик ва кийимга махсус би — риктириладиган мосламага эга. Бу микрофонлар турига СК97 — 0 (АКГ), МКЕ10 (Sennheiser), КМКЭ400 (Неватон) ва б.қ. киради. Бу микрофон — ларнинг афзалликлари ва камчиликлари бор. Бирдан — бир афзаллиги шундаки, бу нотиқнинг эркинлиги, микрофоннинг фойдали товуш манбаига яқинлиги. Камчилиги — микрофони кўкрак қафасига яқинлиги, бу паст частоталарнинг рангига таъсир курсатади. Кўччилик ҳолларда манба блоки нотиқларга ноқулайликлар яратади. Микрофон кабеллари кийимларга ишқаланиб шовқин ҳосил қилади. Ундан ташқари бундай микрофонларни қўллашда психологик ноқулайликлар ҳам мавжуд.

Очиқ ҳавода ишлаш учун мулжалланган микрофонлар ҳар қандай ҳавода ишлашга мулжалланган бўлиши керак ёмғирда қорда шамолда ва ҳ.к. Шу мақсадларда одатда динамик микрофонлар қўлланилади. Улар бошқа турдаги микрофонларга қараганда чидамлироқ. Шамолга қарши чидамлилигини ошириш мақсадида, улар шамолга қарши қалпоқча билан жиҳозланади. Бу микрофонларда алоҳида таъминот манбаининг бўлмаслиги уларнинг афзаллигидир. Кўчаларда репортаж — лар олиб бориш учун қўл микрофонларидан фойдаланиш мақсадга му — вофиқдир, чунки улар шамол ва тасодифий турткиларга чидамли. Бун — дай микрофонларга мисол тариқасида F-115 (Sony) ва МД — 83 (Микро — фон — М) ларни келтириш мумкин. Очиқ жойда товуш кучайтиришда юқоридаги сабабларга кура йўналган микрофонлардан фойдаланиш афзал, шу айтиш лозимки микрофонларга қор, ёмғир тегмаслиги керак (айвонча ёки кичик будка бўлиши керак).

Назорат саволлари

1. Микрофонлар қандай классификацияланади, қандай асосий техник тавсифларини биласиз?
2. Босим қабул қилгич ва босим градиенти қабул қилгичларни тушунтиринг.
3. Электр ва акустик комбинацияланган микрофонларнинг тузилишини тушунтиринг.
4. Ғалтакли микрофоннинг тузилиши ва ишлаш принципини тушунтиринг.
5. Ғалтакли микрофон сезгирлигининг қизиқли частота тавсифини шакллантириш механизминини тушунтиринг.
6. Тасмали микрофоннинг тузилиши ва ишлаш принципини тушунтиринг.
7. Тасмали микрофон босим градиенти қабул қилгич қўзғолувчи қисмининг хусусий частотаси танлаш нимага асосланган?
8. Микрофоннинг ўткир йўналганлик хусусиятларига эришиш принципини тушунтиринг.
9. PZM микрофонларининг ишлаш принципини тушунтиринг.
10. Стереофоник тизим микрофонларининг ишлаш принципини тушунтиринг.
11. Микрофонларни ишлатиш принципи қандай?

6 боб. Радиокарнайлар

6.1. Радиокарнайларнинг асосий техник тавсифлари

Радиокарнайлар — электр тебранишларни акустик тебранишларга айлантирадиган ўзгартиргич. Радиокарнайларнинг кўп турларида электр энергияси акустик энергияга ўзгартирилади. Реле принципига асосланган, шундай радиокарнайлар тури борки, (масалан, пневматик радиокарнайлар) уларда акустик ёки механик тебранишлар таъсирида ҳаво оқимининг доимий энергияси акустик энергияга ўзгартирилади.

Радиокарнайларнинг ишлаши қуйидаги техник кўрсаткичлар билан баҳоланади.

Номинал қувват $P_{ном}$ — механик ва иссиқлик чидамлилиги ва берилган қийматидан катта бўлган нозичиқли бузилишлар билан чекланган радиокарнай киришига бериладиган максимал электр қувват. У, одатда, радиокарнай паспортидаги қийматидан кичик. Бундай қувват таъсирида радиокарнай узоқ вақт ишлаганда ишдан чиқмаслиги керак.

Товуш босими бўйича радиокарнайнинг частота тавсифи — эркин майдонда радиокарнайнинг ишчи марказидан маълум масофадаги нуқтада ривожлантираётган товуш босимининг частотага боғлиқлиги.

Акустик (ишчи) марказ — нурлаткичнинг нурлатиш тирқишининг геометрик симметрия маркази. Радиокарнайларнинг акустик ўқи, одатда, геометрик симметрия ўқи билан мос. Ишчи марказда нурланиш максимал қийматга эга. Мураккаб нурлаткичлар учун ишчи марказ унинг характеристикасида кўрсатилади. Радиокарнайнинг эффектив эшиттириш частота диапазони ва характеристикасининг нотекислиги ишчи ўқида ўлчанган амплитуда — частота характеристикаси бўйича аниқланади.

Ўртача товуш босими $P_{урт}$ — эркин майдонда берилган нуқтада, маълум частота диапазонида радиокарнай ривожлантираётган товуш босимининг ўртача квадрат қиймати.

Ўртача стандарт товуш босими $P_{ст}$ — ишчи ўқи марказидан 1 м масофада радиокарнай киришига 0,1 Вт қувватга тенг кучланиш берилганда, номинал частота диапазонида радиокарнай ривожлантираётган ўртача товуш босими.

Характеристик сезгирлиги E_s — ишчи марказидан 1 м масофада радиокарнай киришига 1,0 Вт қувватга тенг кучланиш берилганда, номинал частота диапазонида радиокарнай ривожлантираётган ўртача товуш босими $P_{урт}$ нинг радиокарнай киришига берилаётган электр қуввати $P_{эл}$ нинг илдиз ости нисбатига тенг.

$$E_s = P_{урт} / \sqrt{P_{эл}} = P_{ном} / \sqrt{P_{ном}} = P_{урт} / \sqrt{0,1} \quad \frac{Па}{\sqrt{Вт}} \quad (6.1)$$

Характеристик сезгирлик билан ўртача стандарт товуш босими тўғридан — тўғри боғланган:

$$P_{сгн} = E_x \sqrt{0,1} \quad (6.2)$$

Кириш қаршилиги — $Z_{кир}$ частотага боғлиқ бўлганлиги учун маълумотномаларда **номинал электр қаршилик** берилади.

Йўналганлик тавсифи — эркин майдонда ишчи марказидан бир хил масофадаги нуқтада радиокарнай ривожлантираётган товуш босими P_0 нинг, радиокарнай ишчи ўқи ва унга йўналтирилган бурчагига боғлиқлиги. Одатда, бу тавсиф ишчи ўқи товуш босимига нисбати билан меъёрланади

$$D(\theta) = \frac{P_\theta}{P_{уқи}} \quad (6.3)$$

Ночизиқли бузилишлар коэффициентлари — берилган частоталарда радиокарнай киришига номинал қувватига мос синусоидал кучланиш бериб улчанади.

Фойдали иш коэффициентлари — радиокарнай нурлатаётган акустик қувват P_a ни киришига берилган электр қуввати P_3 нисбатига тенг:

$$\eta = \frac{P_a}{P_3} \quad (6.4)$$

Ўқи бўйича сезгирлиги қуйидагича ифодаланади:

$$E_{уқи} = \frac{P_1}{U} = \frac{P_1}{U_M} \cdot \frac{U_M}{F} \cdot \frac{F}{I} \cdot \frac{1}{U} \quad (6.5)$$

бу ерда:

$\frac{P_1}{U_M}$ — акустик сезгирлик;

$\frac{U_M}{F} = \frac{1}{Z_M}$ — механик сезгирлик;

$\frac{F}{I} = K_{эмб}$ — электромеханик боғланиш коэффициентлари;

$\frac{1}{U} = \varepsilon_{жк}$ — электр тавсифи;

Z_M — қўзғалиш тизимининг тўла механик қаршилиги;

P_1 — радиокарнайдан 1 м масофадаги товуш босими;

U — радиокарнайга берилаётган кучланиш.

Радиокарнайлар энергияни ўзгартириш принципи бўйича: электродинамик, электростатик ва релелиларга бўлинади.

Турлари бўйича: диффузорли, рупорли ҳамда якка турдаги ва гуруҳли радиокарнайларга бўлинади. Электростатик ўзгартириш тури

бўйича: конденсаторли, электретли ва пьезорадиокарнайларга бўлина – ди. Релели турига пневматик радиокарнайлар киради.

6.2. Нурлатгич турлари

Шар тўлқинлари учун қайтариладиган акустик қувват

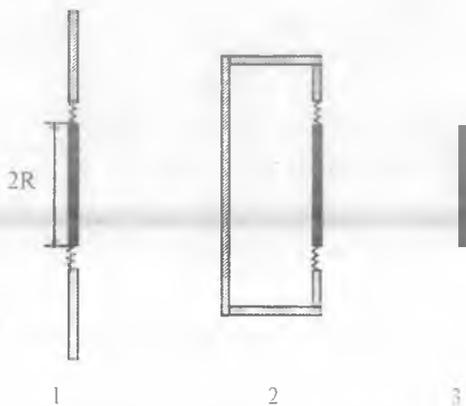
$$P_{ак} = V^2 Z_R = V^2 \rho c S (r_R^* + jx_R^*) \quad (6.6)$$

6.6 формуладан кўриниб турибдики, нурланиш самарадорлиги актив ва реактив нурланиш қаршилиги таркибига боғлиқ ва кўп жиҳатдан нурлатгичнинг частота тавсифини белгилайди.

Нурлатгич қаршилиги таркибининг частота тавсифи, нурлатгичнинг тузилиш шакли ва акустик жиҳозланишга боғлиқ.

Нурланиш тўла қаршилигининг назарий ҳисоби, мураккаб математик аппаратни талаб этади. Аниқ ёки тахминий натижаларни айрим идеаллаштирилган ҳоллар учунгина олиш мумкин. Мисол тариқасида 6.1–расмда учта асосий думалоқ шаклдаги поршен туридаги нурлатгичлар келтирилган.

6.1–расмдаги I ва III турдаги нурлатгичлар амалда деярлик учрамайди. Одатда чекланган ўлчамларда жойлаштирилган радиокарнайлар учрайди. Буларга радио қабул қилгич ва телевизорда ўрнатилган абонент радио карнайлари киради.



6.1 – расм. Нурлатгич турлари:

- 1 – чексиз қаттиқ экрандаги думалоқ поршень;
- 2 – бир томони берк поршень;
- 3 – иккала томони очиқ поршень.

Тўлқин узунлиги экрандан катта бўлган паст частоталарда тўлқинлар уни осонгина айланиб ўтади. Шундай қилиб тўлқин дифракцияси ҳисобига нурланиш икки томонлама бўлади. Уни учинчи турдаги нурлатгич деб ҳисоблаш мумкин.

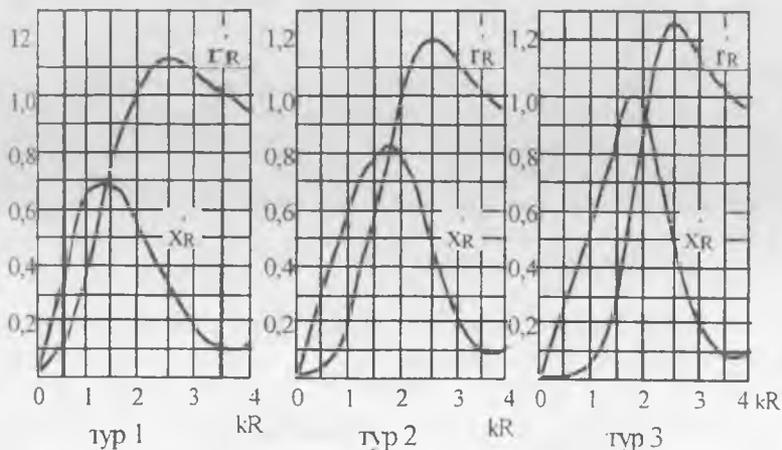
Юқори частоталарда тўлқин узунлиги нурлатгич ўлчамларидан кичик, бу ҳолда дифракция бўлмайди. Энди нурлатгич ўзининг томонлари билан фақатгина ярим фазога нурлатади ва уни биринчи турдаги нурлатгич деб ҳисоблаш мумкин.

Иккинчи турдаги нурлатгич амалда 6.1–расмда кўрсатилгандек ишлатилади. Бу орқа томони берк яшчикка жойлаштирилган радиокарнайдр.

6.2–расмда нурланиш қаршилиги таркибларининг частота тавсифлари келтирилган. Аргумент сифатида нурлатгич радиусини тўлқин сонга кўпайтмасидан фойдаланилади. Эслатамиз $k = \frac{\omega}{c}$, шунинг учун

$$kR = \omega \frac{R}{c} = 2\pi \frac{R}{\lambda}$$

Агарда нурланиш қаршилигида актив таркиб устун бўлса, нурланиш самарадорли бўлади. Самарали нурланиш чегараси Γ_R ва X_R га тенг. Келтирилган графикларда биринчи турдаги нурлатгичлар учун самарадорлик яъни Γ_R ва X_R тенглиги $kR=1,38$ қийматда бўлади, иккинчиси учун $kR=1,85$; учинчиси учун $kR=2,05$ бўлганда.



6.2–расм. Уч турдаги ўлчамсиз нурлатгич қаршиликлари актив ва реактив таркибларининг частота тавсифлари

Нурлатгич радиуслари тенг бўлгандаги нурлатиш частота чегараларини аниқлаймиз.

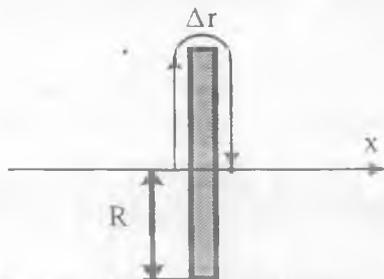
1 турдаги: $kR = \frac{\omega_n R}{c} = 1,38 \quad \omega_n = 1,38 \frac{c}{R}$

II турдаги: $kR = \frac{\omega_n R}{c} = 1,85 \quad \omega_n = 1,85 \frac{c}{R}$

III турдаги: $kR = \frac{\omega_n R}{c} = 2,05 \quad \omega_n = 2,05 \frac{c}{R}$

бунда C — товуш тезлиги.

Келтирилган формулалардан кўришиб турибдики, поршень ради — услари тенг бўлганда энг паст частотани биринчи турдаги нурлатгич нурлатар экан. Паст частотани самарали нурлатиш учун радиуси катта нурлатгич зарур экан. Самарадорлиги энг кам бўлган нурлатгич, бу учинчи турдагисидир, чунки у икки томонлама нурлатади (6.3 — расм). Бунда унинг ҳар бир томонида иккита тўғри ва тескари (орқа томони — дан) тўлқин ҳосил бўлади. Агарда поршень ўнг томонга силжиса, унда бу томонида муҳит заррачалари сиқилади.



6.3 — расм. Учтинчи турдаги нурлат — гичнинг хусусиятларига оид

Натижаловчи босим йиғинди фаза силжиши φ_Σ тўғри ва тескари тўлқинларга боғлиқ бўлади.

Кузатув нуқтасини поршень юзасининг ўнг томонидан унинг ўқида оламиз. Тескари тўлқин ушбу нуқтага етиши учун поршенни айланиб кўтишимча $\Delta r = 2R$ масофани босиши керак. Бу йўлда тескари тўлқинда қўшимча фаза силжиши $\varphi_{\text{қўш}} = k\Delta r$ бўлади. Умумий фаза силжиши

$$\varphi_\Sigma = \varphi_{\text{бош}} + \varphi_{\text{қўш}}$$

Паст частоталарда $R \ll \lambda$, демак, қўшимча фаза силжиши

$$\varphi_{\text{қўш}} = k\Delta r = \frac{2\pi}{\lambda} 2R \approx 0, \text{ чунки } R/\lambda \approx 0$$

Умумий фаза силжиши $\varphi_\Sigma = \varphi_{\text{бош}} + \varphi_{\text{қўш}} = \pi$, яъни барча частота диапа — зонада тўлқинлар тескари фазада бўлади ва $R \ll \lambda$. Бунда тескари тўлқин тўғри тўлқинни «сундиради». Бундай ҳодиса акустик қисқа туташув деб аталади.

Частота ошиши билан шундай вазият пайдо буладики, f_1 частотада тескари тўлқиннинг қўшимча йўли Δr яъни тўлқин узунлигига тенг булади

$$\Delta r = \lambda/2. \text{ Шунда } \varphi_{\text{қўш}} = k\Delta R = \frac{2\pi}{\lambda} \frac{\lambda}{2} = \pi, \text{ умумий фаза силжиши}$$

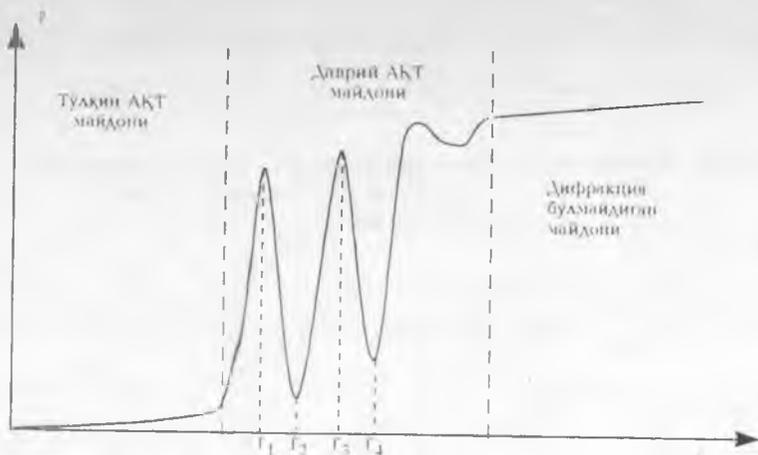
$\varphi_{\Sigma} = \varphi_{\text{бош}} + \varphi_{\text{қўш}} = 2\pi$. Иккала тўлқин бир фазада бўлиб тебранишларнинг кучайиши кузатилади.

Частоталарнинг кейинги ошишида f_2 , f_3 ва б.қ. частоталарда:

f_2 : $\Delta r = \lambda$; $\varphi_{\text{қўш}} = \frac{2\pi}{\lambda} \lambda = 2\pi$; $\varphi_{\Sigma} = \varphi_{\text{бош}} + \varphi_{\text{қўш}} = 3\pi$ — тўлқинлар қарама — қарши фазада бўлади ва акустик қисқа туташув сусаяди.

f_3 : $\Delta r = 3/2\lambda$; $\varphi_{\text{қўш}} = \frac{2\pi}{\lambda} \frac{3}{2}\lambda = 3\pi$ $\varphi_{\Sigma} = \varphi_{\text{бош}} + \varphi_{\text{қўш}} = 4\pi$ — тўлқинлар бир хил фазада бўлиб, тебранишлар кучаяди ва ҳ.к.

Нурлатгич ўлчамлари тўлқин узунлигидан катта булган юқори частоталарда дифракция булмайди, ва тескари тўлқин поршенни айла — ниб ўтолмайди. Даврий акустик қисқа туташув йўқолади ва бундай нурлатгич биринчи турдаги нурлатгичга айланади. Агарда АҚТ ҳолати — ни инобатга олганимизда нурлатгичнинг босим частота тавсифи 6.4 — расмда кўрсатилганидек булар эди. Шундай қилиб, оддий, ҳеч қандай акустик жиҳозланмаган нурлатгич, акустик қисқа туташув натижасида паст частоталарни нурлатаолмайди. АҚТ ни йўқотиш учун турли усуллардан фойдаланилади: экран, ёпиқ яшчик, фазоинвертор.

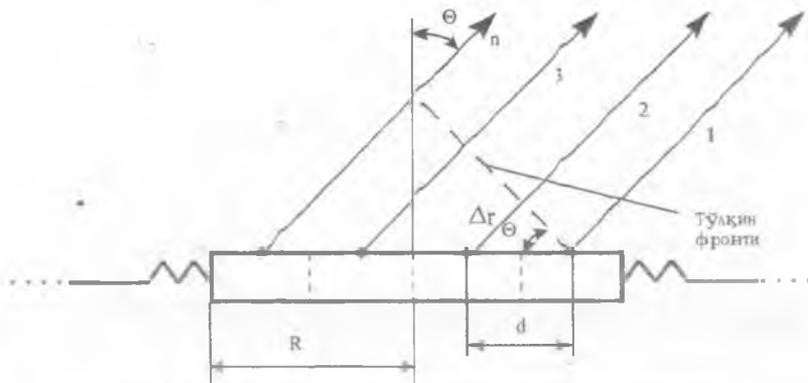


6.4 — расм. Учинчи турда нурлатгичнинг акустик қисқа туташув ҳодисасига оид

Нурлатгичларнинг йўналганлиги. Аввал чексиз экранда жойлаштирилган биринчи икки турдаги нурлатгичларнинг йўналганлик хусусиятларини кўриб чиқамиз. Нурлатгичнинг диаметри бўйича бир бўлакчани ажратиб оламиз ва уни d участкаларга бўламиз (6.5 расм).

Иккита ҳолатни кўриб чиқамиз:

1. Кузатув нуқтаси акустик ўқда ($\theta = 0$) $r \gg R$ масофада жойлашган. Участкаларнинг алоҳида нуқталаридан келаётган товуш тўлқинлари, амалда бир хил йўл босадилар, демак уларнинг фазалари бир хил. Кузатилаётган нуқтадаги умумий товуш босими $P_{0\Sigma}$, P_i нуқтадаги босимларнинг арифметик йиғиндисига тенг



6.5 — расм. 1 ва 2 турдаги нурлатгичларнинг йўналганлигига оид

$$P_{0\Sigma} = \sum_1^n P_i.$$

бунда n — участкалар сони

2. Кузатув нуқтаси акустик марказидан бир хил масофада θ бурчак остида жойлашган. Энди алоҳида участкалардан товуш тўлқинлари турли масофани босиб ўтади. Масалан, 1 ва 2 нурлар фарқи $\Delta r = d \sin \theta$ ни ташкил этади.

Нурлар ўртасидаги фазалар силжиши :

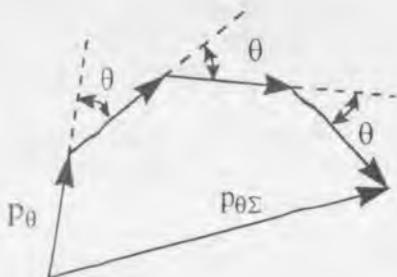
$$\varphi = k\Delta r = \frac{2\pi}{\lambda} d \sin \theta \text{ га тенг.}$$

Кузатилаётган нуқтадаги умумий босим P_{0i} босимларнинг геометрик йиғиндисига тенг бўлади

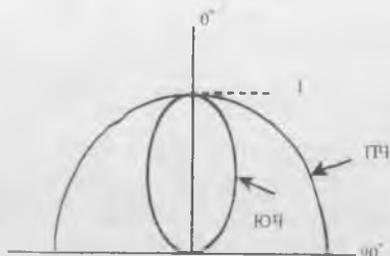
$$P_{0\Sigma} = P_{01} + P_{01}e^{i\varphi} + P_{01}e^{i2\varphi} + P_{01}e^{i3\varphi} + \dots$$

Буни векторлар диаграммаси кўринишида таҳлил қилиб чиқамиз. Натижаловчи вектор биринчи векторнинг бошланишини охири векторнинг учи билан боғлайди. Формуладан кўриниб турибдики, тўлқин

тушиш бурчаги ошиши билан силжиш фаза бурчаги оша боради, йиғинди босим эса, камаяди.



6.6—расм. Турли участкалардаги товуш босимларини қўшишга оид

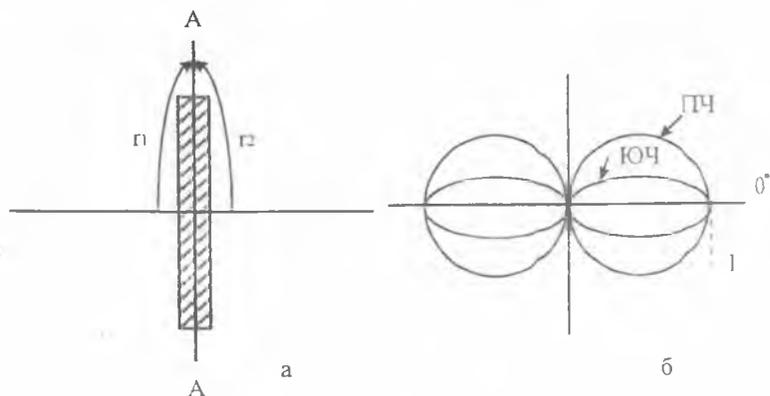


6.7—расм. 1 ва 2 турдаги нурлатгичларнинг паст ва юқори частоталардаги йўналганлик диаграммаси

Аммо, силжиш фазаси d/λ га ҳам боғлиқ. Паст частоталарда $d \ll \lambda$ ва $d/\lambda \approx 0$. Демак, тўлқин нурлари урта—сида фазалар силжиши бўлмайди. Бу d/λ нисбати қанчалик катта бўлса, фаза силжиши ҳам шунчалик катта бўлади. Йиғинди босим тўлқин тушиш бурчаги ошган сари камая боради ва нурлатгич йўналганлик хусусиятига эга бўла бошлайди. 6.7—расмда нурлатгичнинг паст ва юқори частоталардаги йўналганлик диаграммаси келтирилган.

3 турдаги нурлатгичнинг йўналганлик диаграммасига келсак, 6.8—расмдан кўриниб турибдики, нурлатувчи поршень жойлашган юзада (АА юзаси) нурланиш ҳар қандай частотада ҳам бўлмайди. АА юзадаги ҳар қандай нуқтага иккала тўлқин масофаси бир хил

$r_1 = r_2$. Тўғри ва тескари тўлқинлар ўртасидаги фаза нолга тенг, фақат бошланғич силжиш λ га тенг. Шунинг учун АА юзасидаги ҳар қандай нуқтада тўлқинлар тескари фазада тўқнашадилар ва бир—бирларини «сўндирадилар».



6.8 — расм. 3 турдаги нурлатгичнинг йуналганлик хусусиятларига оид

АА юзага перпендикуляр юзада нурланиш самарадорли бўлади. $kR \ll 1$ бўлганда, йуналганлик диаграммаси саккизсимон шаклда бўлади: $D(\Theta) = \cos\Theta$. $R > \lambda$ йуналганлик диаграммаси бир томонлама йуналган нурлатгичлардан кам фарқ қилади. Шунга айтиш лозимки, йуналганлик диаграммаси ҳар доим нурлатгич ётган юзага симметрик бўлади

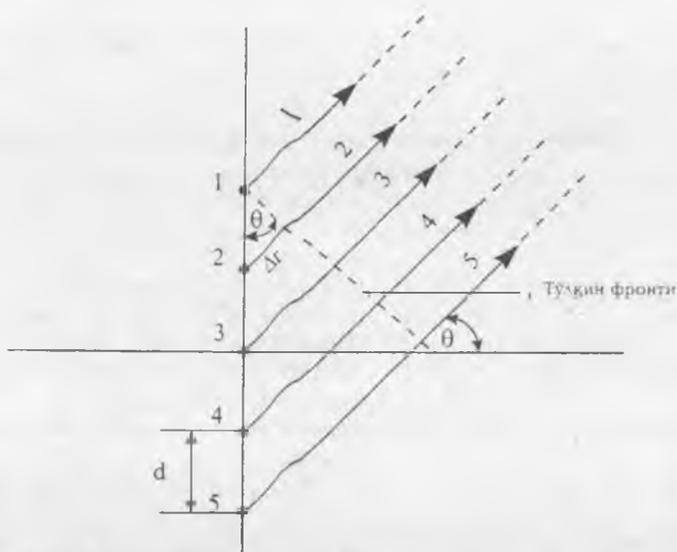
6.3. Чизиқли гуруҳ нурлатувчилари

Чизиқли гуруҳ нурлатувчилари (товуш колонкалари). Нурлатгичнинг қуввати ни ва йуналганлик диаграммасини ошириш мақсадида гуруҳли, бир нечта бир хил (иккитадан саккизтагача) маълум масофада вертикал линияда жойлашган диффузорли радиокарнайлар қўлланилади. Уларнинг горизонтал майдондаги йуналганлик диаграммаси яқка радиокарнайнинг йуналганлик диаграммасидан фарқ қилмайди. Азимо, вертикал майдонда бўлган гуруҳнинг йуналганлик диаграммаси айрим яқка карнайларнинг нурланиш интерференцияси натижасида сезиларли кучеяди.

6.9 — расмда чизиқли гуруҳ нурлатгичларининг схематик кўриниши келтирилган.

Агарда, кузатув нуқтасини колонканинг акустик ўқида $r \gg d$ масофада олсак, унда алоҳида каллақларнинг p_i товуш босими бир хил фазада бўлади. Демак, умумий товуш босими $P_{0\Sigma}$ алоҳида каллақ босимлари — нинг арифметик йиғиндисига тенг бўлади:

$$P_{0\Sigma} = \sum_1^n p_i, \text{ бунда } n \text{ — гуруҳдаги каллақлар сони:}$$



6.9-расм. Тovuш колонкасининг йўналганлик диаграммасига оид

Энди йўналганликни тovuш колонкасининг акустик ўқидан ташқарида Θ бурчак остида тушаётган тўқин fronti учун кўриб чиқамиз. Алоҳида каллаклардан келаётган тovuш нурлари кузатув нуқтасигача турли йўлни босиб ўтади. Масалан 1 ва 2 нурлар 6.10-расмга асосан:

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

Бу нурлардаги фаза силжиши:

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

Кузатув нуқтасидаги умумий босим алоҳида p_1 босимларнинг геометрик йиғиндисига тенг бўлади:

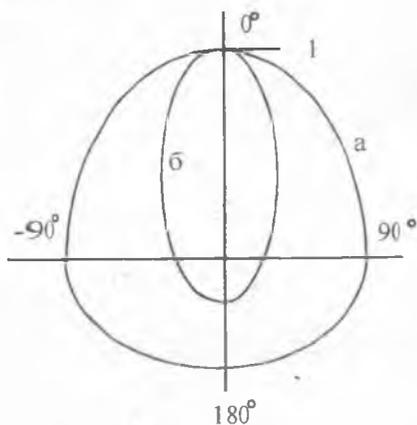
$$p_{\text{оғ}} = p_{\text{о1}} + p_{\text{о1}}e^{j\varphi} + p_{\text{о1}}e^{i2\varphi} + p_{\text{о1}}e^{i3\varphi} + \dots$$

бунда $p_{\text{о1}}$ - кузатув нуқтасида яқка каллак ривожлантираётган тovuш босими. Тovuш колонкаларининг ўлчамлари паст частоталарда ҳам катта бўлганлиги сабабли, у вертикал майдонда ҳам йўналганлик хусу-сиятига эга бўлади.

Бурчак Θ ошиши билан тovuш босими $p_{\text{оғ}}$ камаяди. Частота ошиши билан колонка вертикал ўлчамининг тўқин узунли-гига бўлган нисбати $l=d(n-1)$ ошади, натижада йўналганлик диаграммаси кучаяди.

Йўналганлик диаграммаси ярим эллипсни эслатади (6.10-расм). Частота ошиши билан йўналганлик диаграммаси ошади ва нурланувчи майдон камаяди. Йўналганлик диаграммаси юқори частоталарда гори-зонтал майдон кенгайтириш учун колонкага қўшимча акустик ўқлари

60° га бурилган яна битта, айрим ҳолларда иккита каллақлар занжири урнатилади.



6.10—расм. Товуш колонкасининг горизонтал — а ва вертикал — б юзалардаги йуналганлик диаграммалари

электродинамик радиокарнайларни доира бўйлаб урнатиш ҳисобига эришилади. Уларнинг ўқи пастга қараб 45° остида урнатилади. Каллақлар сони одатда 4 тадан 6 тагача олинади. Бундай радиокарнайларнинг пастки қисмида одатда доирасимон товуш қайтарувчи тусиқлар урнатилади.

6.4. Диффузорли радиокарнайлар

Диффузорли радиокарнайлардаги механик ҳаракатланувчан тизим—диафрагма механик тебранишларни акустик тебранишларга ўзгартириб товушни атроф муҳитга нурлатиш вазифасини ўтайди. Шунинг учун диафрагмани диффузор, яъни сочувчи деб атайдилар, радиокарнайни эса, бевосита нурлатувчи радиокарнай деб атайдилар. Диффузор мураккаб шаклга эга бўлгани учун, уни поршень каби тебранаётган ясси диафрагмага ўхшатиш мумкин, бундай ўхшашликка диффузорни радиокарнай гилофига мос равишда бириктириш билан эришилади: биринчидан, диффузор эгилувчан бўлиши, иккинчидан, акустик ўқи бўйлаб тебраниши керак.

Товуш тўлқинларининг нурланиш жараёни содда: диафрагма ўзининг тебранишида унга бевосита ёндошган муҳит заррачала—рини тебратиб унда ўзгарувчан сиқилиш ва сийраклашиш ҳосил қилиб муҳитнинг қўшни қатламига узатади, натижада товуш тезлигида ҳаракатланаётган тўлқин пайдо бўлади. Газсимон (ва суюқ) муҳит узлук—

Агар, йуналганлик диаграммани вертикал юзада ошириш зарурати туғилса, унда икки ёки учта товуш колонкасини устма—уст урнатилади. Йуналганлик диаграммасининг ўткир бўлганлиги учун, уни урнатиш баландлиги шундай танла—надикки, колонканинг акустик ўқинингловчи қулоғи юзасига нисбатан 5÷10° ташкил этсин. Шунда залнинг биринчи қаторида товуш босими ошиб кетмаслигини назорат этиш керак.

Радиал радиокарнайлар. Очик майдонларни овозлаштиришда (кўча, хиёбон, майдон ва б.қ.) айрим ҳолларда доира шаклидаги йуналганлик диаграммаси керак бўлади. Бундай йуналганлик диаграмма бир гуруҳ

сизлиги принципида диафрагманинг тебраниш тезлиги v_d ва унга ён — дошган муҳит заррачалари тезлиги v_m бир хил бўлиши керак, яъни: $v_d = v_m$. Диафрагма тебранишига муҳит қаршилиқ кўрсатади. Бу қаршилиқ **нурланиш ($z_{нур}$) қаршилиги** деб аталади. Нурланиш қаршилиги диафрагманинг **меҳаник $z_{м.д}$ қаршилигига** қўшилади, яъни:

$$\frac{F}{v_m} = z_{м.д} + z_{нур} = z_m \quad (6.7)$$

аниқланади.

Нурланиш қаршилиги аслида муҳит билан радиокарнай нурлатгич юзаси туташган жойдаги товуш тўлқинининг акустик қаршилигидир

$$z_{нур} = \delta_{ак} S = R_{нур} + jX_{нур} \quad (6.8)$$

бунда S — нурлатгич юзаси, $\delta_{ак}$ — нурлатгич яқинидаги муҳитнинг ўртача солиштира акустик қаршилиги. Тўла нурланиш қуввати:

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

Умумий ҳолда, нурланиш қуввати, актив — чексизликка кетувчи энергия қуввати ва реактив — товуш майдонида ҳосил бўлиб энергия заҳирасини белгиловчи таркиблардан иборат.

Нурланиш қаршилигининг реактив ташкил этувчиси **инерцион** (кири — тилган) **қаршилиқ $\omega m_{кир}$** дир, бошқача қилиб айтганда, киритилган ҳаво массаси қаршилиги $m_{кир}$ дир:

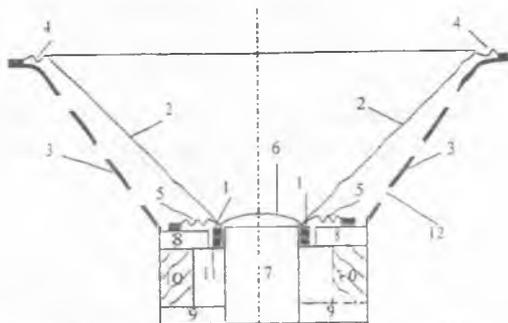
$$m_{кир} = \rho SR / \left(\frac{\omega^2 R^2}{c^2} + 1 \right) \quad (6.10)$$

Нурлатгичнинг массаси шу қийматга ошгандек бўлади ва шунинг учун уни **бирга қўзғалувчи масса** дейдилар.

Кейинги мавзуда динамикли радиокарнайнинг конструктив тузилиши ва ишлаш принципи билан танишиб чиқамиз.

Диффузорли электродинамик радиокарнайнинг тузилиши

6.11 — расмда келтирилган.



6.11 — расм. Диффузорли электродинамик радиокарнайнинг тузилиши

1 — товуш ғалтаги; 2 — диффузор; 3 — диффузор ушлагич қобик; 4 — гофрировкаланган илгич; 5 — гофрировкаланган марказлаштирувчи шайба; 6 — қуббасимон қалпоқ; 7 — магнит ўзаги; 8, 9 — пастки ва юқори гардишлар; 10 — магнитлар; 11 — ҳалқасимон тирқиш; 12 — орка томонга нурлатиш учун тирқиш.

Диффузорли электродинамик радиокарнайнинг ишлаш принципи, динамикли микрофон ишлаш принципига ўхшаш. Магнит ўзақ 7 ва юқори гардиш 8 орасида ҳалқасимон тирқиш 11 бўлиб, унда эркин қўзғолувчи товуш ғалтаги 1 жойлаштирилган. Радиал магнит майдонида жойлашган симли ғалтак 1 дан ўзгарувчан ток ўтказилганда таъсир куч $F = B \ell i$ га тенг, бунда B — тирқишдаги индукция; ℓ — ғалтак сими узунлиги.

Бу куч товуш ғалтаги 1 нинг бир учи қобик 3 нинг ташқи чекка 4 ларига гофрировкаланган илгич билан, иккинчи учи гофрировкаланган марказлаштирувчи «шайба» 5 билан юқори гардиш 8 га қаттиқ бириктирилган диффузор 2 ни ҳаракатга келтиради. Бунинг натижасида диффузор бир эркинлик даражасидаги поршень нурлагич каби ўқи буйича тебранади. Ҳалқасимон ўзгармас магнит 10, юқори пастки гардишлар 8, 9 ва магнит ўзаги 7 орасида доимий магнит майдони пайдо бўлади. Товуш ғалтаги ва мустаҳкамловчи мосламалардан иборат қўзғолувчи механик тизим, паст ва ўрта частоталарда бир бутун тебраниш тизими деб кўрилиши мумкин, яъни барча тебраниш тизими массалари m , бирга қўзғолувчи масса $m_{\text{қир}}$ ўчта кетма-кет уланган эгилувчанлик (илмоқ эгилувчанлиги C_1 , гофрировкаланган марказлаштирувчи шайба эгилувчанлиги C_2 , ва ҳаво эгилувчанлиги C_3); ўчта актив қаршилик (ғалтакнинг тирқишдаги ҳавога ишқаланиш қаршилиги r_1 , марказлаштирувчи шайба, илгич ва диффузордаги механик йўқолишлар қаршилиги r_2 ҳамда нурланиш қаршилиги $r_{\text{нур}}$) лардан иборат оддий тебраниш тизими деб ҳисоблаш мумкин

Бу ҳолда механик қаршилик

$$z_M = (r_1 + r_2 + r_{\text{кыр}}) + j\omega(m_n + m_{\text{кыр}}) + \frac{1}{j\omega} \left(\frac{1}{C_1} + \frac{1}{C_2} + \frac{1}{C_3} \right) = r_M + j\omega m + \frac{1}{j\omega C_M} \quad (6.11)$$

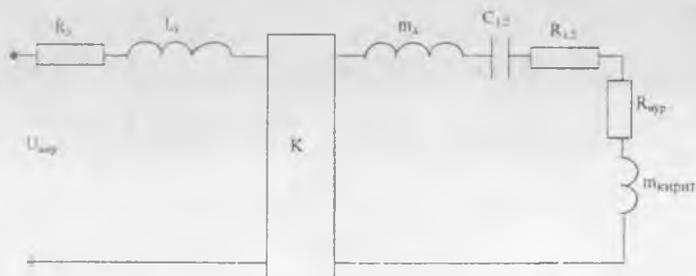
Диффузор мембрана каби букилмаслиги учун унга махсус шакл берилади. Диффузор бикирлигини ошириш мақсадида у доирасимон ёки эллиптик конус шаклида ясалади. Шунга қарамасдан юқори час — тоталарда диффузор мембрана каби тебранади, яъни тўлқин диффузор марказидан унинг четига томон тарқалади.

Шунинг учун механик тебраниш тизимини паст ва ўрта частоталар учун параметрлари мужассамланган тизим сифатида ва юқори частоталар учун параметрлари тарқоқ тизим сифатида алоҳида — алоҳида қўриш лозим.

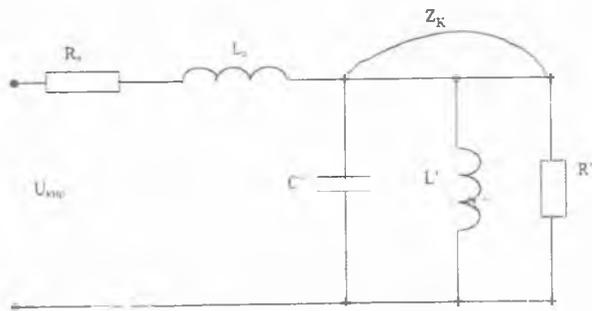
Радиокарнайнинг электр кириш қаршилиги $z_{\text{ЭК}}$ ғалтакнинг хусусий z_F ва киритилган қаршилиқ $z_{\text{кыр}}$ лар йиғиндиси билан аниқланади, яъни:

$$z_{\text{ЭК}} = z_F + z_{\text{кыр}} \quad (6.12)$$

Радиокарнайнинг хусусий қаршилиги ғалтакнинг актив R_3 ва индуктив L_3 қаршилиқлардан иборат. Киритилган қаршилиқ эса, тўла механик қаршилиқ z_M ва электромеханик боғланиш коэффициентини $K_{\text{Э.М.Б.}} = \nu \ell$ билан аниқланади. 6.12 — расмда диффузорли электродинamik радиокарнайнинг кириш қаршилиги схемалари келтирилган.



а)



б)

а) электромеханик ўхшашлик схемаси; б) электр эквивалент схемаси

6.12 – расм. Диффузорли электродинамик радиокарнайнинг кириш қаршиликлари схемалари

6.12 б – расмдан киритилган қаршилик:

$$z_{кир} = B^2 \ell^2 / z_M = B^2 \ell^2 / (r_M + j\omega m + \frac{1}{j\omega C_M}) \quad (6.13)$$

Киритилган қаршиликни киритилган ўтказувчанлик билан ал – маширамыз:

$$\frac{1}{z_{кир}} = Y_{кир} = \frac{r_M}{B^2 \ell^2} + \frac{j\omega m}{B^2 \ell^2} + \frac{1}{j\omega C_M B^2 \ell^2} \quad (6.14)$$

Қуйидаги белгиланишни киритамиз:

$$R = B^2 \ell^2 r_M; C' = m B^2 \ell^2 \text{ ва } L' = C_M B^2 \ell^2 \quad (6.15)$$

Бу ҳолда, умумий ўтказувчанлик

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

Учта ўтказувчанлик R' , C' ва L' параллель уланган. Шунини айтиб ўтиш керакки, электр эквивалент схемада инерцион қаршилик сўғим эквивалентига мос, эгилувчанлик қаршилиги индуктив эквивалентига мос.

Механик тебраниш тизимининг механик резонанс частотаси параллель контур элементлари билан аниқланади, яъни: $\omega_{\text{н}} = 1/\sqrt{mC_{\text{м}}} = 1/\sqrt{L'C'}$. Бу частотада радиокарнай кириш қаршилиги максимум қийматга эга ва ғалтакнинг актив ва киритилган қаршиликлари йиғиндисига тенг

$$R_{\text{кир. макс}} = R_{\text{э}} + B^2 \ell^2 / r_{\text{м}} \quad (6.17)$$

Механик резонанс частотасидан паст частоталарда кириш қаршилиги ғалтакнинг актив қаршилиги қийматигача камаяди, (6.13 — расм), ундан юқори частоталарда эса, (150 — 400 Гц) кетма — кет элементлар $C' L_{\text{э}}$ резонанси

$$\omega_{\text{э.м}} = 1/\sqrt{L_{\text{э}}C'} \text{ га тенг,} \quad (6.18)$$

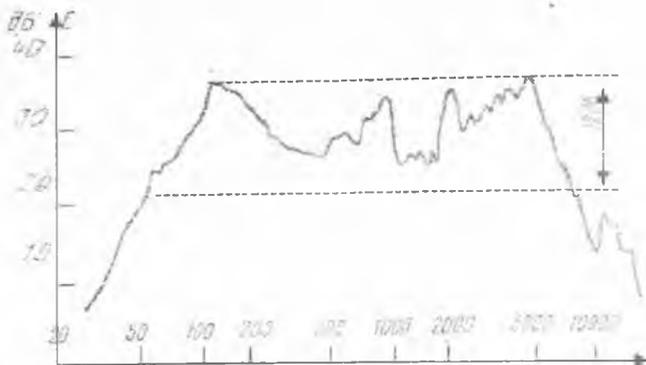
бу электромеханик резонанс частотаси дейилади. Электромеханик резонанс частотасида радиокарнайнинг кириш қаршилиги минимал қийматга эга бўлиб, у ғалтакнинг шахсий қаршилиги $R_{\text{э}}$ билан аниқланади.

Электромеханик частотасидан юқори частоталарда $L_{\text{э}}$ ошиши ҳисобига тула кириш қаршилиги ошади, 6.28.1 — расм.

Расмдан куруниб турибдики, механик резонанс радиокарнай сезгирлиги нозизиқлигини оширади, механик резонансдан пастки частоталарда эса, унинг сезгирлиги кескин пасаяди.

Радиоканай сезгирлиги қўзғолувчи тизим массасига боғлиқ булганлиги туфайли механик резонанс частотасини пасайтириш учун диффузорнинг эгилувчанлигини ошириш зарур. Бу йул билан сезгирликни ошириш диффузор тебранишидаги барқарорликнинг бузилиши билан чекланади. Демак, сигнални узатиш пастки частота диапазони 50 — 60 Гц дан пастда булмас экан, купчилик ҳолларда бу курсатгич 70 — 80 Гц ни ташкил этади.

6.13 — расмда диффузорли электродинамик радиокарнай сезгирлигининг частота тавсифи келтирилган. Юқори частоталарда диффузор бир бутун мембранадек тебранганда сезгирлик тавсифида жуда куп чўққи ва чўқмалар пайдо бўлади.



6.13 — расм. Диффузорли електродинамик радиокарнай сезгирлигининг частота тавсифи

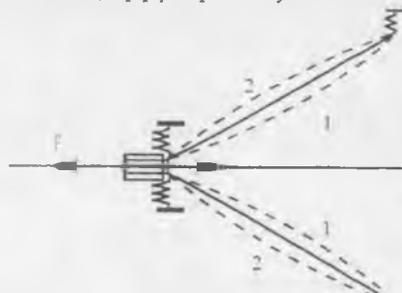
Инсоннинг эшитиш аъзоси катта инерционликка эга бўлганлиги туфайлигина, бу чуққи ва чуқмаларни сезмайди. Юқори частоталарда радиокарнай сезгирлигини товуш ғалтаги индуктивлигини камайтириш йули билан, масалан Фуко тоқлари ёрдамида ошириш мумкин. Бунинг учун магнит ўзакка ҳалқасимон кесилган қалпоқча кийгизилади

6.5. Электродинамик радиокарнайларда ночизиқли бузилишлар

Тўғридан — тўғри нурлатувчи радиокарнайларда ночизиқли бузилишларнинг асосий сабаби, ишчи тирқишдаги магнит майдонининг ўқи бўйича ножинслилиги ва диффузор илгич тизимининг ночизиқли эластиклигидир. Паст частоталарда конус катта амплитуда билан силжийдида, натижада ташқи гардиш ва марказлаштирувчи шайба ривожлантираётган эластик кучлар илгичнинг эластик деформациясига нисбатан тезроқ ошади. Бунинг натижасида пайдо бўладиган ночизиқли бузилишлар симметрик бўлиб, номинал қувватда гармоника коэффициентини 400 Гц частотада 3—4% ташкил этиб паст частота томон ошиб боради. Ишчи тирқишдаги магнит майдонининг бир жинсли эмаслиги билан боғлиқ бўлган бузилишлар товуш ғалтаги эгаллаган узунликдаги магнит индукцияси B белгилайдиган электромеханик алоқа коэффициентини (BL) билан белгиланади. Агар, магнит майдонини ўқи бўйича бир жинсли бўлмасдан тирқиш қирраларини томон камайса, силжиш тизими ўртача ҳолатидан у ёки бу томонга силжиганда, товуш ғалтаги билан илашган майдон камаяди, мос ҳолда электромеханик боғланиш коэффициентини ҳам пас аяди. Бунда содир бўладиган бузилиш жуда ҳам кам. Агарда радиокарнай бир вақтда иккита сигнални эшиттирса: ғалтак паст частотада катта амплитуда билан қўзғолса ва юқори частотада кичик амплитуда билан қўзғолса, унда аҳвол бир мунча ўзгаради. Амплитудасини бўйича модуляцияланган паст частотали тебранишлар электромеханик алоқа коэффициентини даврий ўзгартиради. Бу эшиттириш спектрида ночизиқли бузилишларга олиб келади. Ночизиқли бузилишларнинг

бошқа бир сабаби, катта тебраниш амплитудаларида каллак силжиш тизимини мустаҳкамлаш эластиклигининг ўзгаришидир. Ночизиқли бузилишларнинг учинчи сабабчиси, диффузор конуси асосининг параметрик тебраниши.

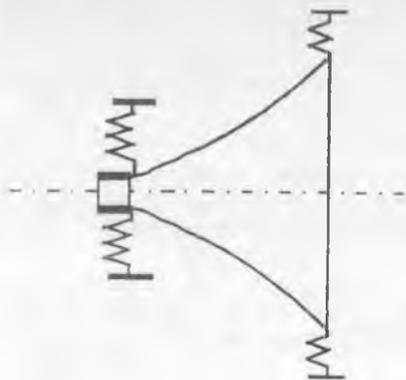
Ғалтақнинг ўнг томонга электродинамик куч F таъсирида силжи — шида диффузор конус асоси сиқилади, натижада у эгилади. Фараз қилайлик ғалтақдаги токнинг биринчи (мусбат) ярим даврида эгилиш ичка — рига бўлди (6.14 — расм, 1 ҳолат).



6.14 — расм. Радиокарнай диффузор ушлагичининг параметрик тебранишлари

Иккинчи ярим даврида эса, кучнинг йўналиши F тескари томонга ўзгара — ди, ғалтақ чап томонга силжийди, натижада, конус асоси чўзилади. Кейинги ярим даврда яна конус асо — сининг сиқилиши кузатилади, аммо эгилиш эи,и ташқи томонга бўлади, чунки чўзилишдан сўнг унинг уртаси инерция бўйича стационар ҳолатидан

ўтиб кетади. Кейинги чўзилишдан сўнг эгилиш яна ички томонга бў — лади ва ҳ.к Шундай қилиб, ғалтақдаги токнинг икки даврида диффузор асосининг битта кўндаланг даврий тебраниши бўлади, яъни тебра — нишлар субгармоникаларда бўлади. Акустик сигнал спектрида частоталари ғалтақдаги ток частотасидан икки марта кичик спектр таркиблари пайдо бўлади. Бу эшиттирилаётган товущда хила эшитила — диган товущчалар пайдо бўлади, тингловчилар уларни титраш сифатида эшитадилар. Асоси букилган диффузорларда бундай бузилишлар бўл — майди ёки бўлса ҳам жуда сусайтирилган бўлади (6.15 — расм).



6.15 — расм. Диффузор ушлагичи букил — ган радиокарнай тизими

6.6. Электродинамик радиокарнайларда частотали бузилишлар

Паст частоталардаги частотали бузилишлар асосан акустик қисқа туташувлар натижасидир. 6.4 расмда f_1 частотагача каллак нурланмас — лиги кўрсатилган. Тескари тўлқин каллакни айланиб ўтиб уни бутунлай сўндиради, чунки уларнинг фазалари бир — бирларига тескари. Акустик қисқа туташувни йўқотиш ёки камайтириш мақсадида, каллакларни махсус ёпиқ яшчик, экран ёки фазаинверторга ўрнатиб акустик жи — ҳозлайдилар.

Аммо, ҳар қандай акустик жиҳозлашда ҳам радиокарнайнинг пастки частота диапазони каллакнинг механик резонанси ω_0 билан чекланган. Пастки частоталарни яхши эшиттириш учун резонанс час — тотаси $\omega_0 = \frac{1}{\sqrt{m c_0}}$ ни пасайтириш керак. Резонанс частотани

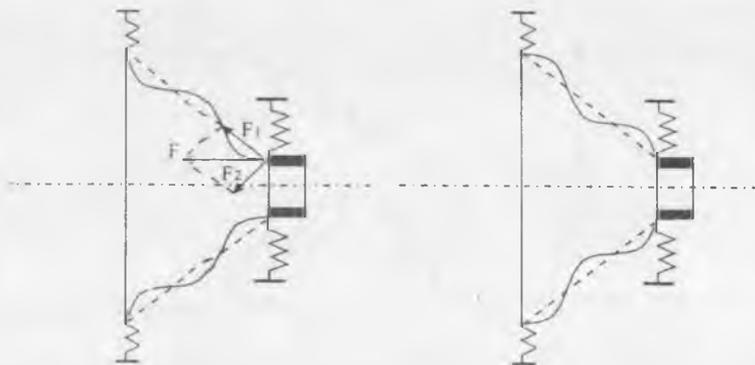
қўзғолувчи тизим массаси m ни ошириш ҳисобига камайтириш самара бермайди, чунки бу усул каллак сезгирлигининг камайишига олиб ке — лади. Шунинг учун резонанс частотани пасайтириш марказлаштирувчи шайба ва диффузорнинг юқори учидан гофрнинг эластиклигини оши — риш билан эришилади. Эластикликни ошириш қўзғолувчи тизимнинг ишаш барқарорлигига боғлиқ. Барқарорликнинг бузилиши натижасида товуш ғалтаги горизонтал силжиб, тирқиш деворларига ишқаланиши мумкин. Бу бузилишларга сабаб бўлади. Кенг полосали каллакларда механик резонанс частотаси 60÷80Гц ни, паст частотали каллакларда эса, 20÷50 Гц ни ташкил этади.

Диффузор қаттиқ поршень каби ишлайди ғояси фақат паст ва қисман ўрта частоталарда ҳақли, юқори частоталарда эса, унинг қаттиқлиги йўқолиб, бир неча нурланувчи зоналарга бўлинганлиги са — бабли, бу ғоя мутлоқ, тўғри келмайди. Агар, электродинамик ғалтакнинг ўқи бўйича берилган F куч 6.16 — расмда кўрсатилганидек иккита:

- F_1 куч диффузор бўйлаб (бўйлама);
- F_2 куч диффузорга тўғри бурчак остида (кундаланг) таркибга ажратилиши мумкин.

Диффузор F_1 кучи остида чўзилади ва сиқилади, натижада диф — фузор ичига ва ташқари томонларга эгилади. Бундай эгилиш натижа — сида ночизиқли бузилишлар ҳосил бўлади. Агар, тебраниш частотаси паст бўлса, унда тўлқин узунлиги диффузордан анча катта. Шунинг учун диффузорнинг барча нуқталари бир хил амплитуда ва фазада тебранади, яъни диффузор бир бутун поршень каби тебранади. Агарда тебраниш частотаси юқори бўлса диффузор юзасидаги нуқталар турли амплитуда ва фазада тебранадилар. Диффузор юзаси тескари фазада доирасимон тебранаётган бир неча зоналарга бўлинади. Бундай частоталарда нурлатаётган акустик қувват тескари фазаларда тебранаётган зоналар юзаси ва сонига боғлиқ бўлади. Шуни айтиш керакки, бир зона нурлатаётган тебранишларни иккинчи зона тебра —

нишлари у ёки бу даражада сундиради. Бу, каллак тавсифнинг юқори частоталарда бир қатор чўққи ва чўкмалар пайдо бўлишига олиб кела — ди.



6.16—расм. Диффузорнинг ҳосил қилувчи чизигида кундаланг тўлқинларнинг пайдо бўлишига оид

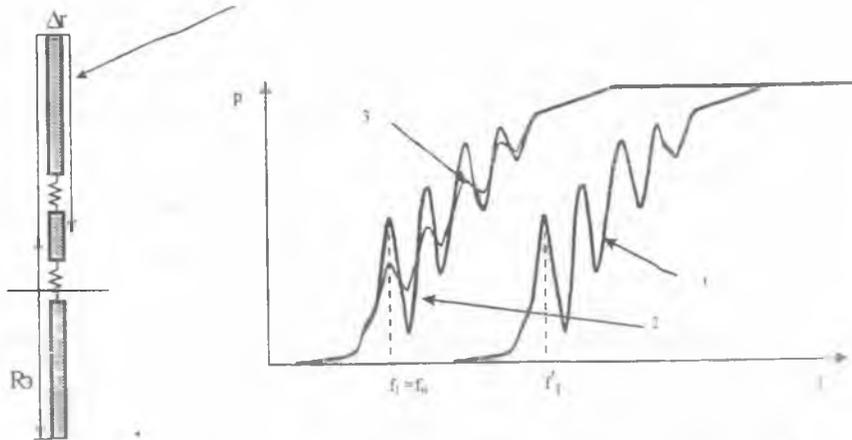
Юқори частоталарда частота бузилишининг яна бир сабаби, каллакнинг кириш қаршилиги $Z_{кир}$ электромеханик резонанс частотада товуш ғалтагининг индуктив қаршилиги ҳисобига ошишидир. Натижада $Z_{кир}$ ошса, каллакни таъминлаётган қувват камаяди, демак қайтариллаётган акустик қувват ҳам камаяди. Шундай қилиб, ўртача улчамдаги электродинamik радиокарнай 500–800 Гц дан то 5000–6000 Гц га бўлган диапазонда ишлай олади, бу частота диапазони юқори сифатли эшиттиришларни таъминлай олмайди.

6.7. Тўғри нурлатувчи радиокарнайларнинг эшиттириш частота диапазони кенгайтириш усуллари

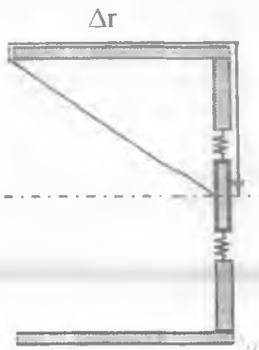
Пастки частоталар области. Юқорида айтиб утилганидек пастки частоталарда бўладиган бузилишларнинг асосий сабаби акустик қисқа туташув. У билан қуралиш мақсадида радиокарнайлар турлича акустик жиҳозланади. Улардан айримларини кўриб чиқамиз.

Акустик экран. Бу турдаги акустик жиҳозлаш маълум улчамдаги тешик—щит бўлиб унга нурлатувчи каллак ўрнатилган (6.17—расм). Бундан экраннинг қўлланилиш ғояси шундаки, унинг ёрдамида тескари тўлқин йўли Δg ни шундай ошириш керакки биринчи тебраниш (f_1 частота, 6.4—расм) ишчи диапазоннинг пастки частотаси f_n да бўлсин. Шунда 6.16—расмда келтирилган частота тавсифи графиги (1 эгри чизик), паст частоталар томон чапга силжиб f_n ва f_1 мос тушади.

6.17 – расм. Нурлатувчи каллак экранга жойлаштирилган



6.18 – расм. Нурлатувчи каллакнинг частота тавсифи: 1 – экрансиз каллак; 2 – каллак симметрик экранда; 3 – каллак носимметрик экранда.



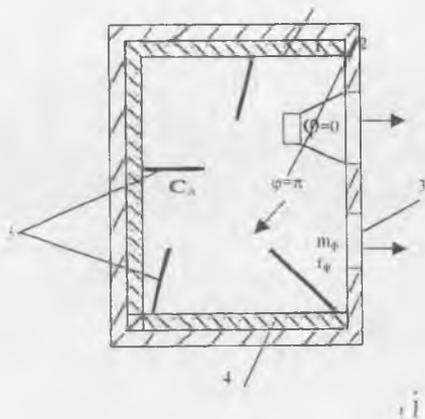
6.19 – расм. Радиокарнай симметрик экранда

Агарда 50 Гц частотани самарали нурлатиш учун думалоқ экран радиуси $R = \lambda/4 = 6,8/4 = 1,7$ м га тенг булиши керак. Табиийки бундай ўлчам ута ноқулай. Шунинг учун кичик ўлчамли экранлар қўлланилади. Экранларнинг ўлчамини кичрайтириш мақсадида унинг орқаси очик қути сифатида бажарилади 6.19 – расм.

Бундай экранларга телевизор ва радиокабулқилгич қутилари киради.

Фазоинвертор. Пастки частоталарда – радиокарнай сезгирлигини фазоинвертор ёрдамида ошириш мўлкин.

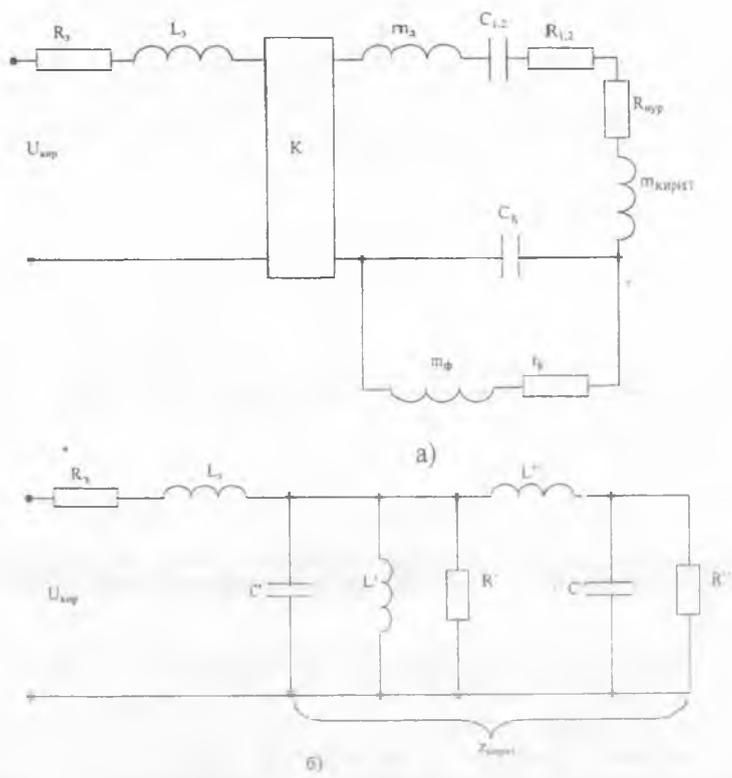
Фазоинвертор 6.19 – расм, махсус ўлчамли қути 1 булиб, унга радиокарнай 2 ўрнатилган, қутининг олд томонида радиокарнай юзасига тенг тешиги 3 бор, нурлатгичнинг орқа томонга нурлатаётган тўлқинлари ташқарига шу тешикдан чиқади. Қутининг хажми ва тешиги параллель уланган қути эгилувчанлиги C_k , массаси m_ϕ ва қаршилик r_ϕ дан иборат резонаторни ташкил этади, 6.20 а – расм.



6.19 – расм. Фазоинвертордаги радиокарнай
 1 – қути; 2 – радиокарнай; 3 – инвертор тирқиши;
 4 – товуш сундирувчи материаллардан ички қоплама;
 5 – тўсиқлар.

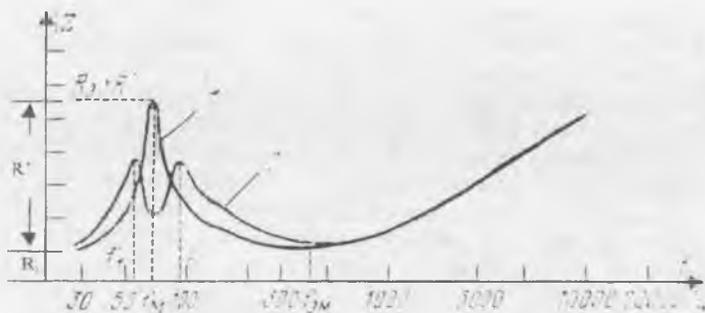
m_f масса ташқи муҳит билан биргаликда тебранаётган қути теши – гадаги ҳаво массасига тенг, r_f актив қаршилик эса, ҳаво массасини қути тешиги деворларига ишқаланишидаги йўқолишни ва нурланиш қаршилигини ўз ичига олади.

Қутининг ички деворлари сундирувчи материаллар билан қопланади. Радиокарнай олд нурланиш фазасини фазоинвертор тирқишидан чиқаётган нурлатиш фазасига мослаш мақсадида қути деворларига махсус тўсиқлар ўрнатилади. Бундай резонатор частотасини ўзгалувчи тизимнинг механик резонанс частотаси ω_n га тенг қилиб танлайдилар. Натижада, иккита, кетма – кет резонансли ($m_{\Delta} - m_{\text{кир}}$); C_{12} ; ($r_{12} - R_{\text{нур}}$) ва параллель C_k , m_f , r_f элементларидан иборат механик резонанс тизимига эга бўламиз (6.20 а – расм).



6.20 – расм. Фазоинвертордаги радиокарнайнинг кириш қаршилиги схемаси
 а) электромеханик ўхшашлик схемаси; б) элетр эквивалент схемаси

6.20 б - расмда радиокарнай электр кириш қисмига келтирилган эквивалент схема берилган. Бу схемани 6.12 б – расм билан солиштирганда қўшимча $L'' = B^2 \ell^2 C_K$; $C' = m_\phi / B^2 \ell^2$ ва $R'' = B^2 \ell^2 / r_\phi$ звенолар пайдо бўлганлигини кўраимиз. 6.21 – расмда фазоинверторсиз ва фазоинвертордаги электродинамик радиокарнайнинг тўла кириш қаршилиги модули частота тавсифлари келтирилган.



6.21 — расм. Радиокарнайнинг тула кириш қаршилиги модулининг частота тавсифи: 1—фазоинверторсиз; 2—фазоинверторда

Радиокарнай фазоинверторга жойлаштирилганда унинг тула кириш қаршилиги модули частота тавсифи икки ўрқачли эгри чизик кўринишида бўлади, яъни радиокарнай механик частота резонансидан пастда f_1 ва ундан юқори f_2 частоталарда иккита максимум чўққи ҳосил бўлади. Шунинг учун радиокарнай кириш қаршилиги механик резонансида чўкма ва ундан паст ва юқори частоталарда эса, иккита максимум (чўққи) бўлади. 6.21 — расмдаги 2 эгри чизик.

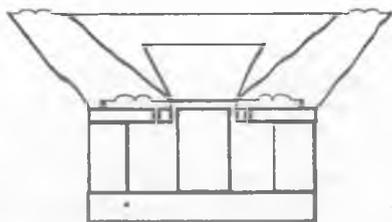
Пастки $f_1 < f_M$ резонанс қўзғолувчи тизимнинг $C_{1,2}$ эгилувчанлиги ва m_0 массаси билан, юқори $f_2 > f_M$ — эса, қўзғолувчи тизимнинг барча массаси m ва қутидаги ҳаво эгилувчанлиги C_K билан аниқланади. Резонанснинг f_1 частотада пайдо бўлиши узатиш диапозони пастки чегарасини бир мунча кенгайтиради. Бундан ташқари, f_2 резонанс частотада қути тешигидаги тебраниш фазаси қути юзасидаги диффузор тебраниши фазаси билан мос бўлади, яъни инвертор фазани 180° буради, диффузорнинг олд ва орқа томонларидаги нурланувчи тўлқин фазалари 180° га фарқланади. Бунинг натижасида диффузорнинг орқа томонга нурланиши олд нурланишига қушилади. Механик частота резонансида инвертор фазани фақат 90° буради, шунинг учун орқа томонга нурланиши олд томон нурланишига озрок қушилади, f_1 частотада эса, умуман қушмайди. Шунинг учун фазоинвертор радиокарнай сезгирлигини механик резонансдан юқори частоталарда оширади.

Диффузорли радиокарнайларнинг йуналганлик диаграммаси у жойлашган экран ёки қути улчамларига боғлиқ бўлган ҳолда нулинчи ёки биринчи тартибдаги поршень нурлатгичлари характеристикалари каби аниқланади.

Диффузорли радиокарнайларнинг фойдали иш коэффициентини механик тизими қаршилиги ҳавонинг акустик қаршилиги билан мос — лашмаганлиги туфайли жуда кичик, $\eta=0,3\pm 0,7\%$ ҳолос.

Радиокарнай сезгирлиги частота характеристикаси нотекислигини камайтириш, фойдали иш коэффициентини оширишнинг бир неча усуллари мавжуд, улардан: икки диффузорли радиокарнай, рупорли конструкция, секцияланган рупор, товуш колонкалари, паст, ўрта ва юқори частота полосали фильтрлардан фойдаланиш, товуш ғалтагини демпферлаш ва бошқа усуллари мавжудки, уларни қўллаш натижасида радиокарнай техник кўрсаткичлари бир мунча яхшиланади.

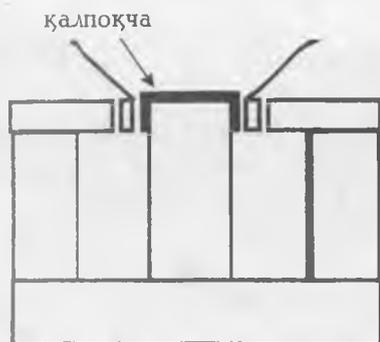
Юқори частоталар области. Икки конусли каллаклар. Юқори частоталарда ишчи частота диапазонини кучайтириш мақсадида иккиконусли каллаклар қўлланилади.



6.22 — расм. Қўшимча диффузорли каллак.

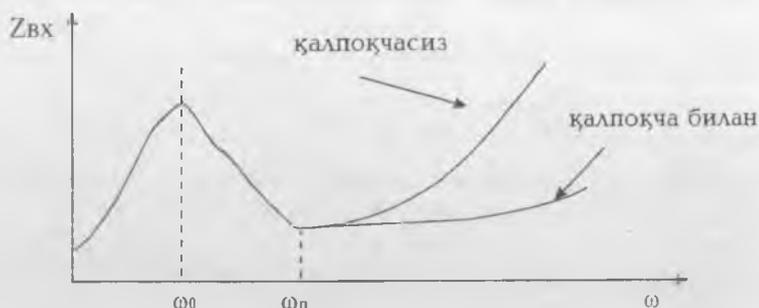
Кичик диффузор махсус ишланиши натижасида қаттиқ. Паст частоталарда иккала конус бир бутундек ишлайди. 600÷1000 Гц лардан бошлаб юқори частоталарда катта диффузор юзаси секин-аста зоналарга бўлиниб кичик амплитудаларда тебрана бошлайди. Энг юқори частоталарда катта диффузорнинг товуш ғалтагига яқин зоналари самарали қўзғола бошлайди ва қўзғолиш секин-аста кичик диффузорга ўтади. Шундай конструкция ҳисобига самарали нурланиш частота диапазонини 12÷15 кГц гача кенгайтириш имкони туғилади.

Товуш ғалтаги индуктив қаршилигини компенсациялаш. Товуш ғалтагининг индуктив қаршилиги ошиши эффектнинг олдини олиш мақсадида, керннинг юқори қисмига мисдан ясалган қалпоқча кийгизилади (6.23—расм). Қисқа туташган қалпоқча товуш ғалтаги билан индуктив боғланган. Қалпоқчада илашган ўзгарувчан ток ҳосил қилган магнит оқими товуш ғалтаги тони ҳосил қилган магнит оқимига қарама-қарши йуналтирилган. Бу товуш ғалтаги индуктивлигини камайишга эквивалентдир. Паст частоталарда ўзаро индукциянинг электр юритувчи кучи кичик, ва қалпоқча ғалтак қаршилигига кеч қандай таъсир кўрсатмайди.



6.23-рasm. Керн учидаги қалпоқча

Частота ошиши билан ўзаро индукция ЭЮК ортади қалпоқча ҳосил қилаётган магнит оқими ҳам ошади. Натижада, товуш ғалтагининг индуктив қаршилиги сезиларли камаяди (6.24-рasm). Компенсацияловчи қалпоқчанинг қўлланилиши товуш босимини 2 кГц дан бошлаб 5÷7 дБ га оширади.



6.24-рasm. Каллакнинг кириш қаршилиги частота тавсифига компенсацияловчи қалпоқчанинг таъсири

6.8. Радиокарнайларда ўтиш жараёнлари

Маълумки электроакустик тизимларнинг асосий техник параметрларига частота тавсифининг нотекислиги, эшиттириш частота диапазоли ва гармоникалар коэффиценти киради. Юқоридаги параметрларга шундай омиллар, қороз массаси, унинг диффузор юзаси бўйлаб бир текис тақсимланиши, ишчи тирқишдаги магнит индукцияси ва б.қ. Кўп тадқиқотлар шуни кўрсатдики, (эшиттириш) жаранглаш сифати яна нурлатувчи тизимларнинг ўтиш жараёнига ҳам боғлиқ.

1. Бир эркин даражали тизимлар.

Бир эркин даражали тизимларнинг тебраниши қуйидаги дифференциал тенглама билан ёзилади:

$$m \frac{d^2 x}{dt^2} + r \frac{dx}{dt} + cx = P \sin \omega t. \quad (6.19)$$

бунда m — тизимнинг массаси, r — ишқаланиш коэффиценти,

c — эластиклик коэффициентлари.

Умумий тенглама қуйида кўринишда бўлади

$$x = Ae^{-\delta t} \sin(\omega_0 t + \varphi) + B \sin(\omega t - \varphi), \quad (6.20)$$

бунда

$$B = \frac{P}{m \sqrt{(\Omega_0^2 - \omega^2)^2 + \frac{\omega^2 r^2}{m^2}}} = \frac{P}{m p}, \quad \Omega_0 = \sqrt{\frac{c}{m}}, \quad (6.21)$$

$$\varphi = \arctg \frac{\omega r}{\Omega_0^2 - \omega^2}, \quad \delta = \frac{r}{2m}; \quad \alpha_0 = \sqrt{\frac{c}{m} - \frac{r^2}{4m^2}} \quad (6.22)$$

A ва φ бошланғич шартга боғлиқ ихтиёрий ўзгармас катталиқ; уларни ҳисоблаш одатда қийин. Агар, тизим аввало тинч ҳолатда бўлиб, унга берилган синусоидал куч $t=0$ вақтда беҳосдан таъсир этаётган бўлса, унда ихтиёрий A ва φ қуйидаги хусусий қийматларга эга бўладилар

$$A = \frac{P_0}{m p^2 \omega_0} \sqrt{4\delta^2 \omega_0^2 + (\Omega_0^2 - \omega^2 - 2\delta^2)^2}, \quad \operatorname{tg} \varphi = \frac{2\delta \omega_0}{2\delta^2 - (\Omega_0^2 - \omega^2)} \quad (6.23)$$

Тизимнинг ўтиш давридаги силжиши иккита тебраниш жараёнининг қўшилиши натижасидир: сўнмайдиган B амплитудали ва бошланғич амплитудаси A га тенг сўнувчи жараён.

Агар, қўзғотувчи частота ω , тизимнинг хусусий частотаси ω_0 га яқин бўлса, унда δ сўниш коэффициентли тепкили сўниш тебраниши ҳосил бўлади.

Экспоненциал қупайтгич қуйидагича бўлади:

$$e^{-\delta t} = e^{-\frac{r}{2m} t} = e^{-\frac{d}{T} t}, \quad (6.24)$$

бунда $d = \frac{\pi r}{\omega_0 m}$ — логарифмик декремент, T — тизимнинг хусусий тебраниш даври. Бундан кўришиб турибдики сўниш тезлиги логарифмик декрементга ёки тебраниш тизимининг сўнишига боғлиқ. Сўниш қанчалик катта бўлса, стационар тебраниш шунчалик тез ўрнатилади. $\frac{T}{d}$ вақт ўтиши билан тикланувчи жараён ўзининг дастлабки қийматидан $e^{-1} = 37\%$ га камаяди.

Тикланувчи жараённинг нисбий ўлчами B амплитудали тебранишни бошланғич A амплитудали тебранишга бўлган нисбати билан аниқланади. Бу ўлчам тизимнинг хусусий частотаси ва қўзғотувчи куч частоталарининг ўзаро нисбатларига боғлиқ.

Агар, тизимнинг хусусий частотаси уни қўзғотувчи куч частотасидан кичик, яъни $\Omega_0 \ll \omega$ бўлса, унда:

$$B = \frac{P}{m\omega} \frac{1}{\omega}; \quad A = \frac{P}{m\omega} \frac{1}{\Omega_0}, \quad \text{т.е. } B \ll A \quad (6.25)$$

Агар, $\Omega_0 \ll \omega$ бўлса, унда $B = \frac{P}{\omega r}$, $A = \frac{P}{\omega r \Omega_0}$; демак кичик тебранишларда $B \approx A$.

Ниҳоят, тизимнинг хусусий айланма частотаси қўзғотувчи куч частотасидан катта, яъни

$$\Omega_0 \gg \omega, \quad \text{унда } B = \frac{P}{m\Omega_0^2} \quad \text{ва } A = \frac{P}{m\omega_0^2} \frac{\omega}{\Omega_0}, \quad \text{яъни } B \gg A. \quad (6.26)$$

Келтирилган таҳлиллардан шу нарса кўриниб турибдики, қўзғотувчи куч частотаси қўзғолувчи тизимнинг шахсий частотасига нисбатан қанчалик катта бўлса, тебранишларнинг тикланиш жараёни шунчалик кўп бузилишларни келтириб чиқаради. Умумий интеграл қўзғотувчи куч тутагандан сўнг тикланиш мувозанатини олиш учун ҳам имкон беради. Агар, сарфланадиган куч унинг қиймати нолга тенг бўлганда таъсир этиши тугаса, унда барқарорлик ўрнатилиши қуйидаги тенглама билан ифодаланиши мумкин: $x = Ae^{i\Omega t} \sin(\omega t + \psi)$.

2. Бирнеча эркин даражали тизимлар.

Даражаси икки эркин тизимдаги тикланиш жараёнининг ҳисоблаш учун бошланғич шартлардан ижтиёрий ўзгармасларни аниқлашга тўғри келади; аммо бу ҳисоблар шундай каттаки, уларни амалда бажариб бўлмайди. Бундай ҳолларда қатъий ечимларни олиш учун нодаврий қўйилган кучни, нодаврий функция каби чексиз синусоидал танланган амплитудали тебранишларнинг суперпозиция услуби асосида қатъий ечими алоҳида хусусий ечимлар йиғиндисидан натижасида олинади:

$$k = K \left[\frac{1}{2} + \frac{1}{\pi} \int_{-\infty}^{\infty} \frac{\sin \omega t}{\omega} d\omega \right] \quad (6.27)$$

қавс ичидаги ифодалар қуйидаги қийматларга эга бўлади $t=0$ бўлганда

$t < 0$; $t = \frac{1}{2}$ бўлганда $t > 0$ 1

(6.17) формулани қуйидаги комплекс кўринишида келтириш мумкин:

$$k = \frac{K}{2\pi j} \int_{-\infty}^{\infty} \frac{e^{j\omega t}}{\omega} d\omega \quad (6.28)$$

Динамик радиокарнайнинг частотаси яқинидаги қўзғоландиган тизимнинг силжиш амплитудаси қуйидагича ифодаланади:

$$\xi = \frac{Fm}{m\sqrt{(\omega_0^2 - \omega^2)^2 + 4\delta^2\omega^2}} \left\{ \sin(\omega t + \varphi) - e^{-\delta t} \left[\sin\varphi \cos\omega_r t + \left(\frac{\delta \sin\varphi + \omega \cos\varphi}{\omega_r} \right) \sin\omega_r t \right] \right\} \quad (6.29)$$

Формуладан кўриниб турибдики, биринчи қўшилмаси мажбурий теб — ранишлар, иккинчиси эса, сўниш доимийси δ га тенг эркин тебра — нишлардир.

Гуруҳли нурлатгичларда ўтиш жараёни бир қатор афзал — ликларга эга, уларда кузатув нуқтасидаги товуш босими турли нурлатгичлардан келаётган товуш тўлқинларининг суперпозицияси билан боғлиқ.

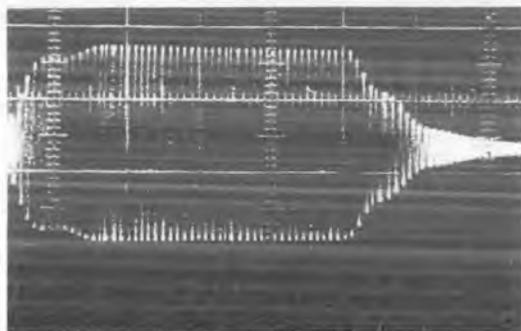
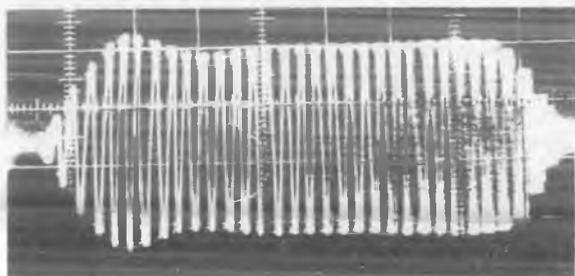
Кузатув нуқтасидаги товуш босими амплитудаси

$$P_m = P_{m \text{ стац}} + P_{m \text{ ўтиш}} \quad (6.30)$$

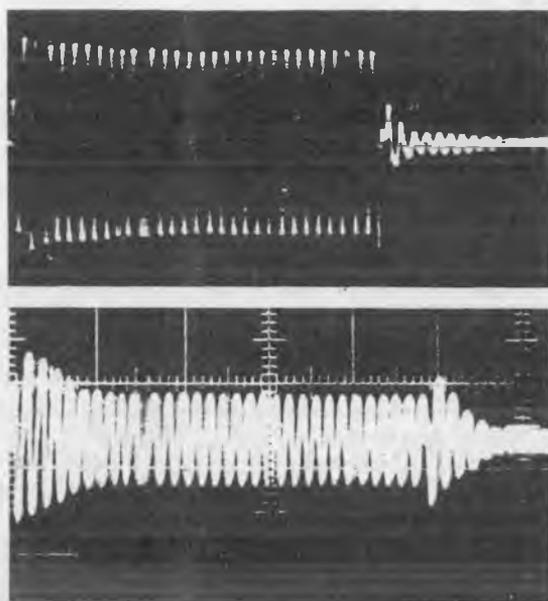
Гуруҳли нурлатгичларнинг алоҳида радиокарнайлари доимо бир — бирдан фарқланади. Шунинг учун ўтиш жараёни давомийлиги турлича бўлиб, алоҳида радиокарнайларнинг тавсифларига ва қўзғотувчи куч чатотасига боғлиқ бўлади.

Радиокарнайларнинг ўтиш жараёнлари Москва электротехника алоқа институтининг товуш сўндирувчи камерада Корринтон усули билан текширилди. Ўтиш жараёнини баҳолаш омили сифатида ампли — туданинг стационар қийматидан 10% дан кўп бўлмаган тикланиш вақти олинди. Ўтиш жараёни 10 дан ортқ турли радиокарнайларда текши — рилди.

Радиокарнайларнинг ўтиш жараёнлари асосан частота тавсифла — рининг экстремал частоталарида ўлчанади.



а)



б)

6.25—расм. 4 ГД-4 радиокарнайининг турли частоталардаги ўтиш жараёни осциллограммалари

Биринчи ҳолатда (6.25, а—расм) қўзғолувчи тебраниш частотаси нурланувчи тизимнинг бир шахсий частотасига мос келади; радиокарнайини улагандаги ва ўчиргандаги тикланиш вақти нисбатан катта. Тебраниш амплитудасининг бир хил — монофоник ўзгариши кузатилади. Иккинчи ҳолда (6.25, б—расм) тебранишлар интерференция натижасида кескин сусайган частоталарда уйғонади. Радиокарнайининг сезирлиги хусусий частоталарда катта бўлганлиги сабабли, ўтиш жараёнларида товуш босими стационар режимдагидан анча юқори бўлади. Товуш колонкаларини текшириш шуни кўрсатдики, улар нисбатан кам ўтиш жараёнларига эга.

Амалий тажрибалар ва 700 дан зиёд осциллограммаларни қайта шлаш натижасида шундай хулоса қилиш мумкин:

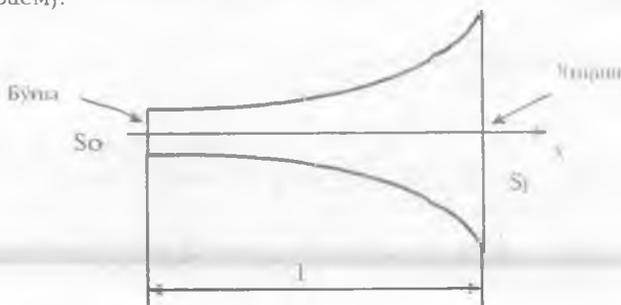
1. Паст частоталардаги ўтиш жараёнлари электр ҳам механик демпферлаш натижасида камаяди.
2. Электр демпферлаш амалда диафрагманинг шахсий тебранишига ва тизим элементларининг иланишига таъсир этмайди.
3. Радиокарнайининг частота тавсифининг чуқма областидаги ўтиш жараёнлари кўп ҳолларда шахсий резонанс тебранишлари чуқманинг чуқурлигигагина боғлиқ бўлмасдан унга яқин чуққилари билан ҳам аниқланади.

- Ностационар жараёнлар кўпроқ частота тавсифининг чўкмаларида кузатилади, яъни шахсий тебраниш амплитудалари стационар режимдаги мажбурий тебраниш амплитудаларидан катта бўлади.
- Бир вақтнинг ўзида бир неча шахсий тебранишлар уйғонганда тикланиш жараёни осцилляцияланган характерга эга бўлади.

6.9. Рупорли радиокарнайлар

Рупорнинг хусусияти ва белгиланиши. Тўғридан — тўғри нурлатувчи каллақларнинг асосий камчилиги уларнинг фойдали иш коэффициентининг кичиклигидир, у 1+2 % ташкил этади. Бунинг сабаби каллақ силжувчи тизими механик қаршилигининг юклама қаршилиги билан мослашмаганлигида. Тўғридан — тўғри нурлатувчи каллақлар кичик зал ёки халаларда ишлаганда унинг кичик ФИК сезилмайди, аммо катта залларни, майдонларни овозлаштирганда катта қувватли радиокарнайлар талаб этилади. Бундай вазиятда катта ФИК га эга бўлган радиокарнайлар зарур. Буларга рупорли радиокарнайлар мос келади. Рупор каллақнинг механик қаршилигини атроф муҳит қаршилиги билан мослаштирадиган қурилма.

Рупор деб ўзгарувчан қаттиқ кесимли трубага айтилади (6.26 — расм).



6.26 — расм. Экспоненциал рупор: S_0 — рупор бўғзи юзаси; S_1 — рупорнинг чиқиш юзаси; l — рупор узунлиги.

Турли кўндаланг кесим қонуни бўйича ўзгарадиган рупорлар қўлланилади. Энг кўп тарқалгани экспоненциал рупорлардир, уларнинг кўндаланг кесими экспоненциал қонун бўйича ўзгаради

$$S = S_0 e^{\beta x} \quad (6.31)$$

$\beta = \frac{1}{S} \frac{dS}{dx}$ — узунлик ўлчамига эга бўлиб рупорнинг кенгайиш кўрсаткичи деб аталади.

Экспоненциал рупорда тўлқин тарқалиши фаза тезлиги V_{cp} частота қуйидагича боғлиқ:

$$V_0 = \frac{C}{\sqrt{1 - \left(\frac{\beta C}{2\omega}\right)^2}} = \frac{C}{\sqrt{1 - \left(\frac{\omega_{кр}}{\omega}\right)^2}} \quad (6.32)$$

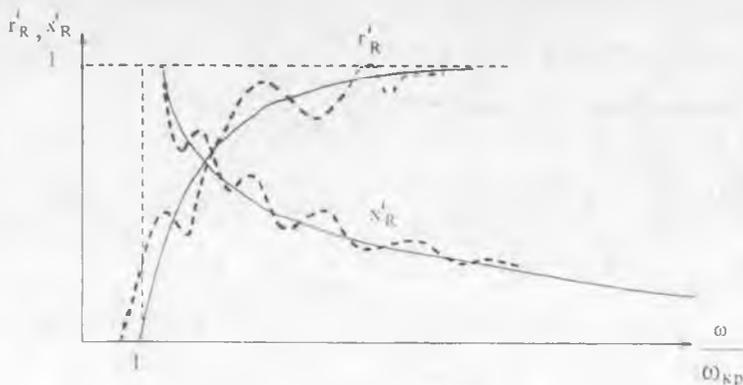
бунда $\omega_{кр} = \frac{\beta C}{2}$ — рупорнинг критик частотаси; C — товуш тезлиги.

Рупорда тўлқин жараёни $\omega_{кр}$ критик частоталардан юқори жойлашган частоталардагина бўлиши мумкин, чунки $\omega = \omega_{кр}$ бўлганда фаза тезлиги чексиз бўлади, $\omega < \omega_{кр}$ бўлган мавҳумдир. Бу рупорда тўлқин жараёни бўлмаслигини англатади, чунки муҳит заррачалари фазали тебранишда бўладилар. Аслида рупордаги ҳаво бир бутундек тебранади. Рупор бу частоталарда атроф—муҳитга энергия тарқатмайди, аксинча уни механик тизимга қайтаради. Частота ошиши билан ($\omega > \omega_{кр}$) фаза тезлиги камаяборади ва чексиз муҳитдаги товуш тезлигига яқинлашади. Бу ҳолда, тўлқин жараёни бўлиш эҳтимоли бўлади.

Рупорнинг кириш қаршилиги қуйидагича аниқланади

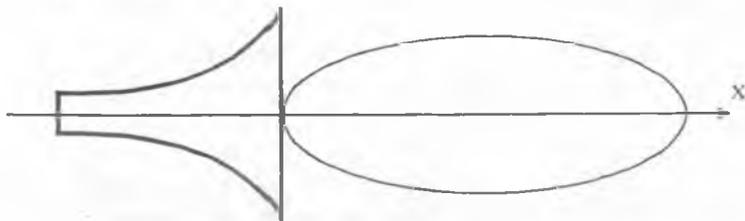
$$z = r + jX = \rho c S_0 \left(r_R + jX_R \right) = \rho c S_0 \left(\sqrt{1 - \left(\frac{\omega_{кр}}{\omega}\right)^2} + j \frac{\omega_{кр}}{\omega} \right) \quad (6.23)$$

Чексиз узунликдаги рупор кириш қаршилиги таркибларининг частота тавсифи 6.27—расмда келтирилган.



6.27 — расм. Чексиз узун ва чекланган узунликдаги (пунктир) рупор кириш қаршилигининг актив ва реактив таркиби частота тавсифлари

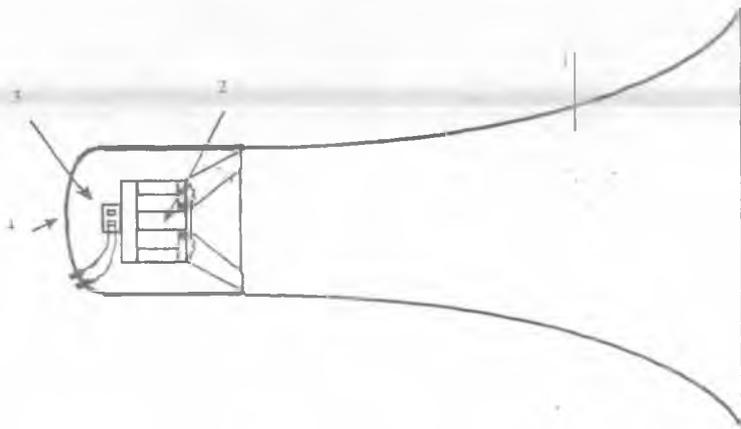
Расмдан кўриниб турибдики, кириш қаршилигининг актив қисми реактив қисмидан $\sqrt{2}\omega_{кр}$ частотадан бошлаб оша боради ва рупор каллакни самарали юклайди, натижада, нурланиш ҳам самарали бўлади. Рупорнинг ажойиб хусусиятларидан бири шундаки, у ўз нурланишини ўқи бўйича концентрациялаши мумкин. Доира шаклидаги кесимли рупорнинг йўналганлик диаграммаси 6.28 – расмда кўрсатилган



6.28 – расм. Думалоқ кесимли рупорнинг йўналганлик диаграммаси

Рупорнинг қўлланилиши унинг ФИК ни кескин оширади, 5÷7 % гача етади. Рупорли радиокарнайлар икки турга бўлинади: кенг бўғизли ва тор бўғизли.

Кенг бўғизли рупорли радиокарнайлар. Бу турдаги конструкцияларда нурлатгич сифатида оддий электродинамик радиокарнайлар қўлланилади. Кириш юзаси каллак конуси юзасига тенг бўлганлиги учун уни кенг бўғизли деб атайдилар.



6.29 — расм. Кенг бўғизли рупорли радиокарнай: 1 – рупор; 2 – электродинамик каллак; 3 – мословчи трансформатор; 4 – қалпоқча.

Акустик қисқа тугашувни йўқотиш мақсадида рупорнинг орқа томони қалпоқча билан беркитилган. Ундан ташқари у каллакни механик ва атмосфера таъсиридан сақлайди. Мословчи трансформатор каллакча берилиши керак бўлган 5÷7 вольтни таъминлаб беради. Бундай радио – карнайларнинг ФИК 7÷10 % ни ташкил этади. Унинг частота тавсифи каллак частота тавсифи билан белгиланади. Самарали ишлаш частота диапазони 150÷7000 Гц.

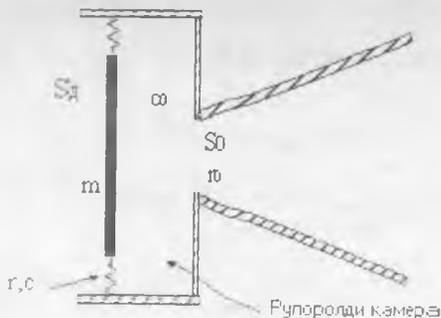
Тор бўғизли рупорли радиокарнайлар. Бундай турдаги конструкцияларда нурлатгич сифатида диафрагмасы қаттиқ ва юзаси S_d рупор кириш юзасида S_0 анчагина катта бўлган каллак қўлланилади. Диафрагма ва рупор оралиғида рупоролди камера мавжуд ва у акустик трансформатор ролини ўйнайди. Рупорнинг тула кириш қаршилиги $Z_0 = \rho \cdot S_0 = r_0$ га тенг. Ишлаш частота диапазонида Z_0 актив ва r_0 га тенг.

Рупоролди камеранинг трансформация коэффиценти: $n = \frac{S_d}{S_0} > 1$

Рупорнинг трансформатор орқали ҳисобланган кириш қаршилиги.

$$r_0^* = r_0 n^2 = \rho c S_0 \left(\frac{S_d}{S_0} \right)^2 = \rho c \frac{S_d^2}{S_0} \quad (6.34)$$

Тор бўғизли рупорли радиокарнайларнинг ФИК 15÷20% ташкил этади 6.30 – расмда тор бўғизли рупорли радиокарнай конструкция – сининг кесими кўрсатилган.



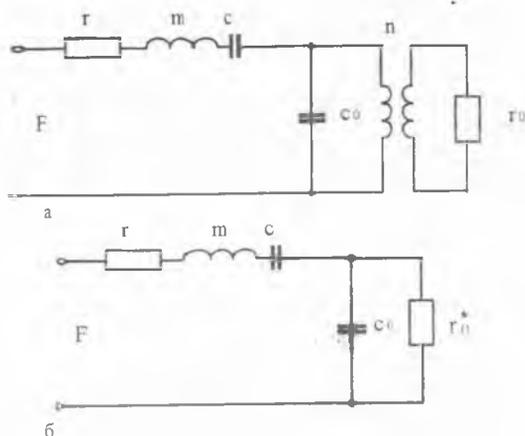
6.30 – расм. Тор бўғизли рупорли радиокарнай конструкциясининг кесими:

S_d – нурлатувчи диафрагма юзаси;
 S_0 – рупор бўғизи юзаси; c_0 – рупоролди камерадаги ҳавонинг эластиклиги.

r_0 – рупорнинг кириш қаршилиги.

m – диафрагма массаси; r – йўқолиш қаршилиги; c – бириктириш эластиклиги

6.31 – расмда каллакнинг силжиш тизими ва рупоролди камера – ларнинг электр эквивалент схемалари берилган.



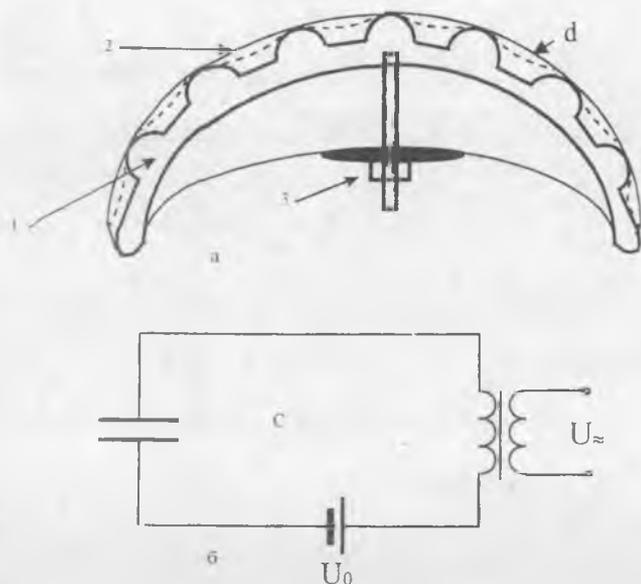
6.31 — расм. Тор бугизли рупорли радиокарнайнинг электр эквивалент схемаси: а — акустик трансформатор билан; б — трансформаторнинг бирламчи ўрамига кириш қаршилигини ўтказгандаги схемаси.

6.31 — расмдан кўриниб турибдики, камерадаги ҳаво C_0 рупорнинг кириш қаршилигини шунтлайди. Натижада, бу частота тавсифининг юқори частота сида пасайишига сабабчи бўлади. Иккинчи сабаби рупорда камерасидаги интерференциядир.

6.10. Конденсаторли радиокарнайлар

Конденсаторли радиокарнайлар электростатик ўзгартиргич дивидател турига киради. 6.32 — расмда шундай радиокарнайнинг конструкцияси ва уланиш схемаси кўрсатилган. Унинг ишлаш принципи шундай. Қиррали металл ярим цилиндр 1 узун металл планка ва винт гайка 3 ёрдамида металл билан қопланган юпқа полимер 2 бириктирилган.

Агар, металл фольга қўлланилса унинг ички томони диэлектрик билан қопланади. Ярим цилиндр ва металл қопланган полимер конденсаторнинг электродлари бўлиб, унга поляризацияловчи U_0 кучланиш уланса электродларни тортувчи электростатик куч пайдо бўлади. Агар, конденсаторга қўшимча ўзгарувчан U_2 кучланиш берилса, йиғинди электростатик куч U_0 ва U_2 кучланишлар ишорасига мос ҳолда ўзгаради. Натижада, плёнканинг тебраниш амплитудаси ҳам шунга мос ҳолда ўзгаради.



6.32 – расм. Конденсаторли радиокарнайнинг конструкцияси (а) ва унинг электр занжирга уланиш схемаси (б)

Конденсаторли радиокарнайлар асосан юқори частоталарда 5÷7 кГц дан то 20 кГц гача самарали ишлайди. Частота тавсифининг ноте – кислиги 3дБ атрофида. Кичик мембрана утиш тавсифини яхши таъминлайди. Конденсаторли радиокарнайларда бурама ток ва магнит ристерезисига йўқолишлар йўқ.

Камчилиги: паст частоталарни самарали нурлатмайди ва алоҳида таъминот манбаи зарур.

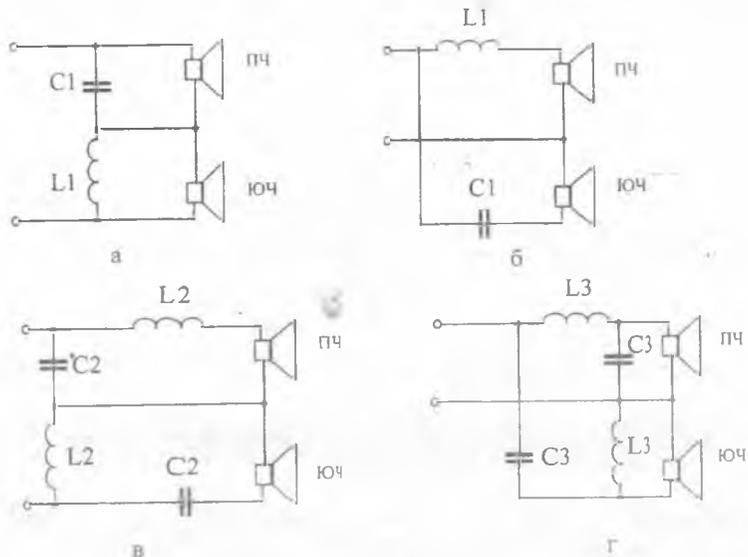
6.11. Акустик тизимлар

Олдинги бўлимларда радиокарнайларга нисбатан бир – бирига қарама – қарши талаблар қўйилган эди. Паст частоталарни самарали эшиттириш учун катта юзага эга бўлган поршень зарур, юқори частотани самарали эшиттириш учун эса, кичик поршень зарур. Бу масала – нинг ечими эшиттириш частота диапазонини бир неча полосаларга бўляшдир. Ҳар бир полоса алоҳида каллақда эшиттирилади. Каллақлар конструктив акустик агрегатларга бириктирилади ва улар акустик тизимлар деб аталади. Ҳозирги вақтда икки ва уч полосали акустик тизимлар мавжуд. Икки полосали тизимлар учун 300÷500 Гц ёки 2000÷4000 Гц ми полосалар танланади. Уч полосали акустик тизимлар учун эса, 400÷4000 Гц чегараларида танланади. Бунда битта – иккита

паст частотали, битта ёки иккита ўрта частотали ва битта-иккита юқори частотали радиокарнайлар қўлланилади.

Полосаларни бўлиш учун электр филътрлари ёки кроссоверлар қўлланилади.

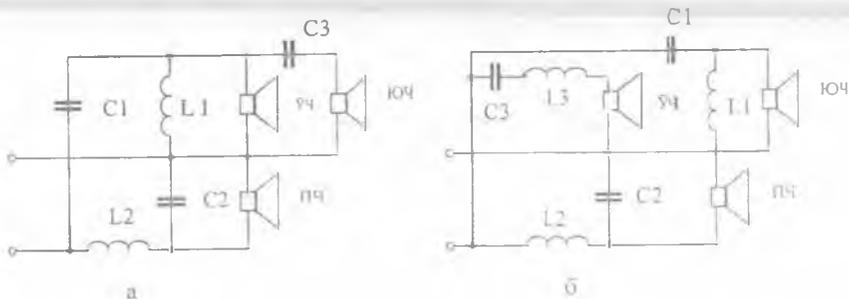
6.33 – расмда икки полосали ва 6.34 – расмда уч полосали тизим схемалари келтирилган



6.33 – расм. Икки полосали тизим бўлувчи филътрларининг схемалари:

а, в – каллактар кетма – кет уланган;

б, г – параллель уланган.



6.34 – расм. Уч полосали тизим полоса филътрларининг схемалари

Назорат саволлари

1. Радиокарнайларнинг асосий техник тавсифларини санаб утинг.
2. Қандай нурлатгичларни биласиз?
3. Чизиқли гуруҳ нурлатгичларининг ишлаш принципини тушунтиринг.
4. Тўғридан – тўғри нурлатувчи электродинамик радиокарнайнинг ишлаш принципини тушунтиринг.
5. Электродинамик радиокарнайнинг электр – эквивалент схема – сини келтиринг.
6. Радиокарнайларда ночизиқли бузилиш сабаблари ва уларни бартараф этиш йўллари тушунтиринг.
7. Радиоканайларда частотали бузилишларнинг сабаблари ва уларни камайтириш усуллари тушунтиринг.
8. Фазоинверторнинг ишлаш принципини тушунтиринг.
9. Радиокарнайнинг частота диапазонини қандай қилиб кенгайтириш мумкин?
10. Тор ва кенг бугизли рупорли радиокарнайнинг ишлаш принци – пини тушунтиринг.
11. Конденсаторли радиокарнайнинг ишлаш принципини тушунтиринг.

7 боб. Архитектура акустикасининг асослари

7.1. Архитектура акустикасининг қисқача ривожланиш тарихи

Архитектура — қурилиш акустикасининг бошланиши қадим — қадимларга етиб боради. У вақтларда акустик масалалар аввал улкан шахсга оид, кейинчалик эса, бошқа жамоат иншоатлари — тамошо ва мажлислар залларини қуриш масалаларини ечишга қаратилар эди.

Ассири, Вавилон, Қадимий Миср бунёдкорлари V—II я.э. аввалги: минг йилликда ажойиб санъат кўринишдаги жонли архитектурага эга бўлган ибодатхоналарни қурган эдилар. Улкан қурилиш конструкциялари, скульптура ва тасвирий санъат ҳамма — ҳаммаси ибодат қилувчиларни ажаблантириш, ҳайратга солиш учун қаратилар эди. Бундай мақсадга эришар эдилар ҳам. Уша замонларда бунёдкорларга товуш тўқинларининг тарқалиш ва қайтарилиш қонунлари маълум бўлган. Улар шу қонунлардан оқилона фойдаланиб ибодат қилувчиларни ҳайратда қолдирар эдилар.

Худди шундай ҳиссиёт қадимий юнонлар (я.э. аввалги IV—VII аср) санъатида ҳам бошқачароқ тусда сезилар эди. Қадимий Юнон ибодатхоналари ва бошқа ижтимоий иншоотларга, ундаги қисмлари ўлчамларининг мутаносиблиги хосдир, улар юқори акустик хусусиятларини белгилайди. Кейинчалик қадимий грекларнинг қурилишда ақл — идрокка асосланган акустик ечимлари купгина мамлакат олимлари томонидан ўз тасдиғини топди. Қадимий Грециянинг тамошо иншоотлари икки турга бўлинар эди: одейоналар ва театрлар. Биринчиси кичик ёпиқ бинолар бўлиб репетициялар ва кичик сонли ижрочилар ва тамошобинларга мўлжалланган бўлса, иккинчиси очиқ турдаги тамошо иншоотлари бўлиб, тош ўриндиқлари тепалик этакларига жойлаштирилар эди.

Греция архитекторларнинг анаъналарини Рим қурувчилари давом эттирадилар. Рим иншоотлари грек иншоотларидек тепаликларга қурилмаседа, жуда кўп ўхшашлиғи бор эди. Ана шундай иншоотлардан бири я.э. аввал 80—90 йилларда қурилган 56 минг тамошобинга мўлжалланган Флавия — Колизей амфитеатридир. Бундай катта иншоотларда ижрочиларнинг говушини кўп минг кишилик тамошобинларга табиийлиғича етказиш ҳалигача шу замон кишиларини ҳайратга солади. Грециядаги 17800 ўринли Помпей театри, Римда 20000 ўринли Марцелла театрлари шулар жумласидандир. Рим шоири, философи ва олими Кар Лукреций (я.э. аввал 99—55 йй) «Табиат буюмлари ҳақида» деб аталувчи илмий асариде уша даврдаги акустикага оид, шу жумладан хона акустикасига оид фикр — мулоҳазаларини билдирган эди. Кейинчалик Витрувий «Архитектура ҳақида» китобида антиқа архитекторларнинг тажрибасини умумлаштириб, қатор қонун — қоидаларни таърифлаб бердики, улар ҳали ҳам замонавий иншоотларда катта муваффақият билан қўлланилади. Хоналардаги акустик ҳодисалар ўзининг ажойиб тадбиқларини топди. Бизгача қадимий Рим ва Хитойдаги «шивирловчи галереялар» етиб келди.

Париж Пантеони ертўласидаги оҳиста қарсақ кўпдан — кўп қайтаришлар натижасида момақалдиروقдек садо пайдо қилади.

Дармштадаги черковда акс садо баландлиги 47 м бўлган қуббадан товушнинг қайтиши натижасида пайдо бўлади.

Глочестердаги (Англия) ибодатхонада оҳиста сўзлашув 25 м масофагача эшитилади. Бундай мисолларни кўпдан — кўп келтириш мумкин. Яна бир мисол, айтишларича Сиракуза (Сицилия) тошқонларидаги (7.1 расм) бир галереяга асирлар жойлаштирилар эди, юқорида эса улар нималар ҳақида гапирганларини эшитар. шундай қилиб уларнинг сирларини билиб олар эдилар. Шу сабабли бу галереяни «Дионис қулоғи» номи билан атаганлар. «Дионис қулоғи»ни биринчи бўлиб В.Сэбин текширган.



7.1-расм. «Дионис қулоғи» галереяси

Эйлер, Лагранж, Фурье, Стокс, Юнг, Гельмгольцлар акустикани фан сифатида юзага келтирадилар. XIX асрнинг охири XX асрнинг бошларида В.Сэбин тажрибалар ўтказиб биринчи бўлиб хонанинг геометрик параметрлари, унинг акустик тавсифларига боғлиқлигини аниқлади ва шундай қилиб архитектура акустикаси назариясига асос солди.

Кейинчалик Эйринг, Хант, Беранек, Ма Да — ю, Кнудсон, Майер, Ватсонлар хоналар акустикаси назариясига сезиларли хисса қўшдилар. Собиқ иттифоқ олимлари И.И.Андреев, И.Г.Дрейзен, А.Н.Качерович, С.Я.Лифшиц, А.В.Рабинович, С.Н.Ржевкин, М.А.Сапожков, В.В.Фурдуевлар шу соҳадаги назарий ва амалий билимларни янада чуқурлаштириб, янги гоьлар билан бойитдилар.

Хона акустикасини ўрганиш ва текширишда Сэбин асосан товуш энергиясининг тарқалиши, тўсиқлардан қайтиши масалаларига, яъни товуш нурунинг геометрик хусусиятларини ўрганди. Товуш тарқалишининг геометрик назарияси энг қадимий назариядир.

Геометрик назария И.Г.Дрейзен, А.Н.Качерович, Л.Контюри, С.Я.Лифшиц ишларида яна ри вожлантирилди.

Сэбин хонада товуш манбаи ўчирилгандан сўнг тўлқинларнинг тўсиқлардан кўп марта қайтиши ва уларнинг энергияси ютилишига асосланган статистик назария гоьсини илгари сурди. Алмо Сэбиннинг гоьси катта амалий аҳамиятга эга бўлиши билан бирга қаттиқ танқидга учради. 1929 йили Шустер ва Ветцман статистик назарияни тан олмадилар, уларнинг фикрича товуш манбаи ўчирилгандан сўнг сўниш мажбурий тебранишлар натижаси бўлмай, балки товуш манбаи уйротган шахсий резонанс тебранишлари натижасидир, у хонанинг шакли ва ўлчамларига боғлиқ. Бундай назария тўлқин назарияси деб аталиб Морзе, Болт, Дрейзен, Фурдуев ва бошқалар томонидан ривожлантирилди.

7.2. Хона акустикасининг статистик назарияси

Катта хоналар акустикасининг яхши эшитиш шароити билан боғлиқ бўлган муаммолари аъзал-аъзадан маълум бўлган. Хонада нутқ янграганда унинг ҳар бир бўғини қисқа импульс сифатида тингловчига фақат тўғри чизиқ билангина эмас, балки девор, хона поли ва шипидан кўп маротаба синиб қайтарилиб етади. Товуш импульсининг ҳар бир қайтарилишида товуш энергиясининг бир қисми ютилади, натижада тингловчи секин-аста сўнаётган импульсларни эшитади. Агарда товуш сўниши катта бўлмаса, унда сўниш жуда секинлик билан давом этади. Бундай ҳолларда хона ўта жарангдор бўлиб, унда нутқ аниқлиги йўқолади. Айтилган мулоҳазалар мусиқага ҳам тааллуқли.

Ҳақиқатан ҳам хонада сўниш катта бўлганда мусиқа қуриқ янграб ўзининг эстетик хусусияти ва таъсирини йўқотади. Бу мулоҳазалардан шу нарса келиб чиқадики, хонанинг сифатини аниқлайдиган амал қайтган товушнинг давомийлиги, ёки **реверберация** давомийлигидир. «Ревеберация» иборасини илк бор Сэбин таклиф қилиб киритган, у «қайтиш», «қайтган садо», «кечиккан товушлар жаранглаши» маъносини билдиради.

Ревеберациянинг статистик назариясига мувофиқ қилганда қуйидаги тушунча ва катталиклардан фойдаланилади:

- эркин ўтиш йўлининг ўртача узунлиги;
- йўлни эркин ўтишнинг ўртача вақти;
- ўртача ютилиш коэффициенти;
- реверберация вақти;
- биринчи қайтишларнинг кечикиш вақти;
- аниқлик ва равшанлик;
- акустик нисбат;
- жарангдорлик радиуси.

Диффузия майдони - бу, қайтган товушнинг энергияси тўғри товуш энергиясидан катта бўлган майдон. Қайтарилган товуш тўлқинлари хонада турли йўналишда тарқалади. Агарда қайтган товуш тез сўнмаса, унда хонанинг исталган нуқтасидаги бир-бирига тушадиган тўлқин векторлари сони кўп бўлиши мумкин. Бу ҳолда турли йўналишдаги товуш оқими энергиясининг ўртача қиймати бир-биридан кам фарк қилади. Турли йўналишдаги товуш энергияси ўртача қийматининг тенглиги — **майдон изотропияси** деб аталади. Майдон изотропияси товуш энергиясини хонанинг ҳажми бўйича текис тақсимланишига олиб келади, яъни хонанинг турли нуқталарида товуш энергияси зичлиги ўртача қийматининг тенглигига олиб келади. Бу хусусият **майдон бир жинслилиги** деб аталади. Шундай қилиб **диффузия майдони** — бу турли йўналишларда кўп марта қайтиб ҳаракатланаётган **бир жинсли ва изотропия тўлқинлари** майдони.

Тўлқинларнинг ўртача эркин босиб ўтиш йўли ва вақти. Хонадаги товуш майдонини статистик текширишлар аввал тўсиқлардан қайтаётган

тўлқинларнинг ўртача қийматини ва ўртача вақтини аниқлашни тақазо этади:

$$\tau = \frac{4V}{cS} \quad (7.1)$$

Бир вақтда тўлқин қайтарилиши сони:

$$n = \frac{1}{\tau} = \frac{cS}{4V}, \quad (7.2)$$

Товуш тўлқинининг ўртача эркин босиб ўтган йўли:

$$l_{\text{эр}} = c\tau = \frac{4V}{S} \quad (7.3)$$

Товуш энергиясининг сўниш ва ўртача сўниш коэффициентини. Товуш тўлқини юзага тушиб қисман ундан қайтади, қисман юзадаги материалда ютилиб иссиқлик энергиясига айланади. Товуш тўлқинининг синиши ва қайтиши акустиканинг геометрик қонунига бўйсунди. Хонада қайтарилишдан сўнг қолган товуш тўлқини, қайтарилиш коэффициенти β , товуш ютилиш коэффициенти α ва товуш ўтказиш коэффициенти γ лардан иборат:

$$\alpha = \frac{E_{\text{ютил.}}}{E_{\text{туш}}}, \quad \beta = \frac{E_{\text{кайт.}}}{E_{\text{туш}}}, \quad \gamma = \frac{E_{\text{ўтган}}}{E_{\text{туш}}} \quad (7.4)$$

Бунда $E_{\text{туш}}$ — юзага тушган товуш энергияси; $E_{\text{кайт}}$ — юзадан қайтган товуш энергияси; $E_{\text{ўтган}}$ — юзадан тўғри ўтган товуш энергияси. α , β , γ коэффициентларнинг қийматлари материалга, юзанинг конструктив тушилиши ва товуш тўлқинининг юзага тушиш бурчагига боғлиқ. Товуш ютиш коэффициентининг ўртача қиймати:

$$\alpha_{\text{ўрт}} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \alpha_i(\varphi_i), \quad (7.5)$$

$\alpha_i(\varphi_i)$ — товуш тўлқинининг φ_i бурчак остидаги товуш ютиш коэффициенти. Хонанинг деворлари турли хилдаги сўндирувчи материаллар билан қопланганлиги сабабли, уларнинг умумий товуш ютиш фонди қуйидагича ифодаланadi.

$$A_0 = \alpha_1 S_1 + \alpha_2 S_2 + \dots + \alpha_n S_n = \sum_{i=1}^n \alpha_i S_i \quad (7.6)$$

Қўшимча фондга ижрочилар, типгловчилар ва улар эгаллаган юза, ҳисобга олиниши қийин бўлган анжомлар киради, қўшимча ютилиш коэффициенти: $A_{\text{қуш}} = \alpha_{\text{қуш}} S$.

Хонадаги умумий товуш ютилиш қиймати:

$$A = \sum \alpha_i S_i N_k + \sum A_k \Lambda_k + \alpha_{\text{қуш}} S, \quad (7.7)$$

Бунда: $A = \sum \alpha_i S_i N_k + \sum A_k \Lambda_k + \alpha_{\text{қуш}} S$, товуш ютилиш бирлигида ифодаланган. Товуш ютиш бирлиги этиб 1 м^2 очиқ ойнанинг ютиш коэффициенти олинади, у $\alpha=1$ га тенг. Хона учун ўртача товуш ютилиш коэффициенти

$$\alpha_{\text{урт}} = \frac{A}{S} \quad \text{га тенг} \quad (7.8)$$

Реверберациянинг стандарт вақти. Хонадаги реверберация жараёнини баҳолаш мақсадида реверберациянинг стандарт вақти катталиги киритилган. Реверберациянинг стандарт вақти деб, товуш энергияси зичлигининг 10^6 марта, ёки 60 дБ камайишига кетган вақтга айтилади.

Бу реверберация вақти Эйринг формуласи орқали аниқланади ва у:

$$T_r = 0,161 \frac{V}{-S \ln(1 - \alpha_{\text{урт}}) + 4\mu V} \quad (7.9)$$

бунда $4\mu V$ -товушнинг ҳавода сўнишини аниқлайди.

Катта бўлмаган хоналар учун ва 1000 Гц дан паст частоталарда ҳаводаги сўниш коэффициенти $4\mu V$ ни инobatга олмаса ҳам бўлади. 4000 Гц дан юқори частоталарда $4\mu V$ асосий ролни ўйнайди ва реверберациянинг стандарт вақти камаяборади.

Ҳисоб - китобларда кўпроқ сўнишнинг реверберация коэффициенти $\alpha' = -\ln(1 - \alpha_{\text{урт}})$ дан фойдаланилади. Унда:

$$T_r = 0,161 \frac{V}{\alpha' S + 4\mu V} \quad (7.10)$$

7.3. Акустик нисбат ва эквивалент реверберация

Хонадаги товуш майдонини «туғри» товуш тўлқинлари ва «қайтарилган» товуш тўлқинлари йиғиндиси майдони деб қараш мумкин. Қайтарилган товуш тўлқинларини ҳамма вақт диффузия майдонига яқин дейиш мумкин. Шунинг учун бу қиймат диффузия таркиби деб аталади.

Қайтарилган товуш энергияси зичлигининг туғри товуш энергияга бўлган нисбати

$$R = \frac{\epsilon_{\text{диф}}}{\epsilon_{\text{туғри}}} \quad \text{ёки} \quad R = \frac{P_{\text{диф}}^2}{P_{\text{туғри}}^2} \quad (7.11)$$

акустик нисбат деб аталади.

Товуш манбаигача бўлган $R=1$ масофа жарангдорлик радиуси деб аталади. Якка товуш майдони учун жарангдорлик радиуси

$$r_{\text{ж}} = \sqrt{\frac{\alpha S \Omega_a K^2(\theta)}{50,3(1 - \alpha)}} \quad (7.12)$$

Акустик нисбатнинг ўзгариши реверберация вақти ўзгаришидек эшитилади. Бу эффектни баҳолаш учун реверберация эквиваленти тушунчаси киритилган.

$$T_{\text{экв}} \approx \frac{1,2T_p}{1,2 + T_p \lg \left(\frac{\Omega_m + R}{R} \right)}, \quad (7.13)$$

бунда Ω_m - микрофоннинг йўналганлик коэффициенти.

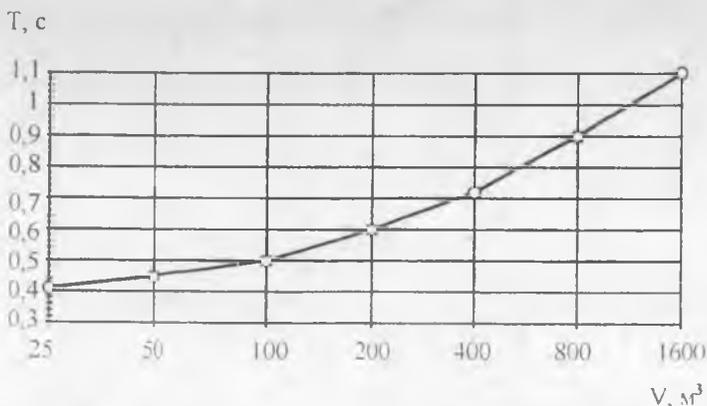
Реверберация эквиваленти, товуш манбаи ва микрофон жойлашган нуқталарига, ҳамда микрофоннинг йўналганлик диаграммасига боғлиқ.

Реверберация эквиваленти товуш манбаига яқинлашган сари камаяди, чунки акустик нисбат камаяди. Акустик нисбат катта бўлган залдаги олис нуқталарда, ҳар доим жарангдорлик бошқа нуқталардагига нисбатан катталиги сезилади.

7.4. Оптимал реверберация вақти. Студиялар

Нутқ студиялари. Нутқ студияларига қўйиладиган асосий талаблардан бири, нутқнинг юқори аниқлиги ва ижрочининг нутқ тембрини сақлаш. Тадқиқотлар шуни кўрсатадики, нутқнинг юқори аниқлиги товуш босимининг 50±80 дБ қиймати ва реверберация вақти 1с дан кам бўлганда эришилади. Нутқ эшиттиришларида одатда 10 кишидан ошмаслигини инобатга олиб бундай хоналарнинг ҳажми айтарли катта бўлмайди. Бу ўрта частоталарда реверберация вақтини 0,4-0,8с олиш нисбатан осон бўлади.

Оптимал реверберация вақтини 7.2- расмда келтирилган эгри чизиқдан аниқлаш мумкин.



7.2 - расм Реверберация вақтининг нутқ студияси ҳажмига боғлиқлиги

Шундай қилиб, оптимал акустик шароитларни яратиш учун нутқ студияси қуйидагича бўлмоғи шарт:

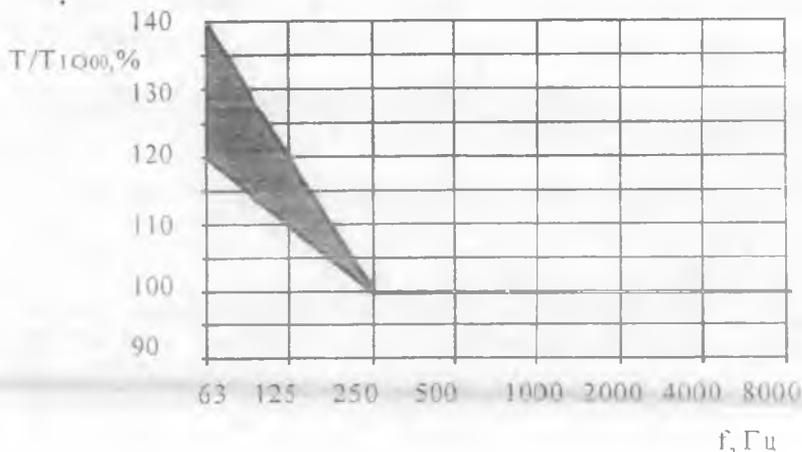
- реверберация вақти кичик бўлмоғи (0,4±0,8с);

- реверберация вақти частота тавсифи юқори частоталаргача чизиқли бўлмоғи керак.

Муסיқа студиялари. Муסיқа асарларининг характерини, эшиттиришда иштирок этаётган ансамбль таркибини инобатга олиб ёзув жараёнидаги оптимал акустик шароитларни яратиш мақсадида муסיқаларни эшиттиришда бир неча махсус студиялар ишлатилади. Муסיқа студияларининг акустик шароитларни, уларнинг ҳажми 2000 м³ катта бўлганда оптимал реверберация вақти ҳажмига боғлиқ бўлмаслигини инобатга олган ҳолда ҳал этиш керак. Бундай студияларда оптимал реверберация вақти муסיқа асарларининг характерини билан белгиланади. Оптимал реверберация вақти 1000 Гц частотада:

- замонавий муסיқа учун — 1,48 с;
- классик муסיқа учун — 1,54 с;
- романтик муסיқа учун — 2,07 с ташкил этади.

Кичик ҳажмдаги муסיқа студиялари учун оптимал реверберация вақти 7.3 расмда келтирилган графикдан аниқланиши мумкин.



7.3 — расм. Муסיқа студиялари учун оптимал реверберация вақти графиги

Муסיқа студиялари оптимал реверберация вақти паст частоталарда бироз кўтарилади. бу кўтарилиш тингловчиларининг эстетик дидига асосан паст частоталарни алоҳида ажратиб тинглашлари билан боғлиқ.

Юқорида баён этилган фикрларга асосан муסיқа студиялари реверберация вақтининг акустик талабларини қуйидагича ифодалаш мумкин:

1. Кичик ва ўрта ҳажмдаги муסיқа студияларининг оптимал реверберация вақти $t=1,6с$ бўлиб, ҳажмига нисбатан танланади
2. Катта ҳажмдаги студияларнинг оптимал реверберация вақти студиянинг ҳажмига камроқ боғлиқ бўлиб, кўпроқ ижро

этиладиган мусиқа асарлари характериға боғлиқ. Кўп белгили студиялар учун тавсия этиладиган реверберация вақти 1,7÷1,8с.

3. Паст частоталарда оптимал реверберация вақти ўрта частоталардагиларға нисбатан 20÷40 % га кўтарилган бўлиши мумкин.

Телевидение студиялари. Телевидение студиялари радиоэшиттириш студияларидан фарқли равишда кўпдан – кўп мураккаб декорацияларнинг қўлланилиши билан ажралиб туради. Бу ўз навбатида ТВ студияларида кўзголувчи камера, микрофонлар ва ёритгич асбобларидан фойдаланишни тақазо этади.

Бундай студияларнинг оптимал реверберация вақти ҳақида қуйидагича фикр юритиш мумкин:

- ТВ эшиттиришлари декорацияларнинг тез – тез ўзгариши билан боғлиқ бўлганлиги сабабли умумий товуш тўлқини ютилиш фонди ҳам ўзгариб туради;
- ТВ кадри ўзгарганда унга мос ҳолда овоз тавсифлари ҳам ўзгариши лозим.

Шунинг учун ТВ студияларининг реверберация тавсифлари сунъий тизимлар ёрдамида бошқарилади. Реверберация вақтини маълум диапазонда бошқариш учун ТВ студиясининг реверберация вақти 0,7÷0,8с олинади.

ТВ студияларда камераларнинг борлиги, хизматчилар, ёритгичлар ва вентиляция асбобларининг нисбатан кўплиги ундаги шовқин сатҳини ошишига сабабчи бўлади. Шу сабабли реверберация вақти амалда эришилиши мумкин бўлган 0,8÷1,0 с билан чекланилади.

Драматик эшиттиришларнинг кўп қисми мусиқа садолари жўрлигида олиб борилиши сабабли, реверберация вақтини частотага боғлиқ бўлмаслигиға интилиши зарур. Шундай қилиб, ТВ студияларида яхши акустик шароит яратиш мақсадида қуйидаги талабларнинг бажарилишиға эришиш зарур:

1. Реверберация вақти 0,8÷1,0 с бўлган ҳолда студия ҳажмиға боғлиқ бўлмаслиги керак.
2. ТВ студияларини товуш сундириш коэффициенти 0,7÷0,8 га тенг бўлган сундирувчилар билан қайта ишлаш зарур.
3. Реверберация вақти частота тавсифининг чиқиқли бўлишиға эришиш лозим.
4. ТВ студияларини шовқиндан сақланишини тўла таъминлаш зарур.
5. ТВ студияларининг реверберация вақтини сунъий тизимлар ёрдамида бошқариш лозим.

7.5. Товуш кучайтириш тизимли заллар

Юқорнда кўриб чиқилган оптимал реверберация бўйича барча таҳлиллар товуш кучайтириш тизимли залларға ҳам тааллуқли. Аммо,

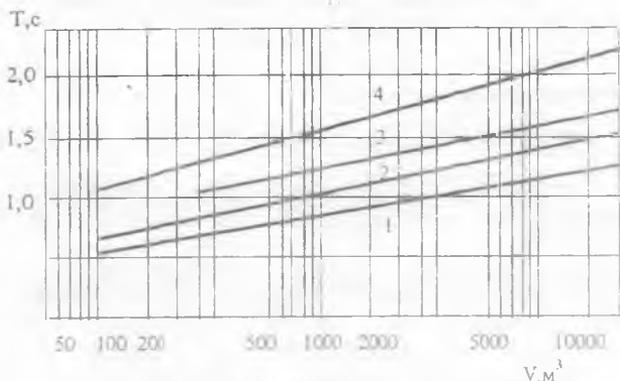
товуш кучайтириш тизимларининг мавжудлиги алоҳида шартлар бажарилиши ни тақазо этади.

Бундай хоналар учун пастки частоталарда реверберация вақти частота тавсифининг пастки частоталарда кўтарилиши мумкин эмас, чунки бунда кучайтириш тизимининг барқарорлиги бузилади.

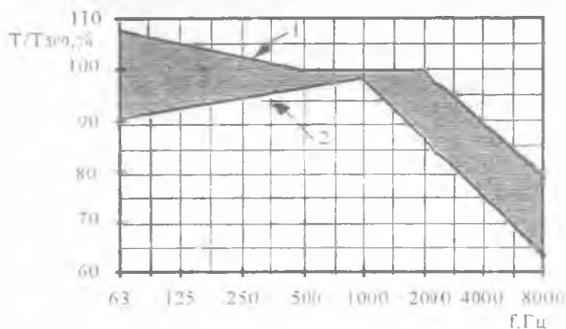
7.4 расмда 500 Гц даги оптимал реверберация вақтининг хона ҳажмига боғлиқлиги, 7.5 ва 7.6 расмларда эса реверберация вақтининг частота тавсифлари келтирилган.

Стереофоник тизимлар қўлланилиши керак бўлган залларда реверберация вақтини $10 \pm 20\%$ га камайтириш керак.

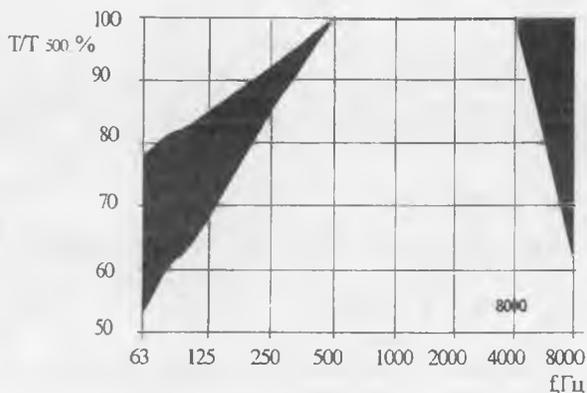
Кинотеатр заллари реверберация вақтининг нисбатан кичиклиги бу залларда эшиттириладиган фонограммаларда шу фонограммалар ёзилган хонанинг реверберация вақти мавжуд. Шунинг учун кинозал реверберациясига фонограмма реверберацияси қўшилади.



7.4 — расм. Турли хоналар учун 500 Гц да оптимал реверберация вақти (1 — аудиториялар, кинотеатрлар, мажлис заллари; 2 — театрлар; 3 — концерт заллари; 4 — орган мусиқа заллари)



7.5 — расм. Мусиқа заллари учун реверберация вақти частота тавсифлари. 1 — органли заллар; 2 — бошқа мусиқа заллари



7.6 — расм. Кинотеатрлар, мажлис заллари учун реверберация вақти частота тавсифлари

7.6. Зал акустикасини субъектив баҳолаш усуллари

Зал акустикасини субъектив баҳолаш — ҳар қандай субъектив баҳолаш каби қийин ва мураккабдир. Субъектив баҳолашнинг қийинлиги, биринчидан, эшиттиришларнинг хусусиятлари билан боғлиқ бўлган шунча ва ибораларнинг йўқлиги; иккинчидан шу вақтгача олинган субъектив баҳоларни объектив натижалар билан солиштириш имконияти йўқлиги.

Залларнинг субъектив тавсифларини ўрганиш билан Л.Беранек шуғулланган. У залларнинг мусиқа — акустик сифатини баҳолашнинг 18 курсакичини ажратади. Улардан айримларини кўриб чиқамиз.

Тоннинг тўлалиги (жарангдорлиги). Мусиқа асбобининг ижроси тутагандан сўнг студия ёки концерт залида товуш тахминан 1÷2 с давом этиши мумкин. Тоннинг тўлалиги қайтарилган ва тўғри товушлар баландлигининг нисбати ва реверберация вақтининг биргаликдаги таъсирига боғлиқ. Қайтарилган товуш баландлигининг тўғри товуш баландлигига нисбати қанчалик катта бўлса тоннинг тўлалиги шунчалик кўп бўлади.

Товуш янграшининг аниқлиги мусиқа омиллари ҳамда хона акустикаси тавсифлари билан баҳоланади. Мусиқа янграшининг иккита аниқлигини ажратадилар, яъни оҳангдаги кетма — кет тонларнинг горизонтал янграш аниқлиги ва бир вақтда янграйдиган вертикал янграш аниқлиги. Горизонтал аниқликка мусиқа омилларида ижро суръати ва ижрочининг маҳорати таъсир этади. Вертикал аниқлигига эса мусиқанинг хусусиятлари, бир вақтда янграши керак бўлган тонларни танлаш ижрочилар маҳорати ва тингловчиларга боғлиқ.

Товуш интимлиги – музика ижро этилаётган хонада шингловчининг қатнашуви, яқинлиги унга хонанинг ўлчамлари ҳақида тасаввур ҳосил қилишида ёрдам беради.

Интимлик хонада биринчи қайтган сигналининг кечикиш вақти билан белгиланади.

Интимлик акустикага эга бўлган залларда қайтарувчи тусиқлар шундай тузилганки улардан қайтган товуш тўқинлари 20 мс оралиқда кечикиб келади.

Товушнинг илиқлиги (бас тонининг тўлиқлиги) бас тонининг жарангдорлиги ўртача тон жарангдорлигидан фарқланиши билан аниқланади. Товушнинг илиқлиги паст частоталардаги реверберация вақти ўртача частоталардаги реверберация вақтига тенг ёки бир мунча каттароқ бўлгандагина содир бўлади.

Тўғри товуш баландлиги сахнадан узоқлашган сари камаяди. Музикачиларни тўғридан – тўғри эшитиш учун оптимал масофа 18 м ва солистлар учун 6÷15 м бўлиши маъқул.

Товуш баланси музика омиллари ва акустик характерга эга бўлган кўпдан – кўп кўрсаткичларнинг биргаликдаги натижалари билан таъминланади. Товуш баланси сахна – олди фазонинг хусусиятларига оркестр ижрочиларининг жойлашиши, дирижер ва ижрочиларнинг маҳоратига боғлиқ.

Ансамбль. Алоҳида музика партияларини ритмик аниқ ижро этиш музика ижрочилари бир – бирларини қандай эшитишларига боғлиқ. Шундай қилиб, ансамблнинг сезиши акустик нуқтаи назаридан сахна конструкцияси ёки оркестр яқинидаги қайтарувчи юзага боғлиқ.

7.7. Товуш ютувчи материаллар ва уларнинг конструкциялари

Хона ичини қайта ишлаш учун қўлланиладиган материалларнинг товуш ютиш коэффициентини одатда кичик. Шунинг учун хоналарда оптимал акустик шароит яратиш мақсадида махсус яратилган материаллар ва конструкциялардан фойдаланилади. Улар (абсорбентлар) юқори товуш ютиш хусусиятига эга.

Товуш ютувчи материалларни ишлаш принципига қараб икки гуруҳга бўлиш мумкин: ғовакли ва резонансли.

Ғовакли материаллар. Бу гуруҳга барча ғовакли турдаги материаллар киради: сиртини қоплайдиган плиталар, турли толалардан тайёрланган тушаклар – шиша толами, минерал толами, капрон ва б.к, акустик сувок, турли драпировкалар, гиламлар ва ҳ.к. Ғовакли материалларнинг товуш энергиясини ютиши асосан ғовакларда товуш заррачаларининг силжишдаги ишқаланиши ва материал скелетининг деформацияла – нишидаги ички ишқаланиши билан белгиланади.

Каттиқ тўсиқдан товуш тўқини қайтганда унинг юзасида босим дунглиги (тушаётган ва қайтаётган тўқинлар босими қушилади) ва тебраныш тезлигининг тугуни ҳосил бўлади. Тушувчи ва қайтувчи тўқин

тебранишлари тезлигининг фазалари 180° силжийди. Тебраниш тезлиги дўнглиги қаттиқ юзадан $\lambda/4$ масофада пайдо бўлади.

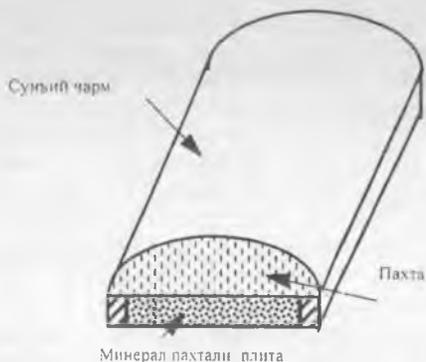
Резонансли товуш ютгичлар. Резонансли товуш ютгичлар пластина каби тебранувчи резонаторли кўринишда, ёки ҳаво резонаторлари турида тайёрланади. Бу турдаги конструкциялар товуш энергиясини паст ва ўрта частоталарда ютилишини таъминлайди.

Резонансланувчи панеллар. Резонансли панелларнинг конструкцияси 7.7 расмда кўрсатилган. Расмдан кўришиб турибдики, асосий балка юзаси билан фанера ёки клеёнкадан тайёрланган пластина ўртаси бўшлиқ. Агарда юзага тушаётган товуш тўлқини частотаси пластинанинг хусусий частотасига мос келса, пластинанинг тебраниш амплитудаси максимал бўлади. Бу ҳолда пластинанинг эгилишида унинг материалидаги ички ишқаланиш натижасида содир бўлган энергия йўқолиши ҳам максимал бўлади. Конструктив тузилишини ўзгартириш йўли билан унинг резонанс частотасини пастки частота томон силжитиш мумкин. Бундай конструкциянинг сундириш коэффициенти катта эмас. Бу коэффициентни ошириш мақсадида, пластина ва балка ўртасидаги бўшлиқ ғовак материал билан тўлдирилади (масалан, минерал ёки шиша тола). Резонансли панеллар Бекеши шчитлари (7.8 расм) номи билан ҳам машҳур. Бундай конструкциялар одатда фанера ёки рамага клеёнка тортилиб ясалади.

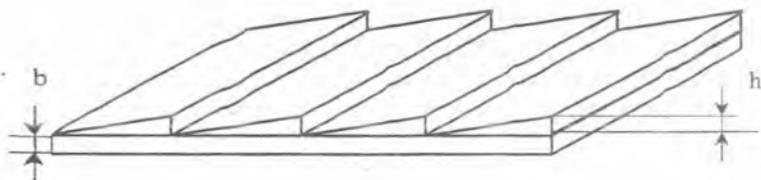
Резонансли панеллар кўп ҳолларда аррасимон конструкцияларда (7.9 расм) ясалади.



7.7 — расм. Резонансли панел конструкцияси



7.8 — расм. Бекеши шчити конструкцияси



7.9 — расм. Аррасимон резонансли панел эскизи:
 b — каркас қалинлиги, h — очилиш баландлиги.

Перфорацияланган конструкциялар. Бу турдаги конструкциялар резонансланувчи панелларга ўхшаш. Аммо, рамага қопланган фанерада тешиклар бўлиб, ҳар бир тешик унинг ичидаги ҳавоси билан Гельмгольц резонаторидек ишлайди. Бундай резонаторнинг резонанс частотасини паст ва ўрта частоталар томон фанера қалинлигини ўзгартириш, тешик диаметри d ни ўзгартириш, тешиклар оралиғи D ни ҳамда тўсиқ ва конструкция оралиқларини ўзгартириш йўли билан силжитиш мумкин.

Материал ва конструкцияларнинг ютиш коэффициенти турлича бўлгани учун белгиланган товуш ютиш фондига эришиш учун турли хилдаги сундиргичлардан фойдаланилади.

Хонани акустик қайта ишлашда, уларда диффузия товуш майдони ҳосил қилиш учун товуш сундирувчи материал ва конструкцияларни ўзаро алмашлаб жойлаштириш зарур.

7.8. Хоналарнинг товуш изоляцияси

Студия, театр, концерт заллари ва аудиторияларнинг нормал фаолият кўрсатиши кўп жиҳатдан уларнинг турли хилдаги акустик шовқинлардан сақланишига боғлиқ.

Шовқинлар хонага турлича йўللار билан ўтиши мумкин. Биринчидан, бино корпусининг силжиши натижасида, ён берида ишлаётган транспорт воситаси, станоклар, вентиляция қурилмалари ва б.к. Иккинчидан шовқинларнинг хона конструкцияси тўсиқларидан ўтиш натижасида.

Бино корпусини ер қатлами вибрациясидан изоляциялаш мақсадида бино атрофида «акустик чок» (шлак, қум тўлдирилган гов) қазилади. Бино корпусини вибрациялардан сақлаш мақсадида турли хилдаги эластик қистирмалар қўлланилади ҳамда бинонинг биринчи қавати фундаментлари рессорлар ёрдамида ажратилади. Тўсиқлардан ўтадиган шовқинларни камайитириш мақсадида уларни ва бостирмаларни говаксиз бўлишига эришиш, зич ўрнатиш ва х.з. тадбирларни кўриш лозим.

7.9. Радиоэшиттириш студиялари реверберация вақти частота тавсифининг акустик ҳисоби

Маълумки, овоз эшиттириш электр канали уч трактдан: эшиттириш дастурларини шакллантириш тракти, дастурларни бирламчи ва иккиламчи тақсимлаш трактларидан иборат.

Дастурларни шакллантириш тракти тизимнинг бош участкаси бўлиб, аппарат - студия комплекслари, эшиттириш аппарат хонаси, марказий аппарат, трансляция аппарат, овоз ёзиш аппарат хоналари ва бошқа хизмат хоналаридан иборат. Овоз эшиттиришнинг сифати куп жиҳатдан овоз эшиттириш студияларининг тўғри лойиҳаланаши ва уларнинг акустик кўрсаткичларига боғлиқ. Студиялар, студия - электр тракти - тингловчи хонаси тизимиға кирувчи бошланғич (бирламчи) хонадир, шунинг учун унинг оптимал тавсифлари оддий хона оптимал тавсифларидан фарқ қилади.

Студия-мусиқа ва бошқа турдаги дастурларни ижро этиш учун мулжалланган махсус хона. Радио ёки телевидение дастурларини яратиш бир-биридан фарқ қилганидек, радиоэшиттириш ва телевидение студиялари белгиланиши бир хил бўлгани билан, қурилиши, ички жиҳозланиши, эшиттиришларнинг мазмуни ва жуда куп ажримлари билан фарқланади.

Овоз эшиттириш студиялари қурилиши буйича мураккаб ва қиммат иншоотлардир. Студия конструкцияларининг мураккаблиги ва қимматлилиги уларға қўйилган талаблар билан белгиланади, булар: студияларнинг ўлчамлари ва шаклини тўғри танлаш, товуш изоляцияси, еритилганлиги, вентиляцияси ва бошқаларни таъминлашдан иборат. Товуш изоляциясини яхши таъминлаш мақсадида, студиялар магистрал йўл ва кўчалардан узоқ жойларда қурилади.

Студияларни ёнма-ён жойлаштириш тавсия этилмайди, улар уртасида шовқин сатҳи паст (тинч) бўлган хоналар жойлаштирилади. Куп студиялар учун бинонинг подвал ва биринчи қаватлари маъқул. Студияларнинг фундаментлари бинонинг умумий фундаментидан товуш ва вибронизоляция материаллари билан ажратилган ва фундаментлар оралиғи ғовак чиқиқидилар билан тўлдирилган бўлиши керак. Радиоуйлар ва студияларнинг деворлари алоҳида бўлиб кути ичида кути турида бир-бири билан мустақкам туташмай оралиғи товуш сўндирувчи материаллар билан тўлдирилади. Студияларнинг ҳар бир девори ажратилган фундаментлардаги амортизаторларға таянади. Поли эса деворлар билан туташмай «сузувчи» конструкцияда бажарилади. Студияға зич етилдиган вазмин эшикли тамбур орқали кирилади. Студиялардаги йўл қўйилган шовқин сатҳи 20÷25 дБ га тенг, бу кўрсаткич сизимли микрофонларнинг хусусий шовқин сатҳидан салгина юқори. Энг катта шовқин сатҳи студиянинг аппарат хонасида содир бўлиб, бу хонадаги кузатув ойнаси уч қават бўлишиға қарамай унинг изоляцияси етарлича эмас. Бу эса, қўшимча чора-тадбирлар қуришни талаб этади. Шу ва бошқа

талабларнинг бажарилиши студиянинг яхши акустик хусусиятларини таъминлайди. Студиянинг асосий сифат кўрсаткичларидан бири реверберация вақтининг частота тавсифи бўлиб, уни ҳисоблаш синчковлик, дид ва кўп вақтни талаб этади. Овоз эшиттириш студияларини лойиҳалаш ва акустик параметрларини ҳисоблашдаги яна бир қийнчилик бу, янги адабиётларнинг йўқлиги, мавжуд адабиётлар эса ноёб ва талабларга жавоб бермайди. Ушбу ахборот студияларнинг реверберация вақти тавсифини ҳисоблашни дастурлашга бағишланади

Студияларнинг яхши акустик хусусиятлари аввало унинг ўлчамлари «олтин кесим» қонуни нисбатлари $h : b : l = 1 : 1,6 : 2,6$ бажарилиши билан белгиланади.

Студиянинг стандарт реверберация вақти Сэбиннинг соддалаштирилган формуласи бўйича ҳисобланади

$$T = \frac{0,161 \cdot V}{\alpha_{урт} \cdot S_{\Sigma}} = \frac{0,161 \cdot V}{A}, c$$

бу ерда:

- $A = \alpha_{урт} \cdot S_{\Sigma}$ — умумий сундириш коэффициенти;
- 0,161 — доимий коэффициент;
- V — студиянинг ҳажми, m^3 ;
- $\alpha_{урт}$ — ўртача товуш сундириш коэффициенти;
- S_{Σ} — студия ички деворларининг умумий юзаси, m^2 .

2000 Гц ва ундан юқори частоталарда товушни ҳавода сундирилиши катта аҳамиятга эга бўлиб реверберация вақти Эйринг формуласи билан ҳисобланади

$$T = \frac{0,161 \cdot V}{-S_{\Sigma} \ln(1 - \alpha_{уот}) + 4\epsilon l}, c$$

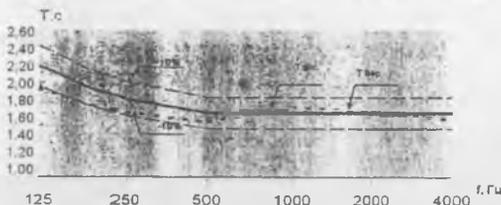
бу ерда:

μ — товушни ҳавода сундирилиши коэффициенти, у 1000 Гц дан паст частоталар учун нолга тенг. Ҳисоблар товуш сундирувчи материалларни танлаш билан бажарилади. Ҳисоблаш дастури икки хил ҳажмдаги радиоэшиттириш студиялари учун қўлланилади. Ҳисоблар натижаси 7.1 ва 7.2' жадвалларда келтирилган Чизилган реверберация вақти частота тавсифи (7.10, 7.11—расмлар) шуни кўрсатадики, ҳисобланган частота тавсифлари берилган реверберация вақтининг белгиланган оралигида, яъни $\pm 10\%$ аниқликда.

Товаж	Сүрөт	410	м²
h=20	h=50	210	м²
b=10	Сүрөт	210	м²
b=10	Сүрөт	410	м²

Кабар: 71

Товуу сандруучулар	Частота Гц		125		250		500		1000		2000		4000	
	Частота Гц	м/сек	C _{дБ}	A										
Акустикалык бөлмө	100	м/сек	0,28	20,0	0,47	40,0	0,45	45,00	0,48	48,00	0,47	47,00	0,45	45,00
Акустикалык бөлмө	100	м/сек	0,23	17,0	0,28	23,00	0,28	23,00	0,28	23,00	0,28	23,00	0,28	23,00
Таш	100	м²	0,12	10,00	0,14	10,00	0,13	10,00	0,12	10,00	0,12	10,00	0,12	10,00
Сүрөт	270	м²	0,10	8,00	0,020	6,75	0,01	8,10	0,04	10,35	0,04	10,35	0,04	10,35
Таш аягына келиши	30,3	м²	0,01	1,20	0,01	1,38	0,01	1,20	0,02	1,38	0,01	1,20	0,01	1,20
Акустикалык бөлмө	1	м²	0,26	21,0	0,26	21,0	0,26	21,0	0,26	21,0	0,26	21,0	0,26	21,0
Акустикалык бөлмө	1	м²	0,30	23,0	0,30	23,0	0,30	23,0	0,30	23,0	0,30	23,0	0,30	23,0
Акустикалык бөлмө	4	м²	0,18	15,00	0,18	15,00	0,18	15,00	0,18	15,00	0,18	15,00	0,18	15,00
Акустикалык бөлмө	10	м²	0,12	10,00	0,12	10,00	0,12	10,00	0,12	10,00	0,12	10,00	0,12	10,00
Акустикалык бөлмө	10	м²	0,21	17,00	0,21	17,00	0,21	17,00	0,21	17,00	0,21	17,00	0,21	17,00
Акустикалык бөлмө	12	м²	0,28	23,00	0,28	23,00	0,28	23,00	0,28	23,00	0,28	23,00	0,28	23,00
Акустикалык бөлмө	150	м²	0,26	21,00	0,26	21,00	0,26	21,00	0,26	21,00	0,26	21,00	0,26	21,00
Акустикалык бөлмө	1	м²	0,30	23,00	0,30	23,00	0,30	23,00	0,30	23,00	0,30	23,00	0,30	23,00
Акустикалык бөлмө	31	м²	0,24	20,00	0,19	15,00	0,11	9,00	0,09	7,00	0,12	10,00	0,11	9,00
2% өңдөлгөн үнөмө өлчөөсү			15,25			18,85		19,00		19,10		19,25		19,30
Акустикалык бөлмө			34,14		30,07	21,36		20,11		19,11		18,95		18,95
Таш			1,2		1,21	1,1		1,1		1,2		1,2		1,2
Таш			1,20		1,20	1,20		1,20		1,20		1,20		1,20
Акустикалык бөлмө			3,0		3,0	3,0		3,0		3,0		3,0		3,0

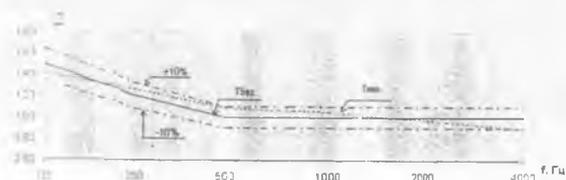


7.10 — расм.Ревверберация вақтининг частота тавсифи

Хона	Сүрөт	104	м²
h=13	h=50	210	м²
b=9	Сүрөт	210	м²
b=5	Сүрөт	104	м²

Кабар: 72

Товуу сандруучулар	Частота Гц		125		250		500		1000		2000		4000	
	Частота Гц	м/сек	C _{дБ}	A										
Акустикалык бөлмө	20	м/сек	0,28	5,50	0,40	8,00	0,25	9,30	0,49	9,60	0,47	9,40	0,45	9,30
Акустикалык бөлмө	20	м/сек	0,23	4,50	0,26	5,20	0,26	5,20	0,26	5,20	0,26	5,20	0,26	5,20
Таш	80	м²	0,12	7,20	0,14	8,40	0,13	10,80	0,12	10,20	0,12	10,20	0,12	10,20
Сүрөт	24	м²	0,02	0,80	0,025	1,10	0,01	1,32	0,04	1,56	0,04	1,56	0,04	1,56
Таш аягына келиши	23,3	м²	0,01	1,20	0,01	1,20	0,01	1,20	0,02	1,20	0,01	1,20	0,01	1,20
Акустикалык бөлмө	1	м²	0,35	0,25	0,25	0,25	0,18	1,18	0,12	0,72	0,07	0,42	0,04	0,24
Акустикалык бөлмө	2,0	м²	0,30	0,20	0,30	0,30	0,30	0,30	0,30	0,30	0,30	0,30	0,30	0,30
Акустикалык бөлмө	2	м²	0,30	0,22	0,42	0,84	0,52	1,00	0,50	0,50	0,50	0,50	0,50	0,50
Акустикалык бөлмө	19	м²	0,18	3,42	0,32	6,08	0,36	7,20	0,36	8,64	0,36	6,66	0,36	6,72
Акустикалык бөлмө	33	м²	0,2	6,60	0,46	15,18	0,58	19,14	0,62	17,16	0,62	13,53	0,62	10,20
Акустикалык бөлмө	28	м²	0,38	5,50	0,28	7,00	0,3	7,50	0,21	5,25	0,2	4,00	0,19	3,25
Акустикалык бөлмө	40	м²	0,34	13,90	0,19	7,6	0,11	4,00	0,08	3,60	0,15	4,80	0,11	4,40
2% өңдөлгөн үнөмө өлчөөсү														
Акустикалык бөлмө			55,35		36,95	27,18		33,33		36,27		31,47		24,47
Таш			1,2		1,2	1,2		1,2		1,2		1,2		1,2
Таш			1,20		1,20	1,20		1,20		1,20		1,20		1,20
Акустикалык бөлмө			1,50		1,5	1,5		1,5		1,5		1,5		1,5



7.11 — расм.Ревверберация вақтининг частота тавсифи

Олинган натижалар шуни кўрсатдики дастур, эшиттириш студияларини лойиҳалаш ва акустик тавсифларини ҳисоблашда қўл келади, ўқув жараёнига татбиқ этиш эса, талабаларга қулайлик туғдиради.

Назорат саволлари

1. Қандай майдонларга диффузия майдони дейилади?
2. Хонадаги товуш тулқининг ўртача вақти, ўртача эркин югириш узунлиги тушунчаларини тушунтиринг.
3. Тулқиннинг ўртача эркин югириш вақти қандай аниқланади?
4. Товуш ютилишнинг ўртача коэффициентини қандай аниқланади?
5. Реверберациянинг стандарт вақти нима?
6. Эйринг ва Сэбин формулаларини тушунтиринг.
7. Акустик нисбат ва реверберация эквиваленти тушунчаларини тушунтиринг.
8. Товуш сундирувчи материалларнинг қандай турларини биласиз?
9. Студияларни акустик ҳисоблаш услубини тушунтиринг.

8 боб. Овозлаштириш ва товуш кучайтириш тизимлари

8.1. Овозлаштириш ва товуш кучайтириш тизимларининг вазифалари

Товуш кучайтириш ва овозлаштириш тизимлари залларда ва очик жойларда товуш сигналларини эшиттириш ва катта майдонларда етар-лича яхши эшитишни таъминловчи электроакустик ва кучайтиргичлар мажмуасидан иборат қурилмалардир. Товуш кучайтириш тизимлари қачонки, бирламчи сигнал қуввати (нотиқ, ижрочи, муסיқачи ва б.қ) тингловчилар эгаллаган ерда етарлича қувватда сигнал сатҳи ҳосил қила олмаганда қўлланилади. Акустик шароитлари нормал, ҳажми 2000 м³ дан зиёд ва тингловчиларгача бўлган масофа 25 м дан ортик бўлган залларда товуш кучайтириш тизими ишлатилади. Шовқин сатҳи юқори ва товуш сундирилиши камроқ бўлган кичик ҳажмдаги хоналарда ҳам товуш кучайтириш тизими қўлланиши мумкин.

Товуш кучайтириш тизими овозлаштириш тизимидан, радиокарнай нурлатаётган кучайтирилган сигнал товуши майдонида микрофон жой-лашганлиги туфайли акустик тескари боғланиш мавжудлиги билан фарқланади. Шунинг учун товуш кучайтириш тизими потенциал барқарор эмас ва айрим шароитларда генерация режимига ўтиши мумкин. Овозлаштириш майдонида радиокарнайларнинг жойлаштирилишига боғлиқ ҳолда товуш кучайтириш ва овозлаштириш: бир жойга тўпланган, зонал ва тақсимланган тизимларга бўлинади.

8.2. Товуш кучайтириш ва овозлаштириш тизимларига қўйиладиган талаблар

Товуш кучайтириш ва овозлаштириш тизимлари белгиланишига қараб, фақат умумий талабларгагина (ҳосил қила оладиган овоз эшиттириш частота полосаси, частотали ва ночизиқли бузилишлар) эмас, айрим махсус талабларга ҳам жавоб беришлари керак. Айрим ҳолда, овозлаштирилаётган майдонда товуш кучайтириш ва овозлаштириш тизими товуш майдонининг зарурий сатҳини, унинг белгиланган нотекислигини, эшиттириш узвийлигини, товуш манбаларини локаллашни, нутқнинг аниқлигини таъминлаши керак.

Тўғри товуш ҳисобига ҳосил бўлган майдоннинг зарурий сатҳи $N_{\text{тўғри}}$ товуш кучайтириш ва овозлаштириш тизимларининг белгиланишига боғлиқ. Юқори сифатли тизимлар кичик шовқин сатҳ — 40-45 дБ да ишлайди. Бундай тизимларда максимал акустик сатҳ ($N_{\text{тўғри}}$) бирламчи сигнал манбаининг табиий жарангдорлиги билан аниқланади. Шунинг учун муסיқа дастурларини эшиттирганда тингловчи ўтирган жойда $N_{\text{тўғри}} = 90-94$ дБ, нутқ кучайтиришда эса — 80-86 дБ босим сатҳини таъминлаш зарур, бу эса тахминан 1-1,5 м масофада нотиқ яратаётган акустик сатҳга тўғри келади.

Товуш майдони нотекислиги $\Delta N_{\text{тўғри}}$ — овозлаштириладиган майдондаги максимал ва минимал акустик сатҳлар фарқи. Муסיқани қайта эшиттиришда нотекислик $\Delta N_{\text{тўғри}} \leq 6$ дБ қабул қилинса, нутқни қайта эшиттиришда $\Delta N_{\text{тўғри}} \leq 8$ дБ қабул қилинади.

Товуш янграшининг туташлиги — сезиларли ёки халақит берувчи акссадонинг бўлмаслиги. Товуш янграшининг туташлиги турли вақтга кечиқувчи тўғри сигнал ва кечикадиган сигналлар сатҳларининг маълум нисбати билан таъминланади.

Товуш манбаларини локаллаш — туюладиган товуш манбаини қулоқ солиб ҳис қилиш. Товушларнинг янграши, кўриш таъсирчанлиги, эшитиш таъсирчанлигига мос бўлганда, энг яхши қабул қилинади.

Овозлаштиришнинг қуйидаги тизимлари мавжуд:

1. Бир жойга тўпланган тизим;
2. Зонал тизим;
3. Тақсимланган тизим.

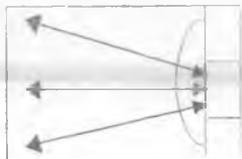
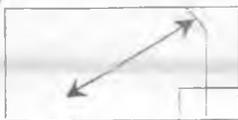
8.3. Бир жойга тўпланган тизимлар

Товуш тингловчиларга бир нуқтадан келса, у бир жойга тўпланган тизим деб аталади. Бу тизимлар кўриш таъсирчанлигини эшитиш таъсирчанлигига яхши боғлайди.

Берк хоналарда кўп ҳолларда қуйидаги тўпланган тизимлар қўлланилади:

А) Радиокарнайлар юқорида жойлаштирилган пештоқ тизими (8.1 — а расм), бу тизим ўлчамлари катта бўлмаган залларда, қачонки, сахна тепасидаги дарчада етарлича катта пештоқ бўлса ёки йўналтирилган нурлатгич (радиокарнай)ларни сахнаодди соябонидаги тоқчага ўрнатиш имконияти бўлганда қўлланилади;

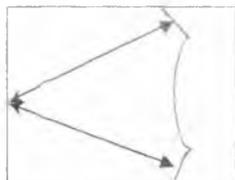
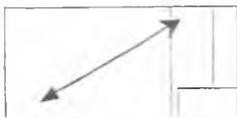
а)



Б) Радиокарнайлар ён томонига жойлаштирилган пештоқ тизими (8.1 — б расм), бу тизим ўлчамлари катта бўлмаган залларда, сахна тепасидаги тешик пештоқлари етарлича ён деворларга эга бўлган залларда қўлланилади.

Бундай тизимлар тик амфитеатрли ва балконли залларни овозлаштириш учун жуда қулай.

б)



В) Ён деворларга йўналтирилган нурлатгичларни ўрнатиш тизими (8.1—в расм), бу тизим саҳна тешигида пештоқ бўлмаганда ёки очиқ эстрадада қўлланилади. Радиокарнайлар залда саҳнаолди баландликда ёки саҳнадан нарироқда кронштейнларда ёки махсус токчаларда ўрнатилади.



Г) Нураггичлар марказда жойлаштирилган тизим (8.1—г расм), бу тизим тингловчилар маълум белгиланган ўринга эга бўлмаган ҳолларда (рақс заллари, кўрғазма заллари ва б.қ) ёки тингловчилар залнинг марказий қисми атрофида (цирк) ўтирганларида қўлланилади. Радиокарнайлар марказда жойлаштириладиган товуш кучайтириш тизимлари эса, микрофонлар залнинг марказий қисмида жойлаштирилгандагина қўлланилиши мумкин.

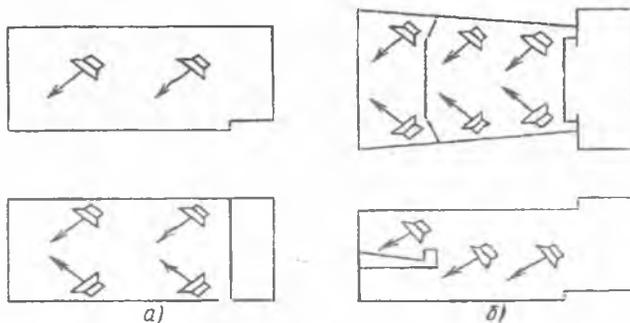


8.1—расм. Бир жойга тўпланган тизимлар ва уларни жойлаштириш вариантлари а) пештоқ марказида; б, в) пештоқ ён деворларида; г) зал марказида.

8.4. Зонал тизимлар

Зонал тизимларда овозлаштирувчи майдон бир неча зоналарга бўлинади, ҳар бир зона товуш майдони алоҳида радиокарнайлар ёки бирига яқин жойлаштирилган гуруҳли радиокарнайлар билан ҳосил этилади (8.2—расм).

Бу тизимлар катта майдонларни, очиқ жойларни: истироҳат боғлари, ишлаб чиқариш корхона майдонлари, кўчаларни овозлаштиришда қўлланилади.



8.2—расм. Радиокарнайларнинг деворга жойлаштирилиши (а), балконни овозлаштириш учун деворга қўшимча нурлатгичларни зона тизимида жойлаштириш (б).

Радиокарнайлар шундай жойлаштирилиши керакки, уларнинг овозлаштириш зоналари қисман бир—бирини қопласин ва барча овозлаштириш юзасини қамраб олсин.

Товуш майдони нотекислигини ҳисоблаганда қўшни майдонча чегараларидаги товуш майдони сатҳи, иккита радиокарнай нурланишининг қўшилиши натижасида, бир радиокарнай нурлатаётган акустик сатҳга нисбатан 3 дБ га ёки 1.41 марта ошиш ҳисобига олинади. Шу билан баробар, майдон бурчакларида тўрт радиокарнайлар нурланиши қўшилади, шунинг ҳисобига акустик сатҳ 6 дБ га ошади. Зона чегаралари бўйлаб акустик сатҳ деярлик ўзгармайди. Ҳар бир зона ичидаги товуш колонкаси учун акустик сатҳ қуйидагича аниқланади:

$$P_{\text{тов}}^2 = P_{\text{тов1}}^2 / h^2 \quad (8.1)$$

Радиал радиокарнай учун:

$$P_{\text{тов}}^2 = P_{\text{тов1}}^2 / (h^2 + C^2) \quad (8.2)$$

Бир жойга тупданган мураккаб тизимлар учун радиокарнайларнинг текширилатган нуқталаридаги натижавий товуш босими

$$P_{\Sigma \text{тов}} = \sqrt{P_{\text{тов1}}^2 + P_{\text{тов2}}^2 + \dots} \quad (8.3)$$

Овозлаштириш нотекислиги

$$\Delta N_a = 20 \lg(P_{\text{тов}\Sigma \text{max}} / P_{\text{тов}\Sigma \text{min}}) \quad (8.4)$$

бу ерда $P_{\text{тов}\Sigma \text{max}}$ ва $P_{\text{тов}\Sigma \text{min}}$ — максимал ва минимал товуш босимилар.

Овозлаштиришнинг зонал тизимларида айрим радиокарнайларнинг акс садо пайдо қилиши эҳтимоли бор. Акс садо товуш эшиттиришни бузади, шгу боис айрим зона майдонлари учун яқинда ва узоқда жойлашган

радиокарнай босим сатҳлари айирмаси ва сигналларнинг кечикиш вақти ҳисобланади. Одатда, бундай ҳисоблар товуш колонкалари ва рупорли радиокарнайлар қўлланилганда бажарилади.

8.5. Тақсимланган тизимлар

Овозлаштиришнинг тақсимланган тизимлари деб, тингловчиларга товуш бир ёки бир неча радиокарнайлардан бир хил сатҳда келишига айтилади. Бундай тизимлар товушни қайта эшиттириш ва нутқни кучайтиришда қўлланилади.

8.3 — расмда тақсимланган тизимларнинг асосий вариантлари тузилиши кўрсатилган.

Тарқатилган овозлаштириш тизимига қуйидагилар: **чизиқли, шифтли, суянчиқли ўриндиқда радиокарнайларнинг тақсимланган тизими, очиқ майдонда овозлаштиришнинг тақсимланган тизимлари** киради.

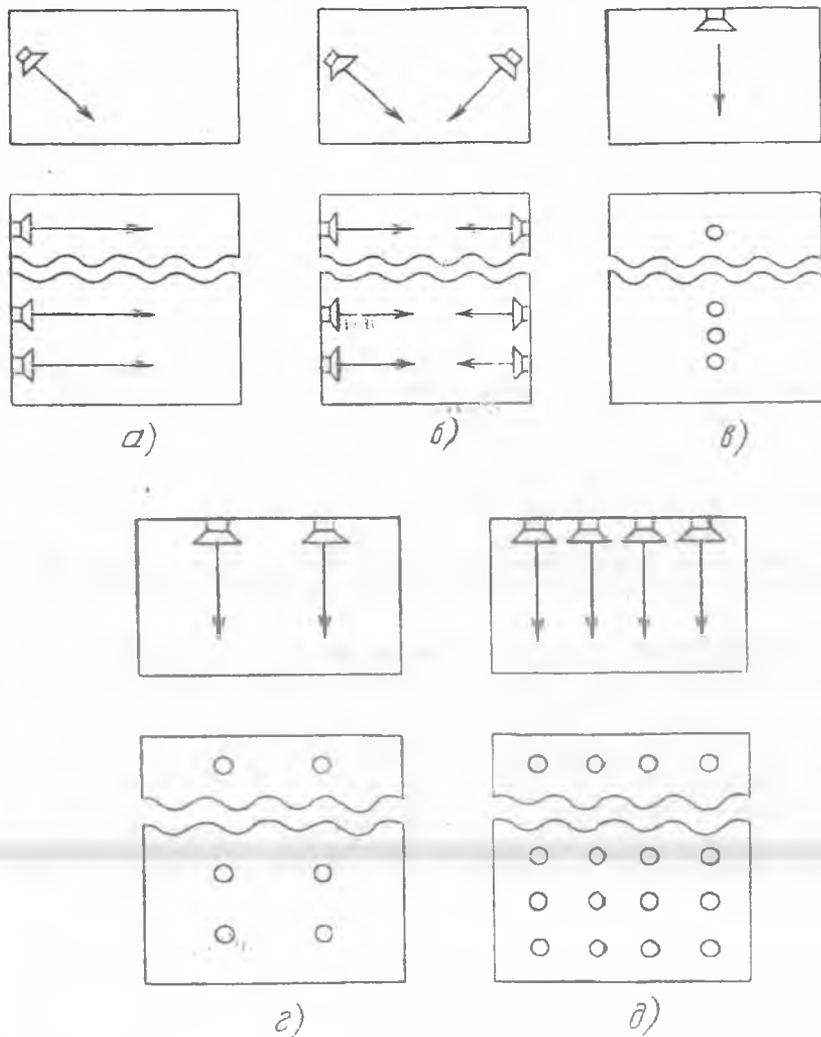
Чизиқли тизимлар баланд бўлмаган чўзинчоқ шаклдаги биноларни (коридорлар, платформалар, метро станциялари, катта бўлмаган аудиториялар ва б.к.) овозлаштириш ва товуш кучайтиришда қўлланилади.

Пештоқли тизимлар икки вариантда қўлланилади. Энига нисбатан тор, шифтли баланд хоналарда, шифтда бир ёки икки қатор йўналтирилган радиокарнайлар ўрнатилади. Шифти нисбатан паст хоналарда шифт юзаси бўйича нурлатгичлар бир текис тақсимланади.

Суянчиқли ўриндиқларда радиокарнайлари тарқатилган тизим, катта қувватга эга бўлмаган ($0,1; 0,25$ Вт) конусли радиокарнайлар суянчиқ орқасига ўрнатилади, бу тизим товуш кучайтиришда қўлланилади.

Овозлаштиришнинг тақсимланган тизими, бу тизим очиқ майдонларда асосан чизиқли овозлаштириш тизимидек қўлланилади (истирохат боғлари, стадионлар).

Овозлаштиришнинг у ёки бу тизимини қўллаш ҳар бир ҳолатда ускуналарнинг вазифалари ва хонанинг акустик хусусиятларига боғлиқ ҳолда танланиши мақсадга мувофиқ бўлади.



8.3 — расм. Радиокарнайларнинг тақсимланган тизимда жойлаштирилиш турлари
 А) деворга бир радиокарнай; Б) деворга икки радиокарнай; В) шифтда бир радиокар-
 най; Г) шифтда икки радиокарнайлар занжири. Д) шифтда радиокарнайлар
 тури

8.6. Нутқнинг тушунарлилиги ва аниқлиги

Нутқнинг тушунарлилиги — трактнинг нутқни узатиш учун яроқлилигини белгилайдиган асосий тавсиф. Бу тавсифни бевосита аниқлаш учун диктор ва бىр неча тингловчиларни таклиф этиб нутқ тушунарлилигини статистик усул билан аниқлаш мумкин. Нутқ тушунарлилигини унинг аниқлиги орқали аниқлайдиган қўшимча усул ҳам ишлаб чиқилган.

Нутқнинг аниқлиги — деб тракт бўйича узатилган нутқлардан нисбий ёки фоиз ҳисобида тўғри қабул қилинган нутқ элементларига айтилади.

Нутқ элементлари — бу жумла, сўз, бўгин, товуш ва рақамлар. Шунга мос ҳолда бўгин, товуш, сўз, маъно ва рақамлар аниқлигига аж-раладилар. Улар орасида статистик боғланиш мавжуд. Амалда аксарият сўз, бўгин ва маъно аниқлигидан фойдаланилади. Бундай экспертизаларни олиб бориш учун рус нутқида учрайдиган сўз ва бўгинларнинг махсус жадвали тузилган. Бундай жадваллар артикуляцион жадваллар деб аталади. Нутқ аниқлигини аввалдан ўргатилган тингловчилар бригадаси ёрдамида субъектив—статистик йўл билан утказилади. Бу ҳолда ўлчамлар турли усулларда олиб борилади, масалан, баллар билан баҳолаш, тўғри қабул қилинган сўзлар фоизи ва х.к. 8.1 жадвалда нутқ аниқлигининг тўрт босқичли баҳоланиши келтирилган;

- аъло, агарда тушунарлик қайта сўровсиз тўла бўлса;
- яхши, агарда тингловчиларда қайта сураш эҳтиёжи туғилса;
- қониқарли, агарда тингловчилар тез—тез қайта сўрасалар;
- имкон даражасидаги, агарда тингловчилар қайта—қайта сўрасалар, ёки сўзни ҳарфма—ҳарф айтишни сўрасалар.

Аниқликнинг пасайишига хонадаги акустик шовқинлар, товуш диффузияси ва реверберацияси ҳалақитлари, бирламчи товуш манбаини етарлича кучайтирилмаганлик сабаб бўлиши мумкин.

8.1 жадвал

Тушунарlilik	Аниқлик, %	
	Бўгин	Сўз
Аъло	80 ва юқори	98 ва юқори
Яхши	50÷80	93÷98
Қониқарли	40÷50	87÷93
Имкон даражасида	25÷40	75÷87

Овозлаштириш ва товуш кучайтириш тизимлари нутқ аниқлигини таъминлаши зарур. Ахборот дастурларини узатишда, митинг ва мажлисларни эшиттиришда аниқлик аъло даражада, яъни 80% сўз бўгин аниқлигини ёки 98% сўз аниқлигини таъминлаши зарур. Диспетчер алоқаси учун мос ҳолда бу кўрсаткичлар 45÷50% ва 87÷99% ташкил этиши керак. Нутқ аниқлигини узатиш трактнинг тавсифлаши ва қабул қилиш шароитлари ўртасида бевосита боғлиқлик мавжуд. Айтилган боғлиқликни

Флетчер ва Коллард ихтиро этган формант назарияси ёрдамида ўрнатиш мумкин. Одам сўзлайдиган частота диапазонида нутқ товушлари энергиясининг тўпланиш хусусиятлари бор. Частота диапазонининг у ёки бу участкасида энергиянинг тўпланишига **форманта** деб аталади. Уларнинг жойлашиши товушнинг сўздаги ёки иборадаги ўрнига, ҳамда ҳар бир одамнинг индивидуал артикуляция аппаратига боғлиқ. Ҳар бир товуш бир неча формантлардан иборат. Нутқ товуши формантлари частота диапазони 150÷7000 Гц ташкил этади. Бу диапазон шартли равишда 20 та тенг полосаларга бўлиниб, ҳар бирида форманталарнинг пайдо бўлиши эҳтимоли бир хил. Бундай полосаларни **тенг аниқлик** полосалари деб атадилар. Товуш материаллари етарлича кўп бўлганда ҳар бир полосада формант пайдо бўлиши эҳтимоли 0,05 га тенг.

Формантларнинг интенсивлик сатҳлари турлича: жарангдор товушларда интенсивлик бўғиқ товушлардагига нисбатан юқори.

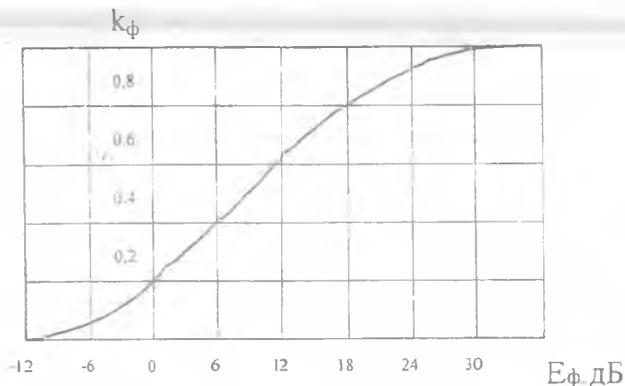
Акустик шовқинлар сатҳи ошганда формантлар аввал паст сатҳлар билан, кейин юқорироқ сатҳлар билан ниқобланади. Шундай қилиб ниқобланиш натижасида, формантларни эшитиш эҳтимоли камаяди. Бу камайишнинг k полосадаги коэффицентини эшитилиш k_ϕ ёки аниқлик коэффицентини деб аталади. Эшитилиш коэффицентини 8.4-расмдаги графикдан аниқлаш мумкин. Бу графикда формантнинг сезилиш сатҳи E_ϕ ва унга мос эшитилиш коэффицентини k_ϕ берилган

$$\Delta A = 0,05k_\phi, \quad (8.5)$$

$$E_\phi = B_n - B_m \quad (8.6)$$

Нутқ частота диапазонидаги умумий формант аниқлиги

$$A = 0,05 \sum_{n=1}^{20} k_\phi n, \quad (8.7)$$



8.4 – расм. Нутқ сатҳларининг интеграл тақсимоли

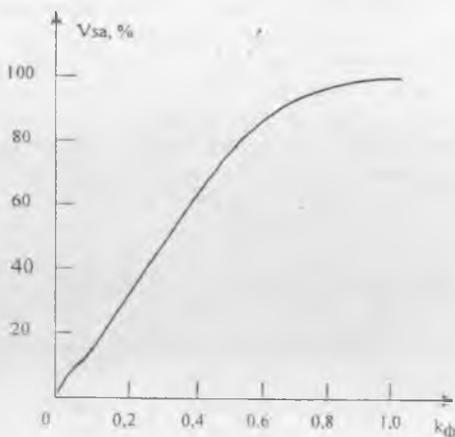
Формантли ва бошқа турдаги аниқлик тажриба йўли билан аниқланган. Сўз бўғинлари учун бундай боғлиқлик 8.5 расмда келтирилган. Бу расмдан кўриниб турибдики, нутқнинг тўла аниқлигига барча формантларнинг ярмисини қабул қилганда (формант аниқлиги 0,5) эришилади, бу нутқнинг ортиқчалигидан дарак беради.

Овозлаштириладиган хоналар учун нутқ аниқлигини аниқлаш, аввало максимал акустик шовқин ва минимал тўғри товуш сатҳи нуқтаси учун аниқланади. Нуқтада турган тингловчи оддадаги спектрал сатҳ:

$$S_{pc} = S_{pm} + Q_{mc}, \quad (8.8)$$

Бунда S_{pm} — микрофон оддадаги спектрал сатҳ,

Q_{mc} — трактнинг кучайтириш индекси



8.5- расм. Бўғин аниқлигининг формант аниқлигига боғлиқлиги графиги

Бу маълумотлар бир хил аниқликдаги ҳар бир полоса учун аниқланади. Шу полосалар учун тинглаш нуқтасидаги ҳалақит ва шовқинлар учун спектрал сатҳ

$$S_{ш} = 10 \lg (10^{0.1 S_{аш}} + 10^{0.1 S}), \quad (8.9)$$

Бунда $S_{аш}$ — акустик шовқинларнинг спектрал сатҳи, S — ҳалақитнинг спектрал сатҳи:

$$S_x = S_{pc} - 21 + 10 \lg R + N_d + \left(\frac{50}{3} \right) \lg T_p, \quad (8.10)$$

Бунда $10 \lg R$ — диффузия товушидан ҳалақитга қўшимча тўлдириш (R — акустик нисбат); N_d — дифракцион қўшимча тўлдириш; $(50/3) \lg T_p$ — реверберация ҳалақитларига қўшимча тўлдириш; T_p — вақт реверберацияси.

Акустик шовқин сатҳи қуйидагича аниқланади:

$$S_x = S_{\text{аш}} + 6 \quad (8.11)$$

Бу шарт (8.18), (8.20) ва (8.21) инобатга олган ҳолда тракт индексини аниқлайди:

$$Q_{\text{мс.рац}} = S_a - S_{\text{рм}} \left[10 \lg R + N_a + \left(\frac{50}{3} \right) \lg T_p \right] + 27 \quad (8.12)$$

Трактнинг бундай индексини рационал индекс деб атайдилар.

Кучайтириш рационал бўлганда:

$$S_{\text{аш}} = S_x - 1, \quad (8.13)$$

яъни акустик шовқин $S_{\text{аш}}$ нинг умумий шовқинга қўшган ҳиссаси катта эмас. Товуш кучайтириш тизими барқарор ишлаши ва регенератив реверберация бўлмаслиги учун ҳар бир полосадаги амадаги тракт индекси қиймати рационал қийматга яқин бўлиши ва чегаравий индекс қийматидан ошмаслиги лозим.

Нутқ аниқлигини ошириш усуллари. Нутқ аниқлигини оширишнинг самарадор усулларида бири ҳалақит сатҳини пасайтириш. Амада бунга ҳамма вақт ҳам эришиб бўлмайди, шунинг учун товуш босимини кутариш, микрофонни товуш манбаига яқинлаштириш, сўзловчи баланд овозда сўзлаш билан тракт индексини оширишга ҳаракат қиладилар.

Нутқ аниқлигини оширишнинг бошқа усули нутқ сигналинини сиқиш, яъни максимал нутқ сигналларини сақлаган ҳолда кичик босимли сигнал сатҳини кутариш. Сиқишнинг охириги усули амплитудали чеклаш-клипплаш. Бунда нутқ сигнали амплитудаси доимий бўлган оралиғи ўзгарувчан кетма-кет импульсларга айланади. Натижада, барча нутқ товушлари бир хил сатҳга эга бўлади. Эшитилиш сифати пасаяди, аммо аниқлик сезиларли даражада ошади, чунки клиппланмаган паст товушлар сигналларни ниқобловчи шовқин сатҳларидан юқорида бўлади, натижада эшиттириш ҳалақит сатҳидан юқори бўлади. Нутқ аниқлигини оширишда вокодерларнинг қўлланилиши айниқса қўл келади.

Вокодер — узатиш қисмида нутқ сигналларидан нутқнинг ахборот параметри: нутқнинг спектрал оғишини ва асосий тон параметрларини ажратадиган қурилма. Вокодернинг қабул қилиш қисмида аса тоннинг асосий параметри, асосий тон частота генераторини, яъни томоқ импульсларига ўхшаш импульс ишлаб чиқарувчи генераторни бошқаради. Бу импульслар акустик тизимнинг жарангдор нутқлар трактини имитацияловчи мураккаб филтрларга берилади. Бўғиқ нутқ товушларини синтезлаганда генератор шовқин кўчланиши беради ва у бўғиқ товуш филтрларига узатилади. Синтезланадиган товуш сатҳлари ва филтр параметрларини вокодернинг узатиш томонидаги сигналлар бошқаради, натижада, нутқ сигналининг спектрал оғиши тикланади. Тикланган сигналнинг сифати ва аниқлиги етарли даражада юқори бўлади.

8.7. Залларни сошлаш буйича айрим тавсиялар

Нурлатгичларни оптимал жойлаштириш. Товуш кучайтириш тизимлари урнатиладиган заллар ўзларининг белгиланиши буйича бир – бирларидан фаркланадилар. Ҳар бир зал ўзининг архитектура хусусиятларига боғлиқ ҳолда товуш кучайтириш тизимларини лойиҳалашда алоҳида ёндошишни талаб этади.

Залнинг ўлчамлари катта бўлганда биринчи муаммо – керакли товуш босимини таъминлаш. Иккинчи муаммо, кўпчилик хоналарга хос бўлган катта реверберация вақти. Агарда тингловчи товуш манбаига яқин бўлса гўё, у «тўғри майдон» да бўлгандек туюлади. Бу майдонда товуш манбадан чиқаётган товуш қайтган товушдан баландроқ бўлади. Реверберация фазосида ҳардоим қайтган товуш тўғри товуш баландроқ жаранглайдиган нуқта мавжуд. Натижада, товушнинг аниқлиги ва тиниқлиги йўқолади. Бу муаммони ҳал этишнинг иккита йули бор. Биринчиси, хонанинг шаклини ўзгартириб, акустик жиҳозларини қайта ишлаш. Иккинчиси, товуш кучайтириш комплексини тўғри лойиҳалаш ва танлаш. Биринчи вариант амалда қийин бўлганлиги сабабли, товуш кучайтириш тизимини лойиҳалаш ва акустик тизимни тўғри танлашга катта аҳамият берилади. Хонадаги нутқ товуши аниқлигини ошириш мақсадида хонанинг амплитуда – частота тавсифини эквалайзер ёрдамида коррекциялаш, сунъий ревербератор ва фонограммалардан фойдаланилади.

8.8. Зал товуш кучайтириш тизимининг акустик ҳисоби

Нутқ товуши кучайтириш тизимини ҳисоблаш.

Ҳисоблаш учун дастлабки маълумотлар:

1. Тингловчилар сони, $N = 432$ киши
2. Талаб этиладиган товуш майдони сатҳи, $N_T = 80\text{дБ}$
3. Белгиланган тўғри товуш нотекислиги сатҳи, $\Delta N_{\text{тўғри}} = 6\text{дБ}$
4. Зал режаси 8.6 – расмда келтирилган.

Ҳисоб.

1. Зал шакли ва ўлчамларини аниқлаш.

Зал тўғри түртбурчакли, залнинг охирига пол бироз қиялик билан кўтарилиган, зал ўлчамларини «Олтин кесим» қоидаси асосида аниқлаймиз, яъни ўлчам нисбатлари

$$h : v : l = 1 : 1,6 : 2,6 \text{ бўлиши керак} \quad (8.14)$$

Бундан, залнинг баландлиги $h = 10\text{м}$;

залнинг эни $v = 16\text{м}$;

залнинг бўйи $l = 26\text{м}$;

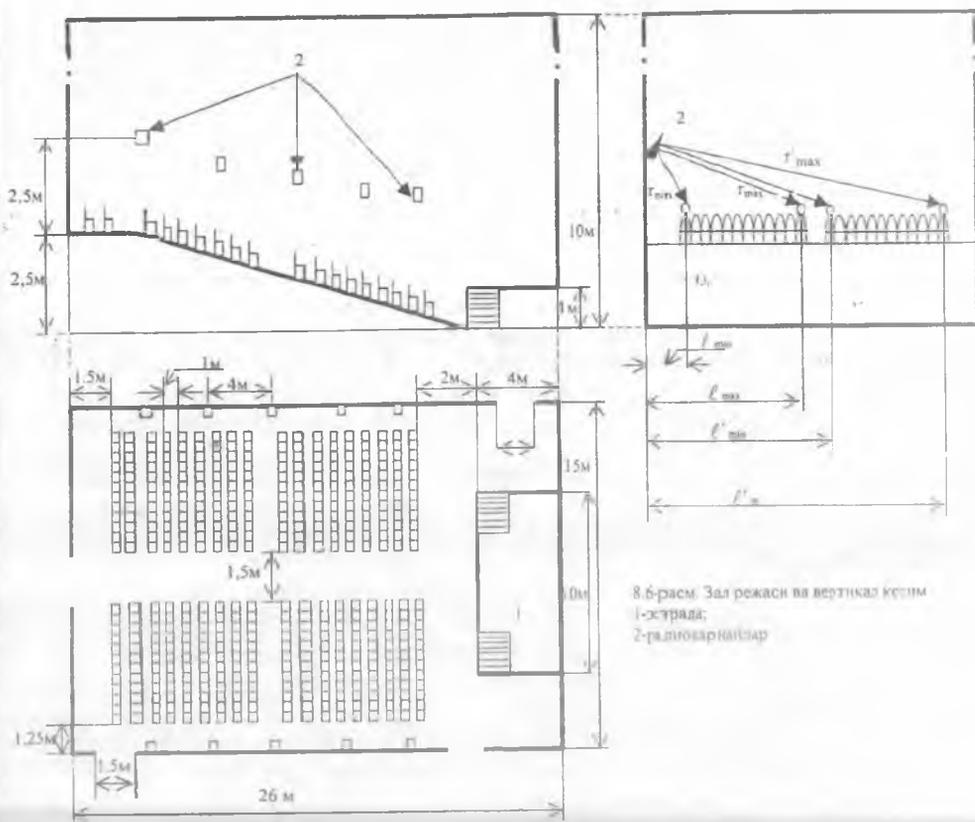
зал режасидан, унинг ҳажми, деворлари юзасини аниқлаймиз.

Залнинг ҳажми

$$V_3 = h : v : l = 10 : 16 : 26 = 4160 \text{ м}^3 \quad (8.15)$$

Ертўла ва зал полининг бироз кутарилишини инобатга олгандаги ҳажмларини аниқлаймиз:

$$V_1 = h_1 \cdot a_1 \cdot v = 2,5 \cdot 2,5 \cdot 16 = 100 \text{ м}^3 \quad (8.16)$$



$$V_2 = h_1 \cdot \frac{1}{2} a_2 \cdot v = 2,5 \cdot 0,5 \cdot 17,5 \cdot 16 = 350 \text{ м}^3 \quad (8.17)$$

Ертўланинг умумий ҳажми

$$V_{\text{ерт}} = V_1 + V_2 = 100 + 350 = 450 \text{ м}^3 \quad (8.18)$$

Эстрада ҳажми

$$V_{\text{эстр}} = 1 \cdot 4 \cdot 10 = 40 \text{ м}^3 \quad (8.19)$$

Залнинг бўш ҳажми

$$V = V_3 - V_{\text{ерт}} - V_{\text{эстр}} = 4160 - 450 - 40 = 3670 \text{ м}^3 \quad (8.20)$$

Зал деворларининг ички юзасини аниқлаймиз. У деворларнинг буй-лама юзаси, эни, пол ва шифт юзалари йиғиндисига тенг.

$$S_{\text{умум}} = S_{\text{шифт}} + S_{\text{пол}} + S_{\text{дев}} + S_{\text{ен эстр.}} \quad (8.21)$$

Демак,

$$S_{\text{шифт}} + S_{\text{пол}} = 2(l \cdot v) = 2(26 \cdot 16) = 932 \text{ м}^2 \quad (8.22)$$

8.6 – расмдаги зал шаклига асосан:

$$\sum S_{\text{ен}} = S_{\text{ен 1}} + S_{\text{ен 2}} + S_{\text{ен 3}} \quad (8.23)$$

$$S_{\text{ен 1}} = h_2 \cdot a_1 = 7,5 \cdot 2,5 = 18,75 \text{ м}^2; \quad (8.24)$$

$$S_{\text{ен 2}} = \frac{1}{2}(h_2 + h_3) \cdot a_2 = \frac{1}{2}(7,5 + 10) \cdot 17,5 = 153,13 \text{ м}^2; \quad (8.25)$$

$$S_{\text{ен 3}} = h_3 \cdot a_3 = 10 \cdot 6 = 60 \text{ м}^2; \quad (8.26)$$

$$\sum S_{\text{ен}} = 18,75 + 153,13 + 60 = 231,88 \text{ м}^2;$$

$$S_{\text{орқ, дев}} = h_2 \cdot v = 7,5 \cdot 16 = 120 \text{ м}^2; \quad (8.27)$$

$$S_{\text{олл. дев}} = h_3 \cdot v = 10 \cdot 16 = 160 \text{ м}^2; \quad (8.28)$$

$$S_{\text{ум. дев}} = S_{\text{олл. дев}} + S_{\text{орқ, дев}} + \sum S_{\text{ен, дев}} = 160 + 120 + 2 \cdot 231,88 = 743,76 \text{ м}^2 \quad (8.29)$$

$$2 S_{\text{ен эстр}} = 2(2 \cdot 4 \cdot 1) = 16 \text{ м}^2 \quad (8.30)$$

$$S_{\text{ум}} = S_{\text{шифт}} + S_{\text{пол}} + S_{\text{ум. дев}} + 2 S_{\text{ен эстр}} = 416 + 416 + 743,76 + 16 = 1591,76 \text{ м}^2 \quad (8.31)$$

8.9. Товуш сундирилиши ҳисоби

8.7 – расмдан 500 Гц частотада оптимал вақт реверберациясини аниқлаймиз.

$$T_{\text{опт}} = 1,05 \text{ с}$$

Эйринг формуласидан ўртача товуш сундириш коэффициенти $\alpha_{\text{ўрт}}$ ни аниқлаймиз

$$T = \frac{0,161 \cdot V}{-\sum \text{Sin}(1 - \alpha_{\text{урт}})} \quad (8.32)$$

ундан:

$$-\ln(1 - \alpha_{\text{урт}}) = \frac{0,161 \cdot 4160}{1583,76 \cdot 1,05} = \frac{669,76}{1662,94} = 0,40 \quad (8.33)$$

8.5 — жадвалдан $\alpha_{\text{урт}}$ ни аниқлаймиз

$$\alpha_{\text{урт}} = 0,33$$

Залда оптимал вақт реверберациясини таъминлайдиган умумий сундирилиш фонди коэффициентини аниқлаймиз:

$$A' = \alpha_{\text{урт}} \cdot S_{\Sigma} = 0,33 \cdot 1583,76 = 522,64 \text{ м}^2 \quad (8.34)$$

Товуш сундирилишининг асосий фондиди ҳисоблаймиз.

Зал режасидан кўриниб турибдики, ўриндиқларнинг ўрнатилиш қадами 1 м га тенг. 6 м узунликдаги қаторга 8 та ўриндиқ ўрнатиш бул — са, 1 м² жойга иккита тингловчи утириши мумкин.

Демак, тингловчилар банд этган юза:

$$S_1 = 0,5 \cdot 416 = 208 \text{ м}^2 \quad (8.35)$$

8.7 — жадвалдан 500 Гц частотада S_1 юзанинг сундириш коэффициенти 0,8 га тенг. Демак, тингловчилар киритаётган сундириш

$$A_1 = 0,8 \cdot 416 = 332,8 \text{ м}^2 \quad (8.36)$$

Ўриндиқ ўтиш оралиқлари эни 1,2 м бўлиб, гилам йулакчалар тушалган йулакчаларнинг умумий узунлиги 98 м. улар юзаси:

$$S_2 = 1,2 \cdot 98 = 117,6 \text{ м}^2 \quad (8.37)$$

15103 артикул бўйича гилам йулакчанинг товуш сундириш коэффициентини

$$A_2 = 0,21 \cdot 117,6 = 24,69 \text{ м}^2 \quad (8.38)$$

Эстрада ва бўш пол юзаси:

$$S_{\text{пол}} = S_{\text{пол}} - S_1 - S_2 = 416 - 208 - 117,6 = 88,4 \text{ м}^2 \quad (8.39)$$

Паркетли полнинг товуш сундириш коэффициенти

$$A_3 = 0,07 \cdot 82,4 = 5,76 \text{ м}^2 \quad (8.40)$$

Залнинг бир то монидаги деразалар юзаси 17 м^2 , унинг сундириш коэффициенти:

$$A_4 = 0,18 \cdot 17 = 3,06 \text{ м}^2 \quad (8.41)$$

Зада учта ёғоч эшик бўлиб, умумий юзаси 14 м^2 , унинг сундириш коэффициенти:

$$A_5 = 0,1 \cdot 14 = 1,4 \text{ м}^2 \quad (8.42)$$

Залдаги барча дераза ва эшикларга парда илинган, уларнинг юзаси:

$$S_3 = S_{\text{ойна}} + S_{\text{эшик}} + S_{\text{саҳна}} = 17 + 14 + 160 = 191 \text{ м}^2 \quad (8.43)$$

Қулайлик яратиш ва дидли кўриниши учун пардаларни бироз кўпроқ $S_3 = 240 \text{ м}^2$ олам из.

Унинг товуш сундириш коэффициенти

$$A_6 = 0,52 \cdot 240 = 124,8 \text{ м}^2 \quad (8.44)$$

Эстрада, ён эстрада, эшик ва деразалар юзасини айиргандан кейинги буш деворлар юзаси:

$$S_{\text{буш}} = S_{\text{эстр}} - S_{\text{ён эстр}} - S_{\text{ойна}} - S_{\text{эшик}} = 743,76 - 160 - 8 - 17 - 14 = 544,76 \text{ м}^2, \quad (8.45)$$

Девор силлиқ ва сувалган:

$$\alpha = 0,0$$

Демак:

$$A_7 = 0,02 \cdot 536,76 = 10,73 \text{ м}^2 \quad (8.46)$$

Залнинг шипи текис, гипс билан сувалган. Гипснинг сундириш коэффициенти

$$\alpha = 0,0$$

Унда:

$$A_8 = 0,02 \cdot 416 = 8,32 \text{ м}^2 \quad (8.47)$$

Товуш сундирилишининг умумий фонди:

$$A_i = \sum_{n=1}^8 A_j = 525,28 \text{ м}^2 \quad (8.48)$$

Шундай қилиб, талаб этиладиган умумий сундирилиш фонди коэф-
фициенти $A_{\text{тал}} \approx A$, яъни $525,28 \approx 523,66$. Бу кўрсаткич маълум даражада зал-
даги тингловчилар ҳисобига ўзгариши мумкин.

8.10. Радиокарнайларнинг талаб этиладиган акустик қуввати ва тўғри товуш сатҳи ҳисоби

А) Акустик нисбат, тўғри ва диффузия товушлари ҳисоби.

Тизимнинг вазифаси ва берилган нотекислик $\Delta N_{\text{тўғри}}$.

ҳамда 8.8 – расмдаги графикдан фойдаланиб, $R_{\text{ўрт.}} = 2$ тенг қабул қиламиз.
(8.17) ва (8.21) формулаларидан тўғри товушнинг ўртача ва минимал сатҳ
қийматларини аниқлаймиз:

$$N_{\text{тўғри ўрт.}} = N_{\text{г.}} - 10 \lg (1 + R_{\text{ўрт.}}) = 80 - 10 \lg 3 = 75,2 \text{ дБ} \quad (8.49)$$

$$N_{\text{тўғри мин.}} = N_{\text{тўғри ўрт.}} - 0,5 \Delta N_{\text{тўғри}} = 75,2 - 3,0 = 72,2 \text{ дБ} \quad (8.50)$$

Диффузия товуши сатҳини аниқлаймиз:

$$N_{\text{д}} = N_{\text{тўғри}} - 10 \lg \frac{1 + R_{\text{ўрт.}}}{R_{\text{ўрт.}}} = 80 - 10 \lg \frac{3}{2} = 78,2 \text{ дБ} \quad (8.51)$$

Акустик нисбат қандай чегараларда ўзгаришини аниқлаймиз:

$$R_{\text{мин}} = R_{\text{ўрт.}} \cdot 10^{-0,05 \Delta N_{\text{тўғри}}} = 2 \cdot 10^{-0,3} = 1 \quad (8.52)$$

$$R_{\text{макс}} = R_{\text{ўрт.}} \cdot 10^{0,05 \Delta N_{\text{тўғри}}} = 2 \cdot 10^{0,3} = 4 \quad (8.53)$$

Демак, $R_{\text{мин}}$ ва $R_{\text{макс}}$ қийматлар берилган чегараларда экан, 8.6 –
жадвалга қаранг.

Б) Радиокарнайларнинг талаб этилган акустик қувватини ҳисоблаш.

$N_{\text{д}}$ қийматини била туриб, диффузия майдони ҳосил қилиш учун зарур
бўлган радиокарнайлар нурлатиш қуввати $P_{\text{а}}$ ни аниқлаймиз.

$$P_{\text{а}} = A \cdot 10^{\frac{N_{\text{д}} - 96}{10}} = 523 \cdot 0,0168 = 8,78 \text{ мВт} \quad (8.54)$$

Радиокарнайлар нурлатаётган тўла акустик қувват

$$P_{\text{а}} = \frac{P_{\text{а}}}{1 - \alpha_{\text{ўрт.}}} = \frac{8,78}{1 - 0,33} = 13 \text{ мВт} \quad (8.55)$$

8.11. Овозлаштириш тизими ва радиокарнайлар турини танлаш

Зални овозлаштириш тизимини танлашда қуйидагиларга аҳамият бериш зарур:

залнинг белгиланиши;

залнинг чизиқли ўлчамлари.

Шулардан келиб чиққан ҳолда зал кўп мақсадли ва ўлчамлари етарлича катта. Бу марказлаштирилган тизимни қўлаш мумкинлигини билдиради. Бунда бир хил товуш майдони ҳосил қилиш мақсадида ўткир характеристика йўналганлигига эга бўлган товуш колонкаларини олиш ва уларни акустик марказидан 3,5м баландликда илиш керак. Аммо, биз кўраётган мисолда берилган тўғри товуш майдон сатҳи нотекислиги $\Delta N_{\text{тўғри}} = 6$ дБ ва кўриш образларини эшитиш образлари билан мослигини таъминлаш зарурати бўлганлиги учун икки қатор кам қувватли товуш колонкаларидан иборат тақсимланган овозлаштириш тизимини қўлаш мақсадга мувофиқдир.

Товуш майдони нотекислигининг минимал қийматини таъминлаш учун товуш колонкаларини ўрнатиш баландлигини аниқлаймиз:

$$h = 0,5 \text{ в } \sqrt{1 - e_B^2} \quad (8.56)$$

бу ерда $\text{в} = l_2 - l_1$ – залнинг эни

e_B – товуш колонкасининг вертикал текисликдаги йўналтирилганлик характеристикаси, 2К3 – 2 учун $e_B = 0,95$, демак,

$$h = 0,5 \cdot 16 \sqrt{1 - 0,95^2} = 2,5 \text{ м} \quad (8.57)$$

Товуш колонкаларини ўрнатиш қадами қуйидаги формула билан аниқланади:

$$d < 2h \sqrt{(1 - e_r^2)(1 - e_B^2)} = 2 \cdot 2,25 \sqrt{(1 - 0,5^2)(1 - 0,95^2)} = 13,69 \text{ м} \quad (8.58)$$

Ҳисобланган ўрнатиш қадами, зарурий товуш майдони сатҳи, унинг белгиланган нотекислиги, янгроқлик узвийлиги, нутқ аниқлигини таъминлай олмайди. Шунинг учун колонкалар занжири қадамини 4м танлаб оламиз. Ҳар бир товуш колонка занжири залнинг ярмини таъминлайди.

Товуш колонкасидан чекка жойларда утирган тингловчиларга бўлган масофани аниқлаймиз:

$$r_{\text{мин}} = \sqrt{l_{\text{мин}}^2 + h^2} = \sqrt{1,5^2 + 2,5^2} = 2,9 \text{ м} \quad (8.59)$$

$$r_{\text{макс}} = \sqrt{l_{\text{макс}}^2 + h^2} = \sqrt{7^2 + 2,5^2} = 7,4 \text{ м} \quad (8.60)$$

$$r_{\text{мин}} = \sqrt{l_{\text{мин}}^2 + h^2} = \sqrt{9^2 + 2,5^2} = 9,3 \text{ м} \quad (8.61)$$

$$r_{\text{макс.}} = \sqrt{l_{\text{макс.}}'^2 + h^2} = \sqrt{14,5^2 + 2,5^2} = 14,7 \text{ м} \quad (8.62)$$

$l_{\text{мин.}}$, $l_{\text{макс.}}$, $l'_{\text{мин}}$ ва $l'_{\text{макс}}$ қийматлари 8.6-расмда келтирилган.

Битта товуш колонка занжири ишлагандаги майдон нотекислиги қуйидаги формула орқали аниқланади:

$$\Delta N = 10 \lg \frac{P_{\text{макс.}}}{P_{\text{мин.}}} = 10 \lg \frac{R_{\text{макс.}}}{R_{\text{мин.}}} \quad (8.63)$$

$$\Delta N = 10 \lg \frac{14,7}{2,9} = 7,05 \text{ дБ}$$

Олинган натижа талаб этилганидан катта, шунинг учун икки товуш колонка занжирини қўллаш зарур. Бунда товуш майдони нотекислиги:

$$\Delta N_{\text{тўғри}} = 10 \lg \frac{P_{\text{макс.}}^2}{P_{\text{мин.}}^2} = 10 \lg \frac{\frac{1}{r_{\text{мин.}}} + \frac{1}{r_{\text{макс.}}}}{\frac{1}{r_{\text{макс.}}} + \frac{1}{r_{\text{мин.}}}} \quad (8.64)$$

$$\Delta N_{\text{тўғри}} = 10 \lg \frac{\frac{1}{2,9} + \frac{1}{14,7}}{\frac{1}{7,4} + \frac{1}{9,3}} = 2,3 \text{ дБ}$$

Олинган натижа қониқарли.

Радиокарнай акустик ўқи бўйича акустик марказидан 1 м масофада ривожлантираётган товуш босими P ни ҳисоблаймиз

$$P^2 = \frac{2\pi P_1^2 \sqrt{1 - e_r^2}}{d \sqrt{0,25 \cdot 16^2 + 2,5^2}} = \frac{17,62}{33,53} = 0,525 \quad (8.65)$$

бу ерда $P = 0,725$ " .

Залнинг бошқа нукталарида товуш босими бу қийматдан фарқли бўлади.

Частота, Гц	Сезгирлик, дБ		Йиғинди сезгирлик, дБ	Тракт индекслари		
	МД-52-А	2К3-2		Q _{кр}	Q _{рац}	Q _{МС}
250	-3,6	0	-3,6	-2,3	3,3	-6,6
500	-2	2	0	-2,8	2,9	-3,0
1000	0	0	0	-2,7	1,8	-3,4
2000	-0,4	-3	-3,4	-2,3	2,1	-6,4
4000	-5	-3	-8	-2,1	1,8	-11,0

8.13. Нутқ равшанлиги

Нутқнинг тушунарлилиги — трактнинг нутқ эшиттиришга лаёқатлигини аниқлайдиган асосий характеристика.

Нутқ аниқлиги деб, тракт орқали узатилган нутқ элементларининг умумий сонидан нисбий ёки фоиздаги тўғри қабул қилинган сонига ай — тилади.

Нутқ элементлари — бу жумла, сўз, бўғин, товуш ва рақамлар. Мос ҳолда, бўғин, товуш, сўз, мазмун ва рақам аниқлигига ажратилади. Қуйида нутқ аниқлиги ҳисоби тартиби келтирилган.

1. Микрофонгача бўлган масофага тузатиш киритиш билан нутқ спектрал сатҳи қуйидаги формула билан аниқланади:

$$B_{\text{ин}} = B_p + 20 \lg \frac{1}{r_m} \quad (8.71)$$

2. Берилган спектри ва акустик шовқин сатҳи буйича унинг спектрал сатҳи B_a ни аниқлаймиз.
3. Нутқ аниқлиги тенг бўлган полоса кенлиги тузатиш йиғиндиси $\sum \Delta L$ аниқлаймиз.
4. Худди шундай, трактнинг ҳақиқий тинглаш жойи индекси $Q_{TЖ}$ ни аниқлаймиз.
5. Тинглаш жойидаги нутқнинг спектрал сатҳини аниқлаймиз:

$$B_{\text{ин}} = B_{\text{ин}} - Q_{TЖ} \quad (8.72)$$

6. Халақитлар спектрал сатҳи қуйидаги формула буйича аниқланади:

$$B_x = B_{\text{ин}} + \sum \Delta L - 21 \quad (8.73)$$

7. Халақитлар ва шовқинлар спектрал сатҳлари йиғиндисини аниқлаймиз:

$$V_{ш} = 10 \lg [10^{0,1B_a} + 10^{0,1B_x}] \quad (8.74)$$

8. Формант сезиш сатҳини қуйидаги формула орқали аниқлаймиз:

$$E = V_{н.т} - V_{ш} \quad (8.75)$$

9. Формант сезиш сатҳи ҳисоб натижалари бўйича нутқ аниқлиги коэффициентини қуйидаги қийматлар учун аниқлаймиз.

$$0 < E < 18 \text{ дБ}$$

$$K_a = \frac{E+6}{30} \quad (8.76)$$

10. Ҳисобланган аниқлик коэффициентларини қушиб формант аниқликни топамиз.

$$A = 0,2 = \sum_{K=1}^5 K_a \quad (8.77)$$

11. Ҳисоб натижаларини 8.4 – жадвалига киритамиз.

8.4- жадвал

Частота, Гц	$V_{н.т}$ дБ	V_a дБ	$\sum \Delta L$ дБ	$-Q_{г.к}$ дБ	V_x дБ	$V_{ш}$ дБ	E, дБ	K_a	A
250	56	34	1,7	6,6	49,4	30,1	13,9	0,66	0,13
500	56	30	3,1	3	49	31,1	15,4	0,71	0,14
1000	43,5	21,5	3,9	3	40,9	23,4	14,9	0,7	0,14
2000	36	13,5	4,8	6,4	29,6	13,4	16,5	0,64	0,13
4000	28,5	7,5	5,7	11	17,5	2,2	8,6	0,49	0,1

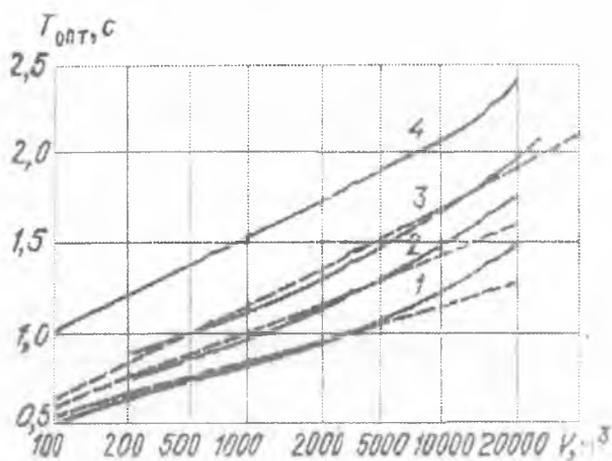
8.14. Намунавий усқунани танлаш

Радиокарнайлар истеъмол этадиган умумий электр қувват

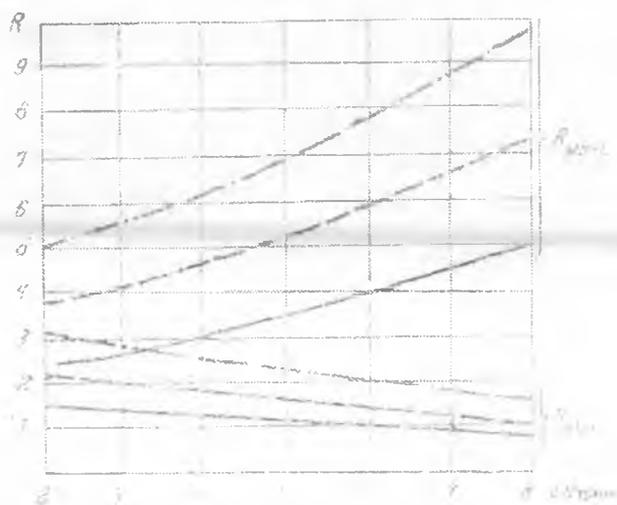
$$P_{умуми} = 10 \cdot 2,5 = 25 \text{ Вт}$$

3С – 25х2М товуш кучайтириш станциясини танлаимиз. Аппаратурадаги иккита канални ишлатганда 50 Вт номинал қувватга эга бўламиз.

Ҳар бир каналнинг қуввати 25 Вт га тенг. Товуш кучайтириш тизими барқарорлигини ошириш мақсадида биз бир каналдан фойдаланиб, иккинчисини илиқ заҳирада қолдирамиз.



8.7—расм. Реверберация оптимал вақтининг зал ҳажмига боғлиқлиги графиги



8.8—расм. Акустик нисбат R нинг майдон сатҳи нотекислиги ΔN тўғрисида боғлиқлиги

$-\ln(1 - \alpha_{\bar{y}_{pr}})$	$\alpha_{\bar{y}_{pr}}$	$-\ln(1 - \alpha_{\bar{y}_{pr}})$	$\alpha_{\bar{y}_{pr}}$
0,01	0,01	0,26	0,229
0,02	0,02	0,27	0,237
0,03	0,03	0,28	0,244
0,04	0,039	0,29	0,252
0,05	0,049	0,30	0,259
0,06	0,058	0,31	0,267
0,07	0,068	0,32	0,274
0,08	0,077	0,33	0,281
0,09	0,086	0,34	0,288
0,10	0,095	0,35	0,295
0,11	0,104	0,36	0,302
0,12	0,113	0,37	0,309
0,13	0,122	0,38	0,316
0,14	0,131	0,39	0,323
0,15	0,139	0,40	0,330
0,16	0,148	0,41	0,336
0,17	0,156	0,42	0,343
0,18	0,165	0,43	0,349
0,19	0,173	0,44	0,356
0,20	0,181	0,45	0,362
0,21	0,189	0,46	0,369
0,22	0,197	0,47	0,375
0,23	0,205	0,48	0,381
0,24	0,213	0,49	0,387
0,25	0,221	0,50	0,393

Ускунанинг белгиланиши	Талаб эгилаёт- ган говуш майdonи сатҳи N_T дБ	Тўғри то- вуш май- дони сатҳи нотекис- лиги $\Delta N_{TVEДИ}$ дБ	Акустик нисбат	
			R_{min}	R_{max}
Муסיқани қайта эшиттириш ва театр эффектлари учун қурилма	100	≤ 6	$\geq 0,5$	8 ÷ 10
Муסיқа дастурларини қайта эшиттириш: солист овозла- рини кичик кучайтириш учун қурилма	94 ÷ 96	≤ 6	≥ 1	8 ÷ 10
Муסיқа дастурларини қайта эшиттириш (мадҳиялар, ракс, муסיқалар ва б.қ)да, нутқни кучайтириш учун қулланиладиган қурилма	94 ÷ 96	≤ 8	≥ 1	4 ÷ 6
Нутқни кучайтириш учун қурилма	80 ÷ 86	≤ 8	≥ 1	4 ÷ 6
Нутқни юқори шовқин ша- роитида қайта эшиттириш учун қурилма	Ҳисоб- ланган сатҳ шовқин сатҳидан 10 ÷ 15 дБ юқори булиши керак, аммо 96 ÷ 100 дБ дан ортиқ эмас		нормаланмайди	

Айрим сундирувчиларнинг товуш сундириш коэффицентлари

8.7-жадвал

Сундирувчи	α ни частотага боғлиқлиги						
	125	250	500	1000	2000	4000	6000
Тингловчилар	0,33	0,41	0,44	0,46	0,46	0,46	0,47
Тингловчилар ёғоч ўрин – диқда	0,17	0,36	0,47	0,52	0,50	0,46	0,44
Суянадиган ёғоч уриндиқ	0,02	0,02	0,02	0,04	0,04	0,03	0,03
чарм қопланган	0,10	0,12	0,17	0,17	0,12	0,10	0,10
чарм ва поролон қопланган	0,05	0,09	0,12	0,13	0,15	0,16	0,15
Суянадиган ўриндиқ, ду – хоба қопланган	0,14	0,22	0,31	0,40	0,52	0,60	0,62
Юмшоқ ўриндиқ	0,05	0,09	0,12	0,13	0,15	0,16	0,15
Ярим юмшоқ ўриндиқ	0,05	0,08	0,18	0,15	0,17	0,15	0,05
Қаттиқ ўриндиқ	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02
1м ² даги тингловчилар	0,28	0,40	0,45	0,49	0,47	0,45	0,44
Асфальт устига қопланган паркет	0,04	0,04	0,07	0,06	0,06	0,07	0,07
Паркет шпонкада	0,20	0,15	0,12	0,10	0,08	0,07	0,07
Ёғоч харилардаги пол	0,15	0,11	0,10	0,07	0,06	0,07	0,06
Полдаги 5 мм резина	0,04	0,04	0,08	0,08	0,08	0,10	0,06
Релин	0,04	0,05	0,07	0,07	0,08	0,08	0,06
Линолеум қаттиқ асосда	0,02	0,02	0,03	0,03	0,04	0,04	0,04
Сувалган девор, клейли буёкланган	0,02	0,02	0,02	0,03	0,04	0,04	0,04
Худди шундай, мойланган	0,01	0,01	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02
Оҳак ва металл тур билан сувалган девор	0,04	0,05	0,06	0,08	0,04	0,06	0,06
Худди шундай, ёғоч тур билан	0,03	0,05	0,06	0,09	0,04	0,06	0,06
Ёғоч плиталар	0,12	0,11	0,1	0,03	0,08	0,11	0,12
Қум – оҳакли девор	0,04	0,05	0,06	0,09	0,04	0,06	0,06
Оддий гипс сувоқ	0,04	0,04	0,04	0,06	0,06	0,03	0,07
Темир – бетон юза	0,01	0,01	0,01	0,02	0,02	0,02	0,02
АЦП сувоқ	0,27	0,31	0,31	0,31	0,33	0,40	0,13
Мармар, гранит ва б.қ	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,02
Терилган гипс, зиҳли	0,15	0,19	0,29	0,28	0,38	0,46	0,45
Худди шундай, зиҳсиз	0,03	0,03	0,03	0,04	0,05	0,06	0,06
Метлах плитаси	0,01	0,01	0,02	0,02	0,02	0,03	0,03
Саҳна тешиги	0,20	0,30	0,30	0,30	0,30	0,30	0,20
Вентилиция тешиги	0,30	0,42	0,50	0,50	0,50	0,51	0,52
Ойна (бир қават)	0,35	0,25	0,18	0,12	0,07	0,04	0,03
Локланган эшиклар	0,03	0,02	0,05	0,04	0,04	0,04	0,04
Қарағай эшиклар	0,10	0,11	0,10	0,08	0,08	0,11	0,11

Материал	b, мм	α ни частота Гц га боғлиқлиги						
		125	250	500	1000	2000	4000	6000
Минерал пахтали ПП — 80	-	0,08	0,30	0,64	0,89	0,95	0,81	0,73
Шундай	50	0,21	0,40	0,72	0,98	0,97	0,79	0,75
«Стилит»	-	0,43	0,98	0,89	0,99	0,95	0,87	0,75
Дарахт — қипиқли	50	0,22	0,30	0,34	0,32	0,41	0,42	0,42
«Фибролит» 30 мм	-	0,06	0,16	0,25	0,38	0,59	0,63	0,59
Шундай	150	0,13	0,42	0,53	0,35	0,53	0,63	0,56
Акустик ПА / Д	-	0,05	0,59	0,52	0,53	0,25	0,11	0,08
Шундай	100	0,34	0,62	0,52	0,52	0,26	0,15	0,14
Акустик ПА / О	-	0,01	0,17	0,68	0,98	0,86	0,45	0,28
Шундай	100	0,20	0,52	0,98	0,85	0,80	0,45	0,28
Акустик ПА / С	100	0,18	0,64	0,99	0,93	0,90	0,83	0,76
«Травертон»	-	0,02	0,14	0,65	0,90	0,87	0,86	0,88
Шундай	100	0,28	0,81	0,86	0,87	0,89	0,86	0,88
«Акмигран»	100	0,29	0,70	0,68	0,68	0,75	0,74	0,70
«Брекчия»	50	0,33	0,44	0,69	0,88	0,92	0,69	0,66
Шишаматоли тушак «Атимс»	50	0,08	0,26	0,64	0,89	0,75	0,78	0,80
АТМ 1 — 50 П	-	0,36	0,76	0,98	0,89	0,88	0,58	0,47
Минерал пахта тушак	-	0,17	0,59	0,99	0,98	0,96	0,87	0,84
Дағал йиғилган мато	50	0,10	0,28	0,46	0,60	0,58	0,60	0,68
Репс	800	0,14	0,40	0,80	0,97	0,99	0,99	0,99
«Маркиза»	-	0,04	0,23	0,40	0,57	0,53	0,62	0,60
Гиламлар артикул 1346	-	0,02	0,05	0,26	0,47	0,54	0,70	0,71
артикул 15103	-	-	0,04	0,21	0,45	0,55	0,62	0,64
латексли	-	-	0,04	0,15	0,31	0,63	0,72	0,63
тукли	-	0,02	0,05	0,07	0,11	0,29	0,48	0,50

Товуш колонкаларининг уртача экстрентриситет қийматлари

8.8-жадвал

Тури	Қуввати, Вт	Габарит ўл- чамлари, мм	e_r	e_b
А) Товуш колонкалари				
2КЗ-2	2	600x120x73	0,5	0,95
2КЗ-6	2	394x132x94	0,5	0,900
2КЗ-5	2	680x120x73	0,5	0,958
8КЗ-4	8	423x188x124	0,65	0,902
10КЗ-2	10	775x365x255	0,90	0,965
25КЗ-2	25	960x415x320	0,90	0,970
50КЗ-2	50	1160x580x383	0,90	0,980
100КЗ-2	100	1310x610x460	0,90	0,982
15КЗ-4	15	725x274x100	0,87	0,962
15КЗ-6	15	651x301x179	0,89	0,955
25КЗ-6	25	1320x307x260	0,90	0,983
25КЗ-12	25	730x280x210	0,87	0,962
50КЗ-5	50	1280x340x230	0,91	0,982
50КЗ-3М	50	1480x394x294	0,91	0,985
100КЗ-13	100	1280x340x280	0,91	0,982
Б) Рупорли радиокарнайлар				
Думалоқ		500	0,77	0,77
Жуфтланган	∅	1150x500	0,77	0,95

Назорат саволлари

1. Товуш кучайтириш тизими ёрдамида қандай масалалар ечилади?
2. Хонанинг товуш майдони қандай параметрлар билан белгиланади?
3. Овозлаштириш ва товуш кучайтириш тизимларига қандай талаблар қўйилади?
4. Акустик тескари алоқа тушунчасини тушунтиринг
5. Овозлаштириш ва товуш кучайтириш тизимларининг қандай турларини биласиз?
6. Оптимал реверберация вақтини аниқлаш услубини тушунтиринг
7. Товуш кучайтириш тизимлари барқарорлигини оширишнинг қандай усулларини биласиз?
8. Хонада товуш аниқлигини оширишнинг қандай усулларини биласиз?

Адабиётлар

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 16122-87. Громкоговорители. Методы электроакустических измерений.
4. Лифшиц С.Я. Курс архитектурной акустики. М. Изд-во МВТУ: 1927
5. Фурдуев В.В. Электроакустика.—М.: Связиздат. 1960.
6. Цвикер Э., Фельдкеллер Р., Ухо как приёмник информации. — М.:Связь. 1971.
7. Римский-Корсаков А.В. Электроакустика.— М.: Связь. 1973.
8. Радиовещание и электроакустика. Учебник для вузов. —М.: Радио и связь. 1999.
9. Катунин Г.П. Микрофоны. Учебное пособие. — Новосибирск.: СибГТИ. 1995.
10. Катунин Г.П., Лапаев О.А. Громкоговорители. Учебное пособие. — Новосибирск.: Издательство Сибирской государственной академии телекоммуникаций и информатики (СибГАТИ). 1997..
11. Ржевкин С.Н. Курс лекций по теории звука.— М.: Издательство МГУ. 1960.
12. Катунин Г.П., Лапаев О.А. Проектирование и расчёт акустических параметров помещений. Учебное пособие — Новосибирск.: Издательство Сибирского государственного университета телекоммуникаций и информатики (СибГУТИ). 2000.
13. Папернов Л.З. и др. Расчет и проектирование систем озвучения и звукоусиления в закрытых помещениях.— М.: Связь, 1970.
14. Алдошина И.А. Электродинамические громкоговорители.—М.: Радио и связь. 1989.
15. Молодая Н.Т. Акустический расчёт радиовещательных и телевизионных студий. М.:ВЗИС, 1961.
16. С.М.Аллон, Н.И.Максенов. Музыкальная акустика. М.: Высшая школа. 1971.
17. Алёхин С. Общие принципы звукоусиления в концертных залах //Звукорежиссёр.—1999 — №1,3,4,7.
18. Ковалгин Ю.А. Стереофония.—М.: Радио и связь. 1989.
19. Сапожков М.А. Звукофикация помещений.—М.: Связь. 1979.
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. //Звукорежиссёр—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 РЗМ-микрофонов. //Звукорежиссёр.— 2000.— №1.

24. Зупаров М. Исследование переходных процессов в электродинамических громкоговорителях. Сборник трудов МЭИС, выпуск 2. М. 1970.

25. Зупаров М. Акустический расчёт системы звукоусиления зала. Пособие по КП и ВКР для бакалавров. Ташкент. 2003.

26. Зупаров М., Буланбаева С. Акустический расчёт студий. РНТК, том 1. Новосибирск, 2004

27. Алдошина И.А., Войшвилло А.Г. Высококачественные акустические системы и излучатели. – М.: Радио и связь. 1985.

Кирish.....	3
1 бoб. Физиологик акустика а сослари	
1.1. Oдам эшитиш аъзосининг тузилиши.....	4
1.2. Частота буйича эшитиш.....	7
1.3. Эшитиш бусағаси ва оғриқ бусағаси.....	11
1.4. Товуш жадаллигининг дифференциал эшитиш бусағаси..	13
1.5. Товуш баландлиги ва товуш баландлиги сатҳи.....	16
1.6. Мураккаб товушларни эшитиш. Ниқоблаш.....	19
1.7. Эшитишни сеза билишнинг ва қт тавсифлари.....	22
1.8. Эшитиш аъзосининг ночизиқлиги хусусиятлари.....	25
1.9. Бинаурал эффект.....	25
Назорат саволлари	27
2 бoб. Товуш тебранишлари ва тўл қинлар	28
2.1. Таърифлар.....	28
2.2. Яси тўлқин	30
2.3. Сферик тўлқин.....	33
2.4. Тўлқинлар интерференцияси.....	35
2.5. Товушнинг қайтиши.....	35
Назорат саволлари	37
3 бoб. Товуш сигналлари	
3.1. Таърифлар.....	38
3.2. Динамик диапазон.....	38
3.3. Уртача сатҳ.....	40
3.4. Частота диапазони ва спектрлар.....	41
3.5. Акустик сигналларнинг вақт тавсифлари.....	44
3.6. Сигналнинг бирламчи параметри.....	44
3.7. Иккиламчи сигнал.....	45
3.8. Шовқин ва халақитлар.....	46
3.9. Чизиқли бузилишлар.....	46
3.10. Ночизиқли бузилишлар.....	48
Назорат саволлари	50
4 бoб. Электромеханик тизимлар ва элементлар	
4.1. Электромеханик узгартриш.....	51
4.2. Чизиқли узгартригичларнинг умумий тенгламаси.....	51
4.3. Электростатик узгартригичлар.....	53
4.4. Узгартригичнинг эквивалент схемалари.....	56
4.5. Электромеханик ўхшатишлар усули.....	57
4.6. Акустик тизимлар.....	63
Назорат саволлари.....	65

5 боб. Микрофонлар

5.1. Микрофонларнинг классификациялари ва техник тавсифлари.....	66
5.2. Микрофонларнинг ишлаш принципи.....	69
5.3. Микрофон — электромеханик ўзгартиргич.....	72
5.4. Микрофон — товуш қабул қилгич.....	73
5.5. Ғалтакли микрофон.....	77
5.6. Тасмали микрофон.....	82
5.7. Конденсаторли ва электретли микрофонлар.....	84
5.8. Комбинацияланган микрофонлар.....	88
5.9. Товуш сигналларини қабул қилувчи ўткир йўналтирилган микрофонлар.....	94
5.10. Радиомикрофонлар.....	98
5.11. Микрофонли стереофоник тизимлар.....	99
5.12. Микрофонларни ишлатиш хусусиятлари.....	102
Назорат саволлари.....	107

6 боб. Радиокарнайлар

6.1. Радиокарнайларнинг асосий техник тавсифлари.....	108
6.2. Нурлатгич турлари.....	110
6.3. Чизиқли гуруҳ нурлатувчилари.....	116
6.4. Диффузорли радиокарнайлар.....	118
6.5. Электродинамик радиокарнайларда ночизиқли бузилишлар.....	124
6.6. Электродинамик радиокарнайларда частотали бузилишлар.....	126
6.7. Тўғри нурлатувчи радиокарнайларнинг эшиктириш частота диапазони кенгайтириш усуллари.....	127
6.8. Радиокарнайларда ўтгиш жараёнлари.....	133
6.9. Рупорли радиокарнайлар.....	138
6.10. Конденсаторли радиокарнайлар.....	142
6.11. Акустик тизимлар.....	143
Назорат саволлари.....	145

7 боб. Архитектура акустикасининг асослари

7.1. Архитектура акустикасининг қисқача ривожланиш тарихи.....	146
7.2. Хона акустикасининг статистик назарияси.....	148
7.3. Акустик ҳисобат ва эквивалент реверберация.....	150
7.4. Олтимал реверберация вақти. Студиялар.....	151
7.5. Товуш кучайтириш тизимли заллар.....	153
7.6. Зал акустикасини субъектив баҳолаш усуллари.....	155
7.7. Товуш ютувчи материаллар ва уларнинг конструкциялари.....	156
7.8. Хоналарнинг товуш изоляцияси.....	158
7.9. Радиоэшиктириш студиялари реверберация вақти частота тавсифининг акустик ҳисоби.....	159

Назорат саволлари.....	162
8 боб. Овозлаштириш ва товуш кучайтириш тизимлари	
8.1. Овозлаштириш ва товуш кучайтириш тизимларининг вазифалари.....	163
8.2. Товуш кучайтириш ва овозлаштириш тизимларига қўйиладиган талаблар.....	163
8.3. Бир жойга тўпланган тизимлар.....	164
8.4. Зонал тизимлар.....	165
8.5. Тақсимланган тизимлар.....	167
8.6. Нутқнинг тушунарлилиги ва аниқлиги.....	169
8.7. Залларни сошлаш бўйича айрим тавсиялар.....	173
8.8. Зал товуш кучайтириш тизимининг акустик ҳисоби.....	173
8.9. Товуш сундирилиши ҳисоби.....	175
8.10. Радиокарнайларнинг талаб этиладиган акустик қуввати ва тўғри товуш сатҳи ҳисоби.....	178
8.11. Овозлаштириш тизими ва радиокарнайлар турини танлаш.....	179
8.12. Кучайтиришнинг чегаравий индекси ҳисоби ва микрофон турини танлаш.....	181
8.13. Нутқ равшанлиги.....	182
8.14. Намунавий ускунани танлаш.....	183
Назорат саволлари.....	190
Адабиётлар.....	191

Масуд Зупарович Зупаров,
Геннадий Павлович Катунин,

ЭЛЕКТРОАКУСТИКА

Ўқув қўлланма

профессор Г.П.Катунин тахрири остида

ТАТУ Илмий услубий кенгаши мажлисида (2005 йил,
17 февраль, 24 баённома) муҳокама қилиниб, нашрга
тавсия қилинган.

Ўқув қўлланма, «Радиоалоқа, радиоэшигтириш ва
телевидение», «телекоммуникация» нинг касбий
педагогика мос йуналишларидаги талабаларга
мўлжаллаиған.

Таржимон

Муҳаррирлар:

Техник муҳаррирлар:

Муқова дизайнерлари:

М.З. Зупаров, доцент

А.А. Абдуазизов, доцент

Ф.Н. Йўлдошева, доцент

К.Х. Ҳайдаров, доцент

Н.Ю. Юнусов, доцент

Щёголев О.Г.

Ахмедов К.Н.

Бичими 84x108 1/32

Оффсет қоғози. Адали 50 Буюртма № 111

ТАТУ басмахонасида чоп этилди.

700084 Тошкент. Амир Темур 108 уй.