

V.TAEL

MÜRA



A-235.38 II

V. T A E L

M Ü R A

28112

TALLINN

EESTI RIIKLIK KIRJASTUS · 1961

I. MÜRA OLEMUS

I. SISSEJUHATUS

Tänapäeval on tehnika tunginud niivõrd laialdaselt kõigile meie elualadele, et ilma eesrindliku tehnika rakendamiseta on raske mingit progressi ette kujutada. Vaadake kriitilise pilguga — kohe torkab silma, kuidas iga aastaga paisub tööstuse maht, kasvavad linnad, kuidas kolhoosid muutuvad tõelisteks mehhaniseeritud suurmajanditeks; näeme, kuidas areneb transport nii liiklusvahendite kui ka -tiheduse osas jne.

Meie ühiskonna arengus on üheks eesmärgiks kaotada oluline erinevus maa ja linna, füüsilise ja vaimse töö vahel. Progressiivselt saab see toimuda ainult sel teel, et inimeste füüsiline töö asendatakse maksimaalses ulatuses masinate tööga, inimene ise muutub aga kvalifitseeritud töötajaks, kes käsutab masinaid ning kelle töö omandab üha rohkem vaimse iseloomu. Selle eesmärgi täielikuks realiseerimiseks on ühe tingimusena vaja toota ja tööle rakendada veel rohkem masinaid, tootmist veel rohkem automatiseerida ja telemehhaniseerida. Seega laieneb tehnika rakendamine tulevikus veelgi. Siinjuures toimub lakkamatult tehnika enese arenemine orientatsiooniga üha suurematele võimsustele ja kiirustele.

Kaasaegne tehniline progress hõlmab tohutul hulgal kõige mitmekesisemaid probleeme, mis lakkamatult muutuvad ja vahetuvad. Üks küsimus muutub aktuaalseks, teine jääb tagaplaanile, ühe probleemi tähtsus kasvab, teise oma kahaneb.

Tehnika areng koos elanikkonna kasvava kontsentratsiooniga linnadesse ja tööstuskeskustesse nihutab muuhulgas esiplaanile ka nn. müra probleemi.

Müra kahjulikkuse fakt ei vaja erilisi tõendeid. Juba vanas Hiinas oli rohkem kui 2000 aastat tagasi kehtetatud seadus, mille järgi tolleaegse kohaliku imperaatori

laimaja ees pidid karistusena vahetpidamata lärmama trummilööjad, flöödimängijad ja kisakõrid seni, kuni kurjategija surnult maha langes. Niisugust surma peeti kõige piinarikkamaks. Meile on see kujukaks näiteks faktist, et mõnikord võib müra mõjuda inimorganismile isegi surmavalt.

Esimesi tähelepanekuid müra kahjustavast mõjust hakati tegema arstide poolt alates 16. sajandist (algul peamiselt mäetööliste kutsehaigusena). Kuna tehnika ei olnud tollal kuigi kõrgel arengutasemel, siis need tähelepanekud laiemat huvi ei äratanud. Olukord muutus seoses tehnilise progressiga tööstuses alates 19. sajandi teisest poolest. Tehti kindlaks tööstusliku müra kahjulik mõju kuulmisorganitele. Paljud teadlased asusid lähendama müraga seoses olevaid küsimusi. Alustati katseid loomadega. Väärtusliku panuse mainitud töösse andis 19. sajandi lõpul Moskvast töötanud professor Stein. Imperialistlik maailmasõda katkestas need tööd aastateks 1914—1924. Peale rahvamajanduse paranemist sõjahäavadest alustati taas teaduslike uurimistöödega müra kahjuliku mõju kohta. Tehti kindlaks, et peale kuulmisorganite kahjustuste põhjustab müra ka tööviljakuse langust. Kuna kahjulikud mürad tekkisid peamiselt tööstuslikest protsessidest ja mõjutasid esmajoones töölisi ning nende tööviljakust, siis alustati võitlust müraga töökaitse raamides.

Esialgu oli eesmärgiks uurida igakülgset müra kahjulikku mõju kuulmisorganitele ja välja töötada hädavajalikud kaitseabinõud. Müra enese uurimist alustati alles peale 1926. aastat, kui ilmus esimene müra mõõtmiseks sobiv fonomeeter. Peale seda hakkas arenema müra mõõtmise meetodika ja täiustuma vastav aparatuur. 1933. aastal organiseeriti Leningradi Töökaitse Instituudi juures spetsiaalne laboratoorium võitluseks tööstuslike müradega. Veidi hiljem asutati analoogilised laboratooriumid ka teistes suuremates Nõukogude Liidu linnades. Silmapaistev osa on müravastase võitluse organisatoorses ja teaduslikus töös sel perioodil professor G. L. Navjažskil. Suur Isamaasõda katkestas uurimistööd mitmeks aastaks. Peale sõda alustati neid uuesti ja seejuures juba märgatavalt laiaulatuslikumalt ning intensiivsemalt. Teaduse ja tehnika arengutase võimaldas hakata uurima nii müra ennast kui ka mehhanismi,

mille abil ta mõjutab kuulmisorganeid. Asuti uurima ka müra kompleksset mõju kogu inimorganismile.

Tänapäeval on inimeste kaitsmine müra häiriva ja kahjuliku toime eest juba tuntud faktiks. Kujukaks näiteks on laialdane summutite kasutamine autoehituses. Me teame ka, et tugevat müra tekitavate tehnoloogiliste protsesside juures vajavad töötajad kaitset müra kahjuliku mõju eest jne. Taolisi lokaalseid kaitseabinõusid müra vastu kasutatakse edukalt juba pikemat aega. Seejuures on teaduse saavutused viinud müravastase võitluse lähteseisukohtade märgatava avardumiseni — on jõutud veendumusele, et seda võitlust tuleb arendada tunduvalt laiemal rindel.

Kahjuks ei saa inimesed sageli aru müra kahjuliku mõju ulatusest. Peetakse ohtlikuks ainult kuulmisorganeid kahjustavat müra. Ei arvestata võimalusega, et ta võib mõjutada ka inimese siseorganeid ja seda tunduvalt väiksema intensiivsuse juures, kui on vajalik kuulmisorganite puhul. Kui müra pole küllalt intensiivne (tugev), et tekitada kuulmishäireid, võib inimene temaga näiliselt harjuda. See harjumine osutub aga sageli petlikuks ning inimese tervises tekib häireid, mida tavaliselt ei oskagi ühendusse viia müra mõjuga. Kestev viibimine harjumatult ebameeldiva müra keskkonnas põhjustab juba märgatavamaid kahjustusi. Mõlemal juhul on tulemuseks inimese füüsiliste ja vaimsete võimete langus.

Otstarbekas kaitse müra vastu tõstab inimeste töövõimet, parandab nende enesetunnet ja on vältimatuks eelduseks täisväärtuslikule puhkusele. Seoses vaimse töö osatähtsuse kasvuga suureneb veelgi vajadus vaikuse järele. Mida rohkem me töötame vaimselt, seda rohkem vajame täisväärtuslikku puhkust ja vabanemist närvi pingest.

Seoses asjaoluga, et müra mõjupiirkond haarab laiu elanikkonnahülki ja on tihedalt seotud kõigi tehnikaharudega, on müra mõju küsimus muutunud kaasaegseks tehniliseks ja sotsiaalseks probleemiks, mis kerkib erilise teravusega esile just suurlinnades.

Nõukogude Liidus osutatakse väga suurt tähelepanu võitlusele müraga. Nende küsimustega tegeleb rida spetsiaalseid uurimisasutusi, neid probleeme on käsitletud paljudes teaduslikes töodes ja ettekannetes. 1956. a. veebruaris kinnitati Nõukogude Liidu Tervishoiu-minis-

teeriumi poolt «Ajutised sanitaarnormid ja -määrused müra piiramiseks tööstuses». Sama aasta augustikuus toimus Leningradis Nõukogude Liidu Teaduste Akadeemia akustika komisjoni ja Leningradi Töökaitse Instituudi ühisel organiseerimisel rahvusvaheline konverents, mis oli pühendatud võitlusele müra vastu. Päev-päevalt hakatakse üha rohkem tähelepanu pöörama müra probleemile meie maa kõigis tehnikaharudes, eriti masinaehituses, elamuehituses jne., samuti liikluses, linnade ja tööstuskeskuste planeerimisel jne. Märkimisväärne osa viimasel ajal tööstuslike mürade valdkonnas tehtud tööst Nõukogude Liidus on seotud I. I. Slavini nimega (Leningradi Töökaitse Instituut).

Müravastase võitluse probleemidega tegeldakse võrdlemisi palju ka välismaal.

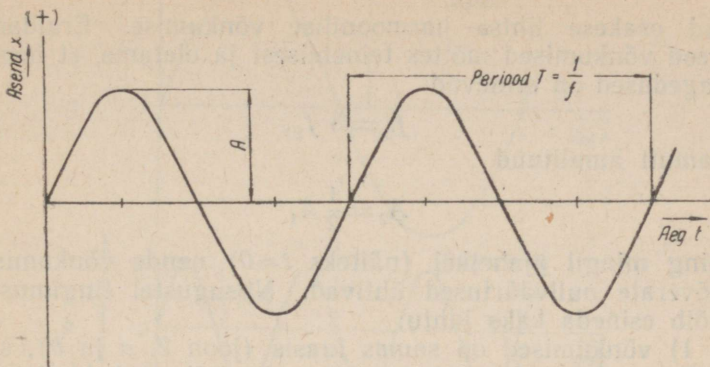
Käesolev raamat püüab anda lühikese ülevaate algteadmistest, mis on vajalikud üldise ettekujutuse saamiseks müra olemusest, tema kahjulikkusest ja meetoditest, mida tehnika kasutab vabanemiseks sellest ebasoovivast kaaslasest.

2. PÕHILISI MÕISTEID JA TERMINOLOOGIA

Enne kui vaadelda müra ja selle kahjulikkust, tuleb meil meenutada mõningaid akustika-alaseid mõisteid ja termineid.

Teame, et hääli on elastse keskkonna perioodiline võnkumine. Püüame kujutada seda võnkumist graafiliselt. Valime koordinaatteljestiku, kanname horisontaalteljele aja t ja vertikaalteljele keskkonna mingi osakese asendi x . Viimase nullväärtuseks võtame osakese algasendi, s. t. olukorra, kus võnkumine puudub. Kokkuleppeliselt loeme osakese kõrvalekaldumist ühele poole algasendist positiivseks (+), teisele poole — negatiivseks (-). Kandes vaadeldava osakese asukoha aja funktsioonina graafikule, tekib tulemusena kõverjoon, mis iseloomustab antud võnkeprotsessi. Kui võnkumist kirjeldab siinuskõver, nimetatakse teda lihtsaks harmooniliseks võnkumiseks (joon. 1).

Võnkumine on perioodilise iseloomuga liikumine, s. t. ta koosneb üksteisele järgnevatest ühesugustest tsüklistest. Aega, mille vältel osake sooritab ühe tsükli, nime-



Joon. 1. Lihtsat harmoonilist võnkumist iseloomustav kõver (siinuskõver)

tatakse perioodiks T (vt. joon. 1) ja seda mõõdetakse sekundites. Väga tähtsaks võnkeprotsessi iseloomustavaks suuruseks on perioodi pöördväärtus, s. o. arv, mis näitab, mitu tsüklit (perioodi) toimub sekundi vältel. Seda suurust nimetatakse võnkesageduseks f ja teda mõõdetakse hertsides (Hz). Herts on siisugune sagedus, mille puhul toimub üks võnge sekundis. Seega

$$f = \frac{1}{T}.$$

Sagedus näitab, mitu võnkeperioodi mahub ajaühikusse. Sagedusest sõltub tajutava hääle kõrgus. Inimese kuulmisorganid registreerivad hääle kõrgust sageduse logaritmilise skaala järgi. Sama arvu kordseid muutusi hääle sageduses tajume võrdsete muutustena hääle kõrguses. Näiteks 10-kordset hääle sageduse muutumist 50 Hz-st kuni 500 Hz-ni tajume me sama suurena, nagu sagedustel 500 Hz-st kuni 5000 Hz-ni. Sageduse kahekordistamine tõstab hääletooni kõrgust suuruse võrra, mida nimetatakse oktaaviks.

Maksimaalset osakese kõrvalekaldumist algasendist nimetatakse võnkeamplituudiks A (vt. joon. 1). Amplituud määrab võnkeprotsessi intensiivsuse. Hääletooni valjus aga muutub vastavalt intensiivsusele.

Oletame nüüd, et keskkonna mingile osakesele mõjuvad kaks perioodilist jõudu, mis kumbki eraldi põhjustak-

sid osakese lihtsa harmoonilise võnkumise. Eraldame need võnkumised mõttes teineteisest ja oletame, et nende sagedused on erinevad

$$f_2 = 3 f_1,$$

samuti amplituud

$$A_2 = \frac{1}{2} A_1$$

ning mingil ajahetkel (näiteks $t=0$) nende võnkumiste kõverate nullväärtused ühtivad. Niisugustel tingimustel võib esineda kaks juhtu:

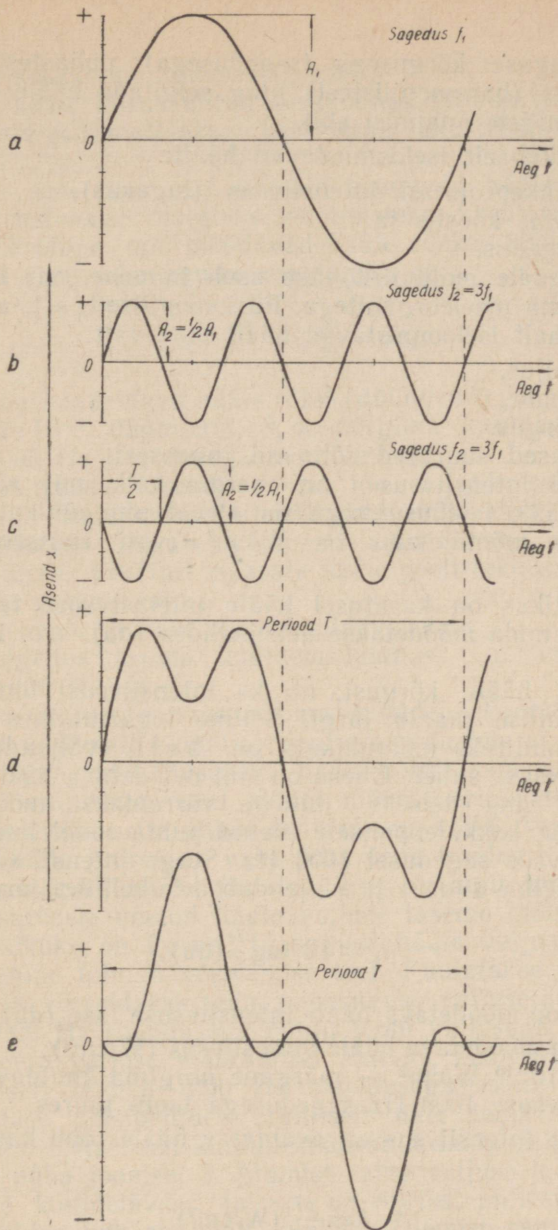
1) võnkumised on samas faasis (joon 2, a ja b), s. t. mõlema liikumise puhul toimuvad ajalisel kokkulangevate algasendite ($X=0$) läbimised samas suunas,

2) võnkumised on vastufaasis (joon. 2, a ja c), s. t. mõlemi liikumise puhul on ajalisel kokkulangevate algasendite läbimised vastassuunalised.

Kuna vaadeldud võnkumisi põhjustavad jõud mõjuvad ühele ja samale keskkonnaosakesele, siis antud juhul omandab osakese liikumine kahe lihtsa harmoonilise liikumise liitumise tulemusena keerulisema iseloomu ja me ei saa seda enam kujutada siinuskõvera abil. Joonisel 2 näeme kahe faasisoleva (a ja b) võnkumise liitumisel tekkiva liikumise kõverat (d) ja kahe vastufaasis (a ja c) toimuva võnkumise resultanti (e). Nagu näeme, on need resultantkõverad keerulisema kujuga ja nendega opereerida on märksa tülikam kui siinuseliste kõveratega.

Toodud näited kujutavad kahe siinuselise kõvera graafilist liitmist. Analoogiliselt võib üksteisega liita kui tahes palju kõveraid. Sobiva liidetavate valikuga võib saada igasuguse soovitud kujuga perioodilist kõverat. Pole raske mõista, et keerulise kujuga resulteerivaid kõveraid saab matemaatiliste meetoditega lahutada lihtsateks siinuselisteks kõverateks ehk harmoonilisteks komponentideks. Praktikas lahutatakse väga sageli keerulist võnkumist iseloomustav kõver erinevate sageduste ja amplituudidega komponentvõnkumisteks. Seda toimingut nimetatakse harmooniliste analüüsiks. Saadud komponentidest kõige madalama sagedusega võnkumist nimetatakse põhiharmooniliseks ja kõrgema sagedusega komponente kõrgemateks harmoonilisteks.

Vastavalt ülaltoodule võime ka keerulisema iseloomuga häält (hääli on ju võnkeprotsess!) kujutada koosnevana



Joon. 2. Võnkliikumise näiteid:

a, b, c — lihtsad harmoonilised võnkumised; *d* — võnkumiste *a* ja *b* summa; *e* — võnkumiste *a* ja *c* summa

mitmesuguse kõrgusega (sagedusega) puhastest hääletoonidest (harmoonilistest) ning selgitada hääle koostist harmooniliste analüüsi abil.

• Füüsikaliselt iseloomustavad häält:

- 1) võnkeprotsessi intensiivsus (tugevus),
- 2) hääle koostis ja
- 3) sagedus.

Kui hääle mõjupiirkonnas asub inimene, siis ta tajub häält oma meelega. Füsioloogiliselt, s. t. aistimise seisukohalt iseloomustavad häält vastavalt:

- 1) valgus,
- 2) tämbr,
- 3) kõrgus.

Viimased suurused sõltuvad inimesest.

Hääle intensiivsus I on energia hulk, mis ajaühikus läbib hääle levikusuunaga ristiolevat pinnauhikut. Intensiivsuse mõõtühikuks on W/cm^2 (vatt ruutsentimeetri kohta).

Praktikas on kasutusel hääle intensiivsuse taseme β mõiste, mida mõõdetakse detsibellides (db), s. o. 1/10 bel- lides.

Nagu hääle kõrgust, nii ka intensiivsust hinnatakse logaritmilise skaala järgi. Selline logaritmiline skaala, mille põhiliseks mõõtühikuks on $bell$, väljendab kahe intensiivsuse suhet. Üheks on siin mõõdetava hääle intensiivsus ning teiseks, millega võrreldakse mõõdetavat häält, on kokkuleppeliselt võetud puhta tooni kuuldeläve intensiivsus sagedusel 1000 Hz. Seega intensiivsuse tase on suhteline suurus ja väljendub detsibellides järgmiselt:

$$\beta_1 = 10 \log \frac{I_1}{I_0} (db),$$

kus β_1 on mõõdetava hääle intensiivsuse tase (db),

I_1 on mõõdetava hääle intensiivsus (W/cm^2),

$I_0 = 10^{-16} W/cm^2$ — märgime nõrgima kuuldava hääle intensiivsuse 1000 Hz sagedusega tooni juures.

Hääle intensiivsus on avaldatav hääle rõhu kaudu seega

$$I = \frac{p^2}{\rho v} (W/cm^2),$$

kus p on hääle rõhk (düüni/cm²),

ρ on keskkonna tihedus (g/cm^3),

v — hääle kiirus antud keskkonnas (cm/sek).

Suurust ρv nimetatakse keskkonna akustiliseks takistuseks.

Kuna seni pole veel lihtsaid seadmeid hääle energia või intensiivsuse otsesteks mõõtmisteks, kasutatakse selleks mikrofone, mis mõõdavad hääle rõhku. Hääle intensiivsuse tase rõhu kaudu avaldatuna on

$$\beta_1 = 20 \log \frac{p_1}{p_0} \text{ (db)},$$

kus p_1 on vaadeldava hääle rõhk (düüni/cm^2) ja

$p_0 = 2 \cdot 10^{-4}$ düüni/ cm^2 , s. o. nõrgima kuuldava hääle rõhk 1000 Hz sagedusega tooni juures.

Intensiivsuse taseme mõiste on vajalik selleks, et mõõta ja iseloomustada häält kui füüsikalist protsessi objektiivsetes ühikutes. Intensiivsuse taseme abil pole aga võimalik vahetult määrata hääle poolt tekitatud füsioloogilist valjuse taju.

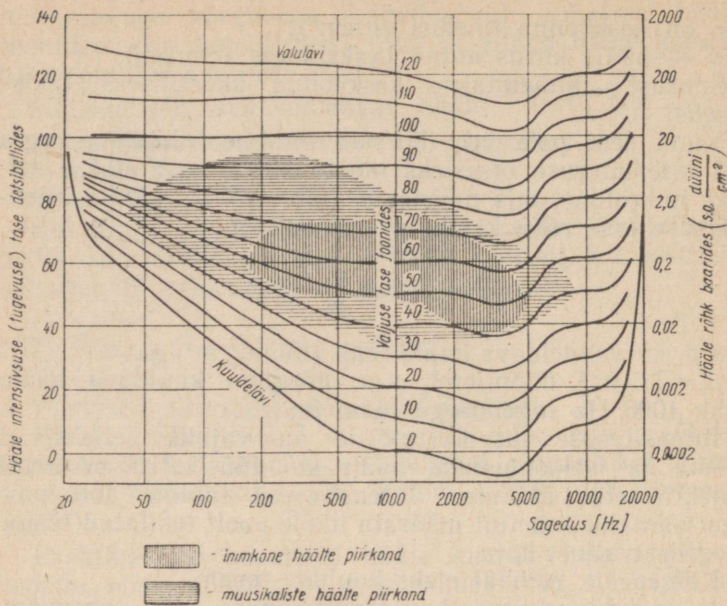
Kõigepealt, et hääle oleks kuuldav, peab:

1) sagedus asuma kuuldepiirkonnas, s. o. vahemikus 16—20 000 Hz, ja

2) intensiivsuse tase asuma kuuldepiirkonnas.

Kuid vastavalt kuulmisorganite omadustele ei aisti inimene sama intensiivsusega häält kõigil sagedustel ühesuguse valjusega, vaid mõnel määral erinevalt. Suuremate intensiivsuste puhul on erinevus väike, kuid nõrgemate häälte juures on vahe juba üsna tunduv.

Üleminekuks hääle füsioloogilise aistingu hindamisele on kasutusele võetud hääle valjuse taseme mõiste, mille mõõtühikuks on foon. Igasuguse hääle valjuse taseme määramine toimub võrdlemise teel. Kuulatakse uuritavat häält ja võrreldakse teda samasuguse valjusetaju tekitanud 1000 Hz sagedusega puhta tooni valjusega. Viimane on võetud valjuse määramisel aluseks, kusjuures kokkuleppeliselt langeb 1000 Hz sagedusega tooni intensiivsuse tase detsibellides arvuliselt ühte tema valjusega foonides. Katseliselt kindlaksmääratud sama valjuse jooni võime näha joonisel 3. Alumist sama valjuse joont nimetatakse kuuldeläveks ja see on piiriks, millest inimese kõrv üldse hakkab häält kuulma. Ülemist sama valjuse joont nimetatakse valuläveks. Kui hääle intensiivsus ületab valuläve, asendub hääle taju valutundega kõrvades.



Joon. 3. Hääle samavaljusejooned

Mainitud kahe joone vaheline ala, sagedusvahemikus 16—20 000 Hz, ongi kuuldepiirkond. On endastmõistetav, et joonisel 3 näidatud samavaljusejooned ei pea täpselt ühtima iga üksikisiku omadega, vaid nad on paljude inimeste juures teostatud vaatluste tulemuste keskmised. Inimkõne ja muusika kasutavad kuuldepiirkonnast ainult üht osa, mille ulatus on näidatud joonisel 3.

Hääle valjuse tase foonides ei iseloomusta otseselt valjuse taju arvulises suuruses. Näiteks valjuse taseme suurenemine kahekordseks — 30 kuni 60 foonini või 50 kuni 100 foonini — tekitab meis valjuse taju suurenemise mitte kaks korda, vaid tunduvalt rohkem. Valjuse taju õigeks arvuliseks iseloomustamiseks kasutatakse Nõukogude Liidus eksperimentaalselt määratud valjuse mõistet, mille mõõtühikuks on gr_0 (lühend venekeelsest sõnast *громкость* — *valjus*). Välismaal kasutatakse mõnes riigis valjuse ühikut son, kuid kuna see mõõtühik pole rahvusvaheliselt veel standardiseeritud, siis tema arvulised väärtused mõnevõrra erinevad teineteisest.

Tabelis nr. 1 on toodud seos valjuse taseme (foonides) ja valjuse taju (grodes) vahel. Võrdluseks on tabelisse lisatud ka Ameerika Ühendriikides kasutatav valjuse skaala sonides.

Tabel 1

Valjuse tase foonides	30	40	50	60	70	80	90	100	110	120
Valjus grodes	0,5	1	2	4	8	18	40	90	200	500
Valjus sonides (USA)	0,37	1	2,2	4,6	10	22	46	100	220	470

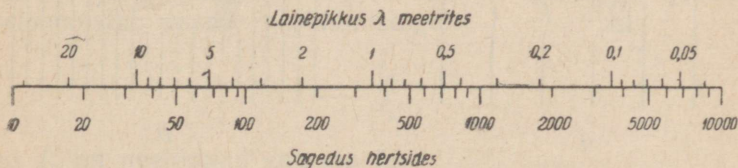
Kõik tunnevad hästi keskkonna võimet anda edasi häält. Teame, et mõnes keskkonnas levib hääl paremini, teises halvemini. Peaaegu igauks on vist märganud, kuidas kaugel sõitva veduri signaal jõuab meieni mitu sekundit peale seda, kui oli näha aurupilvekest vedurivile kohal. See ajavahemik on vastavuses hääle levimiskiirusega õhus.

Üldiselt sõltub hääle levimiskiirus keskkonna elastsusest ja tihedusest. Toome näitena hääle kiirused mõnes materjalis 20° C ja normaalrõhu juures:

õhus 343 m/sek	teras	5000 m/sek
vees 1450 m/sek	betoonis	4000 m/sek
kummis 40—150 m/sek	korgis	500 m/sek

Tee pikkust, mille häälelaine läbib ühe perioodi vältel, nimetatakse lainepikkuseks ja tähistatakse kreeka tähega λ . Tähistades hääle kiiruse tähega v , sageduse f ja perioodi T , võime lainepikkuse avaldada järgmise seosega

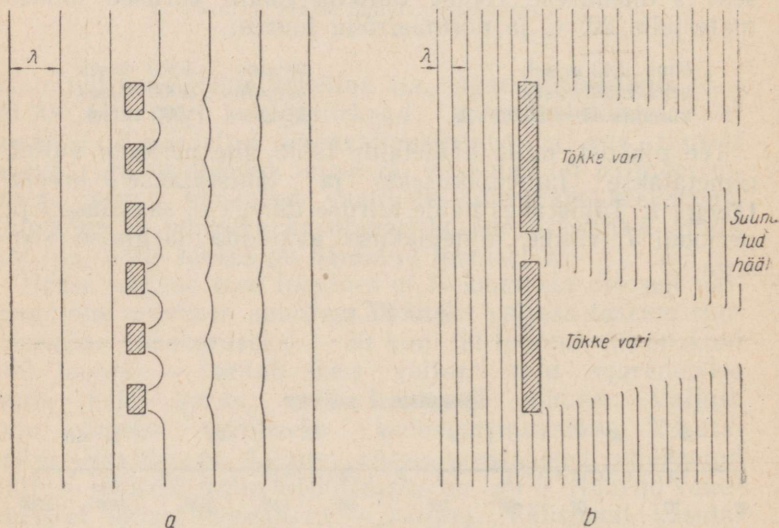
$$\lambda = vT = \frac{v}{f}$$



Joon. 4. Häälelaine pikkuse λ sõltuvus sagedusest (hääle levib õhus normaalsetel kliimaatilistel tingimustel)

Joonisel 4 näeme õhus leviva häälelaine pikkuse sõltuvust sagedusest.

Häälelaine pikkus on tähtis akustiline parameeter. Kui lainepikkus on võrreldes hääleallika mõõtmetega suur (sagedus on madal), siis niisugune hääl kiirgub ühtlaselt kõigis suundades. Kui aga lainepikkus on allika mõõtmetega võrreldes väike, ei kiirgu hääl ühtlaselt kõigis suundades, vaid mõnes suunas paremini, teises halvemini ja tulemusena tekib suunatud hääl. Peale selle on häälelaine pikkusel suur tähtsus hääle möödumisel mitmesugustest tõketest. Kui hääle teel asub tõke, mille mõõtmed, võrreldes lainepikkusega λ , on väga suured, siis möödub laine takistusest sirgjooneliselt. Sel juhul peegeldub langev häälelaine tagasi ja tõkke taga tekib «vari» (vt. joon. 5, *b*). Kui aga tõkke mõõtmed, võrreldes lainepikkusega, on väga väikesed, paindub häälelaine tõkke taha ja teatud kaugusel kaob tõkke mõju, nagu poleks teda olnudki (vt. joon. 5, *a*). Nähtust, mis kaasneb hääle möödumisele väikestest või järskude servadega tõketest ja hääle läbimineku kitsastest avadest, mille juures hääl

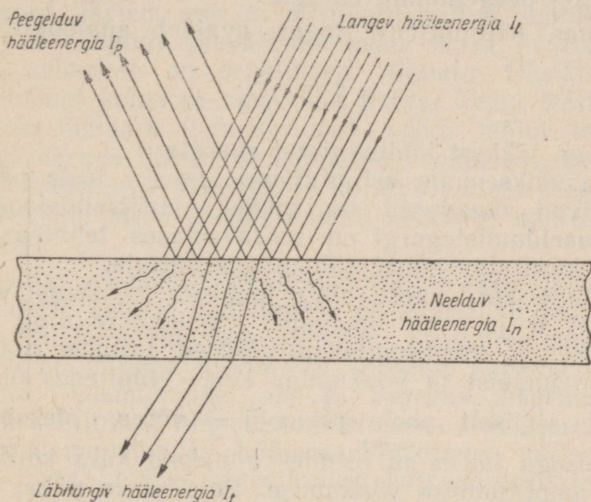


Joon. 5. Häälelaine möödumine tõketest:

a — väikeste mõõtmetega tõke;
b — suurte mõõtmetega tõke

enam sirgjooneliselt ei levi, nimetatakse difraktsiooniks. Difraktsiooni tõttu võivad ruumis tekkida valjema ja nõrgema häälega piirkonnad.

Häälelaine langemisel mingile tõkkele üks osa tema energiast peegeldub, teine osa tungib tõkkele ja neeldub (muutub soojuseks), kolmas osa tungib tõkkest läbi teisele poole, nagu skemaatiliselt on kujutatud joonisel 6.



Joon. 6. Energia jaotumise skeem häälelaine langemisel mingile tõkkele

Müravastase võitluse seisukohalt on väga tähtis õigesti iseloomustada kirjeldatud energia jaotumist.

Esiteks, akustiline absorptsioon ehk neeldumine. See on protsess, kus mingile pinnale langev hääle energia neeldub ja ei peegeldu tagasi ruumi. Igasugust pinda iseloomustab vastav neeldumistegur.

$$\alpha = \frac{I_n}{I_1},$$

kus I_n on neeldunud energia ja I_1 langev energia.

Näiteks neelab avatud aken kogu temale langeva

hääleenergia, seega tema neeldumistegur $\alpha=1$. Hääleenergia neeldumisel põhineb väga suur osa müravastases võitluses kasutatavatest vahenditest.

Teine hääleenergia jagunemist iseloomustav suurus on peegeldumistegur, mille saame arvutada avaldisest

$$\beta = \frac{I_p}{I_l},$$

kus I_p on peegeldunud energia.

Kolmas, helijuhtivuse tegur, avaldub analoogiliselt

$$\tau = \frac{I_t}{I_l},$$

kus I_t on tõkkest läbitunginud energia.

Mida väiksem on helijuhtivuse tegur τ , seda paremad isoleerivad omadused on tõkkel. Heliisolatsioonitegur nagu neeldumistegurgi on müravastases tehnikas väga sageli kasutatav suure tähtsusega näitaja.

Heidame kord uuesti pilgu joonisele 2. Näeme, et võnkumised b ja c on omavahel vastufaasis ning nende sagedused ja amplituudid on võrdsed. Liitudes nad hävitavad teineteist ja võnkumine kaob. Nihutades üht võnkumist ajaliselt poole perioodi $\frac{T}{2}$ võrra, oleksid nad teineteisega faasis ja liitudes annaksid kaks korda suurema amplituudiga võnkumise. Pole raske näha, et ühe võnkumise nihutamisel ajatelge mööda poolperioodi ulatuses (faasinihe), nende summaarse kõvera amplituudi suurus sõltub sellest nn. faasinihke suurusest ja on vahemikus 0 kuni $2A$. Vaadeldud näide on lihtne, kuid üldjuhul võib esineda ka mitme erinevate sageduste ja amplituudidega häälelaine liitumine. Kirjeldatud häälelainete koosmõju nimetatakse interferentsiks. Interferentsi tulemusena võivad häälelained kas tugevdada või nõrgendada üksteist.

Tavalistes ruumides peegeldub suur osa häälest ruumi seintelt tagasi. Hääle valjuse taseme mingis ruumi punktis annab otse allikast tulevate ja seintelt peegelduvate häälelainete summa. Hääleallika kõrvaldamisel ei kao hääle ruumis silmapilkselt, vaid püsib teatud ajavahemiku vältel. Korduvast peegeldumisest tingitud hääle püsivust nimetatakse reverberatsiooniks.

Kui sein asub nii kaugel, et häälelainel kulub kuula-

jast seinani ja peale peegeldumist kuulajani tagasijõudmiseks aega üle 0,05 sekundi, siis tajume me peegeldunud häält mitte enam samal ajal esialgse häälega, vaid lahus, s. t. kajana.

3. MÜRA TEKKIMINE JA OLEMUS

Igapäevases elus ümbritsevad meid pidevalt mitmesugused hääled, mis on mõnikord valjud, mõnikord nõrgad või koguni vaevaltkuuldavad. Neist häältest täielikult vabaneda on praktiliselt võimatu. Üksikut puhast hääletooni kohtame aga väga harva. Tema tekitajaks on näiteks helihark (kammertoon). Löögi mõjul tekib helihargi harude lihtne harmooniline võnkumine, see kandub ümbritsevasse keskkonda ja kujutab endast seega puhast hääletooni, mille kõrgus vastab helihargi omavõnkesagedusele.¹

Valdav enamus hääleallikaid tekitab keerulisemat häält. Reaalsete kehade võnkumised on suuremalt osalt paljude siinuseliste võnkumiste summad, kusjuures neil on üks põhitoon, millega kaasnevad kõrgema sagedusega ülemtoonid. Ülemtoonide arv ja tugevus määravad hääle tämbri. Mitmest lihtsast toonist koosnevat keerulist häält tajume muusikalise häälena. Võnkumist, mille sagedus, amplituud ja faas kiiresti ning korrapäratult muutuvad, nimetatakse harilikult müraks.

Füsioloogiline hääle vastuvõtumehhanism on väga keeruline ja tänini veel täielikult läbi uurimata. Tugeva tooni puhul tekivad inimese kuuldeaparaadis täiendavalt harmoonilised võnkumised, mida nimetatakse subjektiivseteks ülemtoonideks. Mõjuva põhitooni tugevnemisega kasvavad järsult ülemtoonide arv ja valjus. Madalatel toonidel intensiivsuse tasemega 80—90 detsibelli võivad subjektiivsed ülemtoonid muutuda isegi valjemaks põhitoonist. Tugeva müra toimel tekib kõrvas veel keerulisem häälte koostis.

Nähtust, kus tugev hääl kas osaliselt või täielikult summutab teise tonaalsusega nõrgemad hääled, nimeta-

¹ Omavõnkumine on kõvas kehas (või mõnes muus füüsikalises süsteemis) ilma välise mõjuta toimuv võnkumine, mis tekib tasakaaluoleku häirimise tagajärjel esialgse ühekordse välise impulsi mõjul. Omavõnkesageduse määravad võnkumise süsteemi mass ja elastsus.

takse maskeeringuks. Maskeering seletub subjektiivsete toonide tekkimisega kõrvas, mis, osutudes põhitoonist valjemaks, summutavad viimase. Suurem maskeeriv toime on madala sagedusega intensiivsetel häälte (üle 80 db). Nii summutab näiteks madalatooniline laevavile praktiliselt kõik teised hääled. Samal ajal võimaldab tugev kõrgetooniline vile raskusteta kuulda nõrgemaid madalaid toone, näiteks kõnet. Kõrvas tekkivate harmooniliste tõttu tajume ka väga valju muusikat mürana. Müral on veel suurem maskeeriv mõju kui tonaalsetel häälte.

Mida me siis mõistame müra all?

Hääle vastuvõtu seisukohast lähtudes defineeritakse müra kui segavat häält.

Vaatamata definitsiooni selgusele ja lühidusele, on müra määratlemine praktikas mõnel juhul väga keeruline. Igasugune hääl, kui ta mõjub segavana, kujutab endast müra. Hääle segava mõju määramine on väga raske. Korrapäratud ja juhuslikku laadi kuulmisorganite ärritused on inimesele tavaliselt ebameeldivad ja neid on kerge liigitada mürana. Kuidas liigitada aga näiteks tantsumuusikat, mis tantsijaile tundub väga meeldivana, segab aga naaberkorteris magama heitnud inimesi? Ilmneb, et üks ja sama hääl on ühtedele meeldivaks muusikaks, teistele mõjub mürana. Suured raskused tekivadki just korrapärase häälte liigitamisel.

Nagu näeme, oleneb müra mõju määr suurelt osalt sellest, kellele, millele ja missugustel tingimustel ta mõjub. Sõltuvalt mõjuobjektist võib müra segav ja kahjulik mõju olla suurem või väiksem. Hääle valdkond, mis kujutab müra, on seega väga laialdane ja niivõrd muutlike piirjoontega, et katse neid piire täpselt fikseerida ainuüksi hääle iseloomu järgi on juba ette määratud nurjumisele. Et müra mõju hindamisest ja kahjulikkusest on juttu käesoleva raamatukese II peatükis, siis me sellel küsimusel siin pikemalt ei peatu. Asume vaatlema hääli, millest eeldame, et oleme juba kindlaks teinud nende kuuluvuse müra hulka.

Rakenduslik akustika jagab hääled kolme liiki:

- 1) gaasides,
- 2) kõvades kehtades ja
- 3) vedelikes esinevad hääled.

Meie huviobjektiks on mürad, mis mõjuvad inimorga-

nismile, seega peamiselt niisugused, mis levivad õhu kaudu.

Müravastase tehnika seisukohalt liigitatakse mürad nende tekkimisviiside järgi:

1) mehhaanilised ehk löögimürad. Need tekivad kõva keha vibreerimisel ja neid põhjustavad:

- a) löögid (näiteks kirikukell),
- b) hõõrdumine (näiteks viulimäng),
- c) vahelduvad mehhaanilised või magnetilised jõud (näiteks elektrimootoris);

2) hüdro-aerodünaamilised mürad. Need tekivad ilma kõva keha vibratsioonita järgmistel põhjustel:

- a) gaasi, auru ja vedeliku liikumisel teatud kindlatel tingimustel,
- b) sireeni põhimõttel,
- c) plahvatuse tagajärjel.

Mehhaaniliste mürade tekkimisel on suur tähtsus müraallika mõõtmete ja häälelaine pikkuse suhtel. Kui hääleallika mõõtmed on võrreldes häälelaine pikkusega suhteliselt väikesed, siis kiiratakse paremini kõrgeid kui madalaid sagedusi. Kui allika mõõtmed on aga häälelaine pikkusega võrreldes suhteliselt suured, siis kiiratakse ühesuguselt nii kõrgeid kui ka madalaid sagedusi. Suurim intensiivsus on müraallikal siis, kui ta omavõnkesagedus ühtib vibratsiooni ergutava jõu sagedusega, s. t. kui esineb resonantsolukord. Mida rohkem allika omavõnkesagedus erineb ergutava jõu sagedusest, seda nõrgem on tekkiv müra.

Löök vastu kõva keha põhjustab keha vibreerimise vastavalt tema detailide omavõnkesagedustele ja see vibreerimine kandub mürana ümbritsevasse keskkonda. Siinjuures määrab löögi tugevus ainult hääle intensiivsuse (tugevuse), mõjutamata hääle kõrgust. Viimase määravad konstruktsiooni või selle detailide omavõnkesagedused. Löögist tingitud mürasid esineb praktikas väga palju. Näiteks tekib tugev löögimüra siis, kui detaili töödeldakse meisliga.

Kahe kõva keha hõõrdumisel tekib müra, mis samuti vastab nende omavõnkesagedustele. Hõõrdumisel tekkivat müra saab vähendada, vähendades hõõrdumist (näit. laagrite määrimisega), ja suurendada, suurendades hõõrdumist (näit. määrides viulipoognat kampoliga).

Vahelduvate mehhaaniliste jõudude poolt tekitatud müra esineb peaaegu iga masina juures. Vahelduvaid magnetilisi jõude kohtame telefonides, valjuhääldajates, transformaatorkites, elektrimootorkites jne. Siin ei määra hääle kõrgust allika omavõnkesagedus, vaid mehhaaniliste jõudude sagedus.

Kui läbi kitsa pilu tungiva õhujoa teele asetada takistus, tekib aerodünaamilise päritoluga müra, mille sagedus väljendub seosega

$$f = \frac{u}{a} \text{ (Hz)},$$

kus u on õhuvoo kiirus kokkupuutel takistusega (cm/sek) ja a — takistuse kaugus pilust (cm).

Sel põhimõttel valmistatud vilesid on vist igaüks näinud. Analoogilise päritoluga müra tekitavad ka lendavad lennukid (mitte ära segada nende mootori müraga!), vahe on ainult selles, et siin õhk seisab paigal, liigub aga takistus.

Sireeni põhimõttel tekib müra nii, et liikuva õhujoa ees pöörleb takistusena ketas, milles on ühtlaselt jaotatud avad. Tekkiva müra sagedus on võrdne ketta pöörete arvu ja kettas olevate avade arvu korrutisega.

Plahvatusega kaasnev müra on lühiajaline ja seda põhjustab plahvatuskohal tekkinud hõrenduse täitumine õhumassidega.

Müra vähendamise edukuse tingimuseks on tema päritolu õige määramine. Seda teha pole aga sugugi lihtne. Ümbruses on alati olemas mingi müra tase. Harilikult tuleb ta paljudest allikatest, lähedalt ja kaugelt, peegeldub mitmesugustelt pindadelt ja enamikel juhtudel on tegemist mitme müraliigi koosmõjuga. Eespool vaadeldud müra liigid esinevad praktikas puhtal kujul väga harva. Lisaks sellele on praktikas tavaliselt mingilt pinnalt kiirgav hääl niivõrd keeruline protsess, et matemaatiliselt pole seda võimalik rahuldava täpsusega analüüsida. Teda saab määrata ainult mõõtmistega, eksperimentaalselt.

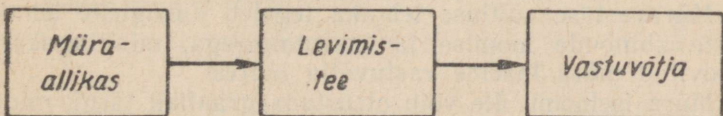
Mõõtühikutes orienteerumiseks on tabelis 2 toodud mitmesuguste müraallikate valjuse tasemed, valjused ja nende iseloomustus.

Müra-alaste inseneriliste probleemide lahendamisel eristatakse müra levimisel kolme elementi, vastavalt joonisel 7 näidatud plokk skeemile.

Müraallikas	Valjuse tase foonides	Valjuse grodes	Iseloomustus
Kuuldelävi	0	0,001	} Vaikus
Taskukella käik 1 m kaugusel	20	0,1	
Sosistamine 1 m kaugusel; lugemissaal; vaikne korter	30	0,4	} Nõrk müra
Sosistamine 0,3 m kaugusel	40	1	
Vaikse häälega kõne 1 m kaugusel	50	2	} Mõõdukas müra
Keskmise valjusega kõne 1 m kaugusel	60—65	4—6	
Elava liiklusega tänava keskmine müra; masinakirjabüroo	70—75	8—12	} Vali müra
Vali kõne 1 m kaugusel; telegraafi aparaadiruum	80	18	
Veomasina möödumine 1 m kauguselt; automaattööpingid	80—85	18—28	} Väga vali müra
Vali hõige 1 m kaugusel; võimas ventilaator	90	40	
Metroovagunis; automaattööpinkide tsehh	90—95	40—65	} Kurdistaval vali müra
Puidusaagimise tsehhid; lennuki kabiinis	100	90	
Lehtmetsa pneumaatiline neetimine; summutita pneumaatiliste mootorite müra; kiirekäigulised diislid	110—115	200—320	}
Töötava lennukimootori lähedal; valulävi (valutunne kõrvus)	120—130	500—1200	

Esiteks müraallikas, mis kiirgab müra ümbritsevasse keskkonda. See esimene skeemielement võib kujutada üht allikat või allikate gruppi.

Teiseks on keskkond, milles müra kandub edasi allikalt mõjuobjektini ja mida lühiduse mõttes nimetame levimisteks. See skeemielement sisaldab reaalseid müra levimisteid allika ja mõjuobjekti vahel (teid on tavaliselt palju ja nende omadused võivad olla erinevad).



Joon. 7. Müra levimise põhimõtteline skeem

Kolmandaks on objekt, millele hääl mõjub segavalt — nimetame teda vastuvõtjaks. Viimane võib olla inimene, inimeste grupp, mõni seade või seadme osa, mis kannatab müra mõju all.

Joonisel 7 on müra levimine kujutatud suunatud täisjoonega.

On huvitav märkida, et üldjuhul võivad skeemielemendid olla omavahel keerulises seoses ja üksteist mõjutada. Siin me ei hakka neid sõltuvusi analüüsima, toome ainult ühe näite.

Kui meil müraallikaks on kõnelev inimene, siis pole raske mõista, et

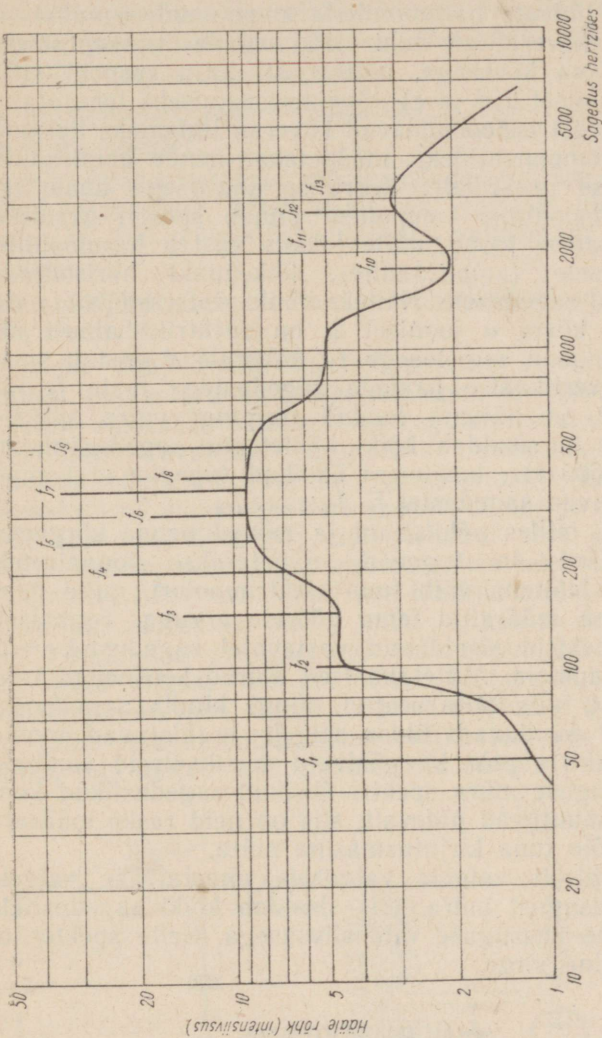
- 1) kõneldes pöörduv ta kõva kuulmisega kõrvalistuja poole valjema häälega kui hea kuulmisega naabri poole,
- 2) et ta eemal seisva isikuga räägib valjemini kui lähedalseisjaga.

See on ilmne hääleallika sõltuvus esimesel juhul vastuvõtjast ja teisel juhul levimisteest. Analoogilist sõltuvust võib kindlaks teha ka ülejäänud kahe skeemielemendi juures. Et aga niisugustel sõltuvustel on tähtsust ainult üksikjuhtudel, siis me neid oma edaspidises müra probleemi käsitluses rohkem ei puuduta.

Müra probleemi lahendamisel on põhieesmärgiks lubatava müra taseme loomine vastuvõtja juures. Kuna see probleem kerkib üles ainult seal, kus müra tase on liiga kõrge, siis järelikult on peaülesandeks müra vähendamine. Teiste sõnadega — peab vähendama segavat häält vastuvõtja juures. Soovitud tulemust võib saavutada kahel teel: esiteks — nõrgendades segavat häält, teiseks — vähendades hääle segavat mõju, muutmata tema tugevust. Mõlemate abinõude rakendamine viib samale tulemusele — müra vähenemisele. Seepärast ei saa müra probleemi lahendamist alati samastada hääle tugevuse vähendamisega, vaid tuleb kõnelda just müra vähendamisest. Edaspidi me näeme, et hääle segavat mõju on põhimõtteliselt võimalik vähendada ka täiendava hääleallika lisamisega.

Müravastase võitluse tehnika tegeleb niisuguste tehniliste abinõude loomise ja juurutamisega, mis tagaksid soovitud müra taseme vastuvõtja juures.

Müra iseloomu üle võib otsustada graafiku järgi, mida nimetatakse müra spektriks. See on tema kõige tähtsam karakteristik. Koordinaatteljestiku vertikaaltelg kujutab



Joon. 8. Treipingi müra spekter (määratud 2% laiuse läbilaskeriba analüsaatoriga). Sisaldab tonaalseid komponente f_1, f_2, \dots, f_{13}

müra intensiivsust ja horisontaaltelg sagedust. Graafik on antud logaritmilises mastaabis. Spektri kõver näitab hääleenergia (intensiivsuse) jagunemist tema koosseisu kuuluvate lihtsate harmooniliste komponentide vahel.

Spektri kõverat ei tohi ära segada vönkeprotsessi iseloomustava kõveraga, millest oli juttu eespool (näiteid vt. joonisel 2 *d* ja *e*). Spektri saamiseks lahutatakse vönkeprotsessi iseloomustavad kõverad lihtsateks harmoonilisteks komponentideks, mõõdetakse nende amplituudid ja kantakse graafikule. Keerulise koostisega hääle iga lihtne harmooniline komponent annab spektri graafikul ühe vertikaalse joone, mille pikkus vastab harmoonilise intensiivsusele (amplituudile), lõikepunkt horisontaalteljega aga sagedusele. Näiteks vönkeprotsessil, mida iseloomustab kõver *a* joonisel 2, on spektriks ainult üks vertikaalne joon sagedusega f_1 ; kõverale *d* vastab spekter kahe vertikaalse joonega sagedustega f_1 ja f_2 jne. Joonisel 8 on näitena toodud treipingi müra spekter. Näeme, et ta sisaldab kõiki hääletoone sagedusvahemikus 40—6600 Hz, kusjuures üksikud tugevamad komponendid asuvad sagedustel f_1, f_2, \dots, f_{13} .

Mürasid, milles põhitoonid ja mõned nende kõrgemad harmoonilised on tugevad, nimetatakse tonaalseteks müradeks. Näitena võib tuua elektrimootori, mille müra põhitoon on määratud tema pöörete arvuga. Tonaalsete mürade spektrid sisaldavad vastavatel sagedustel vertikaalseid sambaid. Mittetonaalsed mürad koosnevad komponentidest, mis pole seotud mingi kindla sagedusega või millel puuduvad üldse selgelt eraldatavad toonid. Nende spektris pole ka püsivaid vertikaalseid sambaid. Kuna niisuguse müra spektri üksikud sageduslikud komponendid muutuvad pidevalt, siis on neid raske määrata. Näitena võib tuua kirjutusmasina müra.

Analoogiliselt valgele valgusele nimetatakse valgeks müraaks niisugust müra, mis sisaldab kõiki sageduslikke komponente ühesuguse intensiivsusega. Selle spekter on horisontaalne sirge.

4. MÜRA MÕÖTMINE

Müra vähendamisel on kõige olulisemaks osaks akustilised mõõtmised. Esiteks, täpsed müra mõõtmise tulemused on aluseks nii müra kahjulikkuse hindamisel kui

ka vajalike abinõude valikul selle likvideerimisel. Teiseks, mõõtmiste abil kontrollitakse valitud abinõude efektiivsust.

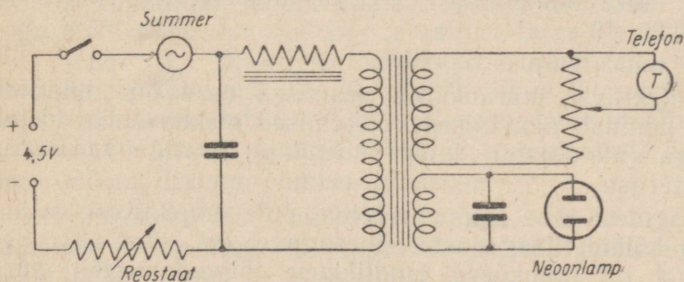
Kus vähegi võimalik, tuleb mõõtmisi reeglina teostada kohapeal, loomulikes tingimustes. Harilikult mõõdetakse

- 1) müra valjuse tase foonides,
- 2) intensiivsuse tase detsibellides,
- 3) müra spekter.

Sageli gradueeritakse mõõteriistade valjuse taseme skaalad (foonides) täiendavalt ka valjuse ühikutesse (grodesse), mis võimaldab määrata valjusetaju arvulistes suurustes.

Müra valjust saab mõõta kas subjektiivsel või objektiivsel meetodil.

Esimene, subjektiivne meetod, põhineb uuritava müra ja mingi teadaoleva valjusega etaloonhääle võrdlemisel. Sel juhul vajatakse mõõtmisteks reguleeritava valjusega hääleallikat. Tavaliselt kasutatakse potentsiomeetriga varustatud summerit (või lampgeneraatorit). Enamikus on kasutataval etaloonhäälel keeruline tämbr ja põhitoon sagedusega 800—1000 Hz, mis telefoni abil juhitakse kõrvani. Potentsiomeetriga reguleeritakse telefonist kostvat summeri häält seni, kuni see tundub kuulajale sama valjuna kui mõõdetav müra, mida ta kuuleb teise kõrvaga. Foonidesse gradueeritud potentsiomeetri skaalalt loeme müra valjuse. Sel põhimõttel töötava subjektiivse fonomeetri elektriline skeem on toodud joonisel 9. Neonlamp (võib olla ka mingi teine indikaator) on kontrolllambiks, mis näitab potentsiomeetrile antava pinge püsi-



Joon. 9. Subjektiivse fonomeetri elektriline skeem.

vust. Summeri asemel võib edukalt kasutada lampgeneraatorit. Viimane ei tekita töötamisel müra ja seega langeb ära vajadus nõrkade mürade mõõtmisel mõõteriista kasti kuulajast isoleerida. Mida rohkem mõõdetava müra spekter erineb etaloonhääle omast, seda raskem on neid võrrelda. Et saada õigeid mõõtmistulemusi, nõuab see meetod harjutamist. Suurema mõõtmistäpsuse saavutamiseks tuleb võrrelda mitu korda, kummagi kõrvaga vaheldumisi ja, kui võimalik, siis peaksid võrdlema mitu isikut. Tulemusena arvestatakse nende lugemite keskmist. Kuigi on tähele pandud, et üksikute vaatlejate võrdlustulemused võivad mõnel juhul erineda isegi kuni 25 fooni võrra, saavutab selle meetodiga küllaldase harjumise juures mõõtmistäpsuse kuni 2—3 detsibelli.

On võimalikud ka kirjeldatud subjektiivse meetodi teised variandid, nagu näiteks maskeeringu nähtuse kasutamine häälte võrdlemisel jne. Põhimõte jääb aga kõigil samaks.

Subjektiivne meetod on eriti kasulik nõrkade mürade mõõtmisel, mille intensiivsus ei ületa 30 db, sest harilikud objektiivsed müramõõtjad nii nõrku hääli ei registreeri. Subjektiivse meetodi heaks omaduseks on asjaolu, et ta arvestab inimese kuulmise kõiki füsioloogilisi iseärasusi.

Kuid subjektiivse meetodiga mõõtmised on küllaltki aegaviitvad, paljudel juhtudel osutub nende täpsus eba piisavaks ja üldse sõltuvad mõõtmistulemused mõõtja subjektiivsetest omadustest (kuulmisest, psühholoogilisest seisundist jne.). Seepärast vastutusrikkamatel juhtudel mõõdetakse müra valjust objektiivsete meetoditega.

Objektiivne müramõõtja on elektroakustiline mõõteriist, millega saab määrata

1) müra häälerõhku (s. t. ka intensiivsust) detsibellides ja

2) müra valjust foonides.

Objektiivse müramõõtja peamised osad on: mikrofon, mis muudab akustilised võnkumised elektrilisteks; detektoriga (alaldajaga) lampvõimendaja; osutiga varustatud mõõteriist.

Nagu me juba eespool nägime, pole subjektiivne valjuste taju kõikidel sagedustel ühesugune (vt. joon. 3). Seepärast on inimekõrva tundlikkuse jäljendamiseks müramõõtja võimendaja karakteristikud valitud vastavalt

kuulmisorganite tundlikkuse kõveratele. Madala ja kõrge sagedusega hääli võimendatakse vähem kui keskmise sagedusega (700 kuni 5000 Hz). Siinjuures on vajalik märkida, et käesoleval ajal on vastavus kõrva tundlikkuse kõveratega saavutatud ainult puhaste hääletoonide jaoks ja sedagi mitte väga täpselt. Müra mõõtmisel tuleb paratamatult leppida väikese veaga, mis on tingitud nähtuse keerulisusest.

Teostades mõõtmisi objektiivsete müramõõtjatega, peab alati silmas pidama, et nende riistade puhul ei tule arvesse niisugused kuulmise füsioloogilised iseärasused, nagu maskeering, adaptatsioon (kuulmisorganite kohanemine, mille juures muutub kuuldelävi), fakt, et kõrgsageduslikud hääled on kõrvale ebameeldivamad jne.

Leningradi Töökaitse Instituudis on välja töötatud ajakohane müramõõtja tüüp ЛНТ, mis on ette nähtud akustilisteks mõõtmisteks mürasummutavate seadmete väljatöötamisel, hoonete heliisolatsiooni mõõtmisel, valmistoodangu vastuvõtmisel tehase tehnilise kontrolli osakonnas (müra taseme järgi), juhul kui sanitaarinspeksioon kontrollib tööstuslike, transpordi- ja kommunaalmürade vastavust normidele jne.

Sageduspiirkonnas 50—9000 Hz saab müramõõtjaga ЛНТ mõõta müra intensiivsuse taset piirides 25—130 db, müra valjuse taset 25—130 fooni ja valjust 0,2—1200 gro ulatuses. Aparaaadi väljundklemmidele on võimalik ühendada isekirjutavat riista müra registreerimiseks, ostsillograafi müra visuaalseks jälgimiseks, analüsaatorit hääle analüüsiks või telefonij müra kuulamiseks. Riista tundlikkust muudetakse astmeliselt vastavalt seitsemele sageduslikule karakteristikule. Horisontaalne karakteristik võimaldab mõõta hääle intensiivsuse taset riista kogu mõõtepiirkonna ulatuses ja valjuse taset üle 90 fooni (vt. joon. 3). Teised karakteristikud vastavad kõrva tundlikkuse kõveraile 80, 70, 60, 50, 40 ja 30 fooni juures. Neid kasutatakse müra valjuse taseme mõõtmisel 25 kuni 90 foonini ja nad lülituvad automaatselt ümber koos mõõtepiirkonna ümberlülitamisega.

Müramõõtja ЛНТ on patareitoitega, mis teeb ta sõltumatuks võrgupingest. Aparaaadi gabariitmõõtmed on 252×162×193 mm ja ta kaalub 5,5 kg.

Inspeksiooniks sobib eriti hästi müramõõtja tüüp

ШШ-1, mida saab kasutada tänava-, tööstuse- ja transpordimürade mõõtmiseks, samuti aga ka mitmesugustel spetsiaalsetel eesmärkidel (muuhulgas kontrollitakse müra järgi ka seadmete vastavust tehnilistele tingimustele jne.).

Selle aparadi mõõtepiirkond sageduste vahemikus 60—7000 Hz on: müra intensiivsuse tase 55—140 db ja valjuse tase 55—140 fooni. Tema gabariitmõõtmed on 210×160×115 mm ja kaal 3 kg. Käsitsemine on lihtne ja mugav.

Mõõtmistel mitmesuguste objektiivsete müramõõtjatega võib tulemustes esineda lahkuminekuid, eriti kõrgesageduslike häälte osas (üle 5000—6000 Hz). See on tingitud asjaolust, et difraktsiooni mõju mikrofoni lähedal ja mikrofoni suunatus võivad mõjutada mõõtmistulemusi. Nähtus on seda tugevam, mida suuremad on mikrofoni mõõtmed, võrreldes häälelaine pikkusega. Seepärast püütakse müramõõtjate mikrofonid teha võimalikult väiksemad.

Et võitluses müraga rakendada kõige efektiivsemaid ja ökonoomsemaid abinõusid, tuleb välja selgitada müra sageduslik koostis, s. o. mõõta tema spekter. Kõige mugavamini ja kiiremini on see teostatav müraanalüsaatori abil.

Tutvume lühidalt analüsaatori tööpõhimõttega.

Analüsaator ühendatakse müramõõtja väljundklemmidega. Mikrofoni vahendusel võttis müramõõtja vastu akustilised võnkumised, muutis nad elektrilisteks, võimendas ja andis edasi analüsaatorisse. Siin see summaarne elektriline võnkumine filtreeritakse. Häälestades analüsaatori järgemööda erinevatele kitsamatele sagedusribadele, näitab tema väljundriista osuti vastavas sagedusribas oleva hääle energiat. Järelikult kujutab analüsaator endast muudetavate parameetritega elektrilist filtrit, mis antud häälestuse juures laseb läbi (või võimendab) ainult kindla sagedusega võnkumisi, s. t. võnkumisi mingis kitsas sagedusribas. Väljaspool seda sagedusriba asuvaid võnkumisi takistatakse (või ei võimendata) ning väljundriist ei näita neid meile. Filtri töö põhineb kas võnkumiste interferentsil või resonantsvõimendusel. Häälestamiseks on analüsaatorile paigutatud hertsidesse gradueeritud ketas.

Muutes häälestussagedust kogu kuuldepiirkonna ula-

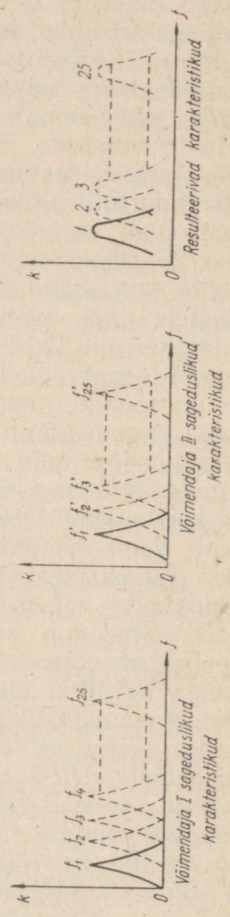
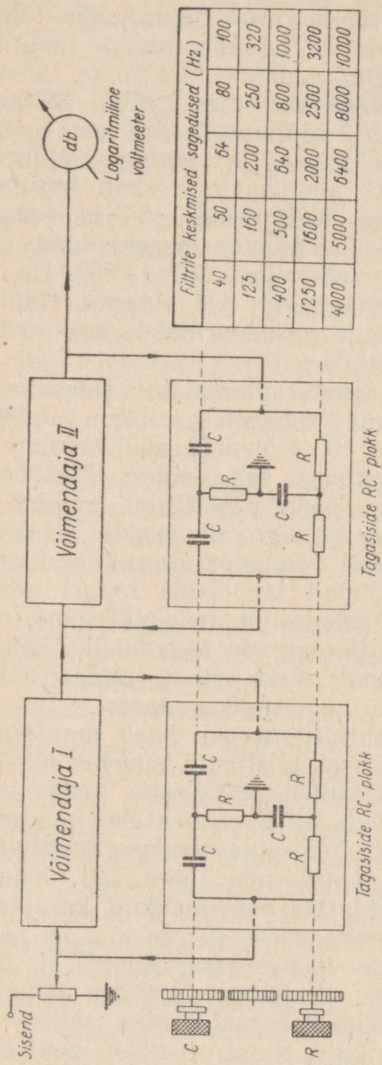
tuses, saadakse kõigile sagedusribadele vastavate hääle energiad. Kandes tulemused graafikule ja ühendades saadud punktid, tekib müra spekter (vt. joon. 8). Mida väiksem on analüsaatori läbilaskeriba laius, seda täpsemalt saab määrata üksikute mürakomponentide suurust ja müra spektri üldist kuju.

Leningradi Töökaitse Instituudis on välja töötatud müraanalüsaatori tüüp *AIII-2* töötamiseks nii koos müra-mõõtjaga või samuti tööstuse- ja transpordimürade spektrite uurimiseks. Seda analüsaatorit saab kasutada nii müra-alases teaduslikus uurimistöös kui ka tehaste tehnilise kontrolli osakondades, sanitaarinspeksioonis jne. Mõõtepiirkond sageduste vahemikus 36—11 000 Hz on jagatud 25 ribaks, igaüks laieuga $1/3$ oktaavi. Häälestamine toimub sagedusribade geomeetrilistele keskmistele sagedustele¹ (vt. tabel joonisel 10).

Põhimõtteliselt kujutab analüsaator *AIII-2* elektroonset RC-(takistus-mahtuvuslikku) ribafiltrit. Tema plökk-skeem on toodud joonisel 10. Mõlemad võimendajad on haaratud sageduslikult sõltuvast tagasisidest. Häälestussagedusel negatiivne tagasiside praktiliselt puudub ja kui analüsaatorisse siseneva signaali spekter sisaldab sellise komponendi, siis seda võimendatakse. Teised sageduslikud komponendid jäävad tagasiside toimel nõrgemateks (tagasisideahela takistus on neile väiksem), neid võimendatakse vähem. Mitmesuguste sageduslike komponentide võimendus väheneb seda enam, mida rohkem nad erinevad võimendaja häälestussagedusest.

Muutes RC-filtri elementide suurusi, saab muuta võimendajate sageduslikke karakteristikuid suurtes piirides, säilitades seejuures logaritmilises mastaabis nende kuju. Analüsaatoris *AIII-2* toimub filtri elementide muutmine astmeliselt, sellele vastab häälestussageduse muutumine kolmandiku oktaavi tagant (vt. tabel joon. 10). Joonisel 10 on toodud ka võimendajate sageduslikud karakteristikud sõltuvalt häälestussagedusest ($f_1; f_2; \dots; f_{25}$ ja $f'_1; f'_2; \dots; f'_{25}$). Võimendajate häälestussagedused ei ühti, vaid on teineteise suhtes nihutatud. Seetõttu omandab mõõteriista üldine sageduslik karakteristika sellise kolmandikoktaavi ulatusega kuju, nagu on näha joonisel 10 all paremal. Sagedusribade ümberlülumine toimub ühise

¹ Geomeetrilise keskmise sageduse näide on toodud lk. 33.



Joon. 10. Müranalüsaatori AIII-2 plokskeem ja sageduslikud ja sageduslikud karakteristikud

RC-ahela lüliti abil. Logaritmiline voltmeeter annab mõõteriista lugemid vastavalt väljundpingele. Analüsaator AIII-2 sarnaneb väliskujult kohvrile mõõtmega 333×213×165 mm (ilma lukkude ja käepidemeteta) ja ta kaalub 7,5 kg.

Mittetonaalsete mürade puhul, kui spektril ei ole väljaulatuvaid teravikke, võib mõõtmisi teostada laiemate sagedusribade kaupa ehk nn. riba-analüüsiga. See toimub samuti elektriliste filtrite abil.

Praktikas on levinud oktaav-filtrid, kaheksa kaupa komplektis. Kaheksa sagedusriba, igaüks laiusega üks oktaav, asetsevad paralleelselt üksteise kõrval. Tavaliselt jagunevad oktaavid nii, nagu see on näidatud tabelis 3.

Tabel 3

Oktaav-filtrite läbilaskeribad ja nende geomeetrilised keskmised sagedused

Sageduse piirid oktaavribas (Hz)	Geomeetrilised keskmised sagedused (Hz)	Sageduse piirid oktaavribas (Hz)	Geomeetrilised keskmised sagedused (Hz)
37,5—75	50	50—100	75
75—150	100	100—200	150
150—300	200	200—400	300
300—600	400	400—800	600
600—1200	800	800—1600	1200
1200—2400	1600	1600—3200	2400
2400—4800	3200	3200—6400	4800
4800—9600	6400	6400—12800	9600

Riba-analüüsil antakse pinge, analoogiliselt eelnevalt vaadeldud analüsaatorile, müramõõtja väljundilt filtri sisendile ja, sagedusribasid järjestikku ümber lülitades, mõõdetakse lampvoltmeetri abil pinget filtri väljundil. Seega, samuti nagu analüsaatori puhulgi, määratakse hääleenergia kogused igas sagedusribas. Riba-analüüsiga ei saa kindlaks teha üksikuid oktaavribas sisalduvaid komponente.

Kui riba-analüüsi täpsust suurendada, kasutades filtreid sagedusriba laiusega üks kolmandik oktaavi, saame sisuliselt sama tulemuse, nagu analüsaator AIII-2 abil.

Tugevalt väljendatud tonaalsusega müra puhul tuleb

spektrit mõõta spetsiaalse kitsa läbilaskeribaga analüsaatoriga.

Väga mugav on kasutada müra analüüsiks hääle spektromeetrit, mis võimaldab jälgida müra spektrit vahetult elektronkiiretoru ekraanil, seda fotografeerida või kopeerida. Seadme töötamise põhimõte on järgmine. Elektrilised võnkumised müramõõtja väljundilt antakse üheaegselt 27 paralleelselt lülitatud elektrilise filtri sisenditele. Iga filter laseb läbi sagedusi kolmandiku oktaavi ulatuses. Kõik 27 filtrit kokku haaravad sagedusi 37,5—18 000 Hz. Täiendav, kahekümne kaheksas filter, laseb läbi kogu spektri. Kommutaatori abil antakse filtritelt saadud alaldatud pinged üksteise järel elektronkiiretorule kiire vertikaalse kõrvalekaldumise tekitamiseks. Samal ajal kallutatakse elektronkiirt ka horisontaalsuunas. Tulemusena tekib ekraanil iga kommutaatori täispöörde vältel 28 vertikaalset helenduvat sammast, mille kõrgused on võrdelised vastavate sagedusribade keskmisele häälerõhule (intensiivsusele). Sammaste vahetumise kiirus (20 lülitust sekundis) on suurem kui inimese silma eraldusvõime ja seega saame esimese 27 filtri sambaga üheaegselt kogu spektri kuju ning viimase samba kõrgusega kogu spektri keskmise häälerõhu (intensiivsuse).

Välitingimustes hääle spektromeetreid tavaliselt ei kasutata, nad on peamiselt laboratoorsed mõõteriistad. Põhjuseks on nende raskus (üle 100 kg) ja suured mõõtmed.

Ülalkirjeldatud müra spektri mõõtmise meetodite juures iga mõõteriista näit sõltub läbilaskeriba laiusest. Erievate läbilaskeribade laiustega mõõteriistade näidud ei ole omavahel võrreldavad. Et neid aga siiski kõrvutada, on võetud kasutusele müra spektraaltaseme B mõiste. Selle määramiseks arvutatakse keskmised hääleenergia kogused müra spektris, mis vastavad läbilaskeribade laiustele, ümber sagedusriba laiusele 1 Hz. Igale läbilaskeriba laiusele $\Delta f = f_1 - f_2$ (Hz) vastab müra spektraaltase detsibellides

$$B = \beta_{\Delta f} - C \text{ (db)},$$

kus $\beta_{\Delta f}$ on mõõteriista näit vastavalt läbilaskeriba laiusele Δf (db) ja $C = 10 \log \Delta f$ (db).

Müra spektrite graafilisel kujutamisel kantakse saa-

dud spektraaltase vastava läbilaskeriba geomeetrilisele keskmisele sagedusele f_c , kusjuures

$$f_c = \sqrt{f_1 \cdot f_2} \text{ (Hz)}.$$

Mingi konkreetse müra uurimisel, samuti müravastaste abinõude katsetamisel, on vaja kindlustada niisugused tingimused, et mõõtmistulemusi ei moonuta juhuslikud tegurid, vaid nad iseloomustaksid ainult uuritava objekti enda müra. Kõrvalised müraallikad ja ruumi pindadelt peegeldunud hääled võivad mõõtmistulemusi tugevasti mõjutada. Kõik sellised häired tuleb kõrvaldada.

Müra valjuse ja intensiivsuse mõõtmisel võib saada rahuldavaid tulemusi, kui uuritava müra tase ületab häirete taseme vähemalt 6—8 db võrra. Neil tingimustel ei ületa kõrvalistest müradest tekitatud viga 0,5—1 db (vt. joon. 22). Praktikas kasutatakse vajalike tingimuste kontrolliks järgmisi katseid:

1) pärast uuritava müraallika väljalülitamist peab müra tase mikrofoni asukohas vähenema rohkem kui 6—8 db võrra,

2) kahekordistades mikrofoni ja müraallika vahelist kaugust, peab müra tase vähenema 6 db (tingimusel, et pole tegemist suunatud müraallikaga, vaid hääli kiirgub ühtlaselt kõigis suundades). See tingimus näitab peegelduvate häälte mõju puudumist.

Kui määratakse müra sageduslikku spektrit, on püstitatud suuremad nõuded. Siin peab kõrvaliste häirete tase olema mõõdetavast mürast 6—8 db madalam mõõteriista igas läbilaskeribas. Vastasel korral võib mõõdetud müra sisaldada tugevaid moonutusi.

Müra spektri määramisel on praktiliselt vastuvõetavad tingimused, kus mõõdetava müra üldine tase ületab häirete taseme 20—25 db võrra.

Kui aga loetletud tingimuste loomine osutub võimatuks, tuleb mõõtmisandmete analüüsimisel teha vastavad parandused. Need saadakse nii, et algul määratakse müra spekter häirete taustal ja seejärel häirete spekter ilma uuritava mürata. Võrreldes neid kahte spektrit, saame määrata, missugused komponendid kuuluvad uuritavale mürale ja missugused on tingitud häiretest.

Müra mõõtmistel tugeva tuule korral või mõne muu kiirelt liikuva gaasi voolus, peab mikrofone kaitsma

spetsiaalsete abinõudega. Kui seda ei tehta, võib tugevast tuulest mikrofonis tekkinud täiendav müra moonutada mõõtmistulemusi.

Müra mõõteaparatuur on tundlik intensiivse mehhaanilise vibratsiooni suhtes. Mõõteriista elektronlampides võivad vibratsioonid põhjustada nn. mikrofoniefekti, mis suurendab mõõteriista näituseid. Mikrofoniefekti olemasolu saab kindlaks teha mikrofone väljalülitamisel. Kui seejuures müramõõtja siiski näitab mingisugust müra taset, on ilmselt tegu mainitud nähtusega. Vibratsiooni mõju kõrvaldamiseks tuleb mõõteaparatuur isoleerida elastsete vahekihtidega.

Mitmesuguste akustiliste materjalide omadusi ja suuremat täpsust nõudvaid väikesemõõtmelisi müraallikaid mõõdetakse laboratoorsetes tingimustes spetsiaalsetes akustilistes kambrites.

II. MÜRA MÕJU INIMORGANISMILE

5. MÜRA MÕJU HINDAMISE VOIMALUSED

Võrdlemisi palju on uuritud müra mõju inimese kuulmisorganitele. On kindlaks tehtud, et müra mõjul inimese kuulmisorganite tundlikkus võib ajutiselt mõnevõrra nõrgeneda, s. t. kuuldelävi tõuseb, kuid teatud aja möödudes peale müra eemaldamist saavutab endise taseme. Füsioloogias nimetatakse seda nähtust adaptsooniks ehk tundeorganite kohanemiseks. Selle normaalse kaitsefunktsiooniga on inimese kuulmisorganeid varustanud loodus. Kuid ei tohi unustada, et kaitseesisukord on kuulmisorganitele teatud koormuseks, nõuab pingutust. Oma kaitsevõime säilitamiseks vajab kõrv regulaarselt puhkust. Kui adaptsoon (kuuldeläve tõus) ulatub kuni 10 detsibellini ja ei vältu väga kaua, taastub kõrva tundlikkus lühema aja jooksul harilikult täielikult. Ulatub adaptsoon aga 30—50 detsibellini ja normaalse kuulmise taastumine nõuab tunde, siis on see signaaliks, et kuulmisorganid on väsinud. Süstemaatiline kuulmisorganite üleväsitamine (kui näiteks müra mõjub kestvalt või siis nii lühikeste vaheaegade tagant, et kuulmine ei jõua täielikult taastuda) põhjustab kuulmisorganite jäävaid deformatsioone. Kuulmine nõrgeneb, halvemal juhul võib inimene kurdistuda. Selliste müra mõju kahjulike tagajärgede ärahoidmiseks tuleb tingimata rakendada kaitseabinõusid.

Müra mõjuga kaasneb rida nähtusi, mis puudutavad peale kuulmise ka organismi teisi funktsioone.

Igaüks on vist märganud, kuidas ootamatu tugeva müra puhul (plahvatus, ukse paukumine jne.) tahtmatult tõmbub pea õlgade vahele, kuidas oodates mingi ebakorrapärase tugeva müra kordumist, (näiteks järgmist piksekärgatust) tekib tahtmatult pingutatud olek, nn. ootepinevus jne. Samuti on hästi tuntud asjaolu, et mõne

kriuksuva müra puhul, nagu tekib kraapides noa või kahvliga taldrikut, klaasi jne., mis oma valjuselt ei ole mingil määral ohtlik kuulmisorganitele, võib tekkida ebameeldiv tunne kõhus, hammastes või tunduda, nagu jookseksid sipelgad mööda selga.

Need on ilmsed organismi reaktsioonid müra mõjule. Teadlaste uurimised on näidanud, et hääle aisting, mis tekib inimese piklikus ajus, kandub kõigepealt vegetatiivsetesse keskustesse, mis suurendavad vererõhku, ja neisse, mis kutsuvad esile liigutusi. Alles siis, kui närviimpulss küünib peaaju kooreni, kuuleb inimene müra. Naha- ja siseorganite närvide reageerimisega seletubki, miks ka nõrk müra võib tekitada ebameeldiva tunde, kuigi ta ei mõju kahjulikult kuulmisele.

Müra mõjul tekkivad organismi reaktsioonid, sealhulgas ka nn. ootepinevuse nähtus, põhjustavad organismi kõrgendatud koormuse.

On täheldatud, et mingi müra, mis päeval pole oma valjuselt üldise müra tasemes kuuldav, võib öösel, kui ümbritseva müra tase langeb, muutuda väljakannatamatuks. Tooli nihutamisel tekkiv müra, mida kodus või tööl olles harilikult tähele ei pane, köidab kontserdi ajal tähelepanu ja mõjub ärritavalt. Siit on näha, et müra ärritav toime sõltub tunduvalt tingimustest, milles ta mõjub.

Edasi, inimene, kes tekitab müra teda huvitava tegevuse juures, olgu see siis naelte tagumine või midagi muud, ei taju ise seda sugugi ärritavana, samal ajal kui kõrvalisele isikule võivad tekitatavad hääled muutuda äärmiselt ebameeldivateks. Mootorisportlane, kellele pole mingil määral ebameeldiv summutita mootorratta müra, võib muutuda tõeliseks nuhtluseks naabritele.

Kogemused on näidanud, et müra tingimustes asuva isiku subjektiivne reaktsioon on samuti üheks tähtsamaks teguriks müra mõju määramisel.

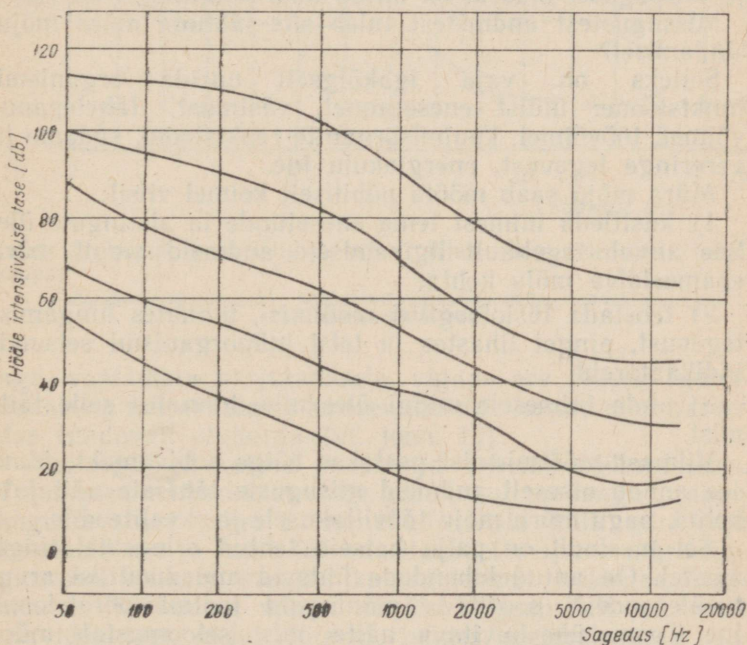
Lõpuks tuleks olulisematest müra mõjule kaasnevatest nähtustest mainida veel nn. harjumist. Kui müra mõjub ühtlaselt küllalt pikka aega ja pole liiga tugev, võib tunduda, et ollakse temaga harjunud. Ta näib segavat märksa vähem või ei tundu enam üldsegi segavana. Kuid peab märkima, et see harjumuse mulje ei taga müra ohutust. Kuigi müraga harjumise nähtust pole tänini veel küllaldaselt määral läbi uuritud, loevad mitmed teadlased tõenäoliseks, et enamikel juhtudel osutub see mulje petlikuks

ja müra, vaatamata nn. harjumisele, ei muutu sugugi vähem ohtlikuks.

Muuseas, on tehtud huvitavaid katseid magava inimesega. Tulemused näitasid, et igakordsele müra mõjule reageeris organism pulsi ja hingamise sagenemisega ning vererõhu suurenemisega, kuigi uni katsete ajal ei katkenud, s. t. müra ei jõudnud teadvuseni.

Nagu võib järeldada ülaltoodud näidetest, ei määra müra valjus täielikult tema mõju organismile. Eelkõige sõltub müra mõju suurel määral ta sageduslikust koostisest. Paljude inimeste juures teostatud mõõtmised on näidanud, et kõrgsageduslikud mürad on ebameeldivamad ja tugevama ärritava toimega kui madalsageduslikud.

Joonisel 11 on toodud mitmesuguse valjusega hääletoonide samaebameeldivuse sõltuvus sagedusest. Analoomiliselt samavaljusejoontele (vt. joon. 3) tuleb ka



Joon. 11. Hääletoonide samaebameeldivusekõverad

siin arvestada võimalikke kõrvalekaldumisi üksikisiku juures. Veel tähtsam on aga fakt, et keerulised nähtused, nagu häälte maskeering, kuulmisorganite adaptatsioon ja väsimus, moonutavad tunduvalt valjuse tajumise seaduspärasusi, mis kehtivad lihtsate tonaalsete häälte vastuvõtmisel. Seetõttu tuleb müra puhul graafikul toodud kõveraid käsitada ligikaudsetena.

Samuti võib müra ajaline muutumine mõjutada tema ärritavat toimet.

Müra avaldab sügavat mõju kogu inimorganismile tervikuna. Mõjuprotsess on väga keeruline ja pole kuigi üksikasjalikult läbi uuritud. Pealegi, nagu nägime, ei sõltu müra poolt tekitatud ärritus mitte üksnes mürast, vaid ka inimese organismi seisundist, samuti ümbritsevatest tingimustest.

Võib eksimatult öelda, et müra ärritava toime jaoks ei saa anda üldisi objektiivseid kriteeriume.

Eespool toodust nähtub, kui raske on õieti määrata, kas ja missugusel määral on antud hääl kahjulik.

Missugustest andmetest tuleb siis lähtuda müra mõju hindamisel?

Selleks on vaja igakülgselt uurida organismi funktsioone: üldist enesetunnet, väsimust, tähelepanuvõimet, töövõimet, kuulmisorganite reaktsiooni, südame ja vereringe tegevust, energiakulu jne.

Müra mõju saab mõõta põhiliselt kolmel viisil:

1) küsitleda inimest tema enesetunde ja aistingute üle. See annab tegelikult ligikaudseid andmeid ainult müra ebameeldiva mõju kohta;

2) teostada füsioloogilisi mõõtmisi, hinnates hingamis-tegevust, pinget lihastes ja teisi inimorganismi seisundi indikaatoreid;

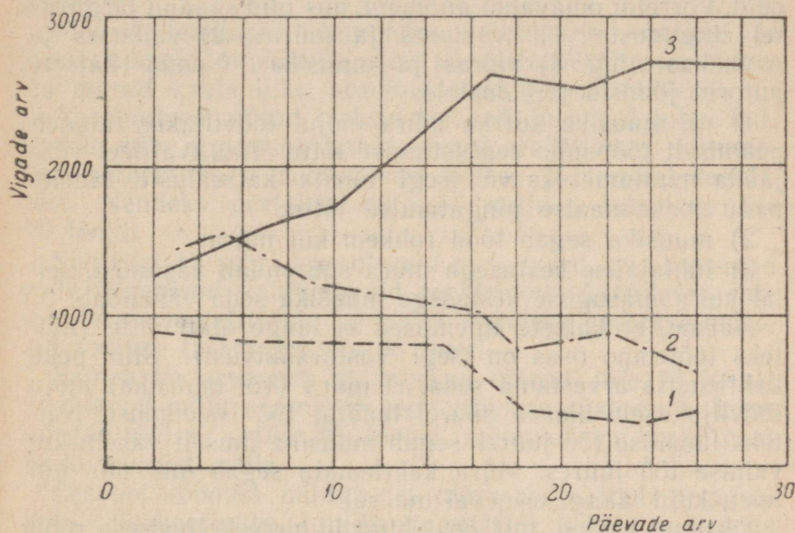
3) anda inimesele mingi ülesanne, hinnates selle täitmist.

Viimast mõõtmisviisi peetakse kõige sobivamaks, kuna see annab otseselt andmeid niisuguste tähtsate näitajate kohta, nagu müra mõju tööviljakusele ja -kvaliteedile.

Sel meetodil on palju katseid tehtud erinevatel tingimustel. On antud lahendada lihtsaid matemaatilisi arvutusülesandeid, sooritada mõningaid tootmisoperatsioone jne. Toome ühe huvitava näite, mis iseloomustab müra mõju lihastele.

Katsetatav isik pidi kindlas rütmis juhtima metall-

varrast pleki sisse tehtud avasse, mille läbimõõt oli veidi suurem varda läbimõödust, ilma et ta oleks pleki vastu puutunud. Varras ja plekk olid ühendatud elektrilisse skeemi nii, et registreeriti ja loeti veaks igakordne varda puutumine vastu plekki. Mitu nädalat kestnud katsed näitasid, et kui puudus segav müra, hakkas vigade arv katsealuse osavuse kasvades kahanema, müra tingimustes



Joon. 12. Vigade arvu sõltuvus müra mõjust (katsed teostati 1 tunni kaupa):

1 — töötamisel vaikuses; 2 — töötamisel mürasummutavate kõrvaklappidega; 3 — töötamisel müras

aga, vaatamata harjutamisele, vigade arv tõusis. Individaalsete müravastaste kaitsevahendite kasutamine parandas tunduvalt olukorda (vt. joon. 12).

Analoogilised katsed on tehtud vahetult tööprotsessis. Tulemused näitasid, et isegi juhul, kui toodangu praagikoguses suurt vahet ei ilmnenud, siiski kõik uuritavad kulutasid ühe ja sama töö sooritamisel valjema müra tingimustes rohkem energiat kui suhteliselt vaiksetes tingimustes. Töötamine müras nõudis katsealustelt suuremat närvidepinget. Algul töötempo langes, seejärel uuesti kasvas ja muutus hiljem esialgsest isegi mõnevõrra kõrgemaks. Pärast müra eemaldamist langes töötempo uuesti.

Siin on ilmne vihje sellele, et üldine tendents oli ühtlase tööritmi säilitamisele, ehkki suuremate jõupingutuste arvel. See asjaolu teeb väga raskeks müra mõju hindamise toodangunäitajates.

On teostatud katseid ka võrdlevate andmete saamiseks muusika ja müra mõju kohta. Katsealustele (44 inimest) anti teatud aja vältel lahendada lihtsaid arvutusülesandeid. Võrreldi omavahel andmeid, mis olid saadud järgmistel tingimustel: 1) vaikuses ja müras, 2) vaikuses ja muusikas ning 3) müras ja muusikas. Nende katsete autorid jõudsid järeldustele:

1) nii muusika kui ka müra mõjul tööviljakus alaneb peamiselt töötempo aeglustumise tõttu. Töö kvaliteet võib jääda muutumatuks või isegi tõusta katsealuste tähelepanu maksimaalse pingutamise tõttu;

2) muusika segab tööd rohkem kui müra;

3) lühiajalise kestusega müra suurendab väsimust, selal kui samasuguse kestusega muusika seda vähendab.

Näeme, et katsete tulemused ei lange alati ühte (näiteks töötempo osas on isegi vasturääkivusi). Siin peab kahtlemata arvestama seda, et müra (või muusika) mõju tööviljakusele oleneb suurel määral töö iseloomust. Näiteks füüsilise töö juures segab muusika ilmselt vähem kui vaimse töö juures. Müra kahtlemata segab nii üht kui teist, kuid ikkagi erineval määral.

Üksikud katsed, mis on tehtud inimese koljusisese rõhu mõõtmiseks, näitasid, et ootamatu müra mõjul võib rõhk kasvada normaalse rõhuga võrreldes kuni neljakordseks. Huvitavad on siinjuures tähelepanekud, et meeldivad muusikalised hääled koljusisest rõhku ei suurendanud.

Kõik ülaltoodud näited kinnitavad veendumust, et müra avaldab sügavat kompleksset mõju kogu inimorganismile. Vaatamata mõju keerulisusele ja raskustele tema sõltuvuse määramisel erinevatest teguritest, ei kahtle ükski spetsialistidest tema negatiivses mõjus tööviljakusele.

Töötaval inimesel võtavad tööprotsessist osa mitte üksnes lihased, vaid muutuvad ka vereringe, hingamise rütm, termoregulatsioon jne. Kõrge tööviljakuse eelduseks on nende mehhanismide funktsioneerimine optimaalses režiimis, kõige ökonoomsemalt. Nende häirimine, olgu siis müra mõjul või mõnel muul põhjusel, mõjutab negatiivselt inimese töövõimet. Kuigi inimorganismil on suur

hulk kaitsvaid mehhanisme ja võime kohaneda mitmesuguste tingimustega, sealhulgas ka teatud müra tingimustega, toimub see siiski energiavarude arvel ja see kajastub tööviljakuse languses. Mida kõrgema kvalifikatsiooniga on töö, mida ulatuslikumalt kõrgema kesknärvisüsteemi osad sellest tööst osa võtavad, seda suuremal määral kajastub müra mõju tööviljakuse languses.

Mõned teadlased, tuginedes laialdasele vaatlus- ja katseandmete analüüsile, peavad otstarbekohaseks jagada mürad kahte liiki: absoluutseteks ja suhtelisteks.

Absoluutsed mürad oleksid sellised, mis igal juhul kutsuvad esile organismi kahjustavaid reaktsioone, sõltumata subjektiivsest suhtumisest neisse ja teistest teguritest. Nendeks peetakse mürasid valjuse tasemega üle 70 fooni.

Suhtelisteks müradeks oleksid niisugused, mis kutsuvad esile organismi kahjustavaid reaktsioone ühenduses subjektiivsete negatiivsete tajudega. Nendeks peetakse mürasid valjuse tasemega alla 60 fooni.

Esineb ka arvamist, et tugevad mürad (üle 70 fooni) avaldavad mõju peamiselt vegetatiivsele süsteemile, kuna nõrgad mürad (alla 60 fooni) mõjuvad valdavas osas kesknärvisüsteemile.

Eespool toodust nähtub, et müra mõju loob organismile lisakoormuse, mille tagajärjel võib suureneda praagi hulk ja aeglustuda töötempo.

Vibrograafiga teostatud katsel (vt. joon. 12) ilmnes, et müra mõju tagajärjel kahaneb liigutuste täpse koordineerimise võime, see tingib aga õnnetusjuhtumite arvu suurenemise tööstuses ja transpordis. Seega peab efektiivsete müravastaste abinõude rakendamine viima faktilisele õnnetusjuhtumite arvu vähenemisele. Seda kinnitavad statistilised andmed mitmete Euroopa ja Ameerika linnade kohta, kus neid abinõusid rakendati.

Lisame sellele nüüd veel asjaolu, et müra mõjul süstemaatilise ülekoormusest nõrgestatud organism on vastuvõtlikum igasugustele haigustele, s.t. suureneb üldiste haigestumiste arv. Järelikult hakkab selguma, kui suures ulatuses on müra mõjul kahjulikud tagajärjed.

Ei tohi unustada seda, et müra tingimustes ei viibita mitte ainult töö, vaid ka teel koju ning kodus. Muidugi, kõikjal pole ta ühesuguse valjusega ega ühtviisi kahjulik.

Looduslikud mürad, näiteks tuule kahin, tasane lehestiku sahisemine, mere kohin jne., on enamikus pehme iseloomuga ja mõnel määral isegi rahustavad. Tööstuslikud mürad seevastu on enamikus agressiivse iseloomuga, ärritavalt ebarütmilised, mille tingimustes tuleb töötajatel viibida kogu tööpäeva vältel. Transpordimüradele on iseloomulik see, et ka nõrgana tekitab ta kestva kiirustamise mulje, mis tõenäoliselt kahjustab tervist rohkem kui müra valjus (tugevus) foonides.

Seepärast, kuigi müravastase võitluse teravik oli seni ja jääb ka edaspidi suunatuks kutsehaiguste vastu, mis on seotud peamiselt kuulmisorganite kahjustustega (osaline või täielik kurtus), ei piirduta ainult sellega, vaid tänapäeval on võitlus laienenud kaugele väljapoole tööstuse valdkonda, hõlmates peaaegu kõiki elu külgi.

Kuidas siis hinnatakse käesoleval ajal müra kahjulikku mõju?

Teaduslikud uurimised on näidanud, et müra kahjuliku mõju hindamiseks ei piisa ainult tema valjuse ja sagedusliku koostise (spektri) arvestamisest, jättes välja subjektiivsed ja psühholoogilised tegurid. Kuid kahjuks pole seni kogutud veel küllaldaselt andmeid, selleks et saada üldisi kriteeriume, mis arvestaksid viimatimainitud tegureid.

Müra kahjulikkuse kriteeriumide määramisel on käesoleval ajal aluseks statistilised andmed vastavate kutsehaiguste kohta (haigused on seotud kuulmisorganite kahjustustega) ning ohutustehnilised kaalutlused. Andmeid müra komplekssest mõjust kogu organismile tervikuna arvestatakse täiendava abimaterjalina. Üha laienevad müra-alased uurimistööd annavad põhjust oletuseks, et tõenäoliselt viiakse lähemas tulevikus mürade hindamine tunduvalt laiemale teaduslikule alusele.

Nõukogude Liidus kehtestatud tööstuslike mürade piiramisel on peamiste müra ohutust tagavate tingimustena võetud aluseks:

1) müra tase ja sageduslik koostis (spekter), mille kestev mõju ei tekita enamikul (üle 98%) töötajatest kutsealast kuulmiskaotust ega üldise tervisliku seisundi halvenemist (vt. normide graafikut joonisel 16);

2) kõne arusaadavuse tingimus. Viimane on aluseks võetud sellepärast, et ta mõjub soodustava tegurina tööohutusele tööstuses. Müra, mis sumbutab kõne arusaada-

vust, takistab töölistel kuulmast hoiatavaid hääli ja signaale, kahandab tähelepanuvõimet, suurendades sellega õnnetusjuhtumite arvu. Lisaks on vaatlustega kindlaks tehtud, et kõne arusaadavust takistav müra mõjub inimesele eriti rõhuvalt ja ärritavalt.

Kõne arusaadavuse määramiseks soovitatakse tööstuslikes tingimustes kasutada järgmist lihtsustatud metoodikat:

Diktor (või hea diktsiooniga töötaja) hääldab mitmekohalisi arve normaalse tugevusega häälega. Neli-viis kuulajat, kes istuvad temast 1,5 m kaugusel, märgivad kuulnud arvud üles. Kui 50 öeldud arvust üle 40 on õieti kuulnud, loetakse kõne arusaadavus antud kohas rahuldavaks.

6. MÜRAKAHJUSTUSED

Käsitledes müra mõju, tekib paratamatult küsimus: mis laadi kahjustusi ja kui suures ulatuses ta praktiliselt põhjustab?

Müra mõju kahjulikud tagajärjed inimorganismile võivad olla kahesugused:

1) negatiivne mõju kogu organismile (närvisüsteemile) tervikuna;

2) kuulmisaparaadi kahjustused.

Viimased on suhteliselt kergesti määratavad. Nagu me eespool nägime põhjustab kestev intensiivne müra kõrva ülekoormuse, rikkudes normaalset adaptiooni protsessi ja viies kuulmiseväsamiseni, mille tagajärjel võib tekkida algul osaline, hiljem aga täielik kurtus. Seejuures esinevad kaasnähtustena peavalud, tasakaaluhäired, unepuudus, hirmutunne, närviline haiguslik seisund jne. Tuntakse tervet rida vastavaid kutsehaigusi, näiteks vedurijuhtidel, katelseppadel jne. Arstiteadus pühendab neile suurt tähelepanu. Kaitseks nende vastu on välja töötatud ja rakendatakse mitmesuguseid individuaalseid kaitseabinõusid, keha vibroisoleerimist, mürarikastele töödele suunduvate isikute õiget meditsiinilist valikut ja muid profülaktilisi vahendeid.

Teaduslikud uurimused on näidanud, et kuulmisaparaadi profülaktilisi kaitseabinõusid on vaja rakendada ainult juhtudel, kus kuulmisväsamise tunnused ei kao loomulikult teel. See asjaolu muudab profülaktilised abi-

nõud efektiivsemaks, kontsentreerib nad vajalikesse kohtadesse ja hoiab ära liialdused.

Inimese kuulmisorganite vastupanuvõime müra mõjule sõltub individuaalsetest omadustest ja võib olla väga erinev. Oigeaegne kuulmisväsimuse avastamine on suure tähtsusega. Spetsiaalne mõõteriist, mida nimetatakse audiomeetriks, võimaldab määrata katsealustel juba üsna väikesi kuulmistundlikkuse kõikumisi. Kuulmise nürinemise määr ja taastumise aeg iseloomustavad teataval määral ka inimese kuulmise vastupanuvõimet mürale ja tema sobivust töötamiseks müra tingimustes.

Kuulmisadptsiooni kasutatakse mõnel pool tööliste kutsealasel valikul järgmiselt:

katsealune asub 1000 Hz sagedusega ja 100 db intensiivsusega hääle mõju all 3 minutit. Seejärel eemaldatakse hääleallikas ja 15 sekundit hiljem mõõdetakse kuuldeläve muutust. Tundlikkuse nõrgenemine 0—5 db loetakse normaalseks, 5—10 db suurenenud vastuvõtlikkuseks, üle 10 db — ülemääraseks vastuvõtlikkuseks.

Valjuse piir, kust algavad kuulmisorganite kahjustused, on mitmete teadlaste arvates 70—90 fooni vahel. Selle täpsem määramine sõltub reast teistest teguritest, mis, lisandudes müra valjusele, võivad tema kahjulikku mõju suurendada või vähendada.

Kahjustused inimese siseorganites on raskemini määratavad, sest nende seos müra mõjuga pole nii silmatorkav. See asjaolu muidugi ei vähenda mingil määral nende kahjulikkust ega õigusta tähelepanematust nende suhtes. Viimasel ajal on hakanud selguma kahjustuste ulatuslik mõju nii inimeste tervisele kui ka tööviljakusele ja see sunnib müra probleemile pühendama üha suuremat tähelepanu.

Väga tähtis on teada, et kahjustused siseorganes võivad esineda juba selliste hääle valjuste juures, mis inimesele ei tundu veel eriti koormavana, sealhulgas ka juhtudel, kus ta näib olevat nendega harjunud.

Kuidas siis müra mõjutab siseorganeid?

Teaduslikud uurimised näitavad, et inimesel, kes viib müra tingimustes, võtab kõrv kui meeleorgani mikrofon hääle mõjul tekitatud välise ärrituse vastu ja suunab ta närvisüsteemi vahendusel mitte ainult teadvusele, vaid ka siseorganitele. Viimastes tekivad vegetatiivsed kaitsereaktsioonid, nagu näiteks muutused ainevahetuses,

südametegevuses, seedimis- ja hingamisorganite tegevuses jne. Organism mobiliseerib kõik reservid võitluseks müra mõju vastu ja selles kaitsetegevuses pole iseeneest midagi ebanormaalset ega kahjulikku. Oht seisab aga liialdustes.

Normaalseks funktsioneerimiseks ja kaitsevõime säilitamiseks vajab organism ka regulaarset puhkust. Kui kaitsereaktsioonid on aga väga pikaajalised, sagedad või ebaloomulikult tugevad, tekib ülekoormatus, mille tulemuseks võivad olla vastavate organite jäävad kahjustused.

Ka närvisüsteem ise võib mürale reageerida kurnatuse tunnustega (üleärritatavuse ja üleväsimuse). Spetsiaalsete katsetega on kindlaks tehtud, et müra mõjul tekivad närvisüsteemi tegevuse muutused tunduvalt enne, kui remini kui kuulumistundlikkuse alanemine. Statistilised andmed näitavad, et mürarikastes ruumides töötajate hulgas on närvisüsteemi ja siesorganite haigustesse haigestunute protsent suurem kui suhteliselt vaiksetes ruumides töötajatel. Üldiselt loetakse müra üheks peamiseks närvilisuse põhjuseks.

Intensiivse müra kestev mõju on eriti kahjulik haigetele. Katsed loomadega näitavad, et müra võib kesknärvisüsteemi vahendusel soodustada väga raskeid haiguslikke protsesse (muuhulgas ka vähihaigust).

Meditiiniliste vaatlustega on selgitatud, et kestvalt müra tingimustes viibivatel inimestel ilmnevad esialgu järgmised haiguslikud nähud: naha kahvatus, peavalud, käte värisemine, suurenenud reflektorne ärrituvus, hingeline depressioon, halb uni, üldine erutusseisund jne. Sellele järgnevad juba mitmesugused funktsionaalsed häired, nagu suurenenud vererõhk ajudes, südametegevuse rütmilisuse häired, südame pürgsoonte ahenemine, üldise vererõhu suurenemine, naha ning siseorganite ainevahetuse muutused, seedehäired, hirmutunne jne.

Mürast tingitud organismi kestev ülekoormus võib tekitada ka maohaavu ning kalduvust hüpertooniale.

Missugune on müra valjuse piir, kust algavad siseorganite kahjustused?

Selle küsimuse lahendamine, mis nõuab akustikute ja meditsiinitöötajate ühist koostööd, pole tänini andnud rahuldava täpsusega tulemust.

Arvatakse, et elu-, büroo-, laboratooriumi- ja teistes samalaadilistes ruumides võivad inimestel ilmned

rast põhjustatud närvikahjustused, kui valjuse tase pidevalt ületab 40 fooni. Puhke-, magamis- ja haigetubades on kahjustuste oht suurem ja valjuse piiriks peetakse siin 25 fooni. (Mainitud piiridena mõeldakse müra madalaimat taset, millest alates võivad tekkida kahjustused, kuid mille ületamisel ei tarvitse nad sugugi alati esineda.)

Kahjustuste vältimise või vähendamise efektiivseks abinõuks on teaduslikult põhjendatud müra piiravate normide laialdane kehtestamine. Normidega lubatud maksimaalse müra valjuse määramisel tuleb peale tema mõju arvestada ka olemasolevaid tehnilis-majanduslikke võimalusi. Soovitatakse rakendada järgmisi orienteeruvaid lubatud müra tasemeid:

Tabel 4

Nr.	Ruumi nimetus	Lubatud müra tase foonides
1.	Raadio- ja helilindistamisstuudiod, vaikust nõudvad teadusliku uurimise laboratooriumid	kuni 10—15
2.	Haigepalatid, vaiksed töökabinetid, ruumid muusika kuulamiseks	„ 20—30
3.	Eluruumid, lugemissaalid, vaiksed kontoriruumid, kooliklassid	„ 30—40
4.	Bürood, kontoriruumid, pangad, hoiukassad	„ 40—50
5.	Vaiksed töökojad (puuduvad suured müratekitavad seadmed)	„ 40—60
6.	Kaubanduslikud ruumid	„ 65 ja üle selle

Ülaltoodud tabeli andmed on leidnud mõningaid põhjendatud vastuväiteid tehnilis-majanduslike võimaluste seisukohast, sest olemasolevates suurtes linnades ja tööstuskeskustes on praktiliselt võimatu isegi öisel ajal saavutada valjuse piiri alla 20 fooni.

Müra piiravate normide kehtestamist laiemas ulatuses on seni ühelt poolt piiranud tehnilis-majanduslikud kaalutlused ja teiselt poolt andmete vähesus müra kahjuliku mõju küllaldaseks teaduslikuks põhjendamiseks.

Et aga müra kahjulikkus ise on faktiliselt küllaldasel määral selgunud, hoogustub meie kodumaa suuremates

linnades pidevalt võitlus müra vastu kohalike abinõudega. Selles osas on väga palju ära tehtud Moskvas, kus teiste müravastase võitluse vormide kõrval töötab 1955. aastast alates regulaarselt linna Sanitaar-epidemioloogilise jaama juures müravastase võitluse küsimuste koordineerimiskomisjon. Komisjonil on tihe koostöö linnanoukogu osakondadega ja ta arendab oma tegevust järgmistes peamistes suundades:

1) Kõikide linna piires asuvate müraallikate arvelevõtmine;

2) müravastaste abinõude rakendamine linna elanike tervise huvides (sealhulgas müratekitavate käitiste paigutamine väljapoole linna piire või nende müra vähendamine);

3) kontrolli aktiveerimine müra režiimi üle linnas (Sanitaar-epidemioloogilise jaama kaudu);

4) ettevalmistavate tööde arendamine lubatud müra normide väljatöötamiseks.

Selle komisjoni ülesandel töötati Moskva linna tänava- ja elamumürade piiramiseks välja kohalikud ajutised normid, mida faktiliselt ka rakendatakse. Vastavalt neile normidele, ei tohi tänavamürade valjuse tase olla üle 75 fooni (punasel joonel) ning elamumürade oma üle 35—40 fooni. Mainitud komisjoni töö tulemusena on müra vähendamise osas olukord Moskvas tunduvalt paranenud. Järjekindlalt tegelevad linnamürade vähendamise küsimustega ka Leningradi Sanitaar-epidemioloogilise jaama töötajad.

Kuidas müra kahjustab tööviljakust, nägime juba käesoleva peatüki eelmises alapunktis. Kui suured võivad olla need kahjustused, võime orienteeruvalt näha tabelist 5, kus on toodud andmed müravastaste abinõude rakendamise tulemustest mõnes majandusharus. Esimesed kuus rida näitavad ebatootlike kulutuste (vead, praak), haigestumiste ja tööjõu voolavuse vähenemist, ülejäänud viis rida — mitmesuguste tööviljakuse näitajate tõusu.

Kõigest eespool toodust võime näha, et müra oht tänapäeva inimesele on küllaltki suur ja et peale hügieeniliste kaalutluste õigustab ka saavutatav majanduslik efekt igati müravastasele võitlusele asjatundlikult tehtud kulutusi.

Mürakahjustuste vähendamise ja vältimise küsimustega tegeleb müravastane tehnika.

Tabel 5

Nr. Müravastaste abinõude efektiivsuse näitajad	Rahandusministeerium (Inglismaa)	Kindlustusühing	5000 firmat (USA)	Masinahitustehas	Kudumisvabrikud	
					(Inglismaa)	(India)
1. Masinakirjutaja vead vähenesid		-29%				
2. Arvutusmasinal töötaja vead vähenesid		-52%				
3. Arvutustöö vead vähenesid (üldsummas)		-50%				
4. Praak vähenes				-33%		
5. Haigestumisjuhtumid vähenesid		-37%	-8%	-12%		
6. Tööjõu voolavus vähenes		-47%				
7. Masinakirjutaja päevane tootlikkus suurenes	+12%					
8. Arvutusmasinal töötaja päevane tootlikkus suurenes	+37%					
9. Üldine tööviljakus suurenes		+8%	+34%	+5,2%	+12%	±0%
10. Vastutavate töötajate tööviime suurenes			+30%			
11. Suurte kogemustega teenistujate tööviime suurenes			+5%			

III. MÜRAVASTANE TEHNIKA

7. ÜLDISED MEETODID VOITLUSES MÜRAGA

Võitlust müraga, mis on juba ammu väljunud üksiku asutuse või teatud toodanguliiki andva ettevõtte raamidest, koordineeritakse üleriigilises ulatuses ja see on omandamas rahvusvahelise koostöö vorme, nagu sellealased rahvusvahelised standardid, konverentsid jne. Kuna kaasaegses rahvamajanduses on müra probleem tunginud peaaegu kõigile tegevusaladele ja tema lahendamise edukus sõltub suurel määral elanikkonna suhtumisest sellesse küsimusse, on hakatud lisaks tehnilistele müravastase võitluse vahenditele järjest rohkem kasutama ka moraalset tegurit mitmesuguste eeskirjade, normide, kasvatuslike abinõude jne. vahendusel. Kuid peamine tähtsus on siiski tehnilistel vahenditel. Järjest kasvav vajadus viimaste järgi on põhjustanud omaette tehnika alaliigi — müravastase tehnika tekkimise. Tänapäeva ühiskonnal on kõik vajalikud vahendid, et seal, kus see osutub vajalikuks, vabaneda müra — tehnika ebasoovitavast ja ohtlikust kaaslasest. Käesolevas peatükis peatume lühidalt põhimõtetel, millest lähtutakse mainitud tehniliste vahendite ja meetodite väljatöötamisel, ning tutvustame lugejat mõnede tüüpiliste probleemide lahendustega.

Niisiis, müravastane tehnika seisneb niisuguste tehniliste abinõude loomises ja juurutamises, mis võimaluste raames piiraksid müra tekkimist või takistaksid ta levimist niivõrd, et oleks välditud kahjulik mõju inimorganismile.

Tingituna müra olemusest on praktikas välja kujunenud järgmised üldised põhimõttelised müravastase võitluse meetodid:

1) müraallika kõrvaldamine või selle müra nõrgendamine;

- 2) müraallika isoleerimine;
- 3) ruumide absorptsioonivõime (neelamisvõime) suurendamine;
- 4) müra mõjupiirkonnas olevate inimeste individuaalne kaitse.

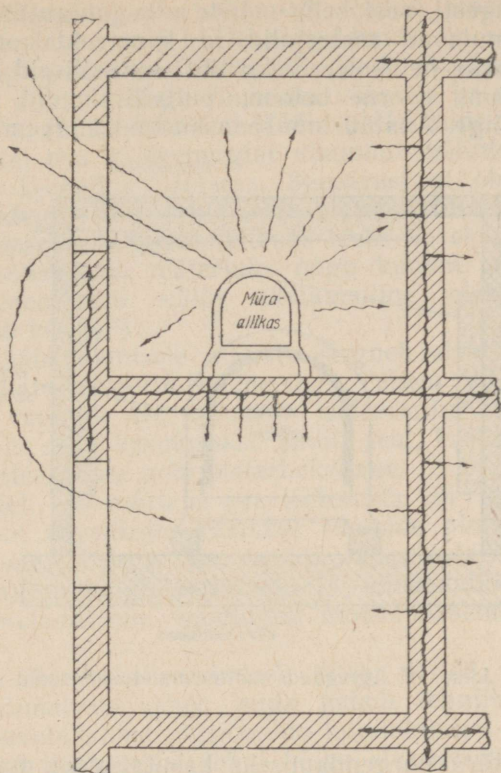
Võimaluse piires tuleb alati püüda vähendada müra esimese abil, s. t. nõrgendada müra allikais. Sageli võib siin asjatundliku tegutsemisega suhteliselt kerge vaevaga saada häid tagajärgi. Selleks on vaja müraallikaid tundma õppida, selgitada müra päritolu ja valida vastavalt abinõusid tema vähendamiseks. Üheks mainitud meetodi rakendamise näiteks on elukorterite põrandate katmine pehmete materjalidega, summutusribade asetamine uste piitadele jne. Tööstuse ja transpordi tingimustes tuleb tähelepanelikult tutvuda masinatega ja selgitada müra tekkimise mehhanism nendes. Selle tundmine peidab endas sageli soodsaid võimalusi müra vähendamiseks. Kahjuks takistavad masinate tööprotsessi iseloom ja ekspluatatsioonilised kaalutlused tihti suuremal või vähemal määral müravähendavate abinõude rakendamist allikais.

Kui selgub, et müra vähendamine allikais ei anna rahuldavaid tulemusi, osutub liiga kulukaks või pole mõnel muul põhjusel rakendatav, tuleb valida teisi abinõusid.

Ülejäänud meetodite lähemal vaatlemisel ilmneb, et nad põhinevad kõik hääleenergia vähendamisel tema levimisteel. Seoses sellega peab eelkõige looma selge pildi peamistest müra levimisteedest.

On oluline teada, et enamikel juhtudel ei kiirga müraallikas häält ainult vahetult ruumi, vaid teeb seda oma toetuspunktide kaudu ka hoone konstruktsioonile. Viimase kaudu edasi kandudes võib müra teistes ruumides uuesti pindadelt (seinad, laed jne.) ruumi kiirguda. Joonisel 13 on näidatud skemaatiliselt müraallikas ja tema hääle peamised levimisteed hoones.

Teatud tingimustel võib põhjustada müra ka konstruktsiooni mööda leviv madalsageduslik vibratsioon, mis ise vahetult ei tekita kuuldavat häält, sest põhisagedus on väljaspool kuuldepiirkonda ja kõrgemate harmooniliste intensiivsus on allpool kuuldeläve. Niisugune vibratsioon võib levimisel kohtuda detailiga, mille omavõnkesagedus on küllalt lähedane mõnele vibratsiooni kõrgematest harmoonilistest. Tekkivad resonantsvõnkumised võivad põhjustada kuuldavat häält.

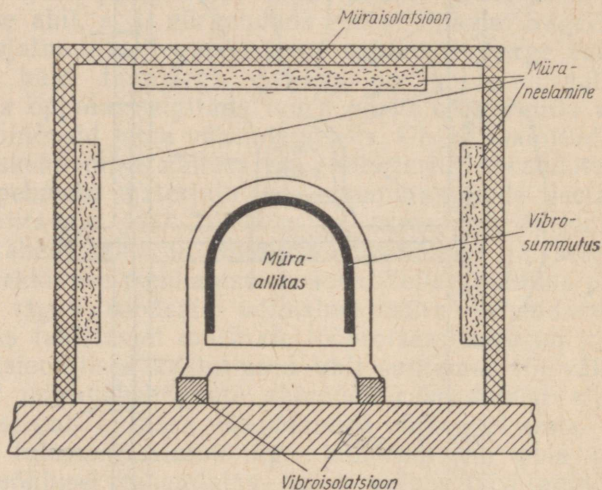


Joon. 13. Müras levimise peamised teed hoonetes

Kirjeldatud müra levimise tõkestamiseks kasutatakse mitmesuguseid summutusmeetodeid, millest peamised on skemaatiliselt töödud joonisel 14. Vibratsiooni vähendamiseks on masina korpusesse asetatud summutaja (vooder). Vibratsiooni levimine on takistatud vibroisolaatorite asetamisega toetuspunktides masina ja teda kandva konstruktsiooni vahele. Masinat ümbritseva müra vähendamiseks on kasutatud müraneelavaid, s. t. absorbeerivaid materjale. Müra tungimist õhu kaudu ümbritsevasse ruumi takistatakse vastava heliisolatsiooniga.

Mürasummutavatest meetoditest rääkides on vaja peatuda ühel asjaolul. Sageli kasutatakse terminit «heliisolee-

riv» ebaõigesti, sest selle mõiste alla paigutatakse kõik mürasummutavad materjalid ja konstruktsioonid. Näiteks peetakse heliisoleerivaks tihti ka selliseid materjale, nagu kummi, poorne betoon, puitvill-plaadid jne., mis pole aga õige. Analüüsime seda küsimust lähemalt.



Joon. 14. Agregaadi mürasummutusmeetodid

Kõiki müra nõrgendamiseks kasutatavaid materjale ja konstruktsioone tuleb nimetada mürasummutavateks. Oma toimelt jagunevad need kolme põhilisse klassi:

- 1) heliisoleerivad;
- 2) helineelavad ehk -absorbeerivad;
- 3) vibroisoleerivad.

Heliisolatsiooniks sobivad kõik tihedad rasked materjalid, nagu metall, betoon, puit, jne., millel on suur akustiline takistus ja mis nõrgendavad neid läbivaid häáli 40—50 detsibelli võrra, s. o. kümme kuni sada tuhat korda. Nende heliisoleerivad omadused on määratud ainult tiheduse ja kaaluga, mitte aga kõvaduse, elastsuse ega teiste füüsikaliste näitajatega. Heliisoleerivaid materjale kasutatakse tõkkekonstruktsioonidena müra levimisteel, kusjuures nende valikul on tähtsamaks näitajaks pinna ruutmeetri kaal.

Absorbeerivateks ehk helineelavateks on poorsed ja

kohevad materjalid, nagu vatt, vilt, poorne betoon jne., mille neeldumistegur $\alpha > 0,1 \div 0,2$. Ruumi pindalale kantuna vähendavad nad hääle peegeldumist ja seega müra taset, kuigi praktiliselt mitte üle 6—8 detsibelli. Müra-neelavate pinnakatetega ruumides väheneb ka reverberatsioon, s. o. ruumi kõlavus. Hääle neeldumine materjalis, mille vältel osa hääleenergiat muundub hõõrdesoojuseks, on väga keeruline protsess. Seepärast ei ole võimalik neeldumisteguri α suurust leida matemaatilisel teel, vaid selle määramise ainuvõimalikuks teeks on eksperiment.

Vibroisoleerivaid materjale, nagu kummi, asbest, vilt, jne. iseloomustab väike dünaamiline elastsusmoodul (alla 1000 kG/cm²).

Müra vähendamisele allikais järgneb efektiivsuse astmelt allikate isoleerimise meetod. Vähem efektiivne on üksikute ruumide või inimeste isoleerimine müra keskonnast ja seda kasutatakse ainult seal, kus terve müraallika isoleerimine pole otstarbekohane.

Juhtudel, kus müra ei saa isoleerida või see ei anna rahuldavat tagajärge, kaetakse ruumide pinnad helineelavate materjalidega. See meetod (väga laialt levinud ka tööstuses) on haiglates, ameti- ja ühiskondlikes asutustes, elumajades jne. muutunud möödapääsematuks vajaduseks.

Müraallika lokaliseerimisel tuleb valida oskuslikult nende võimaluste vahel, mida pakub tehniline füüsika. Summutavate konstruktsioonide kujundamisel peab kasutama igal konkreetsel juhul kõige efektiivsemaid meetodeid ja materjale ning materjalide omavahelisi kombinatsioone. Peale tööstuslikult toodetavate spetsiaalsete akustiliste materjalide sobivad selleks otstarbeks väga hästi ka tavalised ehitusmaterjalid.

On rida kutsealasid, kus inimesel tuleb töötada väga suure intensiivsusega müraallikate vahetus läheduses, nagu näiteks töötavate lennukimootorite lähedal, reaktiivmootorite juures jne. Siin kasutatakse individuaalset mürakaitset. Kõrvade välistesse kuulmekäikudesse asetatakse summutavate omadustega tropid (antifonid), kasutatakse kiivreid (šlemme) ja kõrvaklappe. Viimaseid valmistatakse vastavalt vajadusele ja sõltuvalt segava müra spektrist väga mitmesuguste omadustega. Individuaalsete kaitsevahendite valmistamist ja kasutamist piirab peamise tegurina nende kandmise ebamugavus.

Lähtudes majanduslikest kaalutlustest tuleb müra vähendamisel eelnevalt kindlaks määrata, kui palju on vaja hääle taset igal sagedusel alandada. Sellega hoitakse ära asjatu materjali- ja ajakulu.

Müra sagedusspektrite mõõtmisest oli juttu esimeses peatükis. Müra mõju vähendamisel on vaja veel andmeid selle kohta, missugune müra tase on ohutu, s. o. peame teadma lubatava müra sagedusspektrit.

See küsimus, nagu me eelmises peatükis nägime, on väga komplitseeritud. Veel üsna hiljuti polnud võimalik määrata lubatud müra sagedusspektreid peamiselt kahel põhjusel:

- 1) polnud küllaldaselt uuritud müra mõju inimorganismile ja
- 2) müravastase võitluse tehnika oli arenenud puudulikult.

Viimasel ajal on aga olukord selles osas mõnevõrra muutunud. Teaduslike uurimisasutuste müra-alastes laboratooriumides tehtud töö tulemusena saab rakendada mürapiiravaid norme seal, kus inimesed selle all kõige enam kannatavad, nimelt tööstuses. 1956. a. veebruaris kinnitati Nõukogude Liidu Tervishoiuministeeriumi poolt «Ajutised sanitaarnormid ja -määrused müra piiramiseks tööstuses», mis töötati välja Leningradi Töökaitse Instituudis (I. I. Slavin) ja kehtivad kõigis meie maa tehastes ning projekteerimisettevõtetes. On tõenäoline, et taolisi abinõusid laiendatakse õige pea ka teistele rahvamajandusaladele.

Tööstuses määratakse müra kahjulikkus põhiliselt tema hääle rõhu (müra taseme), sagedusliku koostise (spektri) ja mõjumise regulaarsusega. Et kõrgsageduslikud mürad loetakse kahjulikumaks kui madalsageduslikud, määratakse lubatavad müra tasemed sõltuvana müra sageduslikust koostisest.

Normid näevad ette kõikide mürade jaotamist kolme klassi, vastavalt tabelile 6.

Loetletud kolme klassi müradele määratakse lubatud intensiivsuse tasemed normgraafiku järgi, mis on toodud joonisel 15.

Normgraafikut kasutatakse järgmiselt:

Määratakse, missugusesse ülemisel horisontaalsel skaalal toodud sageduslikku tsooni kuulub normitava müra tugevaim komponent (kuni 60; 120; ...; kuni 4000 Hz).

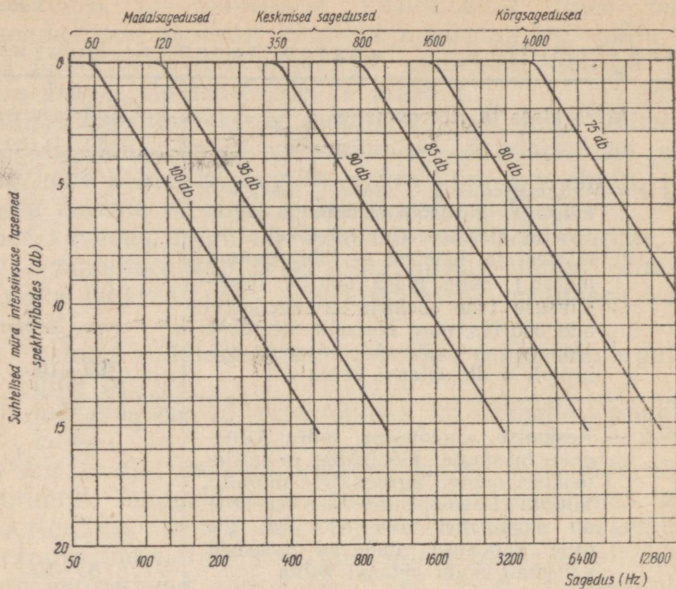
Mürade liigitus ja lubatud tasemed tööstuses

Müra klass ja iseloomustus	Lubatud tase (db)
Klass 1 — Madalsageduslik müra. (Aeglase käiguga, mittelöökiseloomuga agregaadid. Heliisoleerivatest tōketest — seintest ja katetest — läbitunginud mürad.) Selle müra suurim intensiivsuse tase spektris on sagedustel alla 350 Hz, ning üle selle sageduse alanevad intensiivsuse tasemed vähemalt 5 db oktaavi kohta ¹	90—100
Klass 2 — Keskmise sagedusega müra. (Enamike masinate, tööpinkide ja mittelöökiseloomuga agregaatide mürad.) Suurim intensiivsuse tase spektris on sagedustel alla 800 Hz, üle selle sageduse alanevad tasemed vähemalt 5 db oktaavi kohta	85—90
Klass 3 — Kõrgsageduslik müra. (Löökiseloomuga agregaatide, õhu- ja gaasivoolude ning suurte kiirustega töötavate agregaatide iseloomulikud klirisevad, sisisevad ja vilistavad mürad.) Suurim intensiivsuse tase spektris on sagedustel üle 800 Hz	75—85

Lubatud müra spektrile vastab nüüd kõver, mis moodustub ülemisest horisontaaljoonest (0 db) kuni vastava tsooni piirini ja sealt algavast kaldjoonest. Maksimaalselt lubatud müra tase on kirjutatud kaldjoone peale (on antud juhul ühtlasi 0 db joone intensiivsuse taseme absoluutväärtuseks). Erinevalt eespool kirjeldatud spektri graafikutest on siin vertikaalteljel kujutatud intensiivsuse taseme erinevus antud müra maksimaalselt lubatud tasemest (0 db) vähenemise suunas.

Täiendava kohustusliku tingimusena kõigi kolme klassi mürade puhul on kõne rahuldav arusaadavus, s. t. *nor-*

¹ Sageduse iga kahekordistumise kohta.



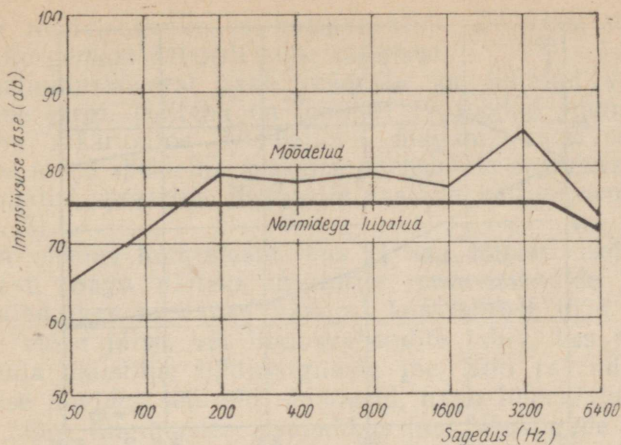
Joon. 15. Tööstuslike mürade normgraafik

maalse valjusega kõne peab olema hästi arusaadav 1,5 m kaugusel kõnelejust.

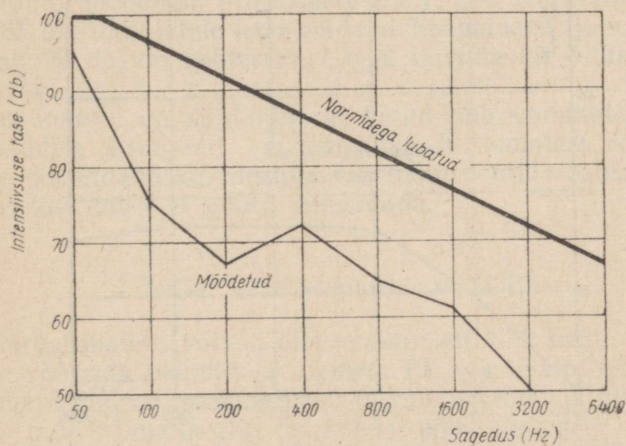
Ulalloetletud normid kehtivad tehaste ja töökodade ruumides, kus asuvad müratekitavad seadmed. Administratiiv- ja kontoriruumides, konstrueerimisbüroodes ning muudes ruumides kehtivad rangemad nõuded. Kui ukсед ja aknad on suletud, vastab siin lubatud müra spektrile normgraafiku kõver 95 db (joon. 15) ainult selle vahega, et siin tuleb maksimaalselt lubatud müra tasemeks lugeda 95 db asemel 60 db ja *tasase* häälega kõne peab neis ruumides olema hästi arusaadav 6 m kaugusel kõnelejust.

Lisaks sisaldavad normid veel mitmesuguseid täpsustusi ja klausleid, mida me aga siin ei hakka loetlema.

Olles mõõtnud tegeliku müra spektri ja teades antud tingimustele vastavat lubatava müra spektrit, saame määrata müra vastavust normidele ja vajaliku summutuse suurust. Selleks tuleb mõõdetud müra spektrist lahutada lubatud spekter (tingimusel, et mõlemad on samades mõõtühikutes) ja saadud vahe kujutabki vajalikku sum-



a



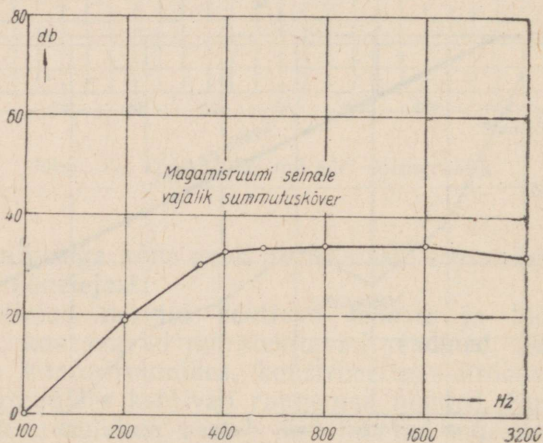
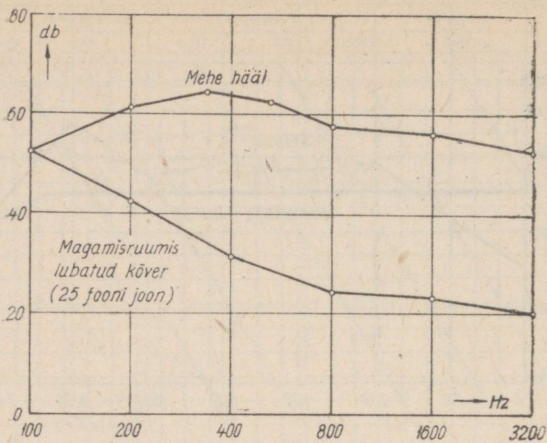
b

Joon. 16. Mõõde hindamine tööstuses kehtiva normgraafiku alusel:

a — treimistsehhis; b — sõiduauto «Pobeda» 50-kilomeetrise tunnikiruse juures

mutuskõverat. Iseenesest mõista tekib summutamise vajadus ainult neil sagedustel, kus see vahe on positiivne, s. t. tegeliku müra spektri komponendid ületavad lubatud spektri omi.

Joonisel 16 on toodud näitena müra hindamine tööstu-



Joon. 17. Vajaliku summutuskõvera leidmise näide

ses kehtestatud normide alusel. Ülemine graafik (a) näitab ühes treimistsehhis mõõdetud müra mittevastavust lubatud normidele. Normaalseste töötingimuste loomiseks tuleb siin vähendada kõrgsageduslikke komponente ($f > 1600$ Hz), et viia müra madalamasse sageduslikku tsooni (vt. joon. 15), mille lubatud tase on kõrgem. Alumine graafik (b) näitab sõiduauto «Pobeda» müra kuuluvust tööstuslike normidega lubatud piiridesse, hooli-

mata madalsageduslike komponentide (50 Hz) suhteliselt kõrgemast intensiivsuse tasemest.

Summutuskõverat saab määrata ka lubatud valjuse taseme järgi. Näitena on joonisel 17 toodud summutuskõvera määramine detsibellides magamisruumi seinale, võttes müra spektrina keskmise mehehääl sagedusspektri ja lubatud spektrina 25 foonile vastava valjusejoone (vt. joon. 3).

On olemas kutsealaid, kus ei saa inimesi isoleerida mürast, nagu näiteks mootorite proovistendide juures töötajad, kes hindavad mootori korrapärast tööd töötamise müra järgi, või liiklusvahendite juhid, kes peavad jälgima akustilisi liiklussignaale jne. Siin rakendatakse tervise huvides selliseid abinõusid, nagu lühendatud tööaeg müra tingimustes, lisapuhkus jne. Nõukogude Liidus antakse rea tööde puhul (stantsimine, neetimine, metalliraiumine, mootorite proovimine jne.), kus müra tase ületab 85 db, töötajatele kaks nädalat lisapuhkust, ja kus see ületab 95 db, on kehtestatud veel täiendavalt 6-tunniline tööpäev.

Kogemused on näidanud, et kulud mürasummutavatele abinõudele osutuvad väiksemateks hilisematest kahjustuste parandamiskuludest ja hüvitustest, mida tuleb teha, juhul kui müra ei püüta vähendada.

8. MÜRA VÄHENDAMINE ALLIKAIS

Müraallikateks võivad olla praktiliselt kõik häälte tekitamise võimega olendid ja esemed. Et aga häälte tekkimise mehhanismid on analoogilised ja ruumi ning aja piiratuse tõttu pole võimalik siin käsitleda kõiki juhuseid eraldi, siis piirdume nende praktikas väljakujunenud põhimõtete ja reeglite tundmaõppimisega, millest lähtutakse müra vähendamisel allikais, ja toome mõned näited tööstusest, kus käesoleval ajal on töötingimused müra tõttu suhteliselt raskemad. Orienteerumiseks on tabelis 7 toodud mitmesuguste allikate müra ligikaudsed tasemed ja iseloom.

Et müra vähendamine oleks tagajärjekas, on vaja hästi tundma õppida põhjusi, mis teda tekitavad. Masinate või seadmete monteerimisel tuleb vältida tingimusi, mis võivad suurendada masina müra. Sageli esineb

Tabel 7

Nr.	Müraallikas	Müra tase foonides	Müra iseloom
1.	Mootorite katsejaamad	130—135	Madalsageduslik
2.	Summutitega pneumaatilised mootorid	90—95	—
3.	Lehtterase pneumaatiline neetimine	110—115	Kõrgsageduslik
4.	Treipingid	85—93	Keskmise sagedusega
5.	Rotatsioon-trükimasinad	95	Hammasrataste müra, mille sagedus sõltub pöörete ja hammaste arvust
6.	Trammivaguni rattapaar koos elektrimootoriga ДТН-60 ja hammasülekan- dega, proovipingis	97	Hammasrataste ja elektrimootori müra (vt. eelmist juhtu)
7.	Kirjutusmasin pehme alu- sel	68—70	—
8.	Kirjutusmasin vahetult laual	74	—
9.	Võimas elektrimootor	85—100	Madalsageduslik, tonaalne
10.	Väikese võimsusega kinnist tüüpi elektrimootorid	40—60	—
11.	Automootorid (möödetud mootori katte all)	80—90	Keskmise sagedusega
12.	Masinakirjabüroo (akusti- lise töötluseta)	70—78	Keskmine ja kõrgsage- duslik
13.	Masinakirjabüroo müra- nee- lava voodriga	68—74	Tunduvalt tumedama tämbriga kui eelmises punktis mainitud juhul
14.	Elektrijaama masinasaal	95	Madalsageduslik
15.	Kaheteljelises trammivagu- nis (möödetud vagunis «Pu- tilovets»)	85—90	Keskmise sagedusega
16.	Autos «Pobeda» 50-kilomeet- rilisel tunnikirusel	100	Eriti madalsageduslik
17.	7—10 m kauguselt mööduv tramm	77—88	—
18.	Autobuss	74	—
19.	Jalakäijate sammude müra (keskmiselt 1500 inimest tunnis)	40—50	—
20.	5-tonnine veomasin	89	—
21.	Raadiovastuvõtja	80	—
22.	Telefonihelin	60	—
23.	Ukse kinnilangemine	70—80	—

juhuseid, kus värskelt töökohale ülesseatud masin tekitab rohkem müra kui proovimisel enne monteerimist. See näitab, et montaažil ei arvestata tehnilise akustika printsiipe.

Meetodid, mida kasutatakse müra vähendamiseks allikais, erinevad veidi üksteisest sõltuvalt müra päritolust. Mehhaanilised mürad tekivad teatavasti kõva keha vibratsiooni tagajärjel, aerodünaamilised — õhu või gaasi liikumisel teatud kindlatel tingimustel.

Mehhaanilise müra vähendamiseks allikais on vaja viia madalamaks keha helisageduslikku vibratsiooni. Kuidas seda teha, see selgub, kui vaatame, millest vibratsioon sõltub.

Masinadetaili või mõne muu kõva keha vibratsiooni intensiivsus, aga seega ka tekitatava hääle tugevus sõltuvad:

- 1) mõjuvast jõust;
- 2) mõjuva jõu sageduse ja vibreeriva keha omavõnkesageduse erinevusest.

Mida suurem on see erinevus, seda väiksem on vibratsiooni intensiivsus. Intensiivsuse maksimumiga on tegemist resonantsolukorras, s. t. kui mõjuva jõu ja keha omavõnkesagedus ühtivad.

Siit nähtub, et vibratsiooni intensiivsust saab vähendada, muutes kas mõjuva jõu suurust ja sagedust või siis vibreeriva detaili inertsust ning omavõnkesagedust.

Mõjuva jõu suuruse vähendamine pole praktikas paljudel juhtudel võimalik, kuna see tingiks masina kasuliku koormuse vähenemise. Kui vibreerimise põhjustavad aga parasiitjõud, nagu näiteks pöörlevate võllide tasakaalustamatus, magnetivälja kõrgemad harmoonilised elektrimasinais jne., siis on müra vähendamine sel viisil põhimõtteliselt võimalik.

Mõjuva jõu sageduse muutmist kasutatakse resonantsvõnkumiste hävitamiseks seal, kus see abinõu ei kahjusta tehnoloogilist protsessi. Löökiseloomuga masinate juures (stantsimispingid jne.) osutub see meetod peaaegu asendamatuks. Siin on kõige efektiivsemaks teeks agregadi konstruktsiooni või tehnoloogilise protsessi täielik muutmine: stantsimise asendamine pressimisega, neetimise asendamine keevitamisega jne.

Sageli kasutatakse mehhaanilise müra vähendamiseks

masina vibreeriva detaili jäikuse ja massiivsuse suurendamist, mis saavutatakse sobiva materjali ja konstruktsiooni valikuga. See suurendab detaili inertsust ja muudab ta omavõnkesagedust.

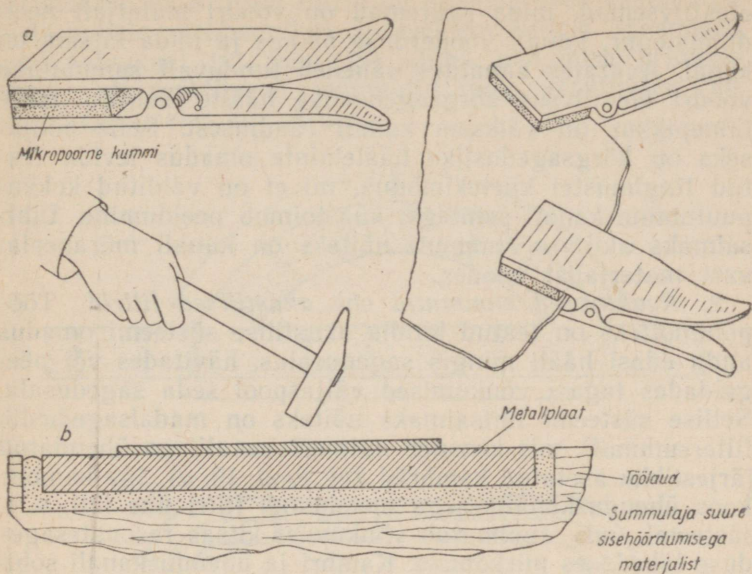
Dünaamiliste jõudude soodustavat mõju müra tekitamisel suurendab detailide kuluvus, halb kinnitus, lõtkud, konstruktsiooni puudulik jäikus jne.

Mehhaanilist müra võib tekitada ka kahe liikuva keha vaheline kuiv hõõrdumine. Mõjuvaks vahendiks selle vastu on määrimine.

Kui eespool loetletud abinõud mehhaanilise müra vähendamiseks osutuvad ebapiisavateks või neid ei saa mingil põhjusel rakendada (liiga kulukas jne.), võib kõva keha vibratsiooni summutamiseks kasutada mõningate materjalide sisehõõrdumist.

Igaüks on vist tähele pannud, et metall- ja klaasemed peale lööki mõnda aega vibreerivad ja helisevad. See on seletatav nende materjalide väikese sisehõõrdumisteguriga. Seevastu aga näiteks kummil, vildil, korgil, asbestil jne. on väga suur sisehõõrdumistegur, mis takistab ja vähendab vibratsiooni. Taolisi materjale kasutatakse sageli müraallikais vibrosummutajatena (vt. joon 14). Viies vibreerivad esemed tihedasse kokkupuutesse seda tüüpi materjaliga, kustutavad viimaste sisehõõrdumisjõud kiiresti vibratsiooni. Huvitavaks näiteks vibrosummutist on Leningradi Töökaitse Instituudis välja töötatud odav ja lihtne abinõu — pesupulgataoline vedruga varustatud mikropoorsest kummist mokaadega näpits (vt. joon. 18). Neid rakendati edukalt pronksist laevakruvide töötlemisel, millele varem kaasnes kõrgetooniline klirisev müra tasemega 115 fooni. Kirjeldatud vibrosummutite kasutamine vähendas tunduvalt müra taset, eriti selle kõrgsageduslikus osas. Teise näitena on samal joonisel toodud bitumineeritud vildist (või lehtkummist) vibrosummuti töölauda ja metallplaadi vahel, millel õiendatakse lehtterast. Ka see abinõu annab tunduvat efekti vaid tingimusel, kui plaat liibub tihedalt summuti vastu.

Aerodünaamilise päritoluga müra vähendamine allikais on juba raskem probleem. Praktikas kohtame niisuguseid mürasid pneumaatiliste masinate ja mootorite, kompressorite, sisepõlemismootorite, ventilaatorite jm. juures, kus nende tase sageli ületab 100—110 fooni. Mürade vähenda-



Joon. 18. Löögimürade summutamise näiteid

mise peamiseks teedeks on gaaside liikumiskiiruse piiramine, gaasivooludele paremate voolamistingimuste loomine ja rõhkude vahe vähendamine (väljalaske juures). Loetletud tingimuste täitmine ei anna aga sageli piisavat efekti ja on paljudel juhtudel koguni võimatu. Võib öelda, et aerodünaamiliste müra vähendamine allikais kujutab endast praktikas väga rasket ja seni lahendamatu ülesannet.

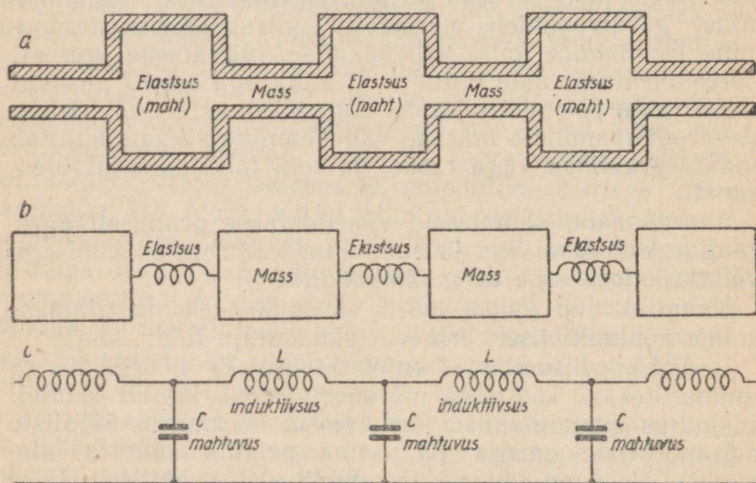
Aerodünaamilisi mürasid vähendatakse peamiselt agregaatide isoleerimisega ja summutusseadmete asetamisega väljalasketorudesse ning õhukanalitesse.

Kanali kaudu leviva müra vähendamiseks kasutatakse kolme põhimõtteliselt erinevat summutaja liiki:

1. *Aktiivsed summutid* (nimetatakse ka hõõrdumisega summutiteks). Töötavad müraneelajatena kanali seintel, kusjuures summutamise mehhanism sarnaneb tavaliste müraneelajate omaga (vt. sama peatüki kümnes alapunkt). Need on lihtsad ja efektiivsed suhteliselt laias sageduste diapsoonis ning seepärast neid kasutatakse praktikas väga laialdaselt. Aktiivsed summutid on seda

efektiivsemad, mida suuremad on voodri materjali neeldumistegur, kanali vooderduse pikkus ja mida kitsam on kanal. Avarates kanalites väheneb tunduvalt summutava voodri efektiivsus kõrgsageduslike häälte suhtes, mille lainepikkus on väiksem kanali raadiusest. Selle põhjuseks on kõrgsageduslike häälelaine omadus levida teatud tingimustel kiirtekimbuna, nii et on välditud kokkupuutumine kanali seintega, kus toimub neeldumine. Lihtsaimaks aktiivse summuti näiteks on kanali müraneelavast materjalist vooder.

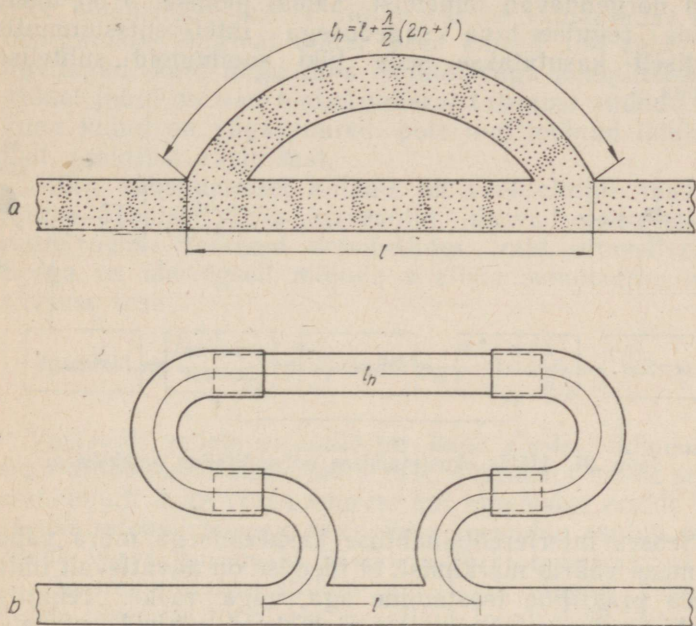
2. *Reaktiivsed summutid ehk akustilised filtrid.* Tööpõhimõtteks on teatud kindla akustilise süsteemi omadus anda edasi häält mingis sagedusalas, hävitades või peegeldades tagasi võnkumised väljaspool seda sagedusalas. Sellise süsteemi lihtsaimaks näiteks on madalsageduslik filtersummuti, mis koosneb mitmest kanalitega ühendatud järjestikku asetatud kambriest (vt. joon. 19, a). Iga kamber koos ühenduskanalikesega moodustab filtri ühe lüli, s. t. süsteemi, mis summutab võnkumist kitsas resonantsageduse lähedases piirkonnas. Kambri ja ühenduskanali sobivate mõõtmete valikuga saame määrata lüli resonantsagedust. Järjestikku ühendatud lülidest saab moodustada filtri, mis summutab müra soovitud sagedusalas.



Joon. 19. Filtrina toimivate süsteemide analoogia:

a — akustikas; b — mehhaanikas; c — elektrotehnikas

Kirjeldatud akustilised filtrid on analoogilised vastavatele süsteemidele mehhaanikas ja elektrotehnikas (peamiselt raadiotehnikas) (vt. joon. 19). Juba töötamise printsiip tingib, et reaktiivsed summutid pole efektiivsed nii laias sagedusalas kui aktiivsed.



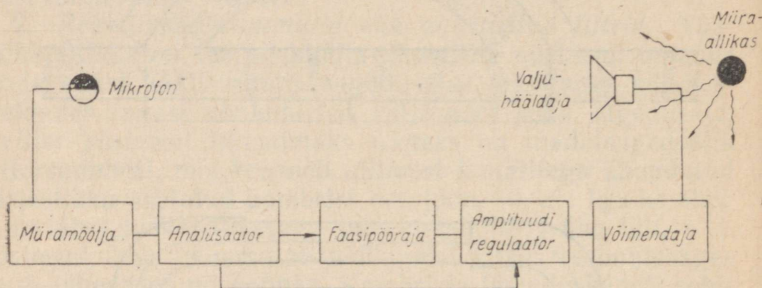
Joon. 20. Interferentssummuti:

a — kindla sagedusega toonidele; *b* — reguleeritava sagedusega toonidele

Paremate summutusomaduste saamiseks kõrgsageduslike häälte puhul kasutatakse aktiivsetest ja reaktiivsetest elementidest kombineeritud summuteid. Enamasti on siin tegemist akustilise filtriga, mille ühenduskanalite seinad on kaetud müraneelava materjaliga. Reaktiivseid filtreid kasutatakse praktikas võrdlemisi laialdaselt.

3. *Interferentssummutid.* Neis summutites kasutatakse ära hääle interferentsi nähtust ja neid võib rakendada seal, kus on tegemist tugevalt tonaalse ja ajaliselt muutumatu iseloomuga müraga. Ühe võimaliku näitena on joonisel 20, *a* toodud õhukanal, millel pikkuse *l* ulatuses

on lisaharu. Selle haru pikkus on kanalit mööda leviva hääletooni poolaine pikkuse (või paaritu arv korda poolaine pikkuse) võrra suurem l -st. Seetõttu osutub haru läbinud häälelaine hargnemiskoha lõpus (ühinemiskohas) vastufaasis olevaks otse levinud lainega ja tulemusena nad nõrgendavad teineteist. Samal joonisel b on toodud näide reguleeritava sagedusega inteferentssummutist. Üldiselt kasutatakse seda liiki summuteid suhteliselt harva.



Joon. 21. Hääle «kustutamise» põhimõtteline plokkskeem

Seoses interferentsinähtuse kasutamisega müra vähendamisel väärib märkimist, et idee ise on ahvatlevalt lihtne, tema praktiline teostamine aga väga raske. Tehnilises ajakirjanduses on viimasel ajal olnud vihjeid sellele, et kaasaegse elektroonika arengu baasil loodetakse seda ideed praktiliselt ellu rakendada.

Ameerika Ühendriikides on tehtud mitmeid katseid nn. hääle kustutamisega. Need oma põhimõttelt üksteises palju ei erine. Toome nende põhiidee lihtsustatud kujul skemaatiliselt joonisel 21. Mikrofon võtab vastu allikast kiirgava müra ja suunab selle läbi müramõõtja analüsaatorisse, kus tehakse kindlaks tema sageduslik koostis. Siit juhitakse tugevamad, üldist müra taset määravad komponendid faasipöörajasse, mis pöörab nad vastufaasi. Edasi suunduvad võnkumised amplituudiregulaatorisse, mis annab neile vastavalt analüsaatori andmetele vajalikud amplituudid ja suunab läbi võimendaja valjuhääldajasse. Olenevalt seadme otstarbest paikneb valjuhääldaja kas müraallika vahetus läheduses või sellest kauge-

mal. Müra vähendamiseks allikas peab valjuhääldaja kui täiendava hääleallika (mille võnkumine on aga vastu- faasis) asetsema kustutatava hääle allika vahetusse lähedusse. Inimese isoleerimiseks müra- asetatakse valju- hääldaja koos mikrofoniga kõrva vahetusse lähedusse (näi- teks lenduritel), kus ta ülesandeks on «kustutada» kuul- deorganisse tungivat müra. Need katsed on kahtlemata huvitavad, kuid nagu juba öeldud, väga komplitseeritud. Mõnel juhul on nad teatud määral tulemusi andnud, kuid kuna kulud on väga suured, pole nad leidnud laialdase- mat praktilist rakendust.

Müra vähendamisel allikais on veel oluline teada, et mitme reaalse allika koosmõjul liituvad aritmeetiliselt mitte nende tasemed detsibellides, vaid intensiivsused. Seega on üheaegselt mõjuva n allika summaarne inten- siivsuse tase

$$\beta_{\Sigma} = 10 \log \frac{I_1 + I_2 + \dots + I_n}{I_0} = 20 \log \frac{p_1^2 + p_2^2 + \dots + p_n^2}{p_0} \quad (db)$$

Vastavalt sellele valemile on kahe võrdse intensiivsu- sega allika summaarne müra tase, sõltumata nende suuru- sest, ainult 3 db võrra suurem kui kummalgi eraldi. Saja võrdse intensiivsusega müraallika koosmõju osutub ainult 20 db võrra suuremaks üksiku allika intensiivsusest jne.

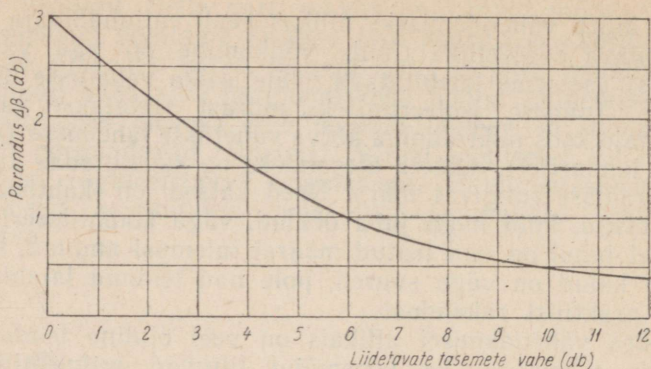
Suurema hulga allikate puhul on mugav kasutada nende tasemete liitmiseks graafikut joonisel 22, liites nad järjestikku kahekaupa. Graafik näitab (kahe allika koos- mõjul) tugevama allika taseme suurenemist $\Delta\beta$ detsi- bellides sõltuvalt liidetavate tasemete erinevusest detsi- bellides.

Olgu näiteks tegemist kolme müraallikaga, mille tase- med on vastavalt $\beta_1 = 90$ db, $\beta_2 = 88$ db ja $\beta_3 = 85$ db.

Nende summaarse taseme leidmiseks liidame kahekaupa järgmiselt: esialgu tugevamad, mille tasemete erine- vus $\beta_1 - \beta_2 = 2$ db ja mis annavad summaarse taseme (graafikult $\Delta\beta_{1,2} = 2,2$ db)

$$\beta_{1,2} = \beta_1 + \Delta\beta_{1,2} = 90 + 2,2 = 92,2 \text{ db}$$

ja nüüd liidame sellele kolmanda, mis erineb kahe esimese summaarsest tasemest $\beta_{1,2} - \beta_3 = 7,2$ db võrra. Tulemu- seks saame (graafikult $\Delta\beta_{1,2,3} = 0,8$ db)



Joon. 22. Graafik kahe mürallaika summaarse taseme määramiseks.

Horisontaaltelg kujutab liidetavate tasemete vahet detsibellides. Vertikaaltelg annab paranduse detsibellides, mille võrra tõuseb tugevama mürallaika tase

$$\beta_{1; 2; 3} = \beta_{1; 2} + \Delta\beta_{1; 2; 3} = 92,2 + 0,8 = 93 \text{ db.}$$

Vaadates graafikut joonisel 22 näeme, et kui liidetavatest on üks teisest nõrgem rohkem kui 6—8 db, siis üldise taseme juurdekasv, võrreldes tugevama allika tasemega, on alla 1 db.

Siit järeldub ka, et agregaaadi müra edukaks vähendamiseks on vaja nõrgendada tema kõige valjemat komponenti. Nõrgemate komponentide vähendamine praktiliselt ei kajastu müra üldises tasemes.

9. MÜRA ISOLEERIMINE

Ümbruskonna vabastamisel müra mõjust on peale mürallaikade nõrgendamise efektiivsemaks meetodiks nende isoleerimine, s. o. müra levimise tõkestamine ümbritsevasse keskkonda. Eespool me nägime, et peamisteks levimise teedeks olid ümbritsev õhk (samuti igasugused pilud, avad, poorid konstruktsioonides jne.) ja konstruktsioon (vt. joon. 13). Seoses mürallaikade isoleerimisega peab arvestama veel üht võimalikku levimisviisi — tõkkekonstruktsioonid (ekraanid jm.) hakkavad neile langeva hääle vahelduva rõhu mõjul membraanitaoliselt võnkuma,

andes sellega ühel pool tõket asuvast õhust võnkumised edasi teisele poole.

Soovides müra isoleerida, on vaja teada, et õhu ja konstruktsiooni kaudu levivate mürade tõkestamise meetodid on erinevad. Seepärast tuleb selle ülesande lahendamisel välja selgitada, missugust liiki levimisega on konkreetset juhul tegemist. Muidugi ei tarvitse mainitud liigid esineda ainult puhtal kujul, enamikel juhtudel on tegemist nende koosmõjuga. Näiteks sammude müra toas levib nii õhu kui ka hoone konstruktsiooni kaudu. On vaja selgitada, kummal viisil levib müra tugevamini ja alustada võitlust just selle vastu.

Nagu juba öeldud, on müra isoleerimise meetodid, erinevad sõltuvalt levimisviisist. Et teha nende küsimuste käsitlemist arusaadavamaks, nimetame edaspidi vahetegemise mõttes konstruktsiooni mööda levivat müra vibratsiooniks.

Õhu kaudu levivate mürade vähendamiseks tuleb allikas sulgeda võimalikult massiivsete seinte ja kinnitopitud avaustega kapslisse või ruumi. Konstruktsiooni mööda levivat vibratsiooni saab isoleerida vibroisolaatorite abil (vedruamortisaatorid, elastsest materjalist tihendid jne.), mis asetatakse müra levimisteele.

Müra levimisteele asetatavate tõkete ja ekraanide heliisolatsioon I' avaldub helijuhtivusteguri τ kaudu seosega

$$I' = 10 \log \frac{1}{\tau} = 10 \log \frac{I_l}{I_t} \text{ db,}$$

kus I_l on tõkkele langev hääleenergia, I_t aga tõkkest läbitunginud hääleenergia.

Kui tõke nõrgendab teda läbivat häält kümme tuhat korda, siis tema helijuhtivustegur $\tau = 0,0001$ ja heliisolatsioon vastavalt

$$I'_{\text{tõke}} = 10 \log \frac{1}{0,0001} = 10 \log 10\,000 = 40 \text{ db}$$

Orinteerumiseks on tabelis 8 toodud mitmesuguste materjalide ja konstruktsioonide heliisolatsioon I' ja helijuhtivustegur τ hääle sagedusel 500 Hz ning tõkete pinna ruutmeetri kaal.

Vajaduse korral iseloomustatakse müraisoleerivaid tõkeid täpsemalt nn. sumbumiskõveraga, mis kujutab endast tegelikult tõkkekonstruktsiooni summutuse sagedus-

Nr.	Materjali või konstruktsiooni nimetus	Pinna ruut-meetri kaal (kG/m ²)	Sagedusel 500 Hz	
			Helijuhtivuse tegur τ	Heliisolatsioon I' (db)
1.	Pakkimispaaber	0,08	0,7	1,5
2.	Villane riie paksusega 2 mm	0,05	0,25	5—6
3.	Tihe papp (kartong) paksusega 5 mm	3	0,025	16
4.	Tihe papp (mitmekihiline) paksusega 20 mm	12	0,01	20
5.	Korgist plaat paksusega 50 mm	puuduvad andmed	0,01	20
6.	Vineer paksusega 3,2 mm	2,2	0,02	17
7.	Lehtteras paksusega 0,7 mm	5,85	0,03	25
8.	Lehtteras paksusega 2 mm	15,6	0,0005	33
9.	Pegliklaas paksusega 3—4 mm	12	0,0016	28
10.	Pegliklaas paksusega 6 mm	15,6	0,0008	31
11.	Poole kivi paksune tellissein, krohvitud kahelt poolt 1,5 cm paksuselt	240	2,5·10 ⁻⁵	46
12.	Raudbetoonsein paksusega 80 mm	170	4,0·10 ⁻⁵	44
13.	Raudbetoonsein paksusega 110 mm	240	2,0·10 ⁻⁵	47
14.	Laudsein (püstlaudadest paksusega 4 cm), kahelt poolt krohvitud, kogupaksusega 8 cm	80	100·10 ⁻⁵	30

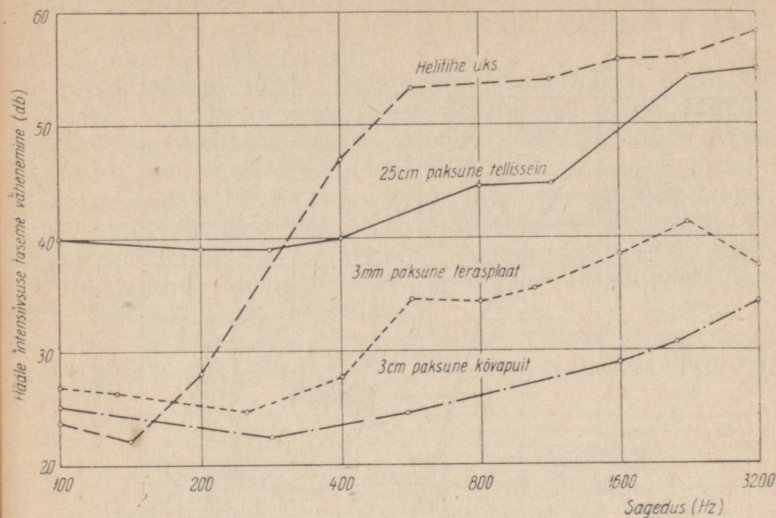
spektrit. See on mõlemal pool tōket olevate hāāle tase-mete vahed detsibellides sõltuvalt sagedusest. Nāitena on mōnede konstruktsioonide sumbumiskōverad toodud joonisel 23.

Teades mitmesuguste materjalide ja konstruktsioonide akustilise isolatsiooni omadusi, vōib kujundada ōkonoom-seid konstruktsioone, mille sumbumiskōverad vastavad tāspselt soovitudele.

Mūraallikat isoleeriva tōkke vōi ekraani efektiivsus suureneb, kui katta tema pinnad mūranelavate materjali-dega (vt. joon. 14).

Praktikas kasutatavatele heliisoleerivatele tōketele esitatakse ligikaudu tabelis 9 toodud nōuded.

Isoleerivate tōkete eneste helijuhtivuse mehhanism sar-naneb membraani vōnkumisele. Konstruktsioonid, mille omavōnkesagedus on alla 50 Hz (suhteliselt massiivsed),



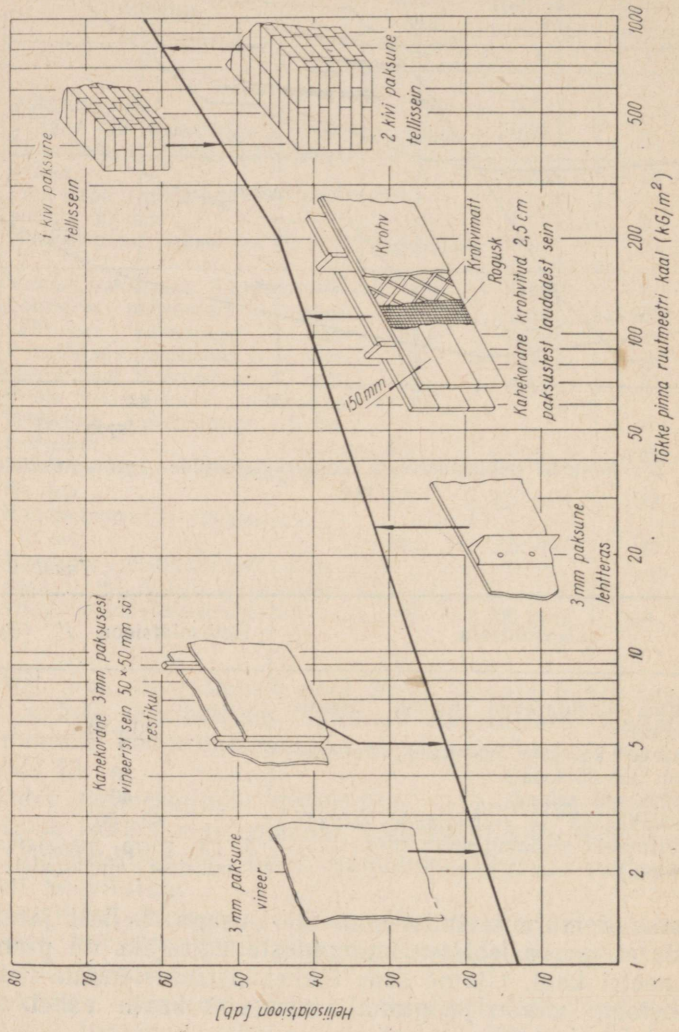
Joon. 23. Mõnede heliisoleerivate konstruktsioonide summutuskõverad

Tabel 9

Kasutusala	Heliisolatsioon I' (db)
Tööstuses kasutatavad tõkked (enamlevinud)	30—40
Elumajade korruste vahelaed (lubatud müra tase 35 fooni)	50
Korterisisesed seinad	40
Korterivahelised ja trepikodade seinad	40—50
Kontoriruumid (lubatud müra tase 40 fooni)	5 db võrra madalamad nõuetest elumajadele

tõkestavad müra levimist oma inertsusega. Sellest järeldubki, et nende isolatsiooniomaduste näitajaks on pinna ruutmeetri kaal. Üldine seos tõkkekonstruktsioonide heliisolatsiooni võime ja pinna ruutmeetri kaalu vahel on toodud joonisel 24.

Mehhaanikast teame, et võnkuvate süsteemide inertsiaktistus välisele jõule on võrdeline massi ja sagedusega. Seepärast isoleerivad niisugused tõkked kõrge-

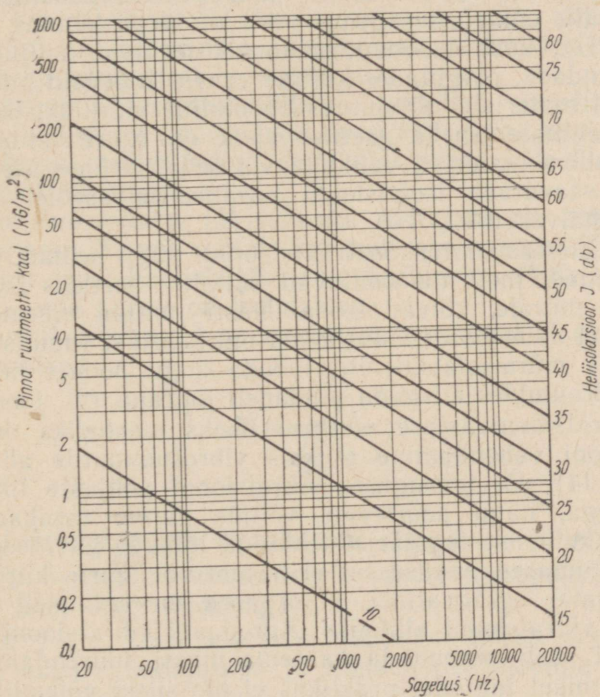


Joon. 24. Tõkkekonstruktsioonide heliisolatsiooniheliisolatsioonipinna ruutmeetri kaalust

maid hääletoone paremini kui madalaid, see tähendab, et kõrgema sagedusega hääle puhul saavutame sama efekti õhema tõkke korral.

Seega sõltub tõkke isolatsioon peale kõige olulisema näitaja, s. o. pinna ruutmeetri kaalu, ka hääle sagedusest. Mainitud sõltuvus on toodud graafiku kujul joonisel 25. Teda peab arvestama tõkete ehitamisel tonaalselele müradele. Tavaliste mittetonaalsete mürade puhul, sagedusalaga 50—5000 Hz, arvestatakse materjali või konstruktsiooni heliisolatsiooni omadustega selle sageduspiirkonna geomeetrilisel keskmisel sagedusel, s. o. 500 Hz juures (vt. tabel 8).

Õhukeseseinalistel tõketel, mille omavõnkesagedused on 100—300 Hz piires, võib esineda resonantsolukord ja



Joon. 25. Materjali heliisolatsiooni sõltuvus sagedusest

tõkked, mis peaksid häält nõrgendama, hoopis võimendavad seda. Niisugusel juhul tuleb tõkke pinnad katta vibrosummutiga (pealekleebitud kummikiht, bitumineeritud vilt jne.).

Üheks tõhusaks vahendiks isoleerivate tõkete efektiivsuse tõstmisel on nende kihistumine, mis võimaldab tunduvalt vähendada nende kaalu. Näiteks kahekordne sein tingimusel, et kihtidel ei ole jäiku ühendusi, isoleerib 6—8 db võrra paremini kui ühekihiline sama pinna ruutmeetri kaaluga sein. Kihtide omavahelisel ühendamisel tuleb kasutada vibroisolaatoreid (kummi, kork, vilt jne.), vastasel korral (s. t. jäiga ühendusega kihtide vahel), vähe- neb isolatsioon 4—5 db võrra. Kihistamisel on oluline ka kihtidevahelise õhuvahe suurus. Keskmise hääle sageduse juures on soodsaimaks õhuvahe suurus 8—14 cm.

Õhukeseseinaliste kihiliste tõkkekonstruktsioonide juures, mille omavõnkesagedus asub kuuldepiirkonnas (100—300 Hz), saab resonantsolukorras tekkivat helijuhtivust nõrgendada, paigutades kihtide vahele kohevaid müraneelavaid materjale. Siinjuures on oluline märkida, et vahe- täidise materjali ja asetuse valik on suure tähtsusega. Ebasobiva materjali valikuga või selle ebaõige asetusega võib saavutada isolatsiooni paranemise asemel koguni selle halvenemise.

Massiivsed ehituskonstruktsioonid, nagu seinad, põrandad, laed, jne., mis osutavad küllaltki headeks isolaatoriteks mürale, võivad samas hästi juhtida vibratsiooni. Sel teel võib vibratsioon levida mürarikkast ruumist, vaatamata müraisolatsioonile, mööda kogu hoonet laiali ja kõrvalruumides kiirguda pindadelt mürana (vt. joon. 13).

Vibratsioonivastase võitluse üheks meetodiks on vibratsiooni vähendamine allikais vibrosummutite abil (vt. joon. 14) või igasuguste vibratsiooni põhjuste likvideerimisega, nagu pöörlevate võllide parem tasakaalustamine, kuluvuse tagajärjel tekkinud lõtkude likvideerimine jne. Viimased nõuded on eriti tähtsad suurte kiirustega töötavatel agregaatidel, kuna need on tavaliselt intensiivse vibratsiooni allikaiks. Agregaaadi vibratsiooni amplituudi saab vähendada ka tema massi suurendamisega.

Enamikel juhtudel praktikas ei ole siiski võimalik nõrgendada vibratsiooni allikais piisavalt, vaid tuleb tõkestada tema levimist.

Kui õhu kaudu leviva müra isoleerimisel oli tähtsamaks

näitajaks konstruktsiooni massiivsus, sõltumata oluliselt materjalist, siis vibratsiooni levimise tõkestamisel pole konstruktsiooni massiivsusel mingit tähtsust — oluliseks osutub just materjal.

Vibratsiooniallikate ja nende toetuskonstruktsioonide vahele tuleb asetada vibroisolaatorid (vt. joon. 14), ehk amortisaatorid (terasvedrud, tihendid elastsetest materjalidest, nagu kummi, kork, bitumineeritud vilt, asbest jne.). Võimaluse korral tuleb vibratsiooni tekitavad agregaadid asetada hoonete alumistele korrustele massiivsetele vundamentidele, mis asuvad pinnases ja pole seotud hoone konstruktsiooniga. Vundamendi ja pinnase vahele tuleb jätta vähemalt 7 cm laiune vahe, mis täidetakse vildi, kuiva saepuru, kerge ehitusprahi või mõne muu taolise materjaliga. Kui agregaadid asetatakse korrustevahelistele pindadele, peab kasutama spetsiaalseid elastseid amortisaatoreid. Amortisaatoreid võib täiendavalt asetada ka kaugemale vibratsiooni levimisteele, nagu seinte ja kandevtalade vahele jne.

Agregaadi toetuspunktidesse asetatud amortisaatorid võivad mõnikord suurendada agregaadi enese vibratsiooni amplituudi, vähendades samal ajal siiski selle ülekannet konstruktsioonile.

Vibroisolatsiooni tähtsaimaks näitajaks on amortisatsioonitegur K , mis näitab, kui suur osa agregaadi dünaamilisest jõust kandub läbi amortisaatorite. Mida väiksem on K , seda parem on isolatsioon.

Enamikel juhtudel on amortisatsioonitegur K avaldatav ligikaudselt

$$K \approx \frac{1}{\frac{f^2}{f_0^2} - 1},$$

kus f on agregaadi vibratsiooni ergutava jõu sagedus, f_0 — vibreeriva süsteemi omavõnkesagedus (agregaat koos amortisaatoriga).

Kui $f < f_0$, siis vibreeriv süsteem mõjub ergutavale jõule elastse takistusena ja tugikonstruktsioonile kandub staatiline jõud üle kogu suuruses.

Kui $f = f_0$, siis on reosantsolukord ja $K > 1$.

Kui $f = \sqrt{2}f_0$, siis resonantsvõimendus kaob ja $K = 1$.

Kui $f > \sqrt{2f_0}$, siis süsteem osutab ergutavale jõule inertsaaltakistust ja $K < 1$.

Praktikas kehtib nõue, et vibroisolaatorite juures oleks täidetud tingimus $f > 4f_0$.

Vibroisolatsiooni suurus avaldub valemiga:

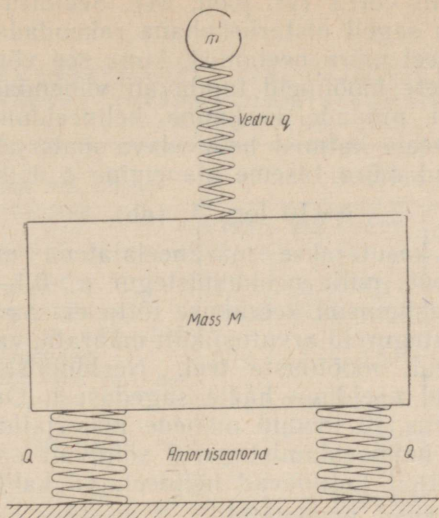
$$I'_{vibr.} = 20 \log \frac{1}{K} \text{ (db).}$$

Peamisteks nõueteks, mis esitatakse vibroisolaatoreile, on väike dünaamiline elastsusmoodul (alla 1000 kG/cm²), suur mehhaaniline vastupidavus ja võimalikult pikk tööiga. Enamkasutatavateks materjalideks on terasvedrud, kummi, kork, vilt, mineraalne vilt (bituumse sideainega), asbotsementplaadid, mineraalsest korgist plaadid (valmistatakse mineraalvatist), puitkiudplaadid (valmistatakse puidujäätmetest) jne.

Oluline on teada, et masinate paigutamine elastsetele tihenditele ei vähenda alati vibratsiooni levimist. Esiteks, elastset materjalist tihendid isoleerivad vibratsiooni siis, kui nende paksus h on väiksem leviva hääle poolaine pikkusest või täisarvkordsest poolaine pikkusest $k \cdot \frac{\lambda}{2}$, (kus $k = 1, 2, 3, \dots$). Kui $h = k \cdot \frac{\lambda}{2}$, siis tekivad tihendis resonantsvõnkumised ja ta vibroisoleerivad omadused kaovad. Teiseks, need tihendid tõkestavad hästi suhteliselt kõrge sagedusega (helisagedusega) vibratsiooni. Aeglase käiguga masinate juures (vibratsioonisagedus on alla helisageduse) pole nad küllalt elastsed ja võivad vibratsiooni isegi tugevdada. Sel juhul tuleb kasutada vedruamortisaatoreid.

Ülalöeldust näeme, et edu tagamiseks vibroisoleerimisel peab igal konkreetset juhul amortisaatorite andmed (tihendite paksus ja pindala, vedrude parameetrid) arvutuste teel eelnevalt kindlaks määrama.

Kui agregaadid töötavad püsivalt kindla sagedusega vibreerides, saab rakendada dünaamilisi vibrosummuteid. Kui näiteks agregaat massiga M vibreerib vertikaalsuunas amortisaatoritel Q , siis võib temale asetada eelnevalt välja arvutatud väikese lisavõnkesüsteemi — dünaamilise vibrosummuti — massiga m , kinnitades ta agregaadil külge vedru q abil (vt. joon. 26). Vibrosummutaja süs-



Joon. 26. Dünaamilise vibrosummuti põhimõtteline skeem

teem valitakse nii, et ta omavõnkesagedus ühtib agregaa-
di vibratsioonisagedusega. Sel juhul vibrosummuti mass
võngub küll resonantsis agregaaadi võnkumistega, on aga
vastufaasis ja summutab seda.

10. MÜRA NEELAMINE

Müra tase mingis ruumis ei sõltu ainult müraallikast,
vaid ka ruumi mõõtmetest ja pindade kattest. Väga suur-
tes ruumides on see sõltuvus tähtsusetult väike, kesk-
mistes ja väikestes ruumides võib aga pindadelt peegel-
dumine tunduvalt suurendada müra üldist taset. Kirjel-
datud nähtust kasutatakse müravastases võitluses neil
juhtudel, kus teised meetodid pole rakendatavad või ei
anna rahuldavaid tulemusi. Ruumide pinnad kaetakse
helinelavate materjalide või konstruktsioonidega, mis
vähendavad hääle peegeldumise pindadelt miinimumini.
Nagu juba eespool on öeldud, võimaldab see meetod
tavalistes ruumides vähendada müra üldist taset 6—8
detsibelli võrra. Massiivsete isoleerivate tōkete kaalu
kahekordistamine suurendas heliisolatsiooni aga ainult

4—7 detsibelli võrra (vt. joon. 24). Seetõttu on tavalistes ruumides sageli otstarbekohane rakendada lisaks isoleerimisele veel müra neelamist, kuna see võimaldab isoleerivate tōkete mõõtmeid tunduvalt vähendada.

Kui ruumi pindade keskmine helineeldumistegur oli enne α_1 ja peale katmist helineelava materjaliga α_2 , siis on saavutatud müra taseme alanemine δ detsibellides

$$\delta = 10 \log \frac{\alpha_2}{\alpha_1} \quad (\text{db}).$$

Praktikas kasutatakse müraneelajatena materjale ja konstruktsioone, mille neeldumistegur $\alpha > 0,1 \div 0,2$. Helineelamise mehhanismi keerukuse tõttu ei saa materjalide helineeldumistegureid arvutuslikult määrata, vaid nad saadakse vahetult mõõtmiste teel. Neeldumistegur sõltub suurel määral neelduva hääle sagedusest. Orienteerumiseks on tabelis 10 toodud mõnede materjalide ja konstruktsioonide helineeldumistegurid sõltuvalt sagedusest.

Tööpõhimõttelt jagunevad helineelajad kahte liiki:

- 1) helineelavad materjalid,
- 2) resonantsneelajad.

Helineelavate materjalidena kasutatakse praktikas laialdaselt poorsaid materjale, nagu akustilised krohvid, poorseid plaatmaterjalid, mineraalvatt ja -vilt, asbestpuru jne. Iga urbane materjal ei sobi helineelajaks, vaid tal peavad poorid olema pinnal avatud, materjali sees aga omavahel ühendatud, et hääl saaks tungida materjali sügavusse. Poorsetest materjalidest müraneelajate neeldumistegur üldiselt sõltub:

- a) materjalikihi paksusest,
- b) konstruktsiooni kujust ja mõõtmetest,
- c) õhuvahe suurusest helineelavast materjalist konstruktsiooni ja peegeldava seina vahel,
- d) hääle sagedusest.

Madalad toonid neelduvad poorsetes materjalides tavaliselt halvemini kui kõrged. Seejuures on igal sagedusel oma materjali paksuse piir, mida pole mõtet enam suurendada. Näiteks et saada puuvillakraasmetega neeldumistegurit $\alpha = 0,9$, peab selle kihi paksus olema 250 Hz võnkesageduse juures 15 cm, 500 Hz juures 10 cm, 1000 Hz juures 5 cm.

On kindlaks tehtud, et helineeldumisteguril on suurim väärtus siis, kui materjal asub peegeldavast seinast veidi vähem kui veerandi helilaine pikkuse kaugusel, ja kõige

Tabel 10

Mitmesuguste materjalide, konstruktsioonide ja objektide helineeldumistegurid sõltuvalt sagedusest

Nr.	Materjali või objekti nimetus	Sagedus (Hz)					
		128	256	512	1024	2048	4096
1.	Avatud aken	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0
2.	Krohvimata tellissein	0,024	0,025	0,035	0,042	0,049	0,07
3.	Põrand 2 cm paksustest männilaudadest	0,10	0,11	0,06	0,08	0,08	0,1
4.	Kummikate (0,5 cm) betoonil	0,04	0,04	0,08	0,12	0,03	—
5.	Toataimed	—	—	0,11	—	—	—
6.	Raamitud õlimaalid	—	—	0,28	—	—	—
7.	Lumekate	—	—	0,8	—	—	—
8.	Põõsastik, tihe park	—	—	0,4—0,5	—	—	—
9.	Akustiline šlakikrohv <i>AIIII</i>	0,1	0,15	0,22	0,3	0,31	0,35
10.	Arboriitplaadid paksusega 2,5 cm, erikaal 150 kG/m ³ , silindriliste süvenditega 0,5×1,0 cm, mille paiknemise tihedus on 4×4 cm	—	—	0,73	0,72	0,84	0,8
11.	Šamottkeraamika paksusega 4 cm, seinast 3 cm kaugusel	0,3	0,38	0,35	0,34	0,33	—
12.	Ehitusvilt paksusega 1,25 cm	0,05	0,08	0,17	0,48	0,52	0,51
13.	Ehitusvilt paksusega 7,5 cm	0,5	0,66	0,77	0,68	0,58	0,52
14.	Mineraalvatt, erikaal 190 kG/m ³ , 10 cm paksuselt	0,43	0,53	0,59	0,69	0,7	—
15.	Asbestvatt paksusega 10 cm, kaetud perforeeritud teraslehega (avad läbimõõduga 4 mm, sammuga 30 mm)	—	—	0,7	0,45	0,22	—
16.	Puuvillane riie, 0,35 kG/m ² , riputatud tihedalt vastu sein	0,03	0,04	0,11	0,17	0,24	0,35
17.	Sametriie, 0,65 kG/m ² , riputatud tihedalt vastu sein	0,05	0,12	0,35	0,45	0,38	0,36
18.	Sametriie, 0,65 kG/m ² , 10 cm kaugusel seinast	0,06	0,27	0,44	0,5	0,4	0,35
19.	Inimesed (kui ruum on neid täis)	0,72	0,89	0,99	0,95	1,0	1,0

väiksem, kui see asub peegeldavast seinast poole või täisarv korda poole lainepikkuse kaugusel. Kuna tavalised mürad on keskmiste sagedustega, siis sel puhul on sobivaks õhuvähe suuruseks 7—10 cm. Järelikult peab reverberatsiooni ja ruumisisesse müra efektiivseks vähendamiseks paigutama portjäärid, õlimaalid või helineelavad voodrid just sellisele kaugusele seinast.

Materjali neeldumistegurit α saab parandada ka tema täiendava töötlemisega. Näiteks süvendite puurimine või surumine helineelava plaadi pinnale kergendab helilainete tungimist materjalisse ja suurendab poorse materjali pinda, tõstes seega neeldumistegurit, eriti kõrgemate sageduste jaoks. Vastupidist efekti võib saavutada, katkes materjali pinna paberiga (näiteks tapeediga). Viimast kasutatakse sageli arhitektuurses akustikas neeldumisteguri sagedusliku sõltuvuse ühtlustamiseks kõne ja muusika hea (moonutusteta) kõlavuse saavutamiseks ruumides.

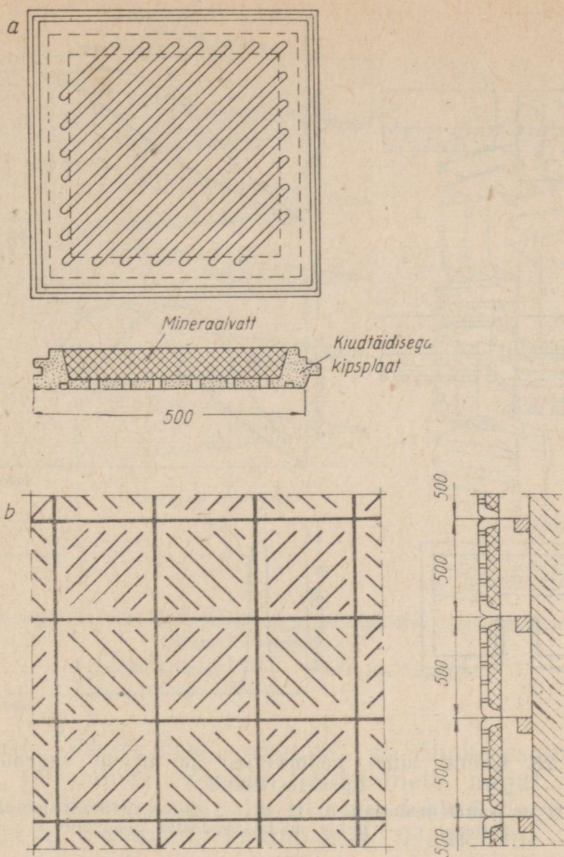
Kodumaine tööstus toodab võrdlemisi palju poorseid helineelavaid materjale ja konstruktsioone (enamikus on need lihtsalt töödeldavad plaadid ja poolfabrikaadid pindade vooderdamiseks). Poorsest materjalist plaadi näidis on toodud joonisel 27. Plaatmaterjalidest on võrdlemisi levinud järgmised:

Tabel 11

Materjali nimetus	Neeldumistegur α
Puitkiudplaadid	0,2—0,4
Akustilised plaadid (õlgedest)	0,45
Akustilised plaadid (šlakist)	0,4
Arboriit- ja insuliitplaadid (puidujätmetest)	0,3—0,7
Asbestiit- ja asbosilikaatplaadid (asbestkiud tsemendist või vedelklaasist sideainega)	0,35—0,75
Mipoor	0,6

Plaatmaterjalid kleebitakse seinale tavaliselt kuuma bituumeniga või tsemendiga, aga neid võib ka naelutada.

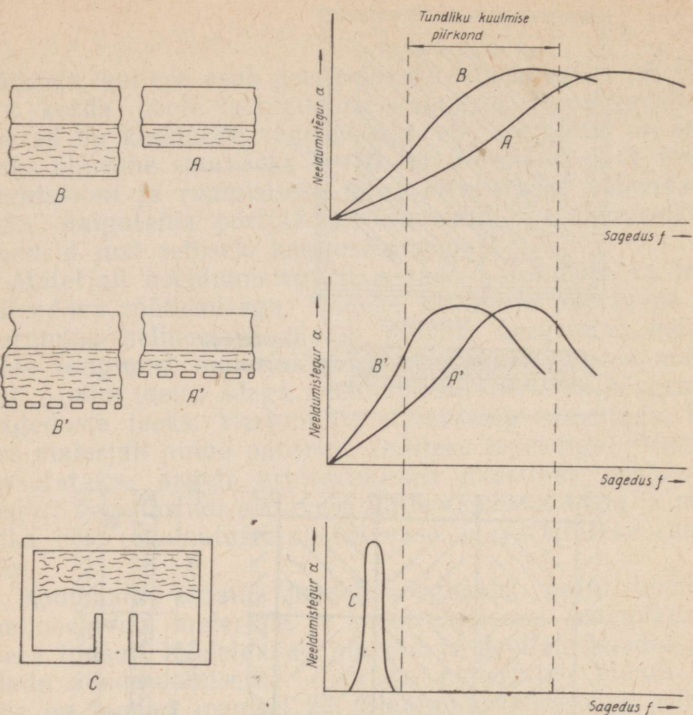
Poolfabrikaatidena kasutatakse mitmesuguse koostisega akustilisi krohve ja poorse materjali puru ehk vatti (asbest-, mineraal-, šlakkvatt jne.). Viimased asetatakse kahe õhukese riidekihi vahele, tepitakse läbi ja lüüakse



Joon. 27. Helineelava poorse plaadi näidis:
 a — plaadi konstruktsioon; b — plaatidest seinakate

voodrina vahetult seinale või õhuvähe moodustamiseks seinale kinnitatud ribidele. Pealt kaetakse selline vooderdu perforatsioonitegur (avade pindala suhe ülejäänud pindalasse) on vähemalt 20%. Joonisel 28 on toodud mõned poorse helineelava materjali kasutamise tüüpilised näited ja vastavad neeldumistegurite sageduslikud karakteristikud.

Erijuhtudel (näiteks akustilistes kambrites), kus vajatakse eriti kõrget helineeldumistegurit, peab poorsest



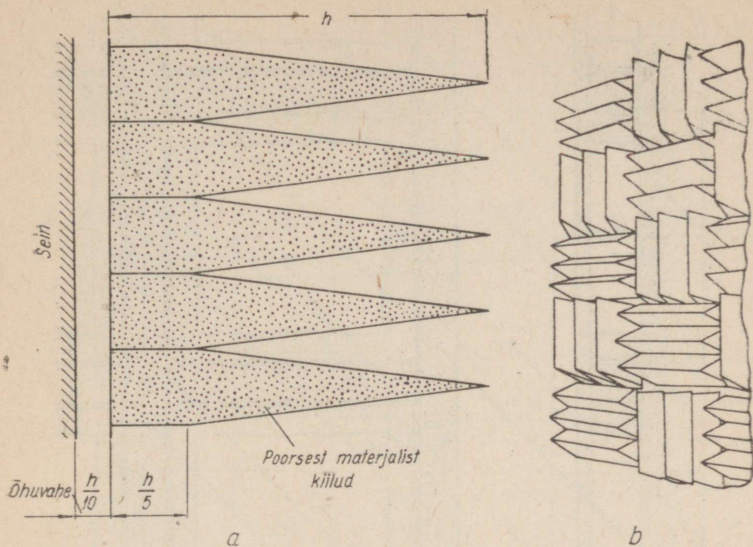
Joon. 28. Kolme tüüpi helineelajad ja nende sageduslikud karakteristikud:

A ja B — poorne materjal; A' ja B' — poorne materjal perforeeritud kattega; c — lihtne madalsageduslik resonator

materjalist vooderduse paksus olema mitukümmend sentimeetrit. Sel juhul voodri tihedus pealispinnal on väiksem, suureneb aga sissepoole. Selline konstruktsioon koosneb paljudest üksteise kõrvale asetatud kiiludest (vt. joon. 29). Kiilude pikkus on ligikaudu võrdne poolega madalaima sagedusega helilaine pikkusest, mida vooder peab neelama. Seinast asetatakse see veidi eemale. Kirjelatud voodri neeldumistegur on väga kõrge — kuni 0,98.

Poorsetest materjalidest müraneelajad töötavad põhimõttel, et tunduv osa materjali pinnale langevast hääleenergiast muundub temas otseselt hõõrdesoojuseks.

Laialdaselt kasutatakse aga ka müraneelajaid, mis töötavad mõnevõrra teisel alusel. Isoleerivate tõkkekonst-



Joon. 29. Kõrge helineeldumisteguriga pinnakate (kasutatakse akustilistes kambrites):

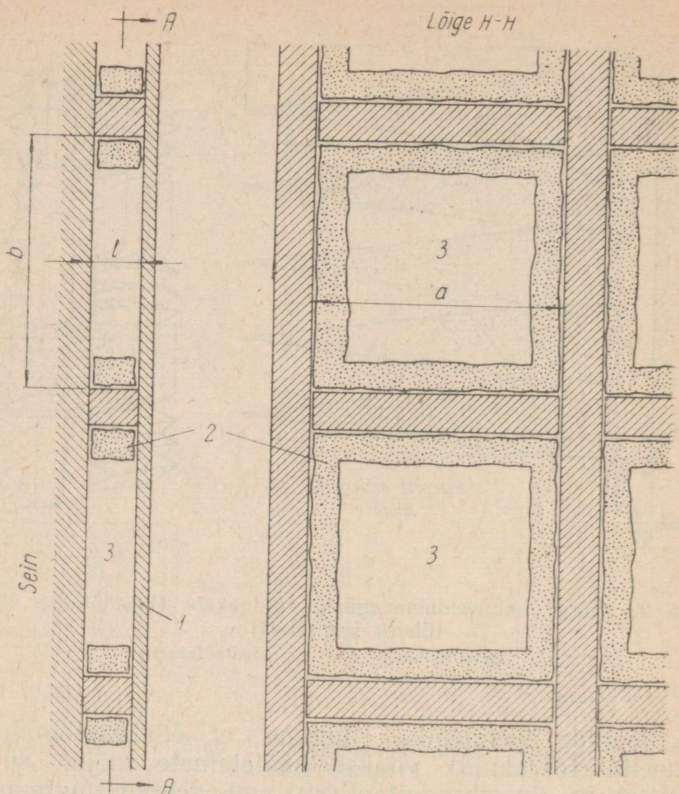
a — konstruktsioon; *b* — seinakatte fragment

ruksioonide käsitlemisel nägime, et õhukeseseinalised paneelid (ekraanid) viiakse häälelainete mõjul sundvõnkumisse (membraanitaoliselt), mis teatud tingimustel võib areneda resonantsvõnkumiseks. Häälelaine mõjul võnkuma hakanud õhukogused (mass) võivad teatud tingimustel samuti arendada resonantsvõnkumisi. Iga niisuguse süsteemi võnkumiste säilitamiseks kulutatakse teatav hulk energiat. Võnkumiste säilitamisel on neeldunud energiakogus kõige suurem resonantsolukorras. See asjaolu võimaldab luua mitmesuguseid müraneelavaid konstruktsioone, mis oma omadustelt ei jää maha poorsetest materjalidest. Resonantsneelajad töötavad suurtes sagedusepiirides, sealhulgas ka madalail sagedusel, kus poorset materjalid on tavaliselt väheefektiivsed.

Resonantsneelajad jagunevad kahte liiki:

a) võnkuvad plaadid. Siin on võnkuva süsteemi massiks kõva keha (õhukeseseinaline plaat);

b) õhkreonaatorid. Siin on võnkuva süsteemi massiks õhk resonatori kõris.



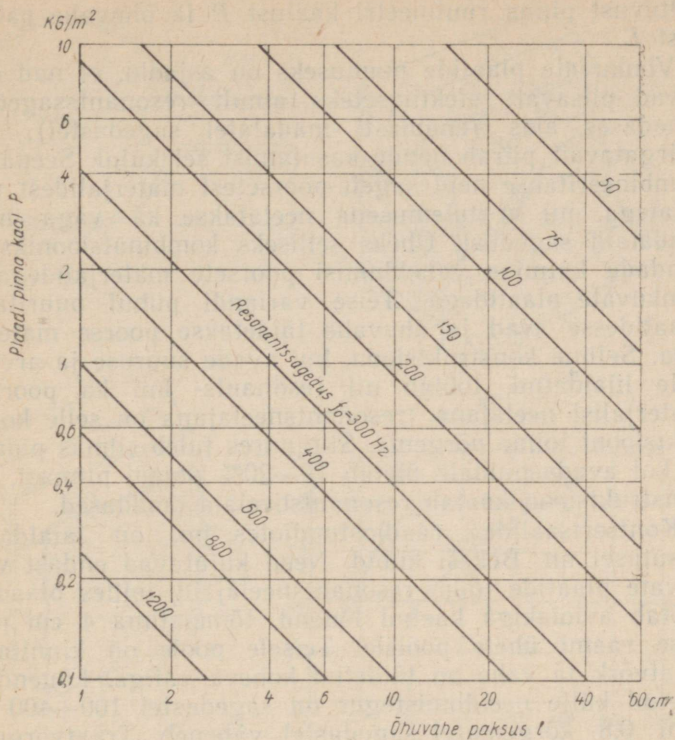
Joon. 30. Võnkuva plaadi tüüpi helineelaja skeem:

1 — plaat, mille pinna ruutmeeter kaalub $p \frac{\text{kG}}{\text{m}^2}$; 2 — helineelav poorne materjal (vatt); 3 — õhuvahe paksusega l cm.

Õhukeseseinalised plaadid asetatakse peegeldavast seinast teatud kaugusele. Sel juhul on neil omavõnkesagedust f_0 , mis sõltub pinna ruutmeetri kaalust ja plaadi ning seina vahelise õhukihi paksusest. See väljendub avaldisega

$$f_0 = \frac{600}{\sqrt{PL}} \text{ (Hz)},$$

kus P on plaadi pinna ruutmeetri kaal (kG/m^2),
 L — õhuvahe paksus (cm).



Joon. 31. Plaadi resonantssageduse f_0 sõltuvus pinna ruutmeetri kaalust P ja õhuvahe paksusest l

Nende neeldumistegurit saab tunduvalt suurendada, täites õhuvahe koheva helineelava materjaliga (vatiga). Samasugust efekti saame, kui jagada plaadi pind seina ja plaadi vahele paigutatavate ribidega väiksemateks ruutudeks ja vooderdada ribid mõlemalt poolt vatiga, nagu see on näidatud joonisel 30. Ruutude küljed peavad olema väiksemad resonantssageduse poollainepikkusest. Näiteks sagedustel kuni 200 Hz on nad tavaliselt kuni 0,7—0,8 m. Kõrgemate sageduste puhul tuleb õhuvahe üleni täita vatiga. Võnkuva plaadi resonantssageduse leidmiseks võib kasutada ka graafikut joonisel 31, mis kujutab resonantssageduste f_0 (diagonaalsed jooned)

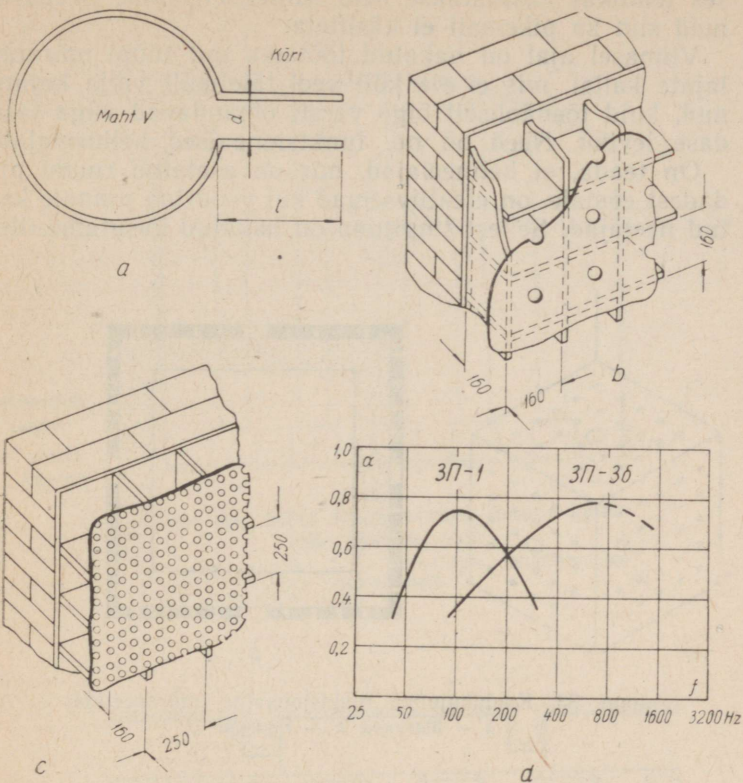
sõltuvust pinna ruutmeetri kaalust P ja õhuvähe paksusest L .

Võnkuvate plaatide puuduseks on asjaolu, et nad osutuvad piisavalt efektiivseteks ainult resonantsageduse lähedases alas (enamasti madalatel sagedustel), mis märgatavalt piirab nende kasutamist sel kujul. Seepärast kombineeritakse neid sageli poorsetest materjalidest neelajatega, nii et tulemusena neelatakse ka väga hästi madalaid sagedusi. Üheks selliseks kombinatsiooniks on pindade katmine vaheldumisi poorsete materjalidega ja võnkuvate plaatidega. Teise variandi puhul puuritakse plaatidesse avad ja õhuvähe täidetakse poorse materjaliga. Selline konstruktsioon, kui avade suuruse ja arvuga pole liialdatud, töötab nii resonants- kui ka poorsest materjalist neelajana (resonantsneelajana on selle konstruktsiooni toime nõrgem). Siinjuures tuleb silmas pidada, et kui avade pindala ületab 15—20% plaadi pinnast, siis konstruktsioon kaotab resonantsneelaja omadused.

Kontsertsaalides, raadiostuudiotest jm. on laialdaselt kasutusel nn. Bekeši kilbid. Need kujutavad endast võnkuvate plaatide tüüpi resonantsneelajaid, milles plaadina töötab aviolakiga kaetud lõuend, tõmmatuna 4 cm paksuse raami ühele poolele. Teisele poole on kinnitatud traatvõrk ja vähe on täidetud koheva vatiga. Lõuendiga kaetud külje neeldumistegur on sagedustel 100—400 Hz kuni 0,8 kõrgematel sagedustel väheneb. Traatvõrguga külje neeldumistegur on aga suur ka kõrgematel sagedustel.

Resonantsneelajate teine alaliik — õhkresonaatorid — on efektiivsed laiemas sageduspiirkonnas. Tutvume nende tööpõhimõttega.

Õhukamber, mis helilaine pikkusega võrreldes on küllalt väike, on välisõhuga ühendatud kanalikese ehk nn. kõri abil (vt. joon. 32, a), moodustades võnkesüsteemi ehk resonaatori. Võnkumiseks on õhukogus resonaatori kõris ja elastsuseks õhukambri maht. Niisuguse süsteemi omavõnkesagedus sõltub tema kujust ja mõõtmetest. Resonantsi puhul, s. t. kui resonaatori võnkesagedus ühtib võnkumise põhjustava heli sagedusega, muutub võnkumiste amplituud ja ühtlasi õhuosakeste liikumiskiirus resonaatori kõris väga suureks. Asetades kõrisse heli neelavat materjali, muundub selles suur osa hääleenergiast hõõrdesoojuseks.



Joon. 32. Õhkresonaatorid:

a — Helmholtzi õhkresonaatori skeem; *b* — kitsasriba—resonantsneelaja 3П-1; *c* — lairiba—resonantsneelaja 3П-36; *d* — õhkresonaatorite sageduslikud karakteristikud

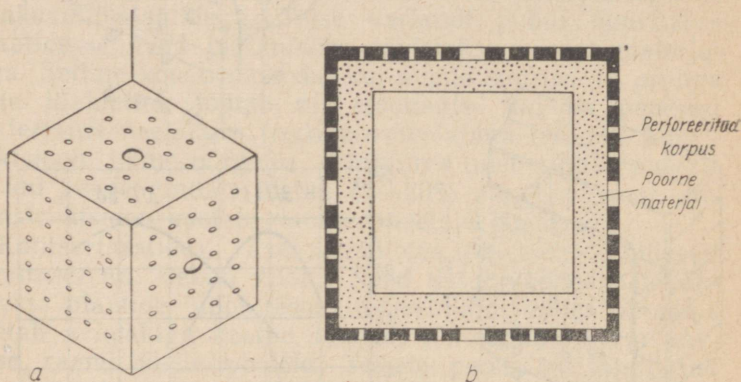
Sel põhimõttel on konstrueeritud mitmesuguseid õhkresonaatoreid, mille hulgas tuntakse ka tervet rida tüüpilahendusi, nagu kitsasriba-resonantsneelaja 3П-1 ja lairiba-resonantsneelaja 3П-3, mille valmistamiseks kasutatakse tavalisi ehitusmaterjale (helineelava materjalina on siin plaadi taha kleebitud avasid kattev riie). Mainitud tüüpilahendusi ja nende neeldumistegurite sageduslikke karakteristikuid näeme joonisel 32.

Resonantsneelajad on laialdaselt levinud raadiostuudios, kontserdisaalides jne., kuid tööstuslikus müravasta-

ses tehnikas kasutatakse neid suhteliselt vähe. Seepärast neid siin ka pikemalt ei käsitleta.

Viimasel ajal on hakatud töötama uut tüüpi müraneelajate kallal, mis ei ole küll veel täielikult välja kujunenud, kuid tõenäoliselt õige varsti omandavad väga laialdase leviku. Need on nn. funktsionaalsed helineelajad.

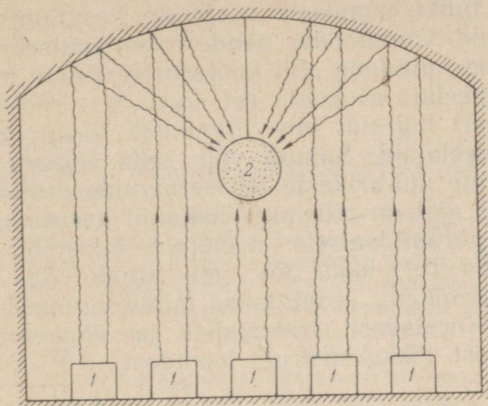
On teada, et helineelajad, mis on asetatud ruumi pindadest eemale, on efektiivsemad kui voodrina pinnale kantud neelajad. Sellest tingituna on hakatud kasutama üles-



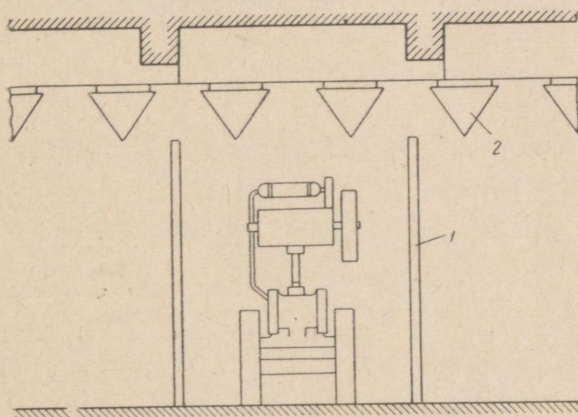
Joon. 33. Kuubikujuline funktsionaalne müraneelaja:
a — üldvaade; b — ristlõige

riputatavaid helineelajaid püramiidide, rööptahukate, koonuste, silindrite jm. kujul. Näitena on toodud joonisel 33 kuubikujuline funktsionaalne helineelaja. Nad valmistatakse enamasti perforeeritud lehtmestallist või mõnest muust plaadist, mille alla asetatakse kiht poorset helineelavat materjali. Sellisel kujul on neid väga mugav käsitseda (näiteks võib neid lihtsalt riputada mürarikaste agregaatide lähedusse). Mõnel juhul tehakse resonantrite kestasse väikestele avadele lisaks suuremad avad, millest tingitult muutuvad nad osaliselt ka resonantsneelajateks.

Funktsionaalsete helineelajate tööprotsess ise on väga keeruline ja pole täielikult läbi uuritud. Katseliselt on aga kindlaks tehtud, et pinnalähedase difraktsiooni ja koheva täitematerjali kasutamisega võib nende neeldu-



Joon. 34. Müra fokuseerimine ruumis kumerate pindade abil:
 1 — müraallikas; 2 — silindriline funktsionaalne müraneelaja



Joon. 35. Ekraanide 1 ja funktsionaalsete neelajate 2 koostöö agregaadil müra vähendamisel

mistegur olla väga kõrge (peaaegu 1) suhteliselt laias sageduspiirkonnas.

Seoses funktsionaalsete neelajate kasutamisega tekkis ka uus efektiivne moodus nende rakendamiseks: kumerate peegeldavate pindade abil kontsentreeritakse müra funktsionaalse neelaja asukohta (vt. joon. 34). Tööstuses võlvi-takse sageli lagesid, mis võimaldab kasutada funktsionaalseid neelajaid. Samuti võib seda asjaolu ära kasu-tada ka uute mürarikaste tehaseruumide projekteerimisel.

Viimasel ajal on tööstuses hakatud kasutama funktsionaalsete püramidaalsete neelajate koostööd neelavate ekraanidega (vt. joon. 35), mis annab väga häid tule-musi. Ekraanidena kasutatakse mitmesuguseid kombinat-sioone helineelavast materjalist ja õhukeseseinalistest isoleerivatest tõkkekonstruktsioonidest.

1. И. И. Славин «Производственный шум и борьба с ним», Профиздат, 1955.
2. «Борьба с шумами и действие шума на организм» (Труды научной конференции), ЛИОТ, Ленинград, 1958.
3. Г. Л. Навяжский «Учение о шуме», Медгиз, 1948.
4. В. Целлер «Техника борьбы с шумом», Москва, 1958.
5. «Инструкция по уменьшению производственных шумов в промышленных зданиях и сооружениях (Проект)», ЛИОТ, Ленинград, 1959.
6. «Краткие технические характеристики контрольно-измерительных приборов для целей охраны труда, выпускаемых промышленностью», ЛИОТ, Ленинград, 1957.
7. «Шумомер ЛИОТ», Ленинград, 1957.
8. Анализатор спектра шума АШ-2 ЛИОТ», ЛИОТ, Ленинград, 1958.
9. C. M. Harris «Handbook of Noise Control», McGraw-Hill Book Company, 1957.
10. Ajakiri «Noise Control», 1956—1957. a. (USA).
11. Ajakiri «Bild und Ton» NN 9 ja 10, 1956 (Saksa DV).
12. R. Feldtkeller, E. Zwicker «Das Ohr als Nachrichtenempfänger», Stuttgart, 1956 (SFV).

SISUKORD

I. Mõra olemus	
1. Sissejuhatus	3
2. Põhilisi mõisteid ja terminoloogiat	6
3. Mõra tekkimine ja olemus	17
4. Mõra mõõtmine	24
II. Mõra mõju inimorganismile	
5. Mõra mõju hindamise võimalused	35
6. Mürakahjustused	43
III. Müravastane tehnika	
7. Üldised meetodid võitluses müraga	49
8. Mõra vähenedamine allikais	59
9. Mõra isoleerimine	68
10. Mõra neelamine	77
Kasutatud kirjandus	91

Таель Виктор Карлович

ШУМ

На эстонском языке

Эстонское Государственное Издательство

Таллин, Пярнуское шоссе, 10

*

Toimetaja H. Korpman

Tehniline toimetaja I. Vahtre

Korrektor S. Kõiv

Ladumisele antud 4. X 1960. Trükkimisele antud 1. I 1961. Paber 54×84, 1/16. Trükipoognaid 5,75. Formaadile 60×90 kohaldatud trükipoognaid 4,83. Arvutuspoognaid 5,04. Trükiarv 3000. MB-00401. Tellimise nr. 9250.

Hans Heidemanni nim. trükikoda, Tartu, Ülikooli 17/19. I.

Hind 15 kop.



15 kop.

A-23538

//

TÜ RAAMATUKOGU



1 0300 00367656 8