

Š. ATŠKINA DŽE

**ULTRAHELI
KASUTAMINE
MASINAEHITUSES
JA APARAADI-
TÖÖSTUSES**

A-23661 II

S. D. ATSKINADZE

ULTRAHELI KASUTAMINE
MASINAEHITUSES JA APARAADI-
TÖÖSTUSES

EESTI RIIKLIK KIRJASTUS
TALLINN 1961

Originaali liitel:

Ш. Д. Ачкинадзе

ПРОМЫШЛЕННОЕ ПРИМЕНЕНИЕ УЛЬТРАЗВУКА
В МАШИНОСТРОЕНИИ И ПРИБОРОСТРОЕНИИ

Ленинградский Дом научно-технической пропаганды,
Ленинград, 1958

Tõlkinud *L. Alumäe*

AUTORILT

Ultraakustiliste ja üldse akustiliste meetodite laialdast juurutamist masinaehituse ja aparaaditööstusse takistab mõningal määral küllaldaste teadmiste puudumine nende kasutamise kogemuste kohta kodu- ja välismaa tööstusettevõtetes.

Käesolevas ülevaates võivad masinaehituse ja aparaaditööstuse töötajad tutvuda elastsete võnkumiste abil teostatavate tehnoloogiliste protsesside ja operatsioonidega ning samuti sel eesmärgil kasutatavate seadmete ja aparatuuriga.

Autor tänab Leningradi Teaduslik-Tehnilise Propaganda Maja poolt organiseeritud alalise seminari «Ultraheli ja selle kasutamine teaduses ning tehnikas» aktiivi ja sama seminari teaduslikke juhendajaid füüs.-mat. tead. kand. I. G. Mihhailovi ja tehn. tead. kand. L. G. Merkulovi ülevaate koostamiseks kasutada antud materjalide eest teoses esitatud üksikküsimuste kohta.

2



SISSEJUHATUS

Viimastel aastatel leiavad mitmesugustes rahvamajanduse harudes järjest suuremat kasutamist laias sagedusribas toimuvad heli- ja ultrahelivõnkumised. Heli- ja ultrahelivõnkumiste kasutamine meie maa eesrindlikes tööstusettevõtetes on võimaldanud saavutada tunduvat tehnilis-majanduslikku efekti.

Ultraheli võimalikest ja perspektiivsetest tehnilistest kasutus-aladest nõuavad paljud veel edasist läbitöötamist ja tootmisse juurutamist.

Kuigi akustiliste ja ultraakustiliste meetodite intensiivne juurutamine tööstusse algas suhteliselt hiljuti, tehti esimesed sammud selles suunas juba kahekümnendate aastate lõpul. Uurides ultrahelilainete levimist erinevates keskkondades, leidis S. J. Sokolov, et nad võivad metallides levida suurtele kaugustele. See võimaldas tal laiendada seni üksnes hüdroakustikas (P. Langevin) kasutatud ultraheli rakendusala. Selgitati tahkete kehade siseehituse uurimise võimalust, ilma et tahkeid kehi oleks vaja purustada.

S. J. Sokolovi avastus pani aluse ultraheli uuele tehnilisele kasutusale — ultrahelidefektoskoopiale.

Vaatamata sellele, et tehti alles esimesi samme ultraheli tööstuslikul kasutamisel, osutusid praktilised tulemused niivõrd efektiivseteks, et sai võimalikuks, eriti viimastel aastatel, ultraheli-tehnoloogia ja -aparatuuri väga kiire arenemine. Tuleb märkida, et mõned tehnikaalad ei oleks üldse saanud edasi areneda ultraheli abita.

Käesoleval ajal laseb kodumaine tööstus seeriaviisiliselt välja ultraheliaparatuuri mõningaid liike ja tehaste ning uurimisorganisatsioonide laboratooriumides on loodud palju uute seadmete ja aparatuuri näidiseid, mis põhinevad heli- ja ultrahelivõnkumiste kasutamisel (tabelid 1 ja 2).

Heli- ja ultrahelivõnkumistega teostatavate operatsioonide loetelu (lk. 8) lubab hinnata teostatud uurimiste ulatust ja selle uue progressiivse meetodi kasutamise võimalusi.

Tabelis 3 toodud andmed iseloomustavad mitmesuguse ultraheliaparatuuri kasutamise astet tööstusettevõtetes.

Mõõteriista nimetus ja lühendatud tähistus	Mõõteriista ülesanne ja kasutusala
Defektoskoop УЗД	Sisedefektide asukoha ja mõõtmete määramine metallides, portselanis, klaasis ja plastmassides Lehtmaterjalide ja autokummide kontrollimise varjumeetod
Resonants-paksusemõõtja УЗТ	Toodete paksuse ja lehtmaterjalides ning torudes korrodeerunud tsoonide määramine
Kiirusemõõtja УЗИС	Kontsentratsioonide ja lisandite mõõtmine vedelikes füüsikalise-keemiliste protsesside ja reaktsioonide kulgemise kinetika uurimine
Absorptsioonimõõtja УЗИП	Kontsentratsiooni ja lisandite mõõtmine vedelike segudes Metallide ja teiste materjalide struktuuri uurimine (tuuma suuruse mõõtmine)
Elastusmooduli mõõtja	Materjalide elastusmooduli mõõtmine
Kulumõõtja УЗР	Torudes voolavate vedelike hulkade mõõtmine
Akustilise võimsuse mõõtja	Akustilise võimsuse mõõtmine vedelikes

Töörežiim	Sagedus MHz	Mõningad tehnilised andmed	Tootmise ulatus
Impulsiline	0,7—0,45	Defekti minimaalne pindala 1—4 mm ² , defekti asukoha näitamise täpsus 1—3%	Seeriaviisiliselt
Kustumatud võnked	0,05—10	On kergesti automatiseeritav	Ainult laboratoorseid näidised
Kustumatud võnked	1—7	Täpsus 0,5—3%	Väikeseerialiselt
Impulsiline	1—5	Täpsus 0,1—0,01%	Ainult laboratoorseid näidised
Impulsiline	1—10	Mõõtmine toimub mitmekordse peegeldumise meetodil	„
Impulsiline	—	Mõõtmine toimub mitmekordse peegeldumise meetodil	„
Impulsiline	0,5—5	Täpsus 1—3%	Ei toodeta
Kustumatud võnked	0,3—1	Täpsus 2%	Ainult laboratoorseid näidised
Kustumatud võnked	0,005—1	Erivõimsuse mõõtmine piirkonnas 0,1—3,0 W/cm ²	„

Seadme nimetus	Ülesanne ja kasutusala
Pesemisseade	<p>Väikeste detailide (kella mehhanismide, kuullaagrite, releekontaktide, raadiolampide katoodide ja võrede, elektrimasinate harjade jne.) puhastamine</p> <p>Optiliste detailide puhastamine ja rasvast vabastamine; kilede, laki, õli, rasva ja muu mustuse kõrvaldamine</p>
Puurimispink	Kõvade ja habraste materjalide puurimine, lõikamine ja lihvimine
Ultraheligeneraatorid	<p>Metallide degaseerimine ja nende struktuuri mõjutamine</p> <p>Emulsioonide saamine ja ainete dispergeerimine</p> <p>Füüsikalise-keemiliste protsesside kiirendamine</p> <p>Meditsiiniliseks ja bioloogiliseks otstarbeks</p>
Ultrahelijootja	Alumiiniumi, berülliumi, magneesiumi ja nende sulamite jootmine
Aerosoolide koaguleerimisseade	Tolmu, suitsu, tahma jm. sadestamine

etklassifikatsioon ja nende ülesanne

v andmeil)

Generaator		Vibraator		Mõningad tehnilised andmed
Võimsus kW	Sagedus kHz	Tüüp	Erivõimsus või võnkumiste amplituud	
0,5—0,25	300—1000	Piesoelektriline	1—10 W/cm ²	Pesemiskesk-kond — trikloor- etüleen, petroo- leum, bensiin jt.
0,5—10	25	Magnetostrik- tiivne	—	
0,05—2	16—30	Magnetostrik- tiivne	0,02—0,08 mm	Töötlemise täp- sus kuni 0,005 mm
1—30	30	Magnetostrik- tiivne (materjal — permendüür)	5—40 W/cm ²	
0,3—2	150—1000 16—30	Piesoelektriline Magnetostrik- tiivne	0,1—10 W/cm ²	
0,5—10	500—1000 20—30	Piesoelektriline Magnetostrik- tiivne	1—10 W/cm ²	
0,2—1	100—1000	Piesoelektriline	0,1—8 W/cm ²	
0,35—100 W	16—30	Magnetostrik- tiivne (materjal — permendüür)	0,025 mm	
0,5—2	16—30	Mehaaniline si- reen ja gaasijoa- vibraator	1—5 W/cm ²	Sadenevate osa- keste läbimõõt — 10—0,005 μ

Heli ja ultraheli elastsete võnkumiste kasutamisevõimalused

1. Tühimike, pragude ja teiste vigade ning rikete kindlakstegemine materjalides, masinadetailides ja mehhanismides.
2. Karastatud pinnakihi paksuse mõõtmine.
3. Kristalsete materjalide struktuurse tera suuruse määramine.
4. Betooni ja asfaldi kvaliteedi määramine.
5. Detailide paksuse mõõtmine.
6. Voolamiskiiruse mõõtmine.
7. Sitkuse mõõtmine.
8. Soojusmahtuvuse mõõtmine.
9. Materjalide elastsusmooduli määramine.
10. Materjali sisepingete määramine.
11. Materjali sideomaduste määramine.
12. Vedelike kokkusurutavuse määramine.
13. Temperatuuri mõõtmine.
14. Faasimuutuste kontroll.
15. Kinnistes anumates asuvate vedelike nivoo määramine.
16. Gaasijuhtmetes koguneva vedeliku hulga määramine.
17. Markseiderialased mõõtmised.
18. Gaaside puhastamine tolmust.
19. Detailide puhastamine mustusest.
20. Metallide söövitamise kiirendamine.
21. Materjalide dispergeerimine (lagundamine).
22. Emulsioonide ja suspensioonide ettevalmistamise kiirendamine.
23. Katlakivi kõrvaldamine ja tema moodustamise ennetamine.
24. Alumiiniumi jootmine ja tinutamine.
25. Kõvade ja habraste materjalide mehaaniline töötlemine.
26. Lahuste ja sulandite kristallisatsioon.
27. Määratud kangaste pesemine.
28. Gaaside eraldamine vedelikest ja sulanditest.
29. Karusnahkade pesemine ja rasvast vabastamine.
30. Tekstiilmaterjalide värvimine.
31. Naha- ja karusnaha parkimise kiirendamine.
32. Keemilis-farmatseutiliste preparaate ettevalmistamise kiirendamine.
33. Ainete ekstrahatsioon.
34. Metallide elektrokeemilise sadestamise kiirendamine.
35. Maakide rikastamine.
36. Keemiliste reaktsioonide kiirendamine.
37. Aerosoolide koagulatsioon.
38. Alkohoolsete jookide valmimise kiirendamine.
39. Seemnete idanemise kiirendamine ja taimede kasvu suurendamine.
40. Ainete ultraheli-sterilisatsioon.
41. Ultraheli terapeutiline kasutamine.

Ultraheliseadmete kasutamine Leningradi tööstusettevõtetes (1957. a. 612 ettevõttes toimunud küsitluse andmeil)

Näitaja	Paksusemõõtjad	Defektoskoobid	Emulgaatorid	Detailide puhastamine ja pesemine	Keemiliste reaktsioonide kiirendamine	Materjalide mehaaniline töötlemine	Kasutamine meditsiinis	Jootmine	Pinnase jm. füüsikaline uurimine	Aerosoolide koagulatsioon	Seemnete kiiritamine	Katlakivi kõrvaldamine	Kokku
Seadmete arv	2	41	3	21	5	10	1	9	6	7	1	3	109
% seadmete koguarvust	1,8	37,5	2,7	19,3	4,6	9,6	0,9	8,2	5,4	6,4	0,9	2,7	100%

1. Vibraatorid

Elastsete võnkumiste saamiseks on palju erinevaid meetodeid. Praktilist kasutamist on aga leidnud ainult mehaanilised, hüdrodünaamilised, elektromehaanilised, aerodünaamilised, magnetostriktiivsed ja piesoelektrilised heli- ja ultrahelilainete kiirgajad (vibraatorid).

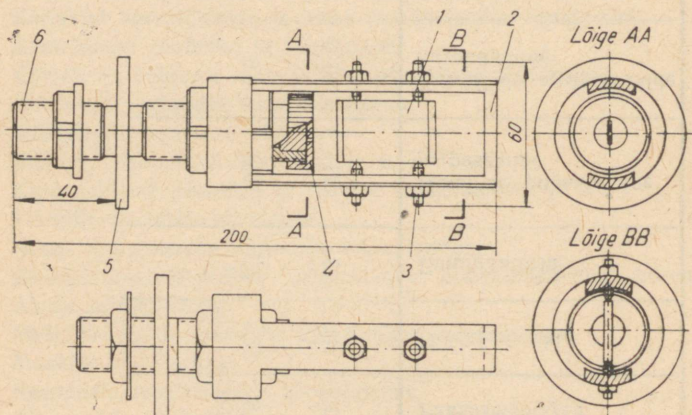
Tööstuse poolt toodetavate *mehaaniliste ekstsentriliste vibraatorite* ühikvõimsus on kuni 20 kW ja nad töötavad sagedusribas 30–100 Hz.

Masina- ja aparaadiehitajatele pakuvad teatavat huvi kerge-tööstuses kasutatavad õõtsuva ja pöörleva sfäärilise trumliga pesemismasinad [26] *. Masina võimsus on 0,5 kW, ultrahelisagedus 30 Hz ja trumli maht kuni 50 l.

Samuti toodetakse vibroveskeid M-200 mahuga 200 dm³, võimsusega kuni 20 kW ja sagedusega 50 Hz.

Vibroveski korpuseks on horisontaalselt asetsev silinder, mis oma väliste horisontaalselt asetsevate äärikutega toetub spiraalvedrudele. Korpus ise on täidetud peenestajatega ja peenestamist vajavate kehadega. Veskeid võib kasutada mitmesuguste ainete kiirjahvatamiseks kuivalt ja märjalt.

Hüdrodünaamilise kiirgaja näitena võib tuua vibraatori (joon. 1), mida nimetatakse ka hüdrodünaamiliseks vileks. Võn-



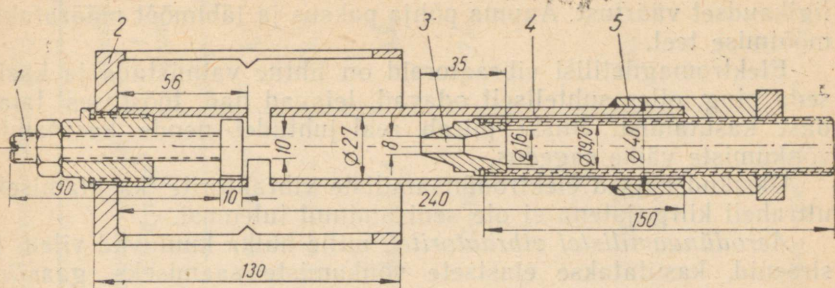
Joon. 1. Hüdrodünaamiline plaatvibraator:

1 — plaat; 2 — kinnitusklamber; 3 — kärn; 4 — piludüüs; 5 — anuma sein; 6 — tugipolt.

* Nurksulgudes olevad arvud viitavad raamatu lõpus toodud kirjanduse loetelu vastavale tiitlile.

kudes düüsi 4 surve all voolava vedelikujoa mõjul, tekitab plaat 1 anumast ultrahelivälja sagedusega umbes 27 kHz.

Niisugust vibraatorit, mille kiirgamisvõimsus on 150 W piires, kasutatakse peamiselt mittekohesustavate emulsioonide ja suspensioonide saamiseks. Taolise vile abil saadav emulsiooni hulk on



Joon. 2. Mitmepiluline hüdrodünaamiline vibraator:
1 — tugi; 2 — resonaator; 3 — düüs; 4 — sisetoru; 5 — otsik.

15 l/min. Joonisel 2 näidatud hüdrodünaamiline vibraator, varustatuna silindrilise resonaatoriga 2 ja düüsiga avaläbimõõduga 8 mm, võimaldab saada emulsiooni kuni 3 m³/h.

Tavalisest vahelduvvooluvõrgust toidetavad *elektromehaanilised vibraatorid* koosnevad elektromagnetist ja ankrust. Viimane võngub helisagedusega. Elektromagneti sisselülitamisel võngub ankur sagedusega, mis on kaks korda suurem võrgusagedusest, s. t. tavaliselt kasutatava sageduse 50 Hz korral teeb ankur 100 võnget sekundis.

Elektromehaanilisi vibraatoreid kasutatakse detailide eelpuhastamisel ja samuti ka tööstuses seeriaviisiliselt toodetavates vibratsioonpesumasinate (BCП). Nende kasutegur ulatub 60%-ni. Elastsete võnkumiste saamiseks sagedusega kuni 8 kHz, mis on otstarbekohane pesemisanumate elektromagnetite toitmiseks, võib kasutada vajalikku võimsust ja võnkesagedust andvaid elektrilisi lülitusi. Elektromagneti toiteallikana võib kasutada ka helisagedusega masinageneraatoreid.

Anuma põhja võnkumiste amplituud on suurim siis, kui sundvõnkumiste sagedus on võrdne põhja omavõnkesagedusega. Mingi kontuuri külge kinnitatud ümmarguste plaatide omavõnkesagedust võib ligikaudselt määrata valemiga

$$f = 0,4671 \frac{h}{a^2} \sqrt{\frac{E}{\rho(1-\nu^2)}}$$

kus f — plaadi omavõnkesagedus Hz;

a — plaadi raadius cm;

- h — plaadi paksus cm;
 q — plaadi materjali tihedus g/cm³;
 ν — Poissoni tegur;
 E — Youngi moodul dyn/cm².

Toodud valem võimaldab hinnata anuma põhja võnkesageduse ligikaudset väärtust. Anuma põhja paksus ja läbimõõt määratakse mõõtmise teel.

Elektromagnetilisi vibraatoreid on lihtne valmistada ja käsitleda ning, olles suhteliselt odavad, leiavad nad tööstuses laialdast kasutamist. Siiski piirab real juhtudel nende kasutamist võnkumiste väike sagedus.

Üksikud katsed elektrodünaamiliste vibraatorite kasutamiseks ultraheli kiirgajatena ei ole seni andnud tulemusi.

Aerodünaamilistel vibraatoritel, mille hulka kuuluvad viled ja sireenid, kasutatakse elastsete võnkumiste saamiseks gaasijoa rõhu muutusi.

Neis vibraatorites tekib ultraheli gaasijoa rõhu perioodilise muutumise tulemusena. Sel juhul peab düüsisst väljuva gaasijoa kiirus ületama heli kiiruse. Vesiniku kasutamisel aerodünaamilistes vibraatorites võib saada sagedusi umbes 500 kHz, õhu kasutamisel 120 kHz [26]. Vibraatorite kiirgamise intensiivsus ulatub kuni 1 W/cm².

Sireenides saadakse ultraheliväli õhu läbipuhumise teel paljavalisest rootorist ja staatorist.

Sireenide võimsus ulatub mitmekümne kilovatini. Näiteks firma «Ultrasonic Corporation» (USA) poolt ehitatud sireen arendab sagedusribas 8—10 kHz võimsust kuni 35 kW. Selle sireeni kasutegur on 50—70%.

Olenevalt rootori pöörete arvust võib sireeni heli sagedust muuta piirides 1—200 kHz. Sireene tööstuslikult veel ei toodeta. Seni on valmistatud üksnes mõningaid katseeksemplare.

Üheks kõige laialdasemalt tööstuslikult levinud ultraheliallikaks on *magnetostriktiivne vibraator*, mis muundab elektromagnetilist energiat akustiliseks.

Magnetostriktiivne efekt seisneb ferromagnetilise keha joon- ja mahumõõdu muutumises temale mõjuva vahelduvmagnetvälja toimel. Magnetostriktiivsest efektist tulenevad keha mõõtmete muutused on väikesed. Nii näiteks pikkuse muutus on ligikaudu 10⁻⁶, mahu muutus aga veelgi väiksem. Magnetostriktiivne efekt sõltub temperatuurist — selle tõusuga ta kahaneb ja Curie' punktis kaob täielikult.

Magnetostriktiivsete materjalide mõningad orienteerivad parameetrid on toodud tabelis 4. Pikkuse muutumine sõltub varda materjalist, tema töötlemise viisist ja eelmagneetimise suuruselt.

Kuna varda deformatsioon ei sõltu välja suunast, siis on tema võnkumise sagedus kaks korda suurem magnetvälja sagedusest.

Magnetostriktiivsete materjalide mõningaid parameetreid (L. Bergmanni andmeil [25])

Materjal	Koosseis	Magneto- striktiivne pikenemine $\left(\frac{\Delta l}{l}\right) \cdot 10^{-6}$	Väljatugevus eelmagneeti- misel H_0 Oe	Elektriline takistus $\rho \cdot 10^{-6}$ Ω cm	Elastsusmoodul 10^{11} dyn/cm ²	Tihedus ρ g/cm ³	Märkusi
Nikkel	—	40	10—20	7	19,63—20,89	8,7	
Alfer	13% Al, 87% Fe	40	6—10	91	12,39—18,12	6,7	
Permalloi	40% Ni, 60% Fe	25	2,5—1,5	25	13,13—13,78	8,2	Toodetakse tööstuslikult
Alsifer	4% Al, 2% Si, 94% Fe	11	4	80	16—82	7,0	
Raua ja koo- balti sulam	70% Co, 30% Fe	75	18	—	—	—	
Permendüür	49% Co, 2% V, 49% Fe	—	jääk- induktsioon	39	17,1 *	6,2 *	Toodetakse tööstuslikult (mark K-49)

* 0,1 mm paksused permendüürplekid, mis on kokku kleebitud üheks südamikuks (pakiks).

Kui teostada eelmagneetimist alaliskomponendiga, mis on magnetvälja vahelduvkomponendi amplituudiga võrdne või sellest suurem, siis magnetrostriktiivsest materjalist varda joonmõõtude muutused toimuvad samas rütmis magnetvälja muutusega.

Varda otsad kiirgavad heli- või ultrahelilaineid. Võnkumiste amplituud on maksimaalne siis, kui elektromagnetilise välja sagedus on võrdne varda omavõnkesagedusega.

Varda võnkumise sagedust võib määrata valemi abil

$$f_{cm} = \frac{1}{2l} \sqrt{\frac{E}{\rho}},$$

kus f — varda omavõnkesagedus Hz;

l — varda pikkus cm;

E — elastsusmoodul dyn/cm²;

ρ — varda materjali tihedus g/cm³.

Konkreetses magnetrostriktiivse materjali korral on võnkumisteguriks nimetatav korrutis fl konstantne suurus.

Niklil $fl=243\,600$, s. t. 10 cm pikkuse nikkelvarda omavõnkesagedus on umbes 24,3 kHz.

Magnetrostriktiivsed vibraatorid sarnanevad oma ehituselt mõnevõrra transformatoritega — nende südamik koosneb samuti üksikutest, magnetrostriktiivsete omadustega plekkidest (pöörivooludest põhjustatud kadude vähendamiseks).

Plekkide paksus on piirides 0,1—0,3 mm.

Plekid kleebitakse omavahel kokku ja mõnikord pingutatakse täiendavalt vasktraadist bandaažidega (mähisega).

Magnetrostriktiivse vibraatori arvutusalusused on toodud kirjan-duses [41] ja [62] ja käesoleva väljaande lisas 1.

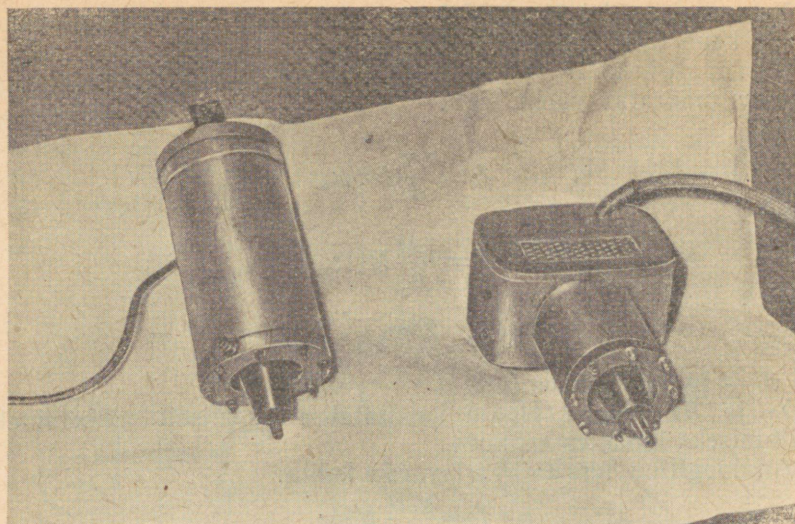
Magnetrostriktiivsete vibraatorite üldvaade on näidatud jooni-sel 3. Vibraatorite kiirguspind on kuni 200 cm², sagedus 20—200 kHz. Ühele poolele suunatud kiirguse kasutamisel tekib vibraatori vastaspoolel ultraheli peegeldav õhkpadi. Vibraatori mõõtmel valitakse nii, et peegeldunud ultrahelilaine ja välja-kiirguv laine langeksid faasis ühte. See võimaldab vibraatori kiir-gusvõimsust suurendada neli korda.

Õhkpadja tekitamiseks kasutatakse mõnikord 0,5—1 cm pak-sust poorse kummi kihti, mis kleebitakse vibraatori mittetöötava otsa külge.

Magnetrostriktiivsete vibraatorite kiirguse intensiivsus ulatub kuni 10 W/cm².

Magnetrostriktiivsete vibraatorite põhilisteks eelisteks on val-mistamise lihtsus, odavus ja töökindlus, mistõttu nad on leidnud ulatuslikku rakendamist.

Elektrienergia ultraheliks muundamise teiseks laialdaselt levi-nud meetodiks on *piesoelektrilise efekti* kasutamine.



Joon. 3. Magnetrostriktivsete vibraatorite üldvaade.

Piesoelektrilise efekti olemus seisneb selles, et mõningate kristallide deformeerimisel tekivad nende välispindadel elektrilised pinnalaengud [17; 42; 43]. Laengu polaarsus sõltub deformatsiooni liigist — üleminekul survelt tõmbele muutub polaarsus vastupidiseks. Tehakse vahet otsese ja pööratud piesoelektri vahel.

Otseseks piesoelektriks nimetatakse elektrilaengu tekkimist kristalli pindadele välise mehaaniliste jõudude toimele. Pööratud piesoelektriks seisneb kristalli deformeerumises välise elektrivälja mõjul. Ultraakustikas kasutatakse piesoelektri mõlemat liiki.

Et piesoelektriks on pööratud, siis üht ja sama kristalli võib kasutada ultrahelienergia kiirgajana ja vastuvõtjana.

Piesoelektriline efekt avastati kvartsi, liitiumsulfaadi, senjetsoola, etüleendiamiinkaaliumtartraadi, ammooniumfosfaadi, baariumtitaanaadist keraamika, tsinkläike, tsinkpao, pilliroosuhkru ja rea teiste ainete juures.

Ultrahelitehnoloogias ja -kontrollis on kõige laialdasemalt kasutusel kvarts ja baariumtitaanaat. Neid kasutatakse defektoskoopides, lineaarmõõtmete määramisel, interferomeetrites, kajaloodides, pesemismasinat vibraatorites ja mehaanilise töötlemise pinkides.

Kvartsi piesoelektriline efekt on peaaegu muutumatu temperatuurivahemikus — 200 kuni +200° C.

Temperatuuridel üle 250°C piesoelektriline efekt järsult vähe-
neb ja kaob täielikult 573°C juures.

Olenevalt kristalli lõikest on kvartsploadi põhivõnkumise oma-
sagedus määratav valemitega:

X-lõik

$$f = \frac{2,87}{d} \text{ MHz,}$$

Y-lõik

$$f = \frac{1,94}{d} \text{ MHz,}$$

BT-lõik

$$f = \frac{2,55}{d} \text{ MHz,}$$

kus d — ploadi paksus mm.

Y- ja BT-lõikega ploate kasutatakse peamiselt nihkelainete
tekitamiseks tahketes kehades.

Analoogiline suurus kvartsvarda kohta:

$$f = \frac{2,727}{l} \text{ MHz,}$$

kus l — varda pikkus mm.

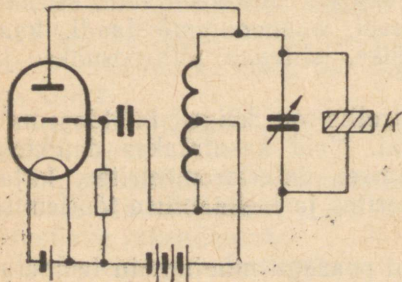
2. Kõrgsagedusgeneraatorid

Magnetostriktiivseid ja piesoelektrilisi vibraatoreid ergutatakse
kõrgsagedusgeneraatorite abil. Kustumatuid elektrilisi võnkumisi
saadakse kõrgsageduslike lamp- või masingeneraatoritega.

Praktikas kasutatakse selleks mitmesuguseid raadiotehnilisi
lülitusi — lihtsaimast ühelambilisest kolmpunktlülitusest (joo-
nis 4) kuni mitmelambiliste ja mitmeastmeliste lülitusteni ühik-
võimsusega kuni 60 kW.

Joonisel 5 on näidatud ultrahelitööpingis «Raiton» kasutatava
magnetostriktiivse vibraatoriga lampgeneraatori elektriline põhi-
mõtteskeem.

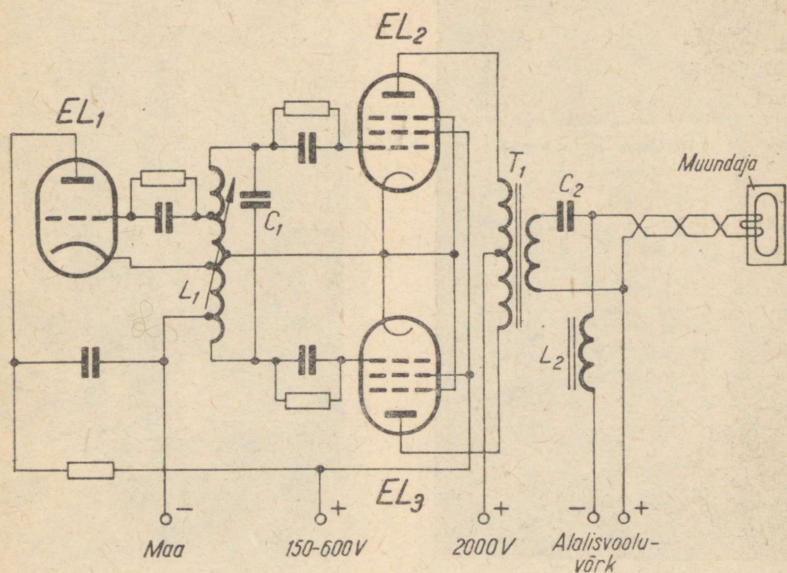
Vibraatori toiteallikaks on kõrgsagedusgeneraator lam-
biga 6C4 ja kahelambiline võimsusvõimendaja (lambid tüüp 813).



Joon. 4. Piesokvartsiga lampgeneraator kolmpunktlülituses.

Induktiivsus L_1 sidestab generaatori võimsusvõimendajaga ja määrab ühtlasi koos kondensaatoriga C_1 generaatori töösageduse. Side võimsusvõimendaja ja magnetrostriktori vahel toimub väljandtransformaatori kaudu.

Viimane on ehitatud sagedusele 25 kHz. Lampide EL_1 ja EL_2 (tüüp 813) võrepinge muutmisega saab sujuvalt reguleerida väljandvõimsust piirides 15–400 W. Vibraatori kasutegur on 30%.



Joon. 5. Tööpingi «Raiton» magnetrostriktiivse muundajaga lampgeneraatori põhimõtteline skeem ($f=25$ kHz; $P=400$ W).

Joonisel 6 on toodud firma «Electronic» (Charleroi-Belgia) tööstusliku kõrgsagedusgeneraatori esivaade. Kõrgsagedusgeneraator parameetritega $f=25$ kHz ja $P=1,0$ kW on ette nähtud ultraheliseadmete toitmiseks.

Paljud kodumaised tööstusettevõtted kasutavad laboratoorseteks ja uurimistöödeks laiaribalist «Bar»-tüüpi generaatorit (6–100 kHz, 800 W), mida toodetakse ka tööstuslikult (joon. 7).

Reguleerimise täpsus on $\pm 2,5\%$. Koormuse väljandtakistus 5, 10, 100 ja 1000 Ω . Väljandvõimsus on piirides: 0–50 W, 0–200 W ja 0–800 W. Koormusel kuni 200 W ei ületa generaatori moonutustegur 10%, koormusel kuni 800 W — 20%. Elektrivõrgust sagedusega 50 Hz ja pingega 220 V võetav võimsus on 3 kW.

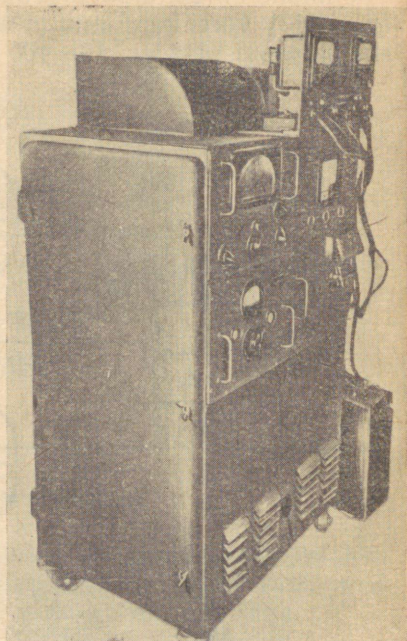
Transformaatorisidestuses generaatoris töötab lamp 6C5, vaheastmes 6П3 ja sagedusmodulatsiooniastmes reaktiivlamp 6Ж4.

Võimsuse eelvõimenduse astmes kasutatakse kaht lampi ГY-50 vastastaktlülituses ning väljandastmes kaht ГY-80 tüüpi pentoodi samuti vastastaktlülituses.

Täisperioodlülituses kõrgepingealaldajas töötavad БГ-236



Joon. 6. Tööstusliku kõrgsagedusgeneraatori «Electronic» (Charleroi, Belgia, tüüp 200, $f=25$ kHz; $P=1,0$ kW) välisvaade.



Joon. 7. «Bar»-tüüpi tööstusliku laiaribalise generaatori ($f=6-100$ kHz; $P=800$ W) välisvaade.

tüüpi gasotronid. Pentoodide varivõredele antakse pinget gasotronidega alaldajast.

Teaduslik-tehniliste ja tehnoloogiliste instituutide poolt on välja töötatud järgmised tööstuslikud ultraheligeneraatorid.

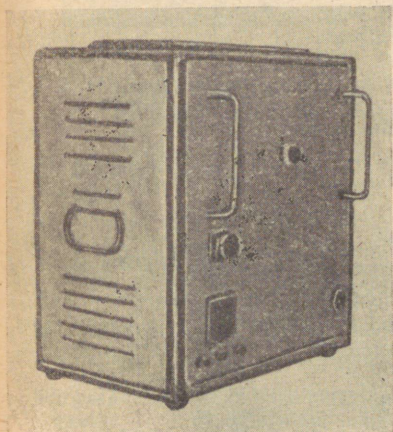
1. Tüüp УЗГ-0,25 (joon. 8): väljandvõimsus 0,25 kW, sagedus 18—25 kHz ja ühefaasilisest võrgust (50Hz, 220 V) võetav võimsus 0,75 kW. Generaatorina töötab pentood ГK-71. Generaatori gabariitmõõtmed on 300×460×500 mm.

2. Tüüp УЗГ-1 (joon. 9): väljandvõimsus 1,25 kW, sagedus 18—25 kHz ja ühefaasilisest võrgust (50Hz, 220 V) võetav võimsus 3,4 kW. Lülituses kasutatakse trioodi. Vesijahutuseks vajaliku vee kulu on 8 l/min. Generaatori gabariitmõõtmed on 400×600×1025 mm.

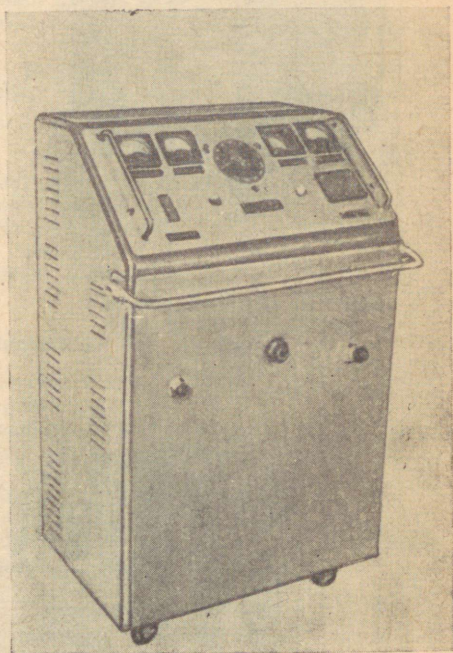
3. Tüüp *УЗГ-10* (joon. 10): väljandvõimsus 8 kW, sagedus 18—25 kHz ja kolmefaasilisest võrgust (50 Hz, 220/380 V) võetav võimsus 15 kW. Lülituses kasutatakse ГY-89A tüüpi trioodi. Jahutamiseks vajaliku vee kulu on 25 l/min. Generaatori gabariitmõõtmed on 600×750×1620 mm.

4. Tüüp *УЗГ-3* (joon. 11): väljandvõimsus 3,0 kW, sagedus 12—400 kHz ja ühefaasilisest võrgust (50 Hz, 220 V) võetav võimsus 5,0 kW. Kasutatakse õhkjahutust. Generaatori gabariitmõõtmed on 645×740×1550 mm.

5. Tüüp *УЗГ-60* (joon. 12): väljandvõimsus 30 kW, sagedus 12—400 kHz ja kolmefaasilisest võrgust (50 Hz, 220/380 V) võetav võimsus 80 kW. Jahutusvee kulu on 50 l/min. Generaatori gabariitmõõtmed on 870×1810×1470 mm, toiteblokil — 810×880×1700 mm.

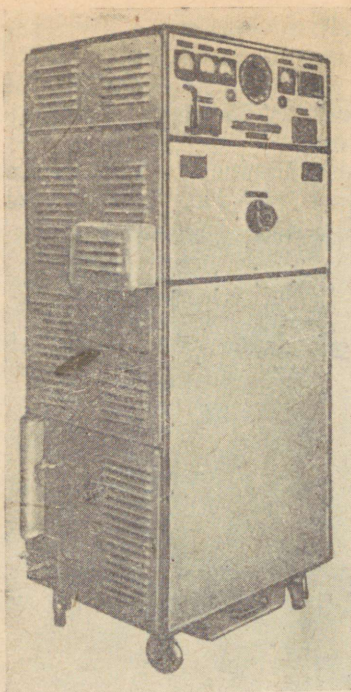


Joon. 8. Ultraheligeneraator
УЗГ-0,25 ($f=18-25$ kHz;
 $P=0,25$ kW).

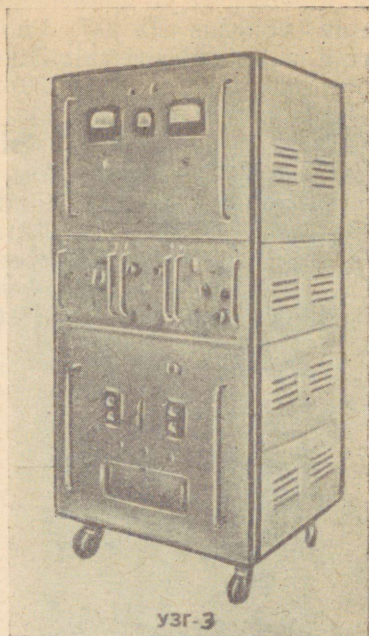


Joon. 9. Ultraheligeneraator *УЗГ-1*
($f=18-25$ kHz; $P=1,25$ kW).

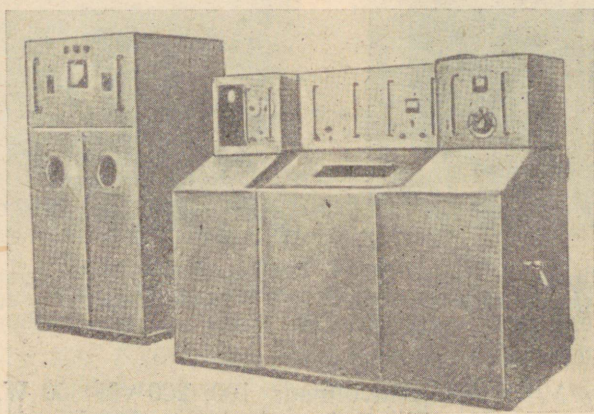
6. Tüüp *УГ-32*: väljandvõimsus 100, 200 või 300 W, sagedus 18—24 kHz ja ühefaasilisest võrgust (50 Hz, 220 V) võetav võimsus 800 W. Generaatori gabariitmõõtmed on 450×305×280 mm, kaal 20 kg.



Joon. 10. Ultraheligenaator
 $Y3\Gamma-10$ ($f=18-25$ kHz;
 $P=8$ kW).



Joon. 11. Ultraheligenaator $Y3\Gamma-3$
($f=12-400$ kHz; $P=2,0$ kW).

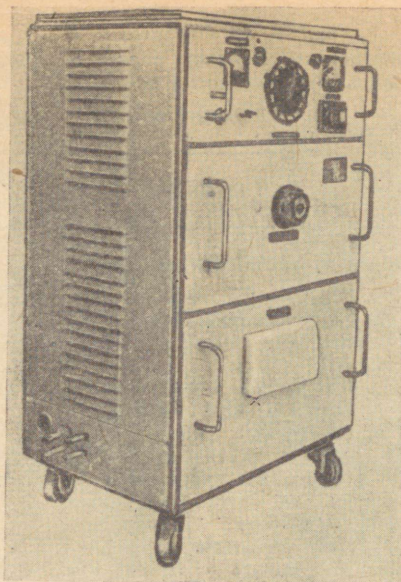


Joon. 12. Ultraheligenaator $Y3\Gamma-60$ ($f=12-400$ kHz; $P=30$ kW).

Leningradi Rahvamajanduse Nõukogu ettevõtetes 1960. a. toodetavate ultraheligeneraatorite nomenklatuur

(O. I. Babikovi andmeil)

Nimetus	Ülesanne	Sagedus- riba kHz	Väljand- võimsus kW
I. Laboratoorsed ultraheligeneraatorid			
Madalsagedusgene- raator	400—1200 W võimsusega magnetrostriktiivsete vib- raatorite toitmine	6,5—25	1,2
Kesksagedusgene- raator	Kuni 2 kW võimsusega ja kuni 30 kHz omavõnke- sagedusega magnetrostriktiiv- sete vibraatorite ning kuni 2 kW võimsusega ja 30—400 kHz omavõnke- sagedusega piesolektri- liste (kvartsist, baarium- titanaadist) vibraatorite toitmine	12—400	2
Kõrgsagedusgene- raator	Kvartsist ja baariumtitanaa- dist piesolementidega, 300—3000 kHz omavõnke- sagedusega piesolektri- liste vibraatorite toitmine	300—3000	1,5
II. Tööstuslikud ultraheligeneraatorid			
Madalsagedusgene- raator	18—22 kHz omavõnkesage- dusega magnetrostriktiiv- sete vibraatorite toitmine	18—22	0,1—0,5
Madalsagedusgene- raator	Sama	„	1
Madalsagedusgene- raator	Magnetrostriktiivsete vibaa- torite toitmine	18—25	8—60
Kõrgsagedusgene- raator	Kvartsist ja baariumtitanaa- dist piesolementidega kõrgsageduslike piesole- lektriliste vibraatorite toitmine	400—600	6
Mehaaniline gene- raatorsireen	Aerosoolide (suitsu, tahma, tsemendi jne.) koagulatsio- on	30	30
Hüdrodünaamiline vile	Ultraheli-emulgeerimine	kuni 30	0,25 ja enam



Joon. 13. Lisaseade УЗП-10 kõrgsagedusgeneraatorile ultrahelisageduste saamiseks ($f=18-25$ kHz; $P=8$ kW).

7. УЗП-10 tüüpi lisaseade (joon. 13) generaatorlambita kõrgsagedusgeneraatorile ultraheli saamiseks sagedusega $f=18-25$ kHz. Väljandvõimsus on 8 kW, jahutusvee kulu 5 l/min. Gabariitmõõtmed — $480 \times 655 \times 950$ mm.

Esimeste ultraheliseadmete konstrueerimisel lähtuti minimaalseist ja mitte alati põhjendatud mõõtmetest, mille tagajärjeks oli seadmete üksikute elementide ülekuumenemine. Näiteks generaatoris УЗГ-10 täheldatakse väljandtransformaatori ebanormaalselt kuumenemist. Selles generaatoris leidis teisi konstruktiivseid ja ekspluatatsioonilisi puudusi.

Ei ole kahtlust, et generaatorite uutes seeriates need puudused kõrvaldatakse.

Tabelis 5 on toodud Leningradi Rahvamajanduse Nõukogu poolt 1960. a. toodetavate ultraheligeneraatorite nomenklatuur.

1. Ultrahelidefektoskoopia ja mõõtmised ultraheliga

Ultrahelidefektoskoobid võimaldavad edukalt kontrollida toodete kvaliteeti ja välja selgitada detailides ja toorikutes esinevaid mitmesuguseid defekte, ilma et oleks vaja kontrollitavat eset purustada. Selles seisnebki ultraheli kasutamise eelis teiste kontrollimeetoditega võrreldes.

Ultrahelidefektoskoopide tööprintsip põhineb ultrahelilainete võimel levida metallis ja teistes materjalides suunatud kimbukeseena suurtele kaugustele ja peegelduda kontrollitava materjali homogeenset struktuuri rikkuvate mitmesuguste defektide pinnalt.

Ultrahelidefektoskoopias kasutatakse defektide kindlakstegemiseks kolme meetodit [14 ja 37]:

- 1) varjumeetod, mis põhineb defekti taga «helivarju» tekkimisel;
- 2) kajameetod, mis põhineb lokatsiooniprintsiibil;
- 3) resonantsimeetod, mis põhineb interferentsist tingitud seisvate ultrahelilainete tekkimisel.

Varjumeetod. Vibraatoriga tekitatakse uuritavas kehas ultrahelilained. Defekti puudumisel läbib ultrahelikiir keha ja võetakse selle vastaspoolel vastu vastava seadme abil. Kui kiir oma teel kohtub defekti, siis ta peegeldub tagasi defekti pinnalt ja teda ei fikseerita «helivarju» alas paikneva vastuvõtuseadme poolt.

Liigutades piki uuritavat keha omavahel jäigalt kinnitatud ja teljeliselt koordineeritud ultrahelivõnkumiste allikat ja vastuvõtjat, on võimalik «helivarju» pildi järgi kindlaks teha defektide olemasolu ja nende hulka.

Defektide avastamiseks peab olema ligipääs kontrollitavale kehale mõlemast küljest.

«Helivarju» meetodi esitas 1928. a. S. J. Sokolov, kes esimesena konstrueeris ka mõningad taolised defektoskoobid. Varjumeetodit on edasi arendatud NSV Liidus (D. S. Schreiber jt.), Lääne-Saksamaal, Belgias ja Prantsusmaal.

Tööstuslikke varjumeetodit kasutavaid defektoskoope toodavad välismaal mitmed ettevõtted ja firmad.

1. «*Sonomeeter*», mida toodab firma «Leefeldt ja Henpenheim» (SFV), töötab sagedusmodulatsiooniga sagedusel 0,1, 2,85 ja 8,5 MHz. Modulatsioonisageduseks on 50 Hz. Akustilise kontakti loomiseks on kontrollitava toote pinna ja defektoskoobi tööorganite vahel õli. Ultrahelivõnkumiste võimsuse reguleerimine on sujuv. Et oleks võimalik kontrollida mitmesuguse kujuga tooteid, on defektoskoobi tööorganid, mida antud juhul nimetame tajuriteks, varustatud suure hulga terasest vahetatavate otsikutega.

Kasutades otsikut \varnothing 3 mm, võib selle defektoskoobiga avastada kuni 10 mm paksustes lehtedes defekte \varnothing 1 mm.

2. «Ultrasonelli» toodab Belgia firma «Atelier de Construction Electric de Charleroi». See defektoskoop töötab sagedusel 1 MHz ja seda kasutatakse metalldetailide, keevisõmbluste, mittemetalsete toodete (näit. presspapist ja bakeliidist torude ja plaatide) kontrollimiseks ning sisemiste pragunemiste ja kihistuste kindlakstegemiseks. Erinevalt defektoskoobist «Sonomeeter», mille tajuritel on terasest otsikud, on defektoskoobi «Ultrasonel» tajurid varustatud vedelikuga täidetud kooniliste kummist katetega. See kergendab halvasti töödeldud pinnaga detaili kontrollimist.

3. Ultrahelidefektoskoopidega «Hotfieldi» seadet kasutatakse Inglismaa tehastes «Dunlop Rubber Co» (Birmingham) auto väliskummide kvaliteedi kontrollimiseks. Ultrahelivibraator, mis on paigutatud vees asetseva autokummi sisse, saadab kummissse ultraheli hajuva kimbukese sagedusega 50 kHz. Väljaspool asetsevad kuus kuni kümme vastuvõtuseadet, igaüks oma võimendaja ja indikaatoriga. Kummi täielik kontrollimine kihistuste puudumise kindlakstegemiseks kestab ainult mõni minut.

Kummitoodete kvaliteedi ultrahelikontrolli soodustab vee ja kautšuki füüsikaliste omaduste ühtelangemine [14]. Nende erinevustekes on peaaegu võrdsed. Samuti langevad peaaegu ühte ultraheli kiirused vees ja kummis, mis võimaldab kontrollida keerulise kujuga kummitooteid ultrahelikiire mürdumatus tõttu vee ja kummi kokkupuute pinnal.

Edukalt teostatakse ka plastmassplokkide kontrolli, mis toimub madalamatel sagedustel, sest ultraheli sumbumus on plastmassides suurem kui metallides.

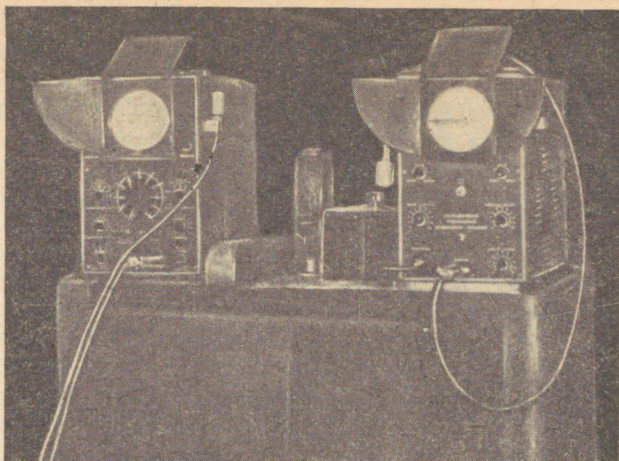
Plastmasside kontrollimise seadmes kasutatakse sagedust 160 kHz.

Viimasel ajal on tööstuses levinud varjumeetodi kasutamine metallide liitekohtade kvaliteedi kontrollimiseks.

Tunduvalt on arendatud varjumeetodit betooni ja raudbetooni katsetamise eesmärgil [16, 20—23]. Kui määrata ultraheli kiirus betoonis, on võimalik näiteks välja arvutada selle dünaamiline elastsusmoodul ja saada ettekujutus betooni kvaliteedist. Ultrahelimeetod võimaldab samuti kindlaks määrata mitmesuguseid defekte betoon- ja raudbetootoodetes ning konstruktsioonides ja avastada erinevate markidega betooni liitejoont.

Ultrahelimeetodiga võib teostada betoon- ja raudbetootoodete kontrollimiseks järgmisi operatsioone:

- 1) kontrollida toodete tugevust;
- 2) määrata toodete dünaamilist elastsusmoodulit;
- 3) kontrollida betooni homogeensust;
- 4) kontrollida betooni kivistumist;
- 5) kontrollida betootoodete purunemisprotsessi;



Joon. 14. Ultrahelidefektoskoobid.

6) kontrollida temperatuuri muutuste, külmumise ja sulamise ning vee mõju betooni omadustele;

7) avastada sisemisi defekte ja pragusid vahetult ehituskonstruksioonides.

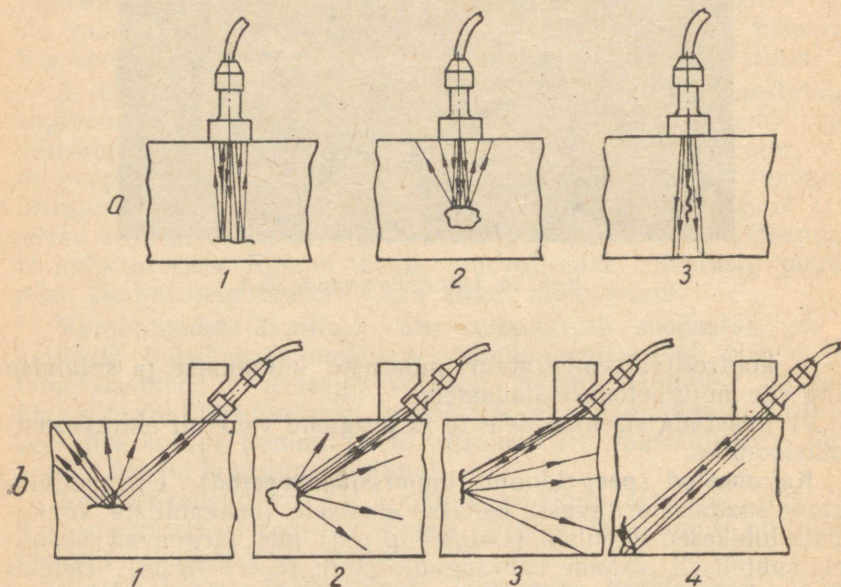
Kajameetod (peegeldunud impulsside meetod). Ultrahelivibraator saadab uuritavasse kehasse elastsete mehaaniliste võnkumiste lühikesed impulsid ($t=0,5-10 \mu s$), mis järgnevad üksteisele suhteliselt pikkade vaheaegade järel ($t_1=1-5 \mu s$). Defekti olemasolu korral tema pinnalt peegeldunud kajasignaali tulevad vastuvõtuseadmesse ja registreeritakse vastava indikaatoriga. Toote kontrollimisel on elektronkiiretoru ekraanil nähtav: algsignaali, mis vastab ultraheli kehasse sisenemise hetkele; põhisignaali, mis vastab kontrollitava toote vastasküljelt kajasignaali peegeldumise hetkele või defekti olemasolul — viimase kajasignaali. Defektist põhjustatud kajasignaali asetseb elektronkiiretoru ekraanil algsignaali ja põhisignaali vahel sellisel kaugusel, mis vastab defekti tegelikule asukohale kontrollitavas tootes.

Impulss-ultrahelidefektoskoobid (joon. 14) võimaldavad töötada ühe või kahe tajuriga skeemi kohaselt ning samuti kahe paralleelselt lülitatud tajuriga [27]. Töötamine ühe tajuriga on lihtsam ja mugavam. Real juhtudel tuleb vigade kindlamaks avastamiseks kasutada palju keerulisemaid skeme.

Joonisel 15 esitatud detailide ultrahelikontrolli skeemid on teostatavad: a) silindriliste tajuritega ja b) prismaliste tajuritega. Tasapinnalised praod, räumullid ja valuvead on kergesti avastatavad ühesilindrilise tajuriga (joon. 15, a — 1), kuid on

halvasti avastatavad prismalise tajuriga (joon. 15, *b* — 1), sest seda defekti saab avastada üksnes siis, kui peegeldunud energia hulk ületab defektoskoobi vastuvõtuvõimendaja tundlikkuse piiri.

Ruumiline defekt (joon. 15, *a* — 2 ja 15, *b* — 2) on hästi avastatav nii silindriliste kui ka prismaliste tajuritega. Vertikaalsed praod (joon. 15, *a* — 3 ja 15, *b* — 3) on halvasti avastatavad silindriliste ja hästi — prismaliste tajuritega. Sama võib ütelda



Joon. 15. Detailide ultraheli-kontrolli skeem:
a — silindriliste tajuritega; *b* — prismaliste tajuritega.

ka vertikaalsete pragude kohta, mis ulatuvad kontrollitava toote vastasküljele (joon. 15, *b* — 4).

Defektide täiuslikuks avastamiseks on defektoskoobid varustatud silindriliste ja mitmesuguste murdumisnurkadega prismaliste tajuritega.

Sügavusmõõtja olemasolu võimaldab silindriliste tajurite kasutamisel määrata defekti sügavust ja prismaliste tajurite kasutamisel defekti kaugust tajurist. Kindla akustilise kontakti loomiseks kontrollitav pind õlitatakse pintsliga või lapiga. Õlitamiseks on sobiv autooli ja solidooli segu (autool 8 või 10).

Tuleb märkida, et ultraheli-kontrolli tootmisse juurutamise perioodil on vaja teda võrrelda teiste kontrollimeetoditega (röntgenoskoopia, gammaskoopia, magnetilised meetodid jt.), mis

samuti ei nõua detailide purustamist. Peale selle on kasutamisele võetava meetodika kontrollimiseks vaja süstemaatiliselt lahti lõigata väljapraagitud detailid ja kõrvutada defektoskoobiga saadud andmed defektide tegeliku iseloomuga. Uurimise tulemusi tuleb süstematiseerida, mis tunduvalt kergendab operaatoreid edasist tööd.

Defektoskoobi töötamise efektiivsust määravateks põhilisteks ekspluatatsioonilisteks näitajateks on [14]:

1) tundlikkus, s. t. defekti minimaalne läbikiiratud pind, millele defektoskoop antud kaugusel kindlalt reageerib;

2) tegevuskaugus või läbimisjõud — maksimaalne kaugus, mille juures võib kindlalt fikseerida põhi-kajasignaali (toote vastasküljelt peegeldunud impulssi);

3) eraldusvõime, s. t. minimaalne kaugus läbikiirguse suhtes ühes suunas asetseva kahe defekti vahel või defekti ja toote vastaskülje vahel, mille juures kajasignaalid on indikaatoriga eraldatavad;

4) «surnud tsoon» suurus, s. t. defekti minimaalne sügavus, mille juures defekti olemasolu on indikaatoriga kindlaksteh-tav;

5) avastatud defekti koordinaatide määramise täpsus.

Impulss-kajameetod võimaldab kontrollida keevis- või joote-ühenduste kvaliteeti metallide kokkusulamise, pragude, võõrkehade jne. suhtes, määrata suureteralisi mikrostruktuure metalli-des ja sulamites, avastada ja kindlaks teha kuni mitme meetri sügavuses toote pealispinna all olevate defektide (valuvead, kihistused, tühimikud, praod jne.) asukohta materjalides.

Allpool tuuakse mõningate kodumaise konstruktsiooniga defektoskoopide kirjeldus (tabel 6).

Tehnoloogia ja Masinaehituse Teadusliku Uurimise Keskinstituudis (ЦНИИТМАШ) konstrueeritud *defektoskoopi УЗД-7Н* [27] toodetakse mitmes masinaehitustehases seeriaviisiliselt. See defektoskoop on ette nähtud metallis olevate mitmesuguste defek-tide (praod, tühimikud, räumullid, lõhed, kokkusulamatus jne.) avastamiseks ning metalltoodete paksuse mõõtmiseks, kui neile on ligipääsu võimalus ainult ühelt poolelt (katelde, torude jt. sei-nad).

Defektoskoobi УЗД-7Н (joon. 16) tehniline iseloomustus

Läbimisjõud (läbikiirgamise maksimaalne sügavus) terase korral:	
silindriliste tajurite kasutamisel	2500 mm
prismaliste tajurite kasutamisel	1300 mm
«Surnud tsoon» (läbikiirgamise minimaalne sügavus) terase korral:	
silindriliste tajurite kasutamisel	
töösagedusel 2,5 MHz	7 mm
töösagedusel 0,8 MHz	22 mm
prismaliste tajurite kasutamisel töösagedusel 2,5 MHz	0 mm

Tähis- ja valmistamise aasta	Kasutusala	Sagedus MHz	Kontrollimise skeem	Elektronkiiretoru tüüp ja toru läbimõõt mm
УЗД-8 1949	Universaalne	1,25 ja 2,5	1 ja 2 taju-riga	130
УЗД-10 1950	Eriotstarbeline	Sama	„	8Л029 80
УЗД-12 1951	Universaalne	„	„	13Л037 130
УЗД-12Т 1953	„	„	„	13Л037 130
УЗД-14 1957	„	„	„	13Л037 130
УЗД-16 1958	„	„	„	7Л055
УЗД-2 —	Eriotstarbeline	0,8 ja 2,5	2 taju-rit	70
УЗД-5 —	Universaalne	Sama	1 taju-rit	70
УЗД-6	„	„	1 ja 2 taju-riga	70
УЗД-7	„	„	„	70
УЗД-7М 1954	„	„	„	70
УЗД-7Н 1955	„	„	„	70
УЗД-7Э 1957	„	0,8; 1,2; 1,8; 2,5; 5	„	70
УДЦ-10	Keevisõmbused	1,8 ja 2,5	„	Л0-247
УЗД-86 ИМ-2	Universaalne	0,7; 1,4; 2,8	„	125
УЗД-В4-7И	„	0,7; 1,5; 2,5; 4,0	„	70

ultrahelidefektoskoobid ja nende tehnilised andmed

Tajurid	Kontrolli sügavus mm	Eraldusvõime mm	Aparaadi		Märkusi
			kaal kg	gabariitmõõtmed mm	
Silindrilised	3000	5—7	21,0	450×315×210	Fotoseadmega
„	3000	5	10,0	350×235×180	„
„	3000	3—5	18,0	460×325×210	„
Silindrilised ja prismalised	3000	2—3	20,0	460×320×210	„
Sama	3000	2	20,0	460×320×210	„
„	3000	2	9,0	190×390×280	„
„	—	—	8,5	285×235×153	Seade ostsillograafile
„	—	—	8,5	285×235×153	
„	—	—	8,5	285×235×153	
„	—	—	15,0	350×300×180	Mehaanilise sügavusmõõtjaga
„	—	—	15,0	350×300×180	Sama
„	2500	7 ja 22	16,0	430×340×190	„
„	—	—	16,0	430×340×190	Elektron-sügavusmõõtjaga ja defektide automaatsignalisatsiooniga
Prismalised	—	—	12,0	350×260×165	Sama
Silindrilised ja prismalised	—	—	—	—	Fotoseadmega
Sama	—	—	—	—	Defektide automaatsignalisatsiooniga

Tähis ja valmistamise aasta	Kasutusala	Sagedus MHz	Kontrollimise skeem	Elektronkiiretoru tüüp ja toru läbimõõt mm
УЗД-М-1	Universaalne	—	2 tajurit	70
УЗУ	Eriotstarbeline	—	20 tajurit	—
УЗД-НИИМ-2М 1953	Keevisõmblused	2,5	1 ja 2 taju- riga	5Л038 50
УЗД-НИИМ-2М 1954	„	2,5	Sama	5Л038 50
УЗД-НИИМ-3 1955	„	2,5	„	5Л038 50
УЗД-НИИМ-5 1957	„	1,8; 2,5; 3,2	1 tajur	5Л038 70
УРД-52	Eriotstarbeline	2,7	—	—
УЗД-52 1955	„	0,9; 2,7	1 ja 2 taju- riga	8Л029
УЗД-ГИЭКИ	„	5,0	2 tajurit	13Л037 130 ostsillograa- figa
УП-1 1955	„	25—160 kHz	Sama	ЭО-6
УП-2 1957	„	„	„	—

Tajurid	Kontrolli sügavus mm	Eraldus- võime mm	Aparaadi		Märkusi
			kaal kg	gabariitmõõt- med mm	
—	—	—	10,0	350×240×145	
—	—	—	—	—	
Prismalised	—	—	6,0	340×230×200	Elektron-süga- vusmõõtjaga
„	—	—	6,0	340×320×220	„
„	—	—	3,3 7,0	275×250×80 260×190×145	Kantav osa Toiteblokk
„	—	—	6,0	200×210×290	Elektron-süga- vusmõõtjaga ja defektide auto- maatsignali- satsiooniga
—	—	—	65,0	—	Seade on paiguta- tud raudteekä- rule
Silindrilised	—	—	8,0	360×247×165	Elektron-süga- vusmõõtjaga
—	—	—	25,0	533×425×230	Isolaatorite põle- tamise kvalitee- di kontroll
—	50— 4000	—	18+ +20,5	458×342×339 230×363×467	Betooni katseta- mine
—	30— 3000	—	25+ +7,0	450×210×400 355×180×215	Sama Kasutatakse ИКЛ-4

Avastatavate defektide minimaalne ekvivalentne pind:

sagedusel 2,5 MHz:

sügavusel kuni 200 mm	2 mm ² ,
sügavusel 200—500 mm	6 mm ²

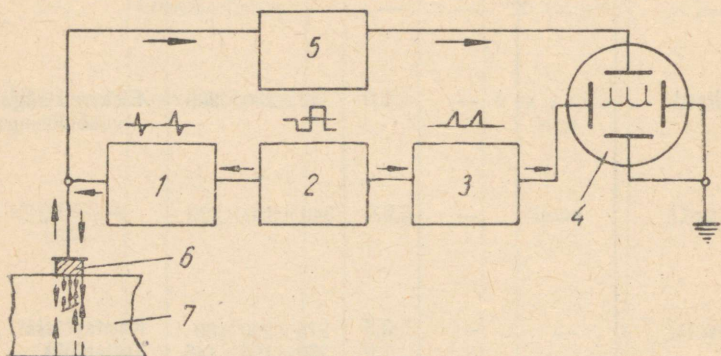
sagedusel 0,8 MHz:

sügavusel kuni 200 mm	20 mm
sügavusel 200—500 mm	70 mm

Toote paksuse mõõtmise piirid sügavusmõõtjaga 7—2500 mm

Toote paksuse d mõõtmise täpsus puhtal töötlemisklassiga $\nabla\nabla 5$ tasapinnal $\pm (0,02 d + 0,3)$ mm.

Võrgust (50 Hz, 110, 127 või 220 V*) tarvitav võimsus 100 W.



Joon. 16. Defektoskoobi VЗД-7Н (ЦНИИТМАШ) blokk skeem:

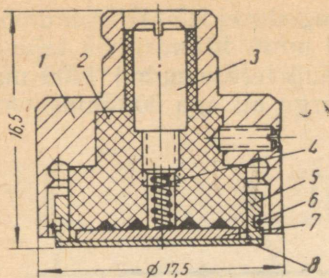
- 1 — impulssgeneraator; 2 — juhtgeneraator; 3 — laotusgeneraator;
4 — elektronkiiretoru; 5 — võimendaja; 6 — piesotajur; 7 — kontrollitav toode.

Defektoskoobil on 12 elektronlampi ja 13 juhtimisnuppu. Ta koosneb multivibraatoriga (lamp 648) juhtgeneraatorist, mis võimaldab saada 390—550 impulssi sekundis (kasutatud on tajuri piesoelemendi induktiivsusest ja mahtuvusest moodustatud vooluahela tõukeergutuse lülitust), sügavusmõõtjast ja piesoelektrilistest tajuritest. Viimaseid valmistatakse sagedusele 2,5 ja 0,8 MHz.

Joonisel 17 on näidatud 2,5-MHz sagedusega silindrilise piesotajuri konstruktsioon ja joonisel 18 — prismalise piesotajuri konstruktsioon.

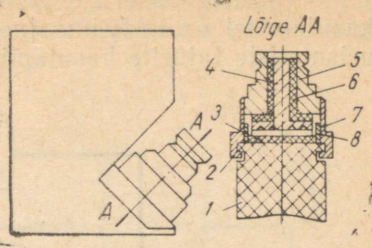
ЦНИИТМАШ-i poolt väljatöötatud täiustatud konstruktsiooniga defektoskoobi VЗД-7Э iseärasuseks on vedelik-sügavusmõõtja asemel elektron-sügavusmõõtja (ajaetalooni) kasutamine, mis võimaldab mõõta paksusi piirides 7—3000 mm, mis on jagatud kahte alapiirkonda — 7—300 ja 100—3000 mm.

* Katelseadmete kontrollimiseks võib eritellimise kohaselt saada defektoskoope ka pingele 12 V.



Joon. 17. Silindriline piesotajur sagedusega 2,5 MHz (ЦНИИТМАШ-i konstruktsioon):

- 1 — korpus; 2 — tekstoliidist puks; 3 — kontaktkruvi; 4 — kontaktvedru; 5 — terasrõngas; 6 — kontaktvedru; 7 — baariumtitanaadist plaat; 8 — joodisekihiga põhjaplekk.



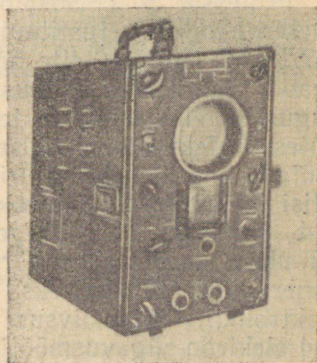
Joon. 18. Prismaline piesotajur (ЦНИИТМАШ-i konstruktsioon):

- 1 — pleksiklaasist prisma; 2 — korpus; 3 — baariumtitanaadist plaat; 4 — väljaviigukontakt; 5 — pingutuskruvi; 6 — isoleerrõngas; 7 — isoleerrõngas; 8 — kelmega kaetud asbestist vahetükk.

Viga suurte paksuste mõõtmisel ei ületa 1% ja väikeste paksuste mõõtmisel 5%. Selle defektoskoobi teiseks iseärasuseks on tellijale antud võimalus valida sagedust sõltuvalt kontrollitavast tootest (valitakse kaks sagedust järgnevalt sageduste reast: 0,8; 1,2; 1,8; 2,5 ja 5 MHz).

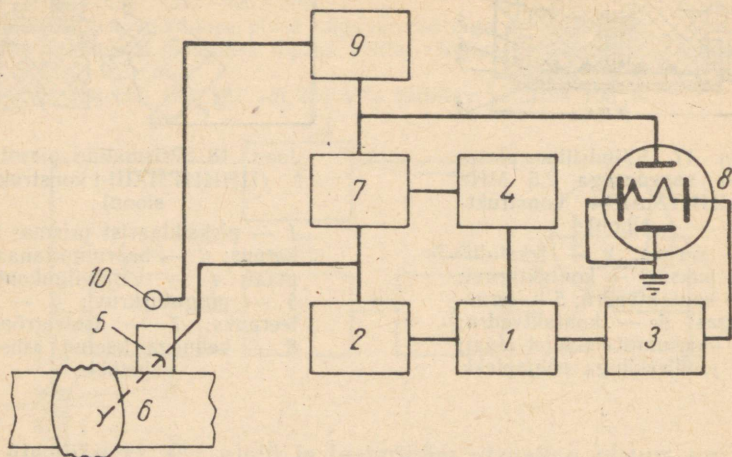
Ultrahelidefektoskoopide kasutamise praktika on näidanud, et toodete kontrollimisel saab parimaid tulemusi spetsialiseeritud defektoskoopidega. Üht niisugust lahendust kujutab suure paksusega keevisõmbluste kontrollimiseks ettenähtud ЦНИИТМАШ-i defektoskoop УДЦ-10 (joon. 19). Defektoskoobi blokskeem on toodud joonisel 20.

Sellel defektoskoobil on suur tundlikkus. Avastatavate defek-



Joon. 19. Defektoskoobi УДЦ-10 (ЦНИИТМАШ) üldvaade.

tide minimaalne ekvivalentne pindala sagedusel 2,5 MHz on umbes 1 mm² ja sagedusel 1,8 MHz umbes 2 mm². Silindriliste tajurite kasutamisel on maksimaalne läbimisjõud terase puhul 1200 mm, prismaliste tajurite kasutamisel 30° nurga all aga 600 mm.



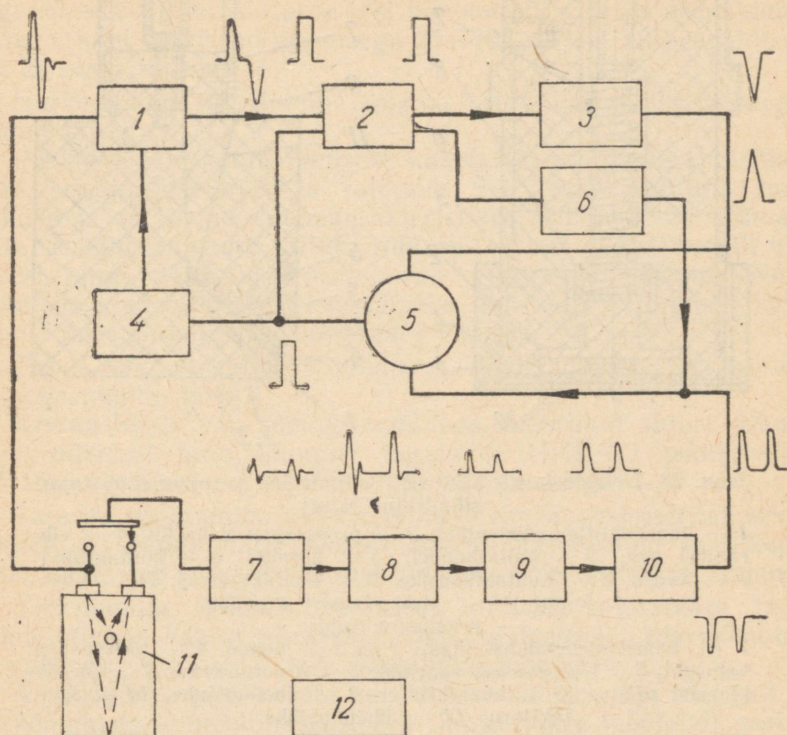
Joon. 20. Defektoskoobi УДЦ-10 (ЦНИИТМАШ) blokk skeem:

- 1 — juhtgeneraator; 2 — impulssgeneraator; 3 — laetusgeneraator;
 4 — elektron-ajaetaloon (sügavusemõõtja); 5 — prismaline tajur;
 6 — kontrollitav toode; 7 — võimendaja; 8 — elektronkiiretoru;
 9 — defektide signaliseerija; 10 — indikaator.

-Defektoskoop on varustatud defektide automaatsignalisatsiooniga, milles on kaks lampi 6H15П. Üks neist lampidest töötab ooteseisundis oleva multivibraatorina, teine täidab lahtisidestuse ülesandeid. Indikaatoriks on väikegabariidiline neonlamp MH-5.

Professor S. J. Sokolovi (Leningradi Uljanovi (Lenini) nim. Elektrotehniline Instituut) süsteemiline *ultrahelidefektoskoop УЗД-12Т* [30] on ette nähtud sisemiste defektide (tühimikud, praod, valuvead, kihistused, poorid jne.) avastamiseks mitmesugustest elastsetest materjalidest valmistatud toodetes ja toorikutest. Defektoskoobi töösageduseks on 1,25 ja 2,5 MHz. Ta võib töötada ühe ja kahe tajuriga skeemi kohaselt. Kasutatakse silindrilisi ja prismalisi tajureid. Defektoskoobi blokk skeem on näidatud joonisel 21. Juhtgeneraatoriks on multivibraator, mille impulsse kasutatakse kõrgsagedusimpulssgeneraatori ja laetusgeneraatori tüürimiseks, valeimpulsside summutamiseks ja elektronkiire intensiivsuse tüürimiseks. Defektoskoop on varustatud elektron-sügavusemõõtjaga.

Defektoskoobi juhtimiseks on esipaneelil 10 juhtimisnuppu ja -lülitit. Defektoskoobil on kaks silindrilist ja kolm prismalist (35; 45 ja 53° nurga all) tajurit, millede konstruktsioon on näidatud joonisel 22.

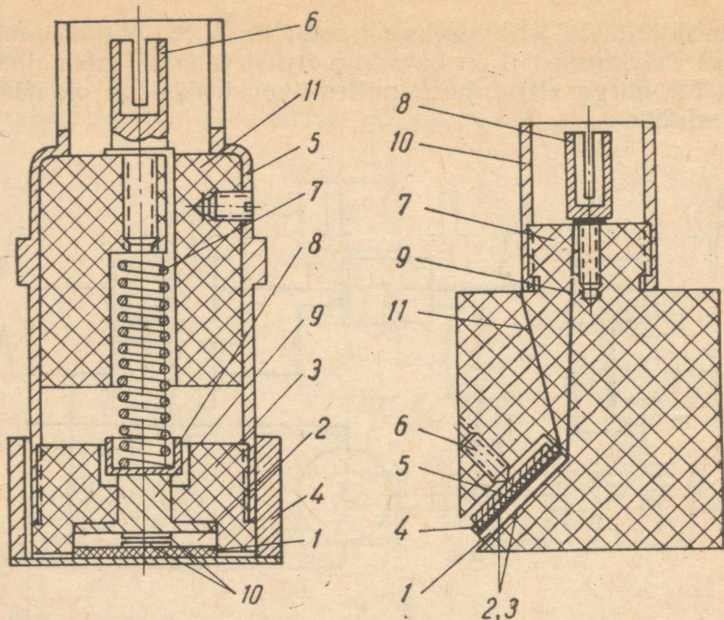


Joon. 21. Prof. S. J. Sokolovi süsteemi defektoskoobi Y3D-12-T blokskeem:

1 — kõrgsagedus-impulssgeneraator; 2 — juhtgeneraator; 3 — laotusblokk; 4 — valesimpulsside summutaja; 5 — elektronkiiretoru; 6 — sügavusmõõtja blokk; 7 — kõrgsagedusvõimendaja; 8 — detektor; 9 — viideoimpulsside võimendaja; 10 — viideoimpulsside parafaasvõimendaja; 11 — mõõdetav detail; 12 — toiteblokk.

Defektoskoobi Y3D-12T tehnilised andmed

Läbikiirgamise maksimaalne sügavus (läbimisjõud)	3000 mm
Defektoskoobi poolt avastatava defekti minimaalne sügavus («surnud tsoon»):	
silindrilise tajuri kasutamisel	5 mm
prismalise tajuri kasutamisel	2–3 mm



Joon. 22. Defektoskoobi УЗД-12-Т silindriline ja prismaline tajur:
silindriline tajur:

1 — baariumtitanaadist plaat; 2 — presspapist vahekiht; 3 — vibraatori pea; 4 — kaitsekuppel; 5 — korpus; 6 — kontaktihvt; 7 — vedru; 8 — kontaktkausike; 9 — kontaktvarras; 10 — vaskkelme; 11 — pleksiklaasist vahetükk;

prismaline tajur:

1 — baariumtitanaadist plaat; 2 ja 3 — kelme; 4 — presspapist vahekiht; 5 — valgevasest vahekiht; 6 — kinnituskruvi; 7 — pleksiklaasist prisma; 8 — kontaktihvt; 9 — ühendusjuhe; 10 — kontaktoru; 11 — ühendusjuhe.

Defektoskoobi poolt avastatava defekti minimaalne pindala:

sügavusel 100 mm 0,7 mm²

sügavusel 1000 mm 5 mm²

Defekti asukoha määramise täpsus 1—3%

Võrgust tarbitav võimsus 120 W

Kontrollitava toote pinnatöötlemise puhtus, vähemalt ▽▽ 6

Sildade Teadusliku Uurimise Instituudis (НИИМостов) on välja töötatud defektoskoobid УЗД-НИИМ-2, УЗД-НИИМ-3 ja УЗД-НИИМ-5. Siin kasutatakse metallembuste kiiritamises ultraheli-impulssidega kogu mahus, peegeldunud impulsside kinnipüüdmises ja peegeldumispinna koordinaatide määramises. Viimane võimaldab eraldada valeimpulse defektide olemasolust põhjustatud impulssidest.

Läbikiirgamist teostatakse prismalise tajuri ultrahelikiirga,

mis juhitakse õmblusesse põhimetalli kaudu. Tajurit, mis täidab ultraheli-impulsside kiirgaja ja vastuvõtja ülesandeid, liigutatakse piki õmblust siksaki-kujuliselt [32, 34]. Rahuldavaid tulemusi annavad ЦНИИТМАШ-i poolt konstrueeritud tajurid kiire murdumisnurgaga $\alpha \leq 70^\circ$ [27]. Seejuures põkk-keervisõmblused paksusega 10—25 mm kiiritatakse läbi põhimetalli pinnalt peegeldunud kiirga, kuid õmblused paksusega 25—100 mm — nii peegeldunud kui ka otsese kiirga.

Nurkõmbluste kiiritamine toimub seina vastasküljelt peegeldunud kiirga.

Põkkõmbluste kontrollimiseks kasutatakse võimalikult väikese kiire sissejuhtimisnurgaga tajureid. See tagab suurima tundlikkuse ja teravama suunakarakteristiku. Minimaalselt võimalik kiire sissejuhtimisnurk sõltub õmbluse laiusel ja põhimetalli pakusest ning määratakse spetsiaalse programmi põhjal. Nurkõmbluste kontrollimiseks kasutatakse üksteisele järgnevalt kahte tajurit kiire sissejuhtimisnurgaga $\alpha = 45\text{—}50^\circ$ ja $\alpha = 70^\circ$.

Tajuri nihutamise piirid õmblusega ristisuunas määratakse erinomogrammide järgi.

Arvutuslikult või nomogrammidega määratud tajuri nihutamise piiridest kinnipidamine tagatakse НИИМ-i poolt välja töötatud spetsiaalsete tajurihoidjate kasutamiseks.

Tajurite nihutamine ultrahelikiire levimise geometriat arvestamata ei alanda mitte üksnes kontrolloperatsiooni tootlikkust, vaid soodustab ka kontrolli raskendavate valesignaali ilmumist.

Tajurihoidja koosneb korpusest, millesse asetatakse tajur, mõõtelatist ja kahest piirajast. Viimased toetuvad keervisõmbluse servale ning piiravad tajuri võimalikku nihkumist.

Analoogiline tajurihoidja konstruktsioon on välja töötatud ka nurkõmbluste kontrollimiseks. Siin kasutatakse mõõtelati asemel toru, milles liigub mõõteskaalaga varustatud liist. Töötamisel toetub liistu ots alusele ja piirab seega tajuri nihkumist kontrollimisel.

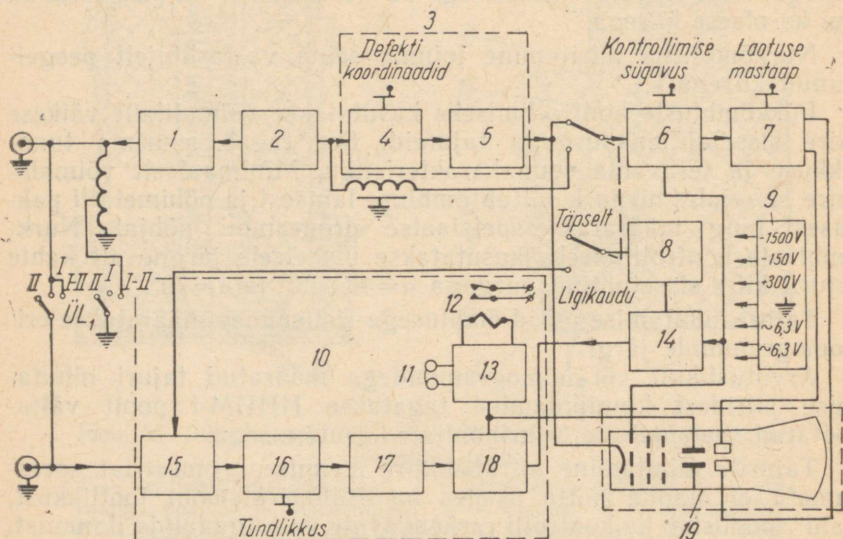
Defektoskoobi УЗД-НИИМ-2М väljatöötamisel on arvestatud keervisõmbluste ultrahelidefektoskoopia spetsiifikat ja ta on ette nähtud mitut liiki defektide (poorid, räumullid, kihistused, praod, kokkusulamatus jne.) avastamiseks metallides, toodetes ja keevisühendustes.

Defektoskoop, mille blokk skeem on näidatud joonisel 23, on varustatud ЦНИИТМАШ-i poolt konstrueeritud prismaliste tajurite komplektiga. Tajureid kasutatakse ühe tajuriga, kahe tajuriga või ühe ja kahe tajuriga skeemi kohaselt. Kiiratavate ultrahelilainete sageduseks on 2,5 MHz. Defektoskoobi tundlikkus võimaldab avastada defekte ekvivalentse pindalaga (kiire suunale risti olev defekti pindala) umbes 2 mm². Defektid määratakse impulssidega, mis ilmuvad ainult defekti avastamise korral elektron-

kiiretoru ekraanile telefoni kaudu kuuldava signaali vahendusel. Indikaatoriks võib olla vahetult tajuris asetsev hõõglamp.

Täiendava heli- või valgusindikaatori kasutamine vabastab operaatori nihutatava tajuri ja elektronkiiretoru ekraani üheaegselt jälgimisest ning kergendab kontrollimise protsessi.

Elektromehaanilise indikaatori (relee) olemasolu võimaldab

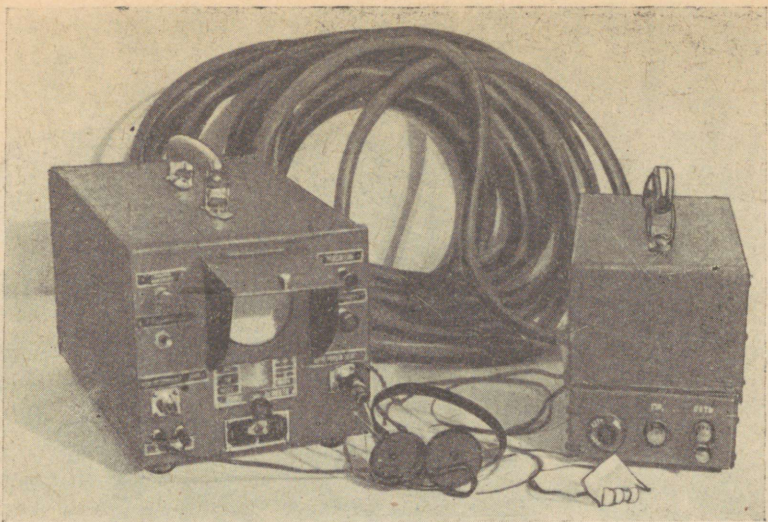


Joon. 23. Defektoskoobi VЗД-НИИМ-2М blokskeem:

- 1 — piesokristalli ergutaja; 2 — blokeerimisgeneraator; 3 — sügavusmõõtja; 4 — vahelduva viivituse lülitis; 5 — markeerimisimpulsi tekitamise aste; 6 — laotusgeneraator; 7 — laotusimpulsside võimendaja; 8 — võimenduse automaatse reguleerimise aste; 9 — toiteblokk; 10 — vastuvõttrakt; 11 — peatelefonid; 12 — relee; 13 — relee käivitamise aste; 14 — stroboskoopilise impulsi võimendaja; 15 — kõrgsagedusvõimendaja; 16 — detektor; 17 — viidevõimendaja; 18 — segustusaste; 19 — elektronkiiretoru.

defektoskoopias rakendada automatikat (konveieri seiskamine, defektide asukoha märkimine toodetel jne.) ja koos defektoskoobi juurde kuuluva eriseadisega tajuri mehhaaniliseks nihutamiseks saada kontrollidokument — defektogrammi.

Selleks et heli- ja elektromehaaniline indikaator ei annaks valesid näitusid, s. t. ei registreeriks tootes mitmekordselt peegeldunud impulsse, on defektoskoobis kasutusel vastuvõtjasse saabu- vate signaalide ajaline selektsioon (valitavus). See seisneb selles, et vastuvõtja on kogu aeg «kinni» (ei võta signaale vastu) ja «avatakse» ainult sel ajal, kui on oodata peegeldunud impulsside saabumist kontrollitava objekti võimalikelt defektidelt.



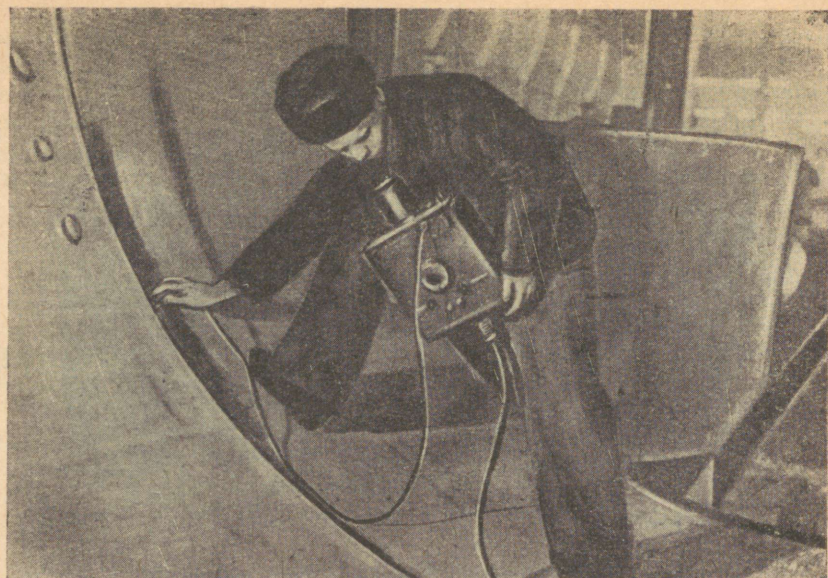
Joon. 24. Defektoskoobi УЗД-НИИМ-2М välisvaade.

Defektoskoobis on skaalaga elektron-sügavusmõõtja terases asetsevate defektide koordinaatide otseseks mõõtmiseks. Tajurite kaldenurk on 0, 50, 60 ja 70°. Sügavusmõõtja töötab fantastronlülituses, mis on töös stabiilne ja tagab ühtlaste jaotustega skaala. Avastatud defekti koordinaatide mõõtmiseks viiakse sügavusmõõtja nupu pööramisega valgustäpp elektronkiiretoru laotusel impulsi algusesse ja tema skaalalt, mis vastab kasutatavale tajurile, loetakse defekti sügavus ja kaugus tajuri esiservast. Silindriliste tajurite kasutamisel on kontrolli maksimaalne sügavus vähemalt 1 m ja minimaalne sügavus (arvestades «surnud tsooni») töötamisel prismaliste tajuritega umbes 2 mm.

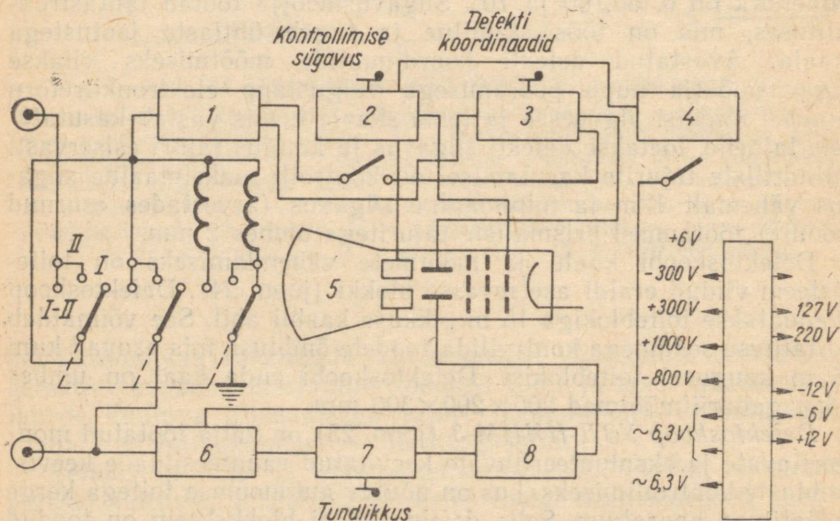
Defektoskoobi kaalu ja mõõtmete vähendamiseks on toitesüsteem viidud eraldi asetsevasse blokki (joon. 24). Defektoskoop ühendatakse toiteblokkiga 15 m pikkuse kaabli abil. See võimaldab portatiivse seadmega kontrollida toodete õmblusi, mis asuvad kuni 15 m kaugusel toiteblokkist. Defektoskoobi enda kaal on umbes 6 kg, gabariitmõõtmised 200×200×300 mm.

Defektoskoop УЗД-НИИМ-3 (joon. 25) on välja töötatud monteeritavate ja ekspluateeritavate keevitatud raudteesildade keevisõmbluste kontrollimiseks, kus on nõutav autonoomse toitega kerge portatiivne aparaat. Selle defektoskoobi blokkskeem on toodud joonisel 26.

Defektoskoobi УЗД-НИИМ-3 gabariidid, kaal ja tarvitav võimsus on täiendava heli- ja elektromehaanilise indikaatori puudumise tõttu väiksem kui defektoskoobil УЗД-НИИМ-2М.



Joon. 25. Töötamine defektoskoobiga УЗД-НИИМ-3.



Joon. 26. Defektoskoobi УЗД-НИИМ-3 blokk skeem:

- 1 — piesokristalli ergutaja; 2 — laetusgeneraator; 3 — sügavusmõõtja;
 4 — võimenduse automaatse reguleerimise aste; 5 — elektronkiiretoru;
 6 — kõrgsagedusvõimendaja; 7 — detektor; 8 — viidevõimendaja.

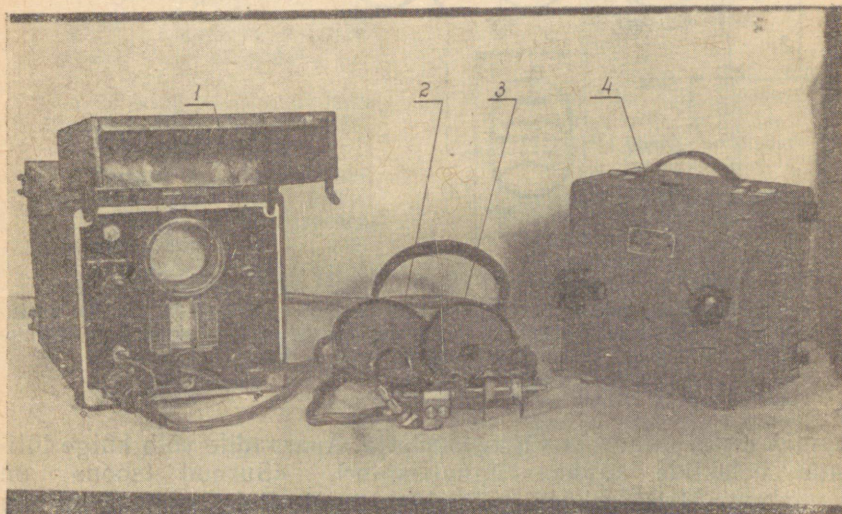
Defektide olemasolu tehakse kindlaks elektronkiiretoru ekraanile ilmuva impulssidele vastava pildiga.

Tundlikkuse ja muude tehniliste näitajate suhtes ei erine УЗД-НИИМ-3 defektoskoobist УЗД-НИИМ-2М. Toiteblokita defektoskoobi kaal on umbes 4,5 kg ja gabariitmõõtmed $80 \times 250 \times 275$ mm.

Defektoskoopi toidetakse 12-V akupatareist või elektrivõrgust pingega 127 või 220 V.

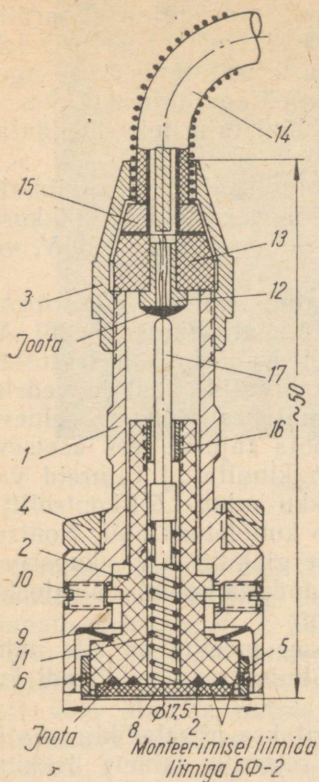
1957. a. väljatöötatud defektoskoop УЗД-НИИМ-5 on veelgi portatiivsem. Tema gabariidid on $200 \times 210 \times 290$ mm (joon. 27), kogukaal ei ületa 6 kg. Defektoskoop töötab ühe tajuriga skeemi järgi sagedusega 1,8; 2,5 või 3,2 MHz. Indikaatoriks on tajuris lambike, mis süttib defekti avastamisel. Pimedas kohas töötamisel võib lampi kasutada valgustamiseks, kuid sel juhul tuleb täiendava indikaatorina kasutada kuuldetoru. Mineraalõli juhitakse defektoskoopi paigutatud paagist automaatselt tajurisse. See aparaat võimaldab kontrollida toodet lõikude kaupa, mistõttu suureneb tema töövõime. Kaheksa skaalaga elektronsügavusmõõtjaga saab mõõta defektide koordinaate. Defektoskoobil on 10 elektronlampi. Toitmine toimub vahelduvvooluvõrgust pingega 12, 36, 127 või 220 V või akupatareist.

Üleliidulise Lennukimootorite Ehituse Instituudi (ВИАМ) defektoskoobid. Kodumaa tööstuses levinud impulssdefektoskoopide



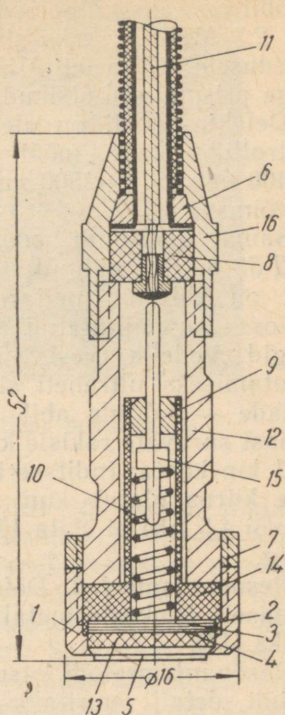
Joon. 27. Defektoskoobi УЗД-НИИМ-5 välisvaade:

1 — defektoskoop; 2 — heliindikaator (telefon); 3 — valgusindikaatoriga tajurihoidja; 4 — toiteblokk.



Joon. 29. Külgejoodetud põhjaga silindriline tajur (ЦНИИ МПС konstruktsioon):

- 1 — korpus; 2 — isoleerpuks; 3 — seademuhv; 4 — mutter; 5 — rõngas; 6 — rõngasvedru; 7 — piesoelement; 8 — põhi; 9 — vedruseib; 10 — tugikruvi; 11 — kiirgaja vedru; 12 — seen; 13 — isoleerseib; 14 — kaabel РВШЭ-1; 15 — kontaktseib; 16 — seadekruvi; 17 — kontaktvarras.



Joon. 30. Sisseasetatud põhjaga silindriline tajur (ЦНИИ МПС konstruktsioon):

- 1 — rõngas; 2 — vahekiht; 3 — summuti; 4 — kattekiht; 5 — põhi; 6 — kontaktseib; 7 — kontra-mutter; 8 — isoleerseib; 9 — seadekruvi; 10 — kiirgaja vedru; 11 — kaabel; 12 — korpus; 13 — piesoelement; 14 — isoleerpuks; 15 — kontaktvarras; 16 — seademuhv.

sel 28, on spetsialiseeritud ja võimaldab avastada mitmesuguseid defekte veduritelgedes rummuualuses osas ja veovända (ristpea) tappides. Defektoskoobi «surnud tsoon» on umbes 4 mm. Kontrollitav tasapind peab olema umbes 30 mm lai ja pinna puhtus vähemalt $\nabla \nabla$ 6. Sagedus on 0,9—2,7 MHz. Aparaat võib töötada

ühe või kahe tajuriga skeemi kohaselt ning tajurite paralleelühendamise ka ühe ja kahe tajuriga skeemi kohaselt. Defektoskoobil on kaks külgejoodetud põhjaga tajurit (joon. 29) sagedusele 2,7 MHz ja kaks sisseasetatava põhjaga tajurit (joon. 30) sagedusele 2,7 ja 0,9 MHz. Esimest tüüpi tajuritele ühendatakse külge prismaalsed otsikud.

Defektoskoobil on elektronsügavusindikaator, mis võimaldab kontrollida kahe mõõtepiirkonna abil terastooteid pikkusega 7—400 mm ja 7—2500 mm. Toitepingeks on 127 või 220 V, vajalik võimsus 40 W.

Sama instituudi poolt väljatöötatud *ultraheli-defektoskoop УРД-52* on ette nähtud raudteerööbaste kontrollimiseks [36]. Aparaat on ehitatud neljarattalise raudteevankrina. Defektoskoobi keskossa on paigutatud akupatarei, aparaatide kast ja vedeliku-paagid. Vedelik (vesi, süsihape) suunatakse rööbaste eelnevaks niisutamiseks ultraheli sisenemise kohta tajurite ees asetsevate harjade — tahtide abil. Viimased on kinnitatud tajureid vastu rööbast suruvate rakiste külge. Vedelikku kulub 1,5 l kontrollitava tee 1 km kohta. Inditseerimine toimub kuuldetoru abil. Kontrollimise kiirus ulatub kuni 4 km/h. Energiakulu 6-V akupatareist (22 või 4,5 Ah) ei ületa 12 W. Kokkupanduna kaalub defektoskoop 65 kg.

Resonantsmeetod. Defektoskoopia see meetod on ette nähtud peamiselt õhukeste metalltoodete mõõtmiseks ja kvaliteedi kontrolliks [14].

Resonantsmeetodi kasutamisel jälgitakse ultrahelikiirgaja töörežiimi detaili uuritavas ristlõikes seisvate lainete tekkimise momendil. Seisvad lained tekivad siis, kui piesokiirgaja võnkumiste sagedus ühtib kontrollitava süsteemi omavõnkesagedusega. Resonantsi korral kehtib toote paksuse ja lainepikkuse vahel seos

$$d = \frac{n\lambda}{2} = \frac{nc}{2f},$$

kus d — toote paksus;

λ — elastsete võnkumiste lainepikkus;

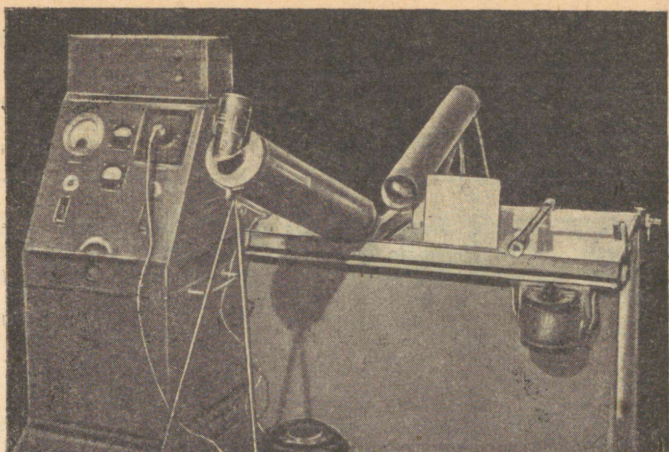
n — täisarv, mis määrab harmooniliste sageduste järgu (põhisagedusel on resonantsi korral $n=1$);

f — ultrahelisagedus;

c — ultraheli kiirus toote materjalis.

Kodumaine tööstus on konstrueerinud ja toodab mitut tüüpi defektoskoope — paksusemõõtjaid, mis põhinevad resonants- ja impulssmeetodi kasutamisel. Tabelis 7 on toodud mõnede ultraheli-paksusemõõtjate tähtsamad tehnilised andmed.

Ultraheliga visuaal-defektoskoopia. Viimasel ajal on nii kodumaises kui ka välismaises praktikas märgata tendentsi kontrolliprotsessi automatiseerimisele, mis seisneb tajuri käsitsi surumise



Joon. 31. S. J. Sokolovi «ultraakustiline mikroskoop».

asendamises mehaanilise seadisega, tajuri või detaili liikumise automatiseerimises ning defektide avastamise ja ülesmärkimise automatiseerimises [6, 7, 38]. Üheks perspektiivsemaks meetodiks on siin nn. immersioonmeetod, mille kohaselt detail ja tajurid asetatakse vedelikku, kusjuures pilu ultraheli kiirgaja ja detaili vahel võib ulatuda mitme sentimeetrini. Sel juhul langeb ära kontrollitava detaili eelneva töötlemise vajadus küllaldase pinnapuhtuseni ($\nabla \nabla$ 6). Vedelikkontakti vahendusel võib kasutada sagedusi kuni 25 MHz, mispuhul saavutatakse suur tundlikkus ja eraldusvõime.

Immersioonmeetod võimaldab visuaalselt jälgida kontrollitava toote ruumilise kontuuri kujutist ja temas peituvaid defekte elektroniiretoru ekraanil.

Seda liiki välismaise konstruktsiooniga defektoskoopidest võib mainida alumiiniumsulamitest suuregabariidiliste tõmmatud ja pressitud toorikute kontrollimiseks ettenähtud Hitti defektoskoopi. Selles defektoskoobis on peale elektronaparatuuri veel täppiseade ultrahelikiire nihutamiseks etteantud suunas ja liikuval vankrikesel asetsev paak mõõtmetega $13,5 \times 4,2 \times 0,6$ m. Ultrahelikiire nihutamise kiirus ulatub kuni 0,6 m/s.

Nihutamine toimub ridade kaupa etteantud sammuga. Töö-sagedusteks on 2,25; 6; 10; 15 ja 25 MHz. Defektoskoobi eraldusvõime võimaldab avastada 1,2 mm läbimõõduga defekte, mis asetsevad pealispinna all vähemalt 2,5 mm sügavusel.

Kodumaises praktikas tegi ultraheliga visuaal-defektoskoopia alal põhilist tööd S. J. Sokolov, kes juba 1935. a. töötas välja «ultraakustilise mikroskoobi» (joon. 31).

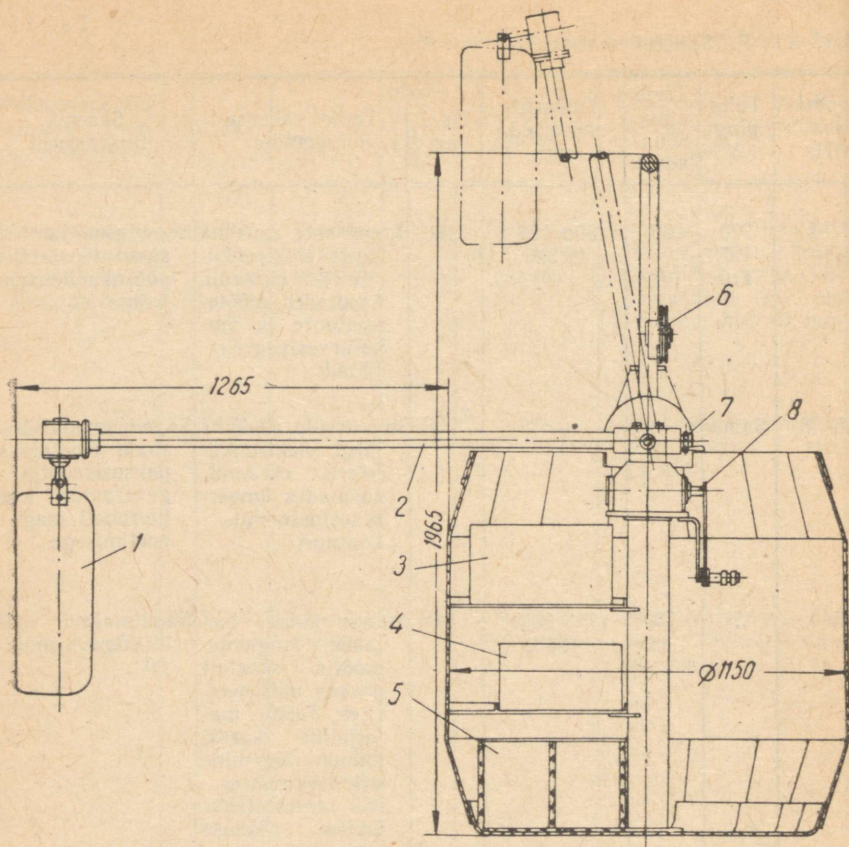
Paksusemõõtja konstrueerinud organisatsioon	Mark	Töö- printsip	Mõõt- mise piirid mm	Mõõtmise täpsus	Kontrollitava detaili välispinna vajalik puhtus
Raskemasinaehituse Teadusliku-Uurimise Keskinstituut	Y3T-P	Resonantsmeetod	1—22	$\pm 0,015 d$ d — toote paksus	Aparaat võimaldab mõõta paksust materjalidel, mille kõverusraadius ei ole väiksem kui 10 mm
Sama	Y3T-4M	„	1—20	1,5%	Sama, kõverusraadiusega mitte alla 15 mm
„	Y3T-3M	Impulssmeetod	6—500	$\pm (0,01 d + 0,2)$ mm	Sama, kõverusraadiusega mitte alla 30 mm
Üleliiduline Lennukimootorite Ehituse Instituut	B4-8P	Resonantsmeetod	1—15	$\pm (1\% + 0,03)$ mm	$\frac{\nabla\nabla 6}{\nabla 3}$ Võimalik on kontroll pinnalt, mille kõverusraadius ei ole alla 15 mm
Leningradi V. I. Uljanovi (Lenini) nim. Elektrotehniline Instituut	Y3HT-2	Impulssmeetod	3—30	Paksustel 3—5 mm — 6% (kolmekordsel mõõtmisel $\leq 2\%$), paksustel 5—30 mm — 1%	$\nabla 3$ Töötlemata*

* Mõõtmine on võimalik ilma pealispinda töötlemata; on lubatud korrosioon ruutkeskmise pinnaebatasusega 1,25—1,35 mm.

Sihtajaid (I. F. Spitsini andmeil)

Sagedus- riba MHz	Toite- pinge V	Tarbi- tav võim- sus W	Gabariit- mõõtmed mm	Kaal kg	Toote paksuse lugemine	Skeemi iseärasused
1) 2—4 2) 3,5—7	220 127 110	80	430×190× ×320	16	Impulsside asukoha järgi elektronkiiretoru ekraanil, kasutades mõõtekontuure ja ümberarvestusgraafikuid	Sagedusmodulatsioon teostatakse pöördkondensaatoriga
2,5—8	Sama	—	—	—	Impulsside asukoha järgi elektronkiiretoru ekraanil, kasutades ümberarvestusseadme kontuuri	Sagedusmodulatsioon teostatakse paksusemõõtja generaatori kontuurpooli magnetimisega
2,5	„	75	185×305× ×410	13	Terase korral loetakse sügavusemõõtja skaalalt paksus millimeetrites. Teiste materjalide korral toimub lugemine mikrosekundites, mis arvestatakse ümber paksuse väärtuseks	Kasutatakse vedelik-sügavusmõõtjat
3—6	„	200	662×446× ×248	25	Impulsside asukoha järgi elektronkiiretoru ekraanil, kasutades arvutusketast	Sagedusmodulatsioon teostatakse paksusemõõtja generaatori võnkeringi pooli magnetimisega
4	„	120	230×314× ×230	14	Igasuguse materjali kohta vahetult millimeetrites aparraadi skaalalt	

Märkus. Impulss-paksusemõõtjatena võib kasutada defektoskoope УЗД-7и, УЗД-7э (ЦНИИТ МАШ-i konstruktsioon), УЗД-14, УЗД-16 (ЛЭТИ konstruktsioon), В4-7И (ВИАМ-i konstruktsioon), НИИМ-2 (НИИМостов konstruktsioon).



Joon. 32. Standardne 1 m³ mahutavusega läbindamistoober koos ultraheli-aparaadiga УЗП-2:

1 — magnetstriktiivne vastuvõtu-kiirgusseade; 2 — konsool; 3 — kirjutus-aparaat; 4 — generaator; 5 — akupatarei; 6 — rull; 7 — kiirgaja seade-mehhanismi käepide; 8 — konsooli juhtmehhanismi käepide.

Ultraheli-mööteriistad. Ultraheli-mööteriist УЗП-2 on ette nähtud šahtiõõnte ehitamise ja ekspuaterimise protsessis profiileerimistöode mehhaniseerimiseks, kuid seda võib kasutada ka analoogilisteks mõõtmisteks masinaehituses ja ehituses.

Kogu aparaat on monteeritud standardsesse 1 m³ mahuga läbindamistoobrisse (joon. 32). Toobri korpusel on kronsteinid juhtrosside jaoks. Toobri sees asuva samba külge on kinnitatud torukonsool 2 ja selle otsa on šarniirliigendiga paigutatud ultraheliga töötav vastuvõtu-kiirgusseade 1, mis koosneb kahest mag-

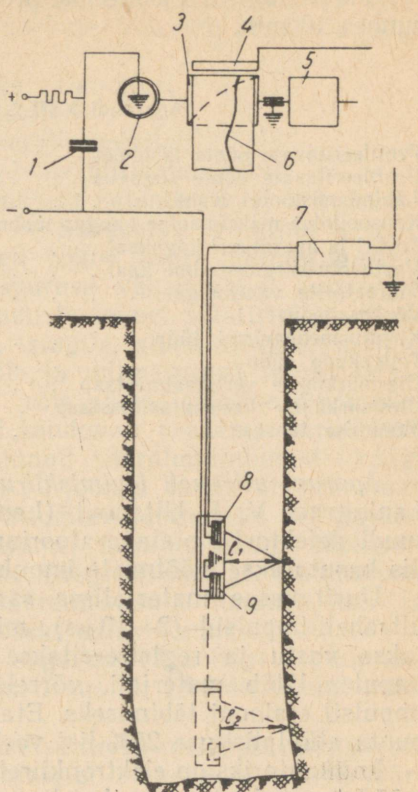
netostriktiivsest vibraatorist. Käepideme ja ajamseadme 8 abil võib konsooli liigutada üles-alla ja pöörata horisontaaltasapinnas. Magnetostriktiivse vibraatori kiirguspinna asendit saab mõõdetava pinna suhtes reguleerida käepidemega 7. Aparaaadi toiteallikaks on akupatarei 5 pingega 24 V. Ultraheligeneraator 4 on monteeritud akupatarei peale. Šahtiõone profiili ülesmärkimiseks on akupatarei kohal elektrisädesalvestusega mõõteriist 3.

Läbindamistoobri asukoha registreerimiseks šahtiõones on ta varustatud rulliga 6. Rulli paneb pöörlema 0,8 mm jämedune traat, mille ülemine ots on mähitud vintsile, alumises otsas aga on raskus, mis puudutab šahtiõone alumist pinda. Rulli 6 pöörlemine kantakse painduva võlli abil üle kirjutusaparaaadi lindiveomehhanismi võllile. Nii saavutatakse šahtiõone profiili diagrammi õige vertikaalmastaap.

Šahtiõone seina profiili või mingi muu mõõdetava pinna ülesmärkimine ultraheliga taandub vertikaalsete ümberpaigutuste korral vastuvõtu-kiirgusvibraatori ja seina vahelise kauguse mõõtmisele ja üleskirjutamisele.

Kuna ultraheli levimise kiirus antud keskkonnas on teada ning ajavahemik ultrahelisignaali väljasaatmise ja vastuvõtmise vahel fikseeritakse mõõteriistaga, siis on võimalik määrata ja üles kirjutada kaugust õone seinast. Viimase profiili katkematut üleskirjutamist teostatakse spetsiaalsel paberil elektrisädelahendustega. Niisuguse seadme skeem on näidatud joonisel 33.

Registreeriva seadmega läbindamistoober kas tõstetakse või lastakse alla nõutavale tasapinnale kiirusega umbes 1 m/s. Samal



Joon. 33. Aparaaadi Y3Π-2 töötamise skeem:

- 1 — kondensaator; 2 — ketas; 3 — trummel; 4 — trükilaud; 5 — elektrimootor; 6 — diagrammpaber; 7 — võimendaja; 8 — magnetostriktiivne vastuvõtja; 9 — magnetostriktiivne kiirgaja.

ajal fikseeritakse aparaadi diagrammpaberil šahtiõone seinte profiil kindlas vertikaal- ja horisontaalmastaabis.

400 m sügavuse õone ühe profiili ülesvõtmiseks vajalik aeg on umbes 10 min.

Aparaadi V3П-2 tehnilised andmed

Profiileeritavate õonte läbimõõt	4,5—8 m
Profiileeritavate õonte sügavus	kuni 1000 m
Läbindamistoobri maht	1 m ³
Konsoolitsa maksimaalne kaugus toobri seinast	1260 mm
Toobri ja aparatuuri kogukaal	ca 937 kg
Vastuvõtu-kiirguseadme kaal	28,7 kg
Vibraatorite vahekaugus	250 mm
Võnkesagedus	21,3 kHz
Kirjutusmehhanismi tüüp	V3YP-3
Toiteakude tüüp	3CT 98
Ülesmärkimise vertikaalmastaap	1 : 250; 1 : 400
Ülesmärkimise horisontaalmastaap	1 : 20
Mõõtmise täpsus	±20 mm

Aparaat ultraheli levimiskiiruse mõõtmiseks tahketes kehaes. Leningradi V. I. Uljanovi (Lenini) nim. Elektrotehnilise Instituudi defektoskoopialaboratooriumi poolt konstrueeritud aparaadi kasutatakse mõõtmiste impulssmeetodit [61].

Uuritavasse materjalisse saadetakse perioodiliselt lühikesed ultraheli-impulsid (2—10 μ s), mis pärast materjali läbimist võetakse vastu ja registreeritakse. Aega, mille vältel ultraheli-impulss läbib materjali, võrreldakse ajaga, mis kulub samal impulsil etalooni läbimiseks. Etalooniks kasutatakse vedelikku — puhta etüülpiirituse 25%-list vesilahust.

Indikaatoriks on elektronkiiretoru 13ЛЮ-37, mis võtab vastu nii mõõdetavat keskkonda kui ka vedeliketalooni läbinud signaalid.

Ultraheli levimiskiirus määratakse mõlemate impulsside ühitamise elektronkiiretoru laotusel, mis teostatakse kiirgus- ja vastuvõtuseadme vahelise kauguse mõõtmisega vedeliketaloonis mikromeetrilise kruvi abil.

Ultraheli saatjate ja vastuvõtjatena kasutatakse hõbetatud x- ja y-lõikega kvartsplaadikesi. Esimesed on pikilainete, teised ristlainete kiiruse mõõtmiseks. Vedeliketaloonis kasutatakse hõbetatud x-lõikega kvartsplaadikesi.

Aparaat töötab sagedusega 1,67 ja 5 MHz.

Mõõtmise täpsus sõltub ultraheli kiirusest mõõdetavas keskkonnas ja ka proovikeha mõõtmestest ning muutub piirides 0,5—1,5%. 12 mm pikkuste proovikehade jaoks on mõõdetavate kiiruste piirkond 800—6000 m/s.

Toitmine toimub võrgust 110, 127 või 220 V, 50 Hz. Tarbitav võimsus on 120 W.

Aparaadi gabariitmõõdmed on 210×320×460 mm, kaal 19 kg.

2. Ultraheli kasutamine metallurgias

Ultraheli toimet vedelatele metallidele (sulätisele) ja sulamitele võib S. J. Sokolovi ettepanekute kohaselt kasutada järgmiselt:

- a) tera suuruse vähendamiseks valandites;
- b) gaasi eraldamiseks sulatistes;
- c) sulatistes teiste ainete disperseerimiseks;
- d) füüsikalise-keemiliste protsesside kiirendamiseks.

On terve rida kodu- ja välismaiseid patente (S. J. Sokolov — NSVL, Osterhammel ja Gideman — Saksamaa ja paljud teised), milles tuuakse kirjeldus ultraheli toime kohta mitmesugustele metallidele ja sulamitele tera suuruse vähendamise eesmärgil. Kontrolliti heli- ja ultrahelivõnkumiste toimet sulatistele — kadmiumile, antimonile, inglistinale, tsingile, alumiiniumile, silumiinile, tsink-tinale, duralumiiniumile ja mitmesugust marki terasetele. Pääegu kõikidel juhtudel võis pärast sulatise kiiritamist ultraheliga tähele panna valandi tunduvalt peenemat struktuuri. Helisagedusega töödeldud tardunud duralumiiniumist kangi mikrostruktuuris olid eutektikumi piirjooned tunduvalt peenemad kui ilma akustilise töötlemiseta. Silumiini töötlemisel helisagedusega toimus dendriitide purunemine, duralumiiniumi töötlemisel — terade piirjoonte kadumine. Magneesiumi ja alumiiniumi sulamis tavaliselt täheldatav vääreutektikum muutub heli ja ultraheliga kiiritamise mõjul tõeliseks eutektikumiks.

Sulatiste kiiritamisel kasutati sagedusi väga laias piirkonnas: 50 Hz—450 kHz. Kiiritamise intensiivsus oli 1,0—40 W/cm² piirides.

Tehti kindlaks struktuuri otsene sõltuvus ultraheli intensiivsusest, kuid enamik uurijaid järeldab, et sagedus ei avalda märgatavat mõju tera kvaliteedile. Rostoker ja Berger [45] tegid kindlaks, et:

a) antud sulamis(süsteemis) on tera struktuuri paranemine kõige efektiivsem legerivate elementide väikese sisalduse juures. Nende suurendamine vähendab kiiritamise mõju;

b) valandi struktuuri kõige efektiivsem paranemine toimub väikese tardumiskiiruse juures;

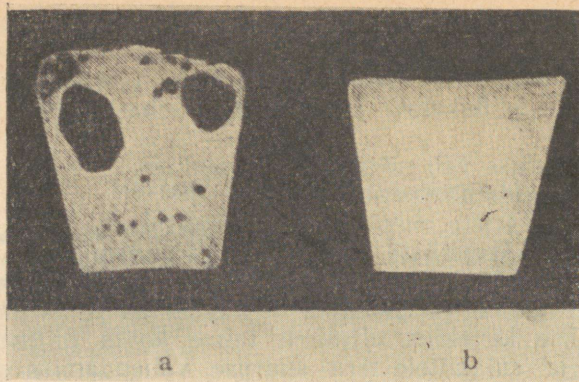
c) sulatise ristlõikepinna (kiiritusvoo suhtes) vähendamine ei paranda struktuuri;

d) kiiritamise intensiivsuse suurendamine üle kindla suuruse ei vii struktuuri edasisele proportsionaalsele paranemisele;

e) teralise struktuuri paranemine toimub sulamites, mis on põhiliselt tahked lahused;

f) struktuuri paranemine ei sõltu sagedusest, vaid võnkumiste amplituudi ja sageduse korrutisest (kontrollitud kuni 1000-Hz sageduste piirkonnas).

Enamik uurijaid kinnitab, et 10—30-minutilise ultraheli-

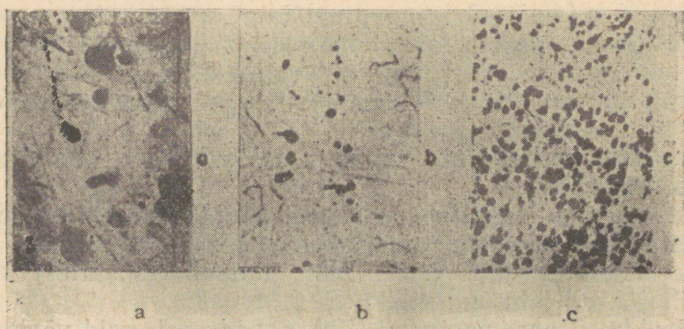


Joon. 34. Alumiiniumisulami näidised:
a — ultraheliga kiiritamata; *b* — ultraheliga kiiritatud.

töötlemise järel võib täheldada gaaside täielikku eraldumist valanditest.

L. Brechovskih [44] arvab, et ultraheliga degaseerimist võib seletada järgmiselt. Degaseerimisprotsess toimub kahes faasis. Esimeses faasis moodustuvad sulatises ülipeened kavitatsioonimullikesed, milles difundeerub vedelikus leiduv gaas. Teises faasis need kavitatsioonimullikesed, mis ei jõudnud ultraheli mõjul sulguda, koaguleeruvad ning tungivad suurte gaasimullikestena vedeliku pinnale.

«Siemens-Halske» kompanii poolt tehtud katsetel kõrvaldati gaasid alumiiniumist järgmiselt: 8—10 kg metalli sulatati induktsoonahjus, milles temperatuur hoiti konstantsena. Joonisel 34 on



Joon. 35. Aluminiium ja temas disperseeritud plii näidised:
a — kiiritamata; *b* — mehaaniliselt segatud; *c* — kiiritatud.

näide alumiiniumi ja mangaani (6,93%) sulamist, mida kiiritati ultraheliga vedelas olekus 40 minuti jooksul. Pärast seda oli gaas valandist peaaegu täielikult eemaldunud.

Teiste ainete sulatistes teostatakse dispergeerimist siis, kui on vaja saada ühe metalli peendispersset jaotust teises metallis.

Nii näiteks võib tõsta alumiiniumi töödeldavust, kui temale juurde lisada alumiiniumis ühtlaselt jagunenud pliid. Schmidt ja Eret dispergeerisid sel eesmärgil plii alumiiniumisse. Katsete tulemusi on näha joonisel 35.

Jooniselt selgub, et peendisperseerne plii on jagunenud alumiiniumis ühtlaselt. Moodustunud struktuur on niivõrd stabiilne, et isegi korduv sulatamine ei põhjusta segunenud ainete eraldumist.

Huvi pakuvad Timani katsed grafiidi dispergeerimisest pronksis, mille tulemusena, viies grafiidisisalduse kuni 25%-ni, ta sai isemäärivad laagrid. Võib eeldada, et ultraheli dispergeeriv toime sulatistele on suurim väikese lahustuvusega või kõrge sulamistäpiga ainete lisamisel.

Paljud metallurgilised protsessid, nagu näiteks teraste nitreerimine ammoniaagiga, ultraheliga kiiritamisel tunduvad kiirenevad. Rida protsesse võib teostada palju madalamal temperatuuril, ilma et langeks nende aktiivsus.

Katsed on näidanud, et teras muutub kiiritamisel ammoniaagi atmosfääris temperatuuril 500° C tunduvad kõvemaks: Brinelli arv suurenes 380-lt 1033-ni, tunduvad suurenes ka tõmbetugevus. Lämmastiku sissetungimise sügavus lehtterasesse ulatus kuni 35%-ni, samal ajal kui tavalisel nitreerimisel see oli ainult 1%. Analoožilistel katsetel täheldati kroomi ühtlast difundeerumist terases, mille pealispind kaeti kroomiga ja seejärel kiiritati ultraheliga.

Tuleb siiski märkida, et paljude uurimuste ja katsete tulemusi pole praktiliselt juurutatud, kuigi heli ja ultraheli toime reaalsus metallidele ja sulamitele ei kutsu esile mingeid kahtlusi. Siit tuleneb edasiste süstemaatiliste uurimuste vajadus selle paljulubava töötlemismeetodi praktiliseks kasutamiseks.

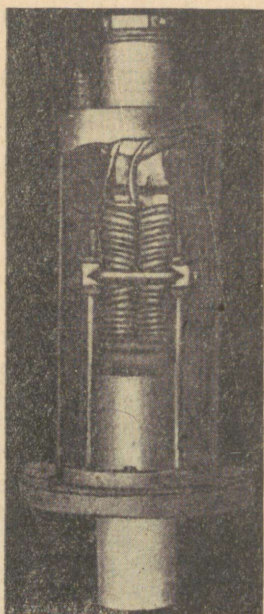
Sulatiste ultraheliga kiiritamise laialdast kasutamist takistab tehniline raskus — viia kõrge temperatuuriga sulatistesse intensiivseid ultrahelivõnkumisi. Sel eesmärgil kasutatakse raskestisulavast metallist või keraamilistest materjalidest valmistatud spetsiaalseid jahutusseadmeid. Need seadmed aga vähendavad elastsete võnkumiste niigi madalat kasutegurit.

Bremeni firmas «Atlas-Werke» sulatiste kiiritamiseks kasutatud magnetostriktiivne vibraator on näidatud joonisel 36. See on tavaline magnetostriktiivne vibraator, mille külge on ühendatud kõvast portselanist varras, mis võngub vibraatoriga vastufaasis, s. t. vibraatori pikenemisel varras lüheneb. Niisuguse vibraatori kasutegur on umbes 14%.

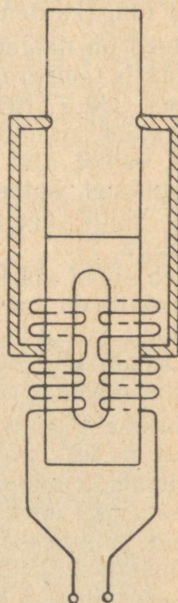
Vibraatori jahutamiseks kasutavad mõned uurijad kõrge keemistäpiga vedelikku, näit. trikresüülfosfaati.

Vibraatori kiirgav ots asetati sulatisse ja võeti sealt välja veidi enne vedela metalli pealmise osa tardumist. Neli muundajat (firma «Atlas») andsid sulatises akustilist erivõimsust 2 W/cm^2 . See seade võimaldas saada duralumiiniumist silindreid läbimõõduga kuni 200 mm, kuid nende pikkust piiras valuvormi allalaskmise võimalik sügavus vastavalt sulatise tardumisele. Joonisel 37 on näidatud kiiritamise (võimsus 100 W ja sagedus 26 kHz) mõju 4%-lise väsesisaldusega alumiiniumisulami struktuurile.

Magnetostriktiivsete ja piesoelektriliste muundajate temperatuur peab olema tunduvalt madalam Curie' punktist. Et vibraatorivarda kiirgav ots on kontaktis sulatatud materjaliga, siis ta peab taluma mitte üksnes kõrget temperatuuri, vaid võnkumiste tõttu ultraheli rütmis ka suuri mehaanilisi pingeid. Seejuures ei tohi varda otsa ja sulatise vahel tekkida keemilist reaktsiooni. Kõikide nimetatud omadustega materjale ei ole veel leitud, mis samuti pidurdab ultraheli tööstuslikku kasutamist metallurgias.



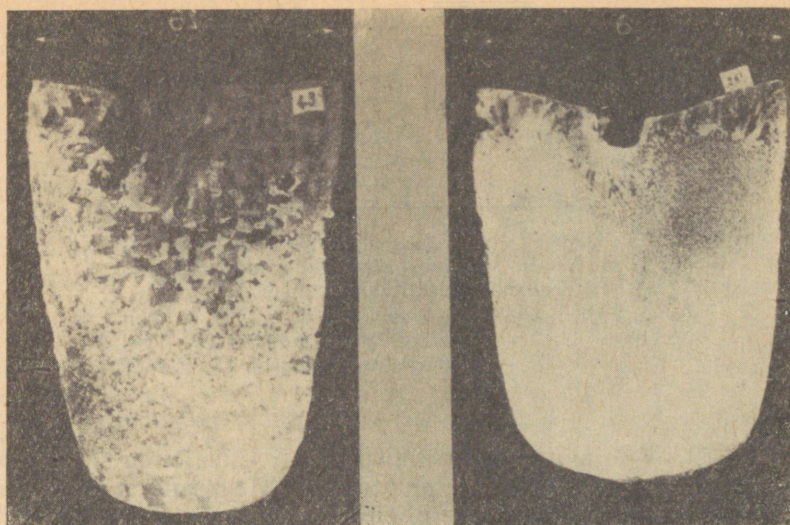
a



b

Joon. 36. Firma «Atlas» magnetostriktiivne vibraator sulatiste kiiritamiseks:

a — üldvaade; *b* — skeem.



a

b

Joon. 37. Duralumiiniumi kiiritamisel toimuvad struktuuri muutused:
a — kiiritamata; *b* — kiiritatud.

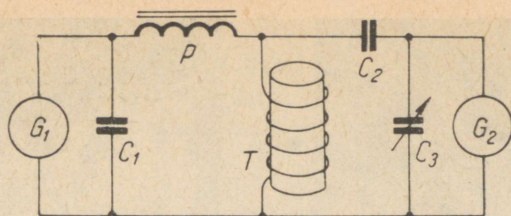
Seoses sellega pakub suurt huvi mehaaniliste võnkumiste saamise võimalus sulatistes elektrodünaamiliste jõudude toimel [45]. Elektrodünaamilist jõudu ühe mahuühiku kohta sulatatud metalli mingis punktis võib leida valemiga

$$F = j \left(\frac{1}{2} H + \frac{1}{2} H \cos 2 \omega t \right),$$

kus j — voolutiheduse maksimaalväärtus;
 H — indutseeritud magnetvälja tugevuse amplituud;
 ω — nurksagedus.

Selles valemis esineva summa esimene liige väljendab alalist jõudu, millel induktsooniahjus on läbisegav toime, teine liige — aga mehaanilist vibratsiooni, mille sagedus on kaks korda suurem vahelduvmagnetvälja sagedusest. Et teise liikme ajaline keskvärtus on võrdne nulliga, siis arvestatakse ainult valemi esimest liiget, mis tagab sulatise läbisegamist.

Esmarch, Rummel ja Boiter tegid sulatise mehaanilise vibratsiooni tugevdamiseks lihtsa ettepaneku. Nad liitsid induktsooniahjus tekitatud vahelduvmagnetväljale staatilise magnetvälja. Sellise seadme printsiipiaalne lülitusskeem on näidatud joonisel 38. Kuumutusvoolu sageduseks oli 10 kHz, vajalik vahelduvvoolu



Joon. 38. Skeem sulatistes elastsete võnkumiste tekitamise kohta elektrodünaamilisel teel:

G_1 — 5-kW alalisvoolugeneraator; C_1, C_2, C_3 — kondensaatorid; P — paispool, T — induktoriga tiigel; G_2 — kõrgsagedusgeneraator.

võimsus 10 kW ja alalisvoolu võimsus 5 kW. Lisajõudu saab reguleerida sulatise temperatuuri muutmata. Niisugune seade töötab edukalt alumiiniumi ja tema sulamite degaseerimisel firma «Siemens» ettevõtetes.

Ultraheliga kiiritamist alustatakse temperatuuril, mis ületab sulamistemperatuuri umbes 50°C võrra ja jätkatakse kuni täieliku tardumiseni.

Ultrahelikiirguse väikese intensiivsuse korral, mis ei võimalda kavitatsiooni tekkimist, võib tähele panna sulami ühe komponendiga rikastatud kristallide eraldumist.

3. Ultraheli kasutamine keevitamisel

Keevitustehnikas saab ultrahelil kasutada [65, 66]:

1) metalliliste ja mittemetalliliste materjalide ühendamiseks punkt-, põkk- ja joonkeevitusega;

2) metallide pindkilede purustamiseks; see võimaldab kasutada ultraheli koos tavalise kontaktkeevitusega kaitsekihiga materjalide ja oksüüdiga kaetud metallide ühendamiseks;

3) keevisliidete mehaaniliste omaduste parandamiseks kaar- ja räbu-elektrikeevitamisel; ultraheli mõjul toimub metalliõmbluse struktuuri peenenemine ja gaaside eemaldumine vahetult keevitusvannis õmbluse kristalliseerumisprotsessis;

4) keevisõmbluse tugevuse suurendamiseks valmis keevisühenduse kiiritamise teel;

5) keevisliidete kvaliteedi tõstmiseks keevitamise ajal tekkivate sisepingete ja deformatsioonide kõrvaldamise tõttu;

6) keeviskonstruktsioonide deformeerumise kõrvaldamiseks ja keevisliite metalli struktuuri stabiliseerimiseks austeniidi lagunemise loomuliku protsessi kiirendamise teel; selle tulemusena väheneb pragude tekkimise võimalus.

Ultrahelikeevitust võib praegusel ajal kasutada peamiselt väikese pakusega elementide korral (vt. tabel 8) ning samuti õhukeste elementide keevitamisel paksematega.

Ultrahelikeevituse protsess toimub üldjoontes järgmiselt. Kõrgsageduslike polaarsust muutvate nihkepingete mõjul puhastatakse keevitatava koha pind võõrsadestusest ja oksüüdikihist. Kuna viimastel on põhimetalliga võrreldes väiksem tugevus ja plastilisus, siis nad purunevad.

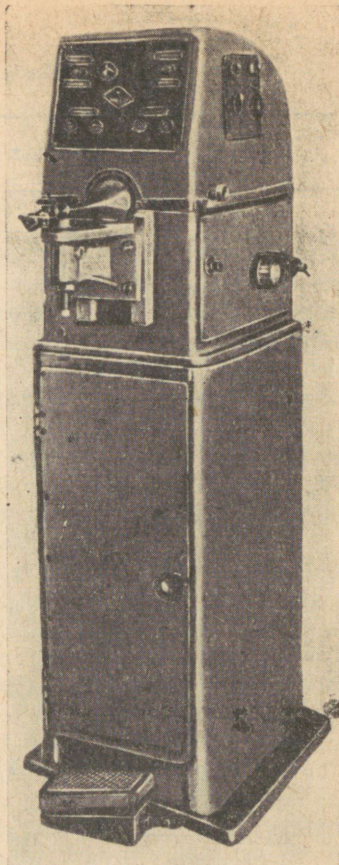
Kõrgsageduslike võnkumiste mõjul kontaktikohtades eralduva soojuse ning survejõu koosmõjul moodustuvad keevitatavate elementide kokkupuutepinnal ühised kristallid ja seega tekibki tugev keeviliide.

Näitena on allpool toodud õhukeste metall-lehtede punktkeevitamiseks ettenähtud ultraheli-keevitusaparaadi Y3CM-1 (joon. 39) tehnilised andmed.

Ühendatavad metall-lehed asetatakse alusele ja surutakse üksteise vastu ultraheliseadme otsikuga. Keevitavate detailide kokkusurumiseks vajalik jõud, mida saab sujuvalt reguleerida piirides 20—100 kg, tekitatakse pneumaatilise seadmega.

Ultraheli mõjumise aeg on 0,5—3 sekundit.

Ultraheliaparaati Y3CM-1 võib toita generaatorist Y3Г-10 või Y3Г-2,5 (õhemate materjalide korral). Aparaadis kasutatakse magnetrostriktiivset muundajat ПМС-15. Seade on kasutatav ka poolautomaatsena.



Joon. 39. Ultraheli-keevitusaparaadi Y3CM-1 üldvaade.

Aparaadi Y3CM-1 tehnilised andmed

Magnetrostriktiivse muundaja võimsus	2,5—4 kW
Töösagedus	19,5 kHz
Keevitatavaid detaile kokkusuruv jõud	
minimaalne	20 kg
maksimaalne	100 kg
Maksimaalne kaugus keevitatavast punktist kuni lehe servani	75 mm

Punktühenduste tugevus ultrahelikeevitamisel

Materjal	Paksus mm	Lõikejõud kg	Punkti purustamine
A 1	0,5	$\frac{43-55}{53 (15)}$	rebimiseega
„	1,0	$\frac{97-108}{103 (9)}$	„
„	1,5	$\frac{130-165}{150 (10)}$	lõikega
Д1АМ	0,5	$\frac{68-80}{74 (5)}$	rebimiseega
Д16АМ	0,5	$\frac{62-80}{72 (9)}$	„
„	1,0	$\frac{209-229}{220 (7)}$	„
„	1,2	$\frac{233-273}{250 (5)}$	„
„	1,5	$\frac{214-256}{236 (6)}$	lõikega
Д16АТ	0,8	$\frac{140-154}{146 (5)}$	„
„	1,0	$\frac{137-218}{163 (9)}$	„
„	1,5	$\frac{160-172}{170 (4)}$	„
АМГ6-Т	0,5	$\frac{97-120}{109 (5)}$	rebimiseega
АМГ3	0,8	$\frac{91-132}{108 (7)}$	„

Märkus. 1. Lugejas on näidatud lõikejõu äärmised, nimetajas keskmised väärtused. Arv sulgudes — teostatud katsete arv.

2. Keevituspunkti läbimõõt oli keskmiselt 4 mm.

Veekulu	3 l/min
Gabariitmõõtmed	
pikkus	670 mm
laius	430 mm
kõrgus	1250 mm
Kaal	120 kg

4. Ultraheli kasutamine elektrokeemias

A. Rolli, G. Schmidt ja hiljem E. Jegeri ning F. Govorki uurimused näitasid [46], et elektrolüütilises vannis tekitatud ultrahelivälja toimel tekivad järgmised elektrokeemilised nähtused: protsessid elektroodidel (mõjumine metallide sadestamisele ja vesiniku ülepinge vähenemine katoodeprotsessides ning mõjumine metallide lahustumisele ja passiivsusele anoodprotsessides), elektrokineetilised efektid ja elektrilised efektid.

Ultraheliväli mõjutab vesiniku ülepinge suurust intensiivse ümbersegava tegevuse tõttu, mis kiirendab nii vesiniku molekulide ärajuhtimist kui ka uute kohtade moodustumist elektroodil vesiniku laenguvabade aatomite adsorbeerimiseks.

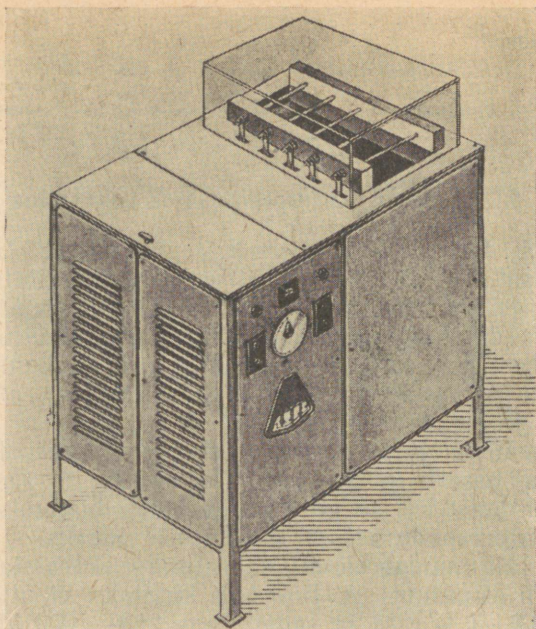
Ultraheliväli muudab metalli sadestamise potentsiaali ja sadestunud metalli struktuuri. A. Roll tegi kindlaks, et ultraheli intensiivsusega $0,8-1 \text{ W/cm}^2$ ja sagedusega $200-1000 \text{ kHz}$ vähendavad nikli, vase ja hõbeda sadestamise potentsiaali elektrolüüdi kontsentratsiooni langemise piirkonna vähenemise tõttu elektroodi ees. Nõrgad ultraheliväljad suurendavad mitmekordselt kasutegurit (voolu järgi) ja voolutihedust. Kuid nagu näitasid V. T. Jung ja G. Kersten, sadeneb metall $1,8\text{-MHz}$ sagedusega ultraheliväljas piki ultrahelilainete levimissuunda paigutatud elektroodidel kohtades, kus ultrahelikiirguse rõhk on suurim, s. t. võnkumiste sõlmedes. See põhjustab seisvate lainete korral lainelise pinna moodustumist. Mõningail juhtudel soodustab ultraheliväli sadestunud metalli kõvaduse ja tiheduse suurenemist.

Ultrahelivälja toimel kaob raua passiivsus, mida põhjustab kaitsekile tekkimine näiteks raua söövitamisel väävelhappes. Seda ultraheli toimet võib kasutada söövitamisprotsessi kiirendamiseks. Ultraheli intensiivsuse mõningate keskmiste väärtuste juures võib aga tähele panna vastupidist nähet, s. t. kujunevad tingimused, mis soodustavad oksüüdikihi kiiret tekkimist ja kiirendavad potentsiaali kõrgemate väärtuste saamist.

Nagu näitasid G. Schmidt ja G. Knap'i uurimused, kasvab ultrahelivälja toimel vahelduvpotentsiaal elektrolüüdi lahjendatud lahusesse asetatud poorse diafragma mõlema poole vahel.

Masside erinevuse tõttu toimub anioonide ja katioonide võnkuv liikumine ultraheliväljas erineva amplituudiga. Selle tulemusena tekib lahjendatud elektrolüüdi teatud lõikudes potentsiaalide vahe.

Reas masinaehitustehastes on edukalt tehtud katseid ultraheli



Joon. 40. Galvaaniliste katteprotsesside kiirendamiseks ettenähtud ultraheliagregaadi Y3AG-1 üldvaade.

kasutamiseks elektrokeemiliste protsesside kiirendamiseks pindade katmisel. Nii näiteks E. G. Rutteri (Gorki linn) andmeil töötab Gorki Autotehases sel eesmärgil viis ultraheligeneraatorit võimsusega 2 kW, sagedusega 15—50 kHz. Nende abil kiirendatakse detailide puhastamist (pesemist) ja teostatakse detailide galvaanilist katmist.

Gorki Autotehases on kindlaks tehtud, et ultraheli mõjul kiireneb voolutiheduse viiekordsel suurenemisel tsingi, vase ja nikliga katmise protsess samuti viiekordselt. Tuleb märkida, et samas tehases saadi elektrokeemiliste protsesside kiirendamisel tulemusi, mis tunduvad ületavad kirjanduses avaldatud andmeid.

On välja töötatud ultraheliagregaat Y3AG-1 (joon. 40) galvaaniliste katmisprotsesside kiirendamiseks hõbetamise, vasetaamise, kadmeerimise jt. vannides.

Ultraheli tekitatakse vanni külgsentele kinnitatud kahe magnetstriktiivse vibraatoriga ПМС-6. Vibraatoreid toidetakse generaatoreist Y3Г-10 või Y3Г-2,5.

Vanni temperatuuri reguleeritakse automaatselt. Agregaadiga saab detaile katta nii ühe- kui ka kahepoolselt.

Agregaadi Y3AT-1 tehnilised andmed

Töösagedus	19,5 kHz
Vibraatori nimivõimsus	2,5 kW
Jahutusvee kulu	5—8 l/min.
Surve veevarustusvõrgus	2—2,5 at
Ultrahelivanni mõõtmed	
pikkus	560 mm
laius	250 mm
kõrgus	468 mm
Alaldaja maksimaalne vool	200 A
Elektroodide pinge muutmise piirid	0—12 V
Elektroodide vahekaugus	100 mm
Töödeldavate toodete maksimaalsed mõõtmed	200×200 mm
Agregaadi gabariitmõõtmed	1230×1070×730 mm
Kaal	180 kg

5. Kõvade ja habraste materjalide töötlemine ultraheli abil

Kõvade ja habraste materjalide ultraheliga mehaanilise töötlemise suhteliselt kiire juurutamine on seletatav suure majandusliku efektiga neis ettevõtetes, kes kasutavad töötlemise seda progressiivset meetodit.

Seadmete ja instrumentide lihtsus, töödeldud toodete suur täpsus ja puhtus aitavad kaasa ultraheliga mehaanilise töötlemise edasisele arengule ja veelgi laialdasemale juurutamisele masinaehituses ja aparaaditööstuses.

Kõvade ja habraste materjalide mehaaniliseks töötlemiseks määratud ultraheliseadmetes kasutatakse enamikul juhtudel magnetostriktiivseid muundajaid. Kasutatavale sagedusribale (18—30 kHz) on neid muundajaid lihtne valmistada ja kerge käsitseda. Ultraheli puurimisseadmete laialdast levikut on soodustanud ka nende odavus.

Magnetostriktiivse efekti suurendamiseks tekitatakse magnetostriktori paketi peale vahelduvmagnetvälja veel püsivmagnetväli. Viimane saadakse kas spetsiaalse eelmagneetismähisega või põhiergutismähisesse alalisvoolu juhtimise teel.

Kõvade ja habraste materjalide lõikamine (puurimine) ultraheliga põhineb abrasiivi ja vee või abrasiivi ja õli vedelas suspensioonis ultrahelivõnkumiste mõjul tekkivate jõudude kasutamisel, mis põhjustavad suspensioonis kavitatsiooninähtuse ilmumise.

Puur, mille ristlõige vastab töödeldavasse detaili või toorikuisse tehtavale ristlõikele, liigub üles-alla sagedusega 18—30 kHz. Suspensioon, mis voolab detaili töödeldavale kohale, sisaldab suures koguses teravaid abrasiivterakesi. Suspensioonis tekkivate jõudude toimel uuristavad need terakesed järk-järgult töödeldavasse tootesse puuri kujule vastava augu. Abrasiivterakeste liikumine toimub kiirendusega, mis kümneid ja sadu tuhandeid kordi ületa-

vad raskuskiirenduse ($g=9,81$ m/s), ja jõuga, mis on mitu tuhat korda suurem abrasiivtera omakaalust.

Töötlemise tootlikkus sõltub sagedusest, puuri võnkumise amplituudist, ettenihkejõust, abrasiivterakeste kõvadusest ja suuruselt, suspensiooni ja töödeldava materjali füüsikalistest omadustest, puuri kujust, pinna suuruselt ja materjalist ning suspensiooni kontsentratsioonist ja töötlemise sügavusest.

Tootlikkuse seisukohalt on suur tähtsus ka kasutatavate abrasiivterakeste kvaliteedil, mis sõltub iga tera teravate servade arvust.

Abrasiivterakestena kasutatakse materjale, millel on suur kõvadus või äärmisel juhul töödeldava materjaliga võrdne kõvadus (teemanditolm, boorkarbiid, korund jt.).

Kuna töötlemisprotsessi mehhanism ei ole veel täiesti selge, on töötlemise kõrget tootlikkust tingivate parameetrite optimaalne seos kindlaks tehtud eksperimentaalselt.

Materjalide puurimist iseloomustavaid andmeid, mis on saadud nende töötlemisel ultraheli-tööpingil «Raiton», on toodud tabelis 9. Samas on näidatud ka puuri kulumise määr.

Puurile rakendatav jõud on tööstuses kasutatavatel pinkidel [49] 0,1—4,5 kg piirides (kõvasulamite töötlemisel 1,5 kg, klaasil — 0,5 kg, germaaniumil mitte alla 0,1 kg). Real seadmetel vähendatakse töötlemise lõpul kildude tekkimise ennetamiseks ettenihkejõudu.

T a b e l 9

Tööpingil «Raiton» saavutatud mõningaid töötlemisparameetreid

Töödeldav materjal	Materjali puurimise maht mm ³ /min	Puuri kulumine %-des puurimise mahust	Suurim töödeldud pind cm ²
Kvarts	144	2,00	9,0
Ferriit	240	0,50	20,0
Germaanium ja räni	240	0,50	20,0
Keraamilised materjalid	192	0,67	15,5
Klaas	321	0,50	20,0
Klaasmikaniit	240	0,50	20,0
Pärilmutter	240	0,50	20,0
Boorkarbiid	48,1	33,30	7,1
Süntetiline rubiin	64,5	50,00	7,7
Volframkarbiid	28,8	100,00	7,7
Tööriistateras	22,5	100,00	7,7

Märkus. Tööpingi võimsus 700 W; sagedus 25 kHz; puuri võnkumise amplituud 0,076 mm; puuri läbimõõt 12,7 mm; töötlemise sügavus 12,7 mm; boorkarbiidabrasiiv tera suurusega 320 mesh.

Töötlemistäpsus ja -puhtus sõltuvad abrasiivtera mõõtmetest, puuri valmistamise täpsusest ning tööpingi ja puuri jäikusest (tabel 10).

Tabel 10

Töötlemistäpsuse ja -puhtuse sõltuvus abrasiivtera suuruselt [49]

Tera mesh	Töötlemistäpsus μ	Pinna ebataasuse keskmine ruutkõrgus μ	Märkus
120—180	76	—	
240—280—320—420	50	0,456—0,635	
600—800—1000	13	0,25—0,38	
1000	5—7,5	0,2	
1600—2200	osa mikroonist	—	Poleeritud pind

Märkus. Keraamiliste materjalide töötlemisel on suurim täpsus 50 μ .

Ekspluatatsioonis olevatel tööpinkidel töödeldakse auke läbimõõduga 0,15—90 mm. Üheaegselt töödeldava pinna suurus sõltub tööpingi võimsusest (tabel 11).

Tabel 11

Üheaegselt töödeldava detailipinna suuruse sõltuvus tööpingi võimsusest

Võimsus kW	Töödeldava augu läbimõõt mm	Suurim töötlemise sügavus mm
0,05	ligikaudu 9	9—12
0,25	„ 25	50
0,5—0,7	„ 50	50
1,0—1,5	„ 76	—
2,0—2,4	„ 90	—

Ultraheliga töötlemisel tekkivate jäätmete eemaldamise raskus alandab ultraheli-tööpinkide tootlikkust ja piirab üheaegselt töödeldava pinna mõõtmeid. Nende puuduste kõrvaldamiseks tegi ins. N. V. Klimušinski ettepaneku anda puurile peale üles-alla liikumise ka edasi-tagasi või ringliikumine.

Puur valmistatakse sitkest ja kergesti sepistatavast materjalist (teras 40 või 50). Kulumise vähendamiseks valmistatakse puurid mõnikord ka roostekindlast terasest.

Puuri ristlõige on 0,065—0,25 mm väiksem tema nimimõõtmetest.

Tabelis 12 on toodud mitmesugusest materjalist puuride suhtelise kulumise väärtused (protsentides puuritavast mahust).

Tabel 12

Töötlemise kiirus ja puuri kulumine

Materjal	Augu töötlemise (läbimise) kiirus mm ³ /min	Puuri kulumine (%-des töödeldava augu sügavusest)
Klaas	200	0,8
Ahhaat	54	4,0
Rubiin	30	8,0
Keraamilised materjalid	26	6,0
Kõvasulamid	4—10	50—100
Boorkarbiid	4,5	50
Duralumiinium	3,8	25
Valgevask	3,6	40
Kiirlõiketeras	2,2	200
Süsinikteras	1,8	100
Legeeritud teras (12% kroomi)	1,6	200

Tabelites 13, 14 ja 15 on toodud andmeid ultrahelitöötlemise kiiruse kohta mitmesuguste materjalide ja suspensioonide korral.

Tabel 13

Töötlemise kiiruse sõltuvus kasutatavast vedelikust

Vedelik	Töötlemise kiirus mm/min	
	Väike auk	Sügav auk (6,4 mm)
Vesi 20° C	0,89	0,51
Vesi seebilahusega	0,86	0,51
Trafoõli	0,25	—
Masinaõli	0,31	0,05
Linaõli	0,25	—
Bensiin	0,64	—
Etüülpiiritus	0,51	—
Triklooretüleen	0,43	—
Petrooleum	0,63	—
Tsükloheksaan	0,66	—

Märkus. Monoliitne puur läbimõõduga 6,4 mm; boorkarbiid — abraasiiv 400 mesh; võnkumisamplituud 32 μ ; staatiline koormus — optimaalne.

Mõningaid andmeid klaasi ja volframkarbiidi ultrahelitöötlemise kohta
mitmesugusest materjalist puuriga

Puuri materjal	Klaas			Volframkarbiid		
	Puuri pikkuse vähenemine mm	Augu sügavus mm	Puuri kulumine detaili suhtes %	Puuri pikkuse vähenemine mm	Augu sügavus mm	Puuri kulumine detaili suhtes %
Vask	0,062	13,0	0,48	—	—	—
Hõbeteras	0,062	13,7	0,46	0,30	1,15	26
Roostevaba teras	0,200	28,5	0,700	0,40	1,12	35
Volframkarbiid	0,037	37,1	0,10	3,44	3,13	110
Valgevask	0,520	31,1	1,68	4,36	3,13	140
Pehmeteras	0,45	46,0	1,00	2,75	3,13	88
"	—	—	—	3,90	3,13	125
"	1,33	60,0	2,20	—	—	—
"	—	—	—	4,25	1,87	222

Tabel 15

Optimaalsel staatilisel koormusel klaasi töötlemise kiirus
boorkarbiidabraseiiviga 0,25 mm sügavuselt

Puuri materjal	Abrasiivi teralikus mesh	Võnkumisamplituud	
		50 μ	25 μ
		Töötlemise kiirus mm/min	
Vask	100	1,6	0,41
"	400	0,51	0,015
Valgevask	100	2,3	0,56
"	400	0,71	0,020
Pehmeteras	100	2,2	0,53
"	400	0,56	0,018
Hõbeteras	100	1,9	0,51
"	400	0,56	0,020
Roostekindel teras	100	1,8	0,46
"	400	0,51	0,015
Volframkarbiid	100	3,9	0,96
"	400	2,54	0,76
Pehmeteras	100	3,8	0,91
"	400	2,59	0,74



Joon. 41. Ultraheliseade kõvade ja habraste materjalide töötlemiseks.

Emulsioonide valmistamiseks kasutatakse boorkarbiidi, räni-karbiidi, karborundi ja korundi abrasiivpulbreid. Parimaks peetakse boorkarbiidi (erikaal $2,5 \text{ g/cm}^3$), mis hästi seguneb veega ja ei sadene suspensioonist välja.

Väikese sitkuse, heade jahutavate omaduste ja rahuldava segunemisvõime tõttu on vedelikuna kõige enam kasutamist leidnud vesi.

Allpool on toodud kõvade ja habraste materjalide töötlemiseks kasutatavate mõningate tööstuslike ultraheliseadmete kirjeldused.

Ultraheliseade kõvade ja habraste materjalide töötlemiseks (joon. 41) koosneb toiteblokkist ja tööpingist.

Toiteblokk (joon. 42) on monteeritud kappi mõõtmetega $650 \times 650 \times 1500 \text{ mm}$. Toitebloki väljandvõimsus on 1 kW. Genereeritavate sageduste riba 13—27 kHz on jaotatud kolmeks sagedusalaks 13—17 kHz, 17—22 kHz ja 22—27 kHz, mille ulatuses sagedus on sujuvalt reguleeritav. Toiteblokk lülitatakse elektrivõrku

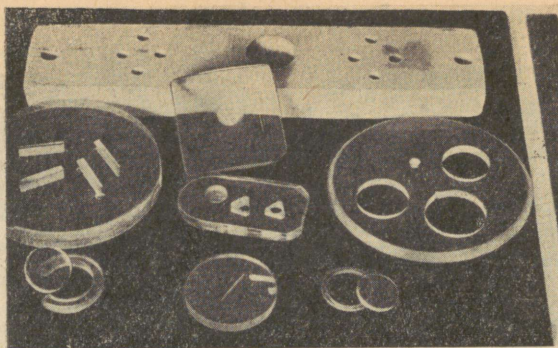


Joon. 42. Joonisel 41 näidatud ultraheliseadme (1,0 kW, 20 kHz) toiteblokk (vaade katteta tagaküljele).

220 V, 50 Hz. Toiteblokiks on kahe lambiga 6H8 töötav multivibraator, millelt võnkumised kantakse üle faasipööramisastmele (kaksiktriiod 6H9) ja seejärel pingevõimendajale (kaks lampi 6H3), mis töötavad vastastaktlülituses. Järgnevalt juhitakse võnkumised eelviimasesse astmesse (kaks lampi TY-50), kust nad kanduvad üle võimsusvõimendajasse, milles töötavad vastastaktlülituses kaks pentoodi TY-80.

Võimsusvõimendajast juhitakse elektrilised võnkumised väljandtransformaatori magnetostriktiivse vibraatori (ristlõikega 25×25 mm) ergutusmähisesse, kust nad lõpuks kantakse üle puurile ultrahelivõnkumistena.

Generaatori võimsuse reguleerimine toimub pentoodide TY-80



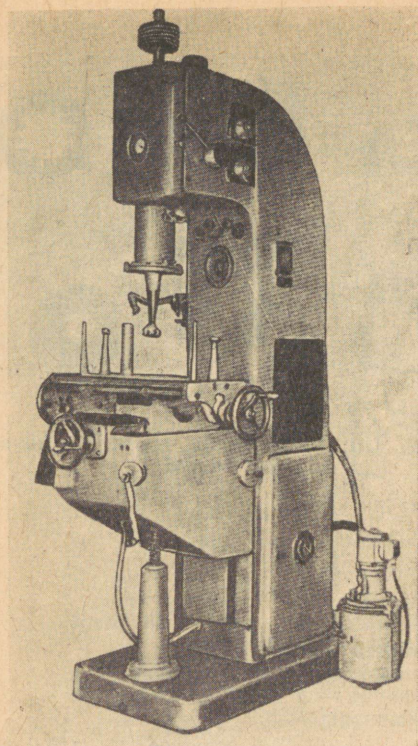
Joon. 43. Ultraheliga töödeldud optilised ja
keraamilised tooted.

juhtvõrele antava negatiivse eelpinge muutmisega. See pinge saadakse täisperioodalaldajalt (lambiga 5L14) filtri ja pingejagaja kaudu.

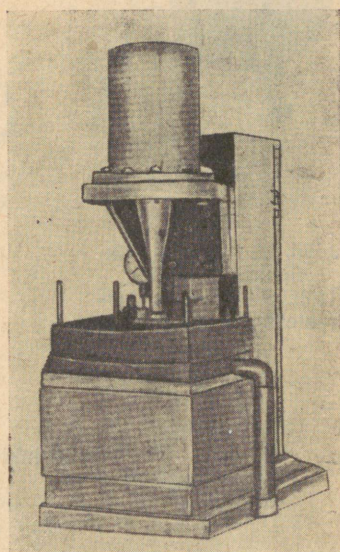
Magnetostriktiivse vibraatori võnkumiste amplituud on väike ($5-10\mu$), töötlemise tootlikkus on aga võrdeline võnkumiste amplituudiga. Seepärast asetatakse puuri ja magnetostriktori vahele nn. koondaja ehk amplituudtransformaator, mis lihtsalt mehaanilisel teel suurendab puuri võnkumiste amplituudi kuni $20-100\mu$ -ni.

Mõnel samal ultraheli tööpingil töödeldud toodete fotod on toodud joonisel 43.

Ultraheliseadme efektiivsust iseloomustab näiteks see, et kui varem kulus tehasel 12 optilise detaili valmistamiseks kuus tundi, siis ultraheliga töötlemisel kestab sama operatsioon ainult üks minut.



Joon. 44. Ultrahelitööpink Y3C-1.

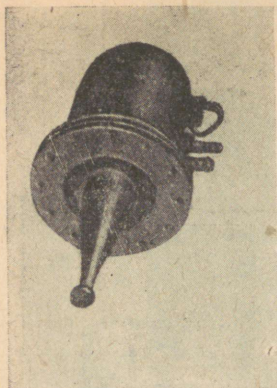


Joon. 45. Ultrahelitööpink Y3C-3.

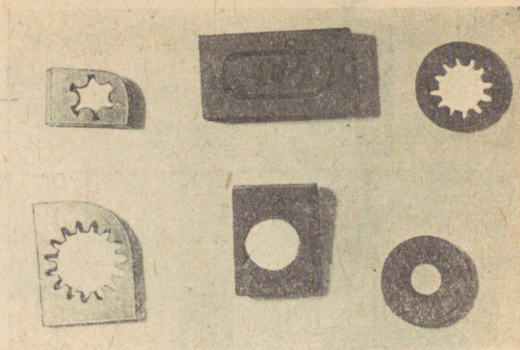
Ultraheli-tööpingid Y3C-1 (joon. 44) ja Y3C-3 (joon. 45) on samuti varustatud magnetroktiivsete vibraatoritega. Nimetatud pinke kasutatakse mitmesuguse keerulise kujuga toodete ja instrumentide valmistamiseks kõvadest ja habrastest materjalidest (näit. kõvasulamitest, keraamilistest materjalidest, klaasist, kunstlikest ja looduslikest kividest).

Magnetroktiivsete vibraatorite tehnilised andmed

	PMC-1	PMC-9	PMC-11	PMC-13
Omvõnkumiste sagedus kHz	19,5	20	22	22
Maksimaalne tarbitav võimsus kW	2	2	1,25	0,3
Jahutusvee kulu l/min	0,5	0,5	0,2	0,1
Koondaja puuripoolse otsa läbimõõt mm	40	40	20	20
Keere puuri kinnitamiseks	M20×1,5	M20×1,5	M10×1	M10×1



Joon. 46. Magnetostriktiivne muundaja ПМС-9 kõvade ja habraste materjalide töötlemiseks.

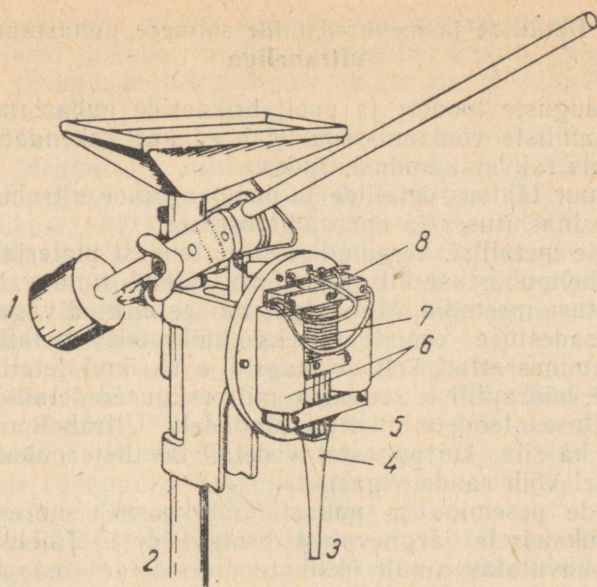


Joon. 47. Ultraheliseadmega töödeldud kõvasulamist detailid.

Tööpinkide tehnilised andmed

	УЗС-1	УЗС-3
Töölaud mm	260×600	150×180
Töölaua käik mm		
risti	230	—
piki	360	—
vertikaalne	200	50
Vahetatavate magnetostriktiivsete vibraatorite arv	3	1
Vibraatori tüüp	ПМС-1	ПМС-9
Vibraatori võimsus kW	0,5; 1; 1,5	0,5
Gabariitmõõtmed mm		
pikkus	1125	260
laius	1405	475
kõrgus	2100	540
Kaal kg	850	80

Firma «Cavitron Equipment Corporation» ultraheliseade võimsusega 500 W töötab sagedusega 16—29 kHz. Toitmine toimub elektrivõrgust 120 V, 60 Hz. Kasutatakse mitmesuguste kõvasulamist detailide, nagu fillerite, matriitside ja stantsitemplite töötlemiseks ja graveerimiseks (joon. 47). Selle tööpingi tootlikkust iseloomustatakse järgmiste näidetega: 1) 1,6 mm pikkuse küljega ja 6 mm sügavuse ruudukujulise augu tegemiseks Al-Ni-Co sulamist detaili kulus 1,5 minutit; 2) auk läbimõõduga 0,8 mm tehti korunddetaili paksusega 12,7 mm umbes 2 minutiga.

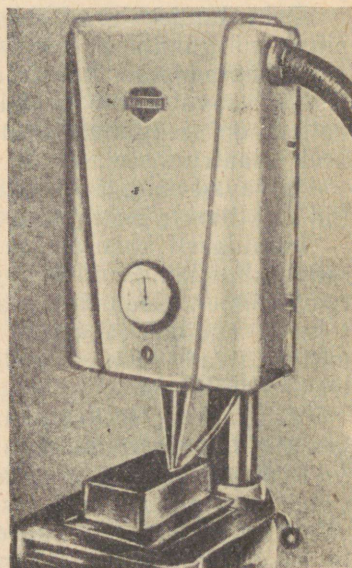


Joon. 48. Firma «Mullard» 50 W võimsusega ultraheliseade kõvade ja habraste materjalide töötlemiseks:

1 — vastukaal; 2 — kandesammas; 3 — instrument; 4 — koon-daja; 5 — lainejuht; 6 — eelmagneetimisiseade; 7 — ergutusmähis; 8 — magnetrostriktori südamik.

Sama firma toodab kõvade ja habraste metallide töötlemiseks veelgi võimsamaid (1,5 kW) ultraheliseadmeid.

Firma «Mullard» väike ultraheliseade võimsusega 50 W on näidatud joonisel 48 ning võimsusega 250 W — joonisel 49. Neid kasutatakse samal eesmärgil kui eespool kirjeldatud seadmeid.



Joon. 49. Firma «Mullard» 250 W võimsusega ultraheliseade kõvade ja habraste materjalide töötlemiseks.

6. Detailide ja mehhanismide sõlmede puhastamine ultraheliga

Mitmesuguste toodete ja poolfabrikaatide puhastamine ultraheli mehaaniliste võnkumistega leiab edukat rakendamist kõige erinevama is rahvamajandusharudes.

Eriti suur tähtsus detailide ja mehhanismide ultrahelipuhastusel on masinaehituses ja aparaaditööstuses.

Väikeste metallist, keraamilistest ja teistest materjalidest toodete ultrahelipuhastuse kiirus ja täpsus ületab tunduvalt kõik teised puhastuse meetodid. Muuhulgas on see meetod väga otstarbekas võõrsadestuse eemaldamiseks väikestelt metalldetailidelt (täppis-hammasrattad, kellade laagrid ja üksikud detailid, potentsiomeetrid, hüdrauliliste seadmete mitmesugused detailid jt.) ning optikatööstuses toodete lihvitud pindadelt. Ultrahelipuhastus on kasutatav ka siis, kui puhastatav detail tavaliste puhastusviiside kasutamisel võib saada vigastada.

Detailide pesemine ja puhastamine koosneb suurest hulgast, osaliselt üksteisele järgnevatest protsessidest. Täielik puhastamine on saavutatav ainult üksikute protsesside vastastikuse toimega. Võõrsadestus koosneb mitmesugustest ainetest, näiteks kõrvuti pigmentainetega on neis rasvu ja õlisid, mille osakesed on kleepunud nii omavahel kui ka detailiga.

Puhastusprotsess seisneb kahe põhiülesande lahendamises:

- 1) rasvainete lahustamine ja emulgeerimine,
- 2) võõrsadestuse mehaaniline eemaldamine puhastatava toote pinnalt.

Puhastamise vajalikuks eelduseks on puhastatava detaili pinna märgumine pesemisvedelikuga.

Puhastamiseks kasutatava pesemisvedeliku suur märgamisvõime saavutatakse peamiselt pindpinevuse vähendamisega. Nii näiteks on seebilahusel tunduvalt väiksem pindpinevus kui puhtal veel. Naatriumseebid või kõrgemate rasvhapete kaaliumsoolad soodustavad samuti rasvade emulgeerimist ja nad on ammu tuntud efektiivsete emulgaatoritena õli emulsiooni saamisel vees.

Laialdaselt kasutatakse puhastamiseks mitmesuguseid orgaanilisi lahustajaid, mille mõju põhineb rasvade ja õlide heal lahustamisvõimel. Seda liiki lahustajate hulka kuuluvad: bensool, toluool, ksülool ja teised süttivad lahustajad ning kloreeritud mittesüttivad süsivesikud: tetrakloorsüsinik, triklooretüleen ja tetraklooretüleen.

Vähem kasutatakse puhastamiseks alkohole — peamiselt kõrgematel temperatuuridel ja spetsiaalsetel eesmärkidel.

Real juhtudel kasutatakse ultrahelipuhastusel edukalt pesemisvedelikuna puhast vett, sest ultrahelikiirgus soodustab osakevaheliste ja osakeste ning detailidevaheliste sidemete nõrgenemist ja rasvade intensiivset emulgeerimist vees. Tuleb märkida, et

kuigi ultraheli ise ei avalda mingit erilist keemilist toimet, kiirendab ta paljudel juhtudel tunduvalt keemilisi reaktsioone ja sageli soodustab niisuguste reaktsioonide kulgemist, mis tavalistes tingimustes osutuvad võimatuks.

R. Pohlman [40] arvab, et ultrahelipuhastamise mehhanism on seletatav järgmiselt: ultrahelivõnkumised sagedusega 20—5000 kHz tungivad kergesti metallidesse, klaasi ja teistesse suhteliselt väikese sisehõõrdumisega materjalidesse. Ultrahelilaine poolt tekitatavad jõud avalduvad eriti tugevalt toote pinnal. Nendemärki muutvate jõudude toimel moodustavad võõrsadestuse osakesed peseva lahusega kiiresti emulsiooni või suspensiooni, mis eemaldatakse pesemisvedelikuga.

Seega pesemisvedeliku ülesandeks ei ole toote pinnal oleva võõrsadestuse osakestevaheliste sidemete nõrgendamine, vaid ainult võõrsadestuse kõrvaldamine puhastatavalt pinnalt.

Siit järeldub, et ultrahelipuhastuse korral on peale elastsete mehaaniliste võnkumiste vajalik veel pesemisvedeliku liikumine, kusjuures viimase kiirus võib olla väga väike.

Need kaalutlused on õiged tingimusel, et võõrsadestuse osakesed disperseeritakse ja suspenseeritakse pesemisvedelikes ultraheli mõjul. Võnkumiste tulemusena väheneb tunduvalt hõõrdumine võõrsadestuse osakeste ja puhastatava pinna vahel, mistõttu osakeste eemalekandmine toimub pesemisvedeliku suhteliselt väikese liikumiskiiruse korral. Puhastamisel võib suurimat efekti saada siis, kui detail on vannis nii, et puhastatavad kanalid ja sisselõiked oleksid orienteeritud võimalikult vertikaalsihis ja pesemisvedeliku liikumine toimuks ülevalt alla.

R. Pohlmani arvates omab kasutatav ultrahelisagedus väiksemat tähtsust, kui seda tavaliselt oletatakse.

Jämedakoosseisulise võõrsadestuse eemaldamiseks suhteliselt suurtelt toodetelt on otstarbekas kasutada suuremat võnkumiste amplituudi ja väiksemaid kiirendusi ultrahelivälja intensiivsuse püsiva väärtuse juures. Peale selle soodustavad puhastamist kavitatsioonimullikesed, mis oma sulgumise hetkel tekitavad hetkeliselt surve kuni 10 000 at ning mikrokoopilise vasara löökidenä purustavad võõrsadestuse.

Nimetatud puhastustingimused põhjustavad suhteliselt madalate sageduste kasutamist. Kõrgemate sageduste korral on surve ja hõõrdusfaaside vaheline aeg mitteküllaldane kavitatsioonimullikeste tekitamiseks. Kuna aga energiatihedus kasvab võrdeliselt sageduse ruuduga, siis on kõrgema sageduse kasutamisel võimalik juhtida võõrsadestuse väiksemasse lõiku tunduvalt suuremat energiat kui madala sageduse korral. Seega väikeste detailide puhastamiseks on otstarbekam kasutada kõrgema sagedusega võnkumisi.

Kuna absorptsioon samuti suureneb koos sageduse tõusuga, siis õiliste jääkide olemasolul põhjustab suure tihedusega ultra-

helienergia nende kiire kuumenemise ja vedeldumise, mis tunduvalt aitab parandada nende ainete lahustuvust pesemisvedelikus.

Sellest seisukohast lähtudes on täiesti ükskõik, kas puhastamine toimub detaili sellel küljel, mis on pööratud ultraheli allika poole, või detaili vastasküljel. Vahe on ainult selles, et allika poole pööratud detailiküljel kasutatakse efektiivselt ultraheli kogu energia, samal ajal kui detaili vastasküljel tuleb arvestada kadusid, mille suurus sõltub toote sisepinnalt peegeldunud energia hulgast.

Kui vähendada peegeldunud energia hulka, mida võib saavutada sagedusspektrist puhastatava toote omavõnkesageduse filtreerimisega, siis kaod vähenevad mõne protsendini, tootesse tungib peaaegu kogu kiirgusenergia ja võnkumised toote mõlemal küljel on ligikaudu võrdsed.

Oma uurimuses võõrsadestuse kõrvaldamise mehhanismist juhivad A. S. Lebetšuk, L. S. Makarov ja L. D. Rosenberg [50] tähelepanu sellele, et võõrsadestuse eemaldamine detaili puhastatavalt pinnalt toimub ultraheliväljas tänu kavitatsioonimullikeste purustavale tegevusele. Viimased oma hävinemise alguses lõhuvad eemaldatava kile terviklikkuse ja seejärel, tekkides kile ja detaili ühenduspinna serval, purustavad energiliselt ja kiirelt kile, mille tükikesed osaliselt disperseeruvad pesemisvedelikus.

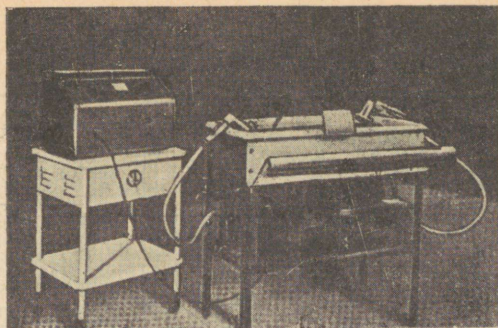
Vastavalt sellele hüpoteesile on otstarbekas kasutada suhteliselt madalaid sagedusi, mispuhul kavitatsiooninähtus tekib tunduvalt suuremal määral kui kõrgetel sagedustel.

Ultrahelipuhastuse kasutamise võimalikkus ja otstarbekus sõltub eelnevate ja järgnevate tehnoloogiliste operatsioonide iseloomust [64]. Häid tulemusi annab ultrahelipuhastus pärast lihvimist ja poleerimist ning mehaanilist töötlemist, kui on nõutav pealispinnalt rasva, õli, poleerimis- ja puhastuspasta, emailikihi ning vaakude eemaldamine.

Ultrahelipuhastust võib samuti soovitada jootmisel ja keevitamisel kõrgete temperatuuride tõttu tekkivate räbustajajääkide ja oksüüdikihtide eemaldamiseks. Ultrahelipuhastus võib osutada efektiivseks pärast detailide laos hoidmist ja transportimist, kui on vaja kõrvaldada rasvaineid või oksüüdikihte ning nõrka roostet.

Rea ettevõtete praktika on kinnitanud keerulise kujuga detailide (sügavate avadega, keermega, mitmesuguste lõigetega jt.) ning samuti montaažis olevate aparaatide ning masinate sõlmede ultrahelipuhastuse efektiivsust.

Firma «Lefeldt & Co» (Saksa, Hannenheimer linn) ultrahelipesemisseadmed torude läbipesemiseks. Joonisel 50 näidatud pesemisseade [40] koosneb kõrgsagedusgeneraatorist, mis toidab pesemisvanni põhja ehitatud ultrahelivibraatorit. Puhastamine toimub

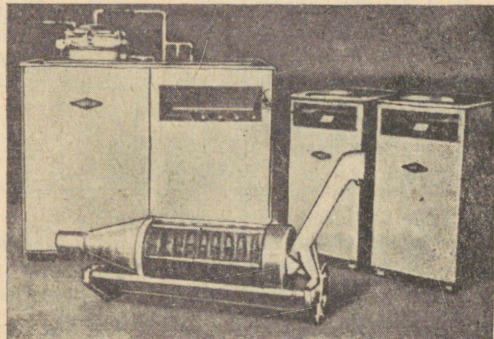


Joon. 50. Firma «Lefeldt & Co» väike ultraheli-
pesemisseade.

vanni täitvas diiselõlis. Viimast pumbatakse juurde toru kaudu ja juhitakse tagasi pumba juurde läbi filtreerimisseadme.

Igasuguse konfiguratsiooniga puhastatavat toru nihutatakse vanni läbikiirgustsoonis.

Sirgete torulõikude puhastamiseks on vann automatiseeritud. Ultrahelivälja akustiline võimsus ulatub 20 W/cm^2 . Puhastatavaid detaile nihutatakse pesemisvedeliku voolamisele vastassuunas.



Joon. 51. Firma «Lefeldt & Co» 1,2-kW võimsu-
sega ultraheli-pesemisseade.

Joonisel 51 on toodud sama firma võimsam (1,2 kW) pesemisseade, milles toodete liigutamine ultraheliväljas võib toimuda käsitsi või automaatselt. Seadmel on neli vibraatorit à 300 W ja ta võimaldab puhastatavaid detaile katkestamatult sisse viia. Esiplaanil on näidatud seadme sisemehhanism. Puhastatavad tooted paigutatakse etteandepunktrisse, kust need juhitakse aeglaselt

Näiteid detailide ultrahelipesemise kohta

Eemaldatav võõrsadestus	Töötamise keskkond	Temperatuur °C	Läbikiiritamise kestus	Märkusi
Lihvimis- ja poleerimispastad	Vesi ja aluseline lahustaja 10—32 g/l	60	30—120	Enne kiiritamist hoitakse 30—60 sekundit pesemisvedelikus. Toimub võõrsadestuse täielik eemaldamine
Magnetilisel katsetamisel kasutatud pastad (magnofloks), tolm, radioaktiivne sadestus, metallilaastud	Pindaktiivse aine lisandiga vesi 4 g/l	50—60	15—60	Võõrsadestuse täielik eemaldamine
Krookus	Sama, 4 g/l koos 5% NH ₄ OH	55	15—120	Sõltuvalt kihi pak-susest
Pehmejootmise räbustaja	Isopropüülalkohol (50—100%)	50	30—180	Võõrsadestuse täielik eemaldamine
Kõvajootmise räbustaja	Nõrk sidrunhape (5%) või soolhappe (3%) pindaktiivse lisandiga 4g/l	50	15—30	Sama
Oli, määrded jms.	Triklooretüleen ja teised orgaanilised lahustajad	60	2—30	..
Valandi küljes olev liiv	Vesi ja aluseline lahustaja 16—32 g/l	60	60—120	..
Kips-valuvormid	Polüfosfaatide vesilahus	60	60	..

põrlevale tiguajamile, mille keerme abil detailid tõugatakse välja seadme vasakus seinas olevast avast.

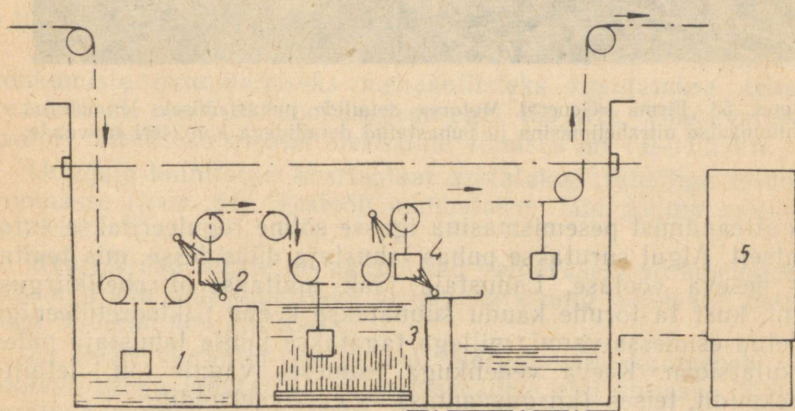
Vibraatorite toitmiseks on kaks kõrgsagedusgeneraatorit. Selle seadmega saab puhastada mitte ainult üksikuid detaile, vaid ka

terveid sõlmi sama efektiga mis üksikdetailide korral. See võimaldab saada üsna märgatavat kokkuhoidu, sest sel juhul langeb ära sõlmede lahti- ja kokkumonteerimise ning justeerimise vajadus.

Välismaa kirjanduses avaldatud andmete põhjal on toodud tabelis 16 näiteid detailide ultrahelipuhastuse kohta.

Firma «General Motors» automaatne ultrahelimasin detailide puhastamiseks. Selles pesemismasinas teevad detailid läbi kolmeastmelise pesemise ja lähevad siis vahetult monteerimisele.

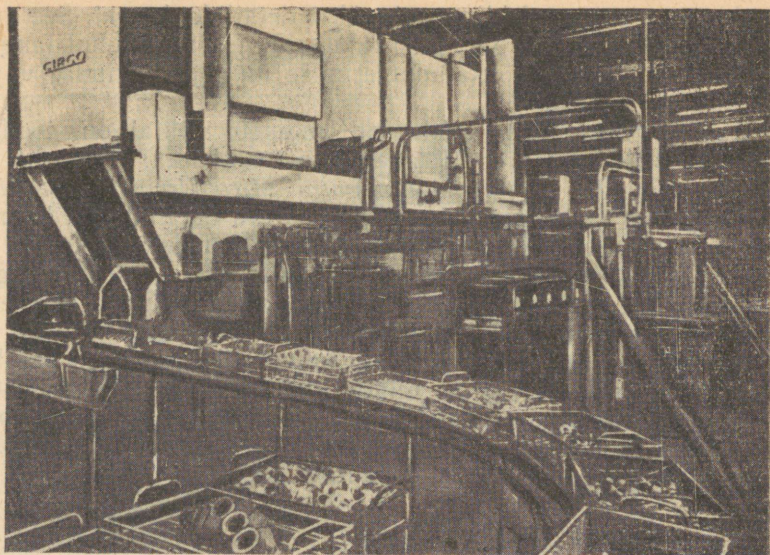
Esimeses vannis töödeldakse detaile triklooretüleeniga aurudega, mis pehmendavad võrsadestuse kihti ja teostavad detailide eelpuhastust. Siis neid uhutakse kuuma triklooretüleeniga vooluses ja juhitakse teise vanni, kus samuti on kuum triklooretüleen. Selles ultrahelivibraatoritega vannis toimub detailide põhiline puhastamine ja pärast seda neid uhutakse veel kord kuuma lahustaja joas ning transporditakse monteerimisele. Detailide järjestikuse puhastamise skeem on näidatud joonisel 52.



Joon. 52. Firma «General Motors» automaatse ultrahelimasina detailide järjestikuse puhastamise skeem:

1 — triklooretüleeniga aurudega vann; 2 ja 4 — dušiseade; 3 — kiiritatav vann triklooretüleeniga; 5 — toiteblokk.

Triklooretüleeniga eelsoojendamiseks ja aurude saamiseks on esimesel vannil kuumendi — soojusvahetaja, mille abil temperatuur esimeses vannis hoitakse 87°C (triklooretüleeniga aurustumise temperatuur), teises (ultrahelikiirguse) vannis ca 60°C ja kolmandas — ca 80°C . Kõigi kolme vanni pesemisvedelik filtreeritakse ja pärast regenereerimist juhitakse uuesti vastavasse vanni. Esimese ja teise vanni pesemisvedelikku jahutatakse enne filtreerimist temperatuurini ca 55°C . Filtritena kasutatakse kümnmikroniseid padrunfiltreid. Pesemisvedeliku kulu on esimeses vannis 757 l/h, teises — 1514 l/h ja lõplikul uhtumisel — 2271 l/h. Lahus-



Joon. 53. Firma «General Motors» detailide puhastamiseks ettenähtud automaatse ultrahelimasina ja puhastatud detailidega konveieri üldvaade.

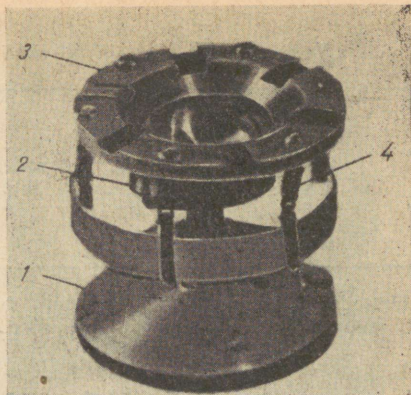
taja etteandmist pesemismasina igasse sõlme reguleeritakse automaatselt. Algul surutakse puhas lahustaja düüsidesse, mis tekitavad peseva vooluse. Lahustaja jääk juhatakse ultrahelikiirgusvanni, kust ta torude kaudu suunatakse keeva triklooretüleeni täidetud esimesse vanni, millega tagatakse puhta lahustaja pidev tsirkulatsioon. Keeva vedelikuga esimeses vannis on detailid 30 sekundit, teises (kiirgusvannis) — ca 20 sekundit.

Detailide puhastamise automaatse ultrahelimasina üldvaade on näidatud joonisel 53. Rullkonveierile asetatud detailidega täidetud korvid juhatakse pesemismasina laadimisavasse, kus nad haaratakse süstikmehhanismi poolt ja transporditakse läbi masina. Seejärel tõstetakse detailidega korvid analoogilise mehhanismi abil teisele rulltransportöörile, mis viib nad monteerimisele.

Välja arvatud korpus, on automaatse ultraheli-pesemismasina kõik detailid tehtud roostekindlast terasest. Lahustajat kiiritatakse ultraheliga kolme baariumtitaanaat-vibraatorite komplektiga. Iga komplekt koosneb kümnest baariumtitaanaatpladist mõõtmetega $50,8 \times 76,2$ mm.

Kolme 2 kW võimsusega ultraheligeneraatori poolt tekitatud vahelduvelektrivälja mõjul, mille sagedus on umbes 200 kHz, tekib pesemisvedelikus kavitatsioon, mis tagab detailide hoolika puhastamise kõikvõimalikust võõrsadestusest.

Joon. 54. Kvartsihoidja:
 1 — metalljalg; 2 — kvartsplaat; 3 —
 ülemine pingutusrõngas; 4 — pingu-
 tusvedru.



Selle automaatse ultraheli-pesemismasina tootlikkuseks on 5 tonni detaile tunnis.

Petrodvoretsi Kellatehase ultraheli-pesemismasin. Elektriliste võnkumiste muundamiseks mehaanilisteks kasutatakse tehases kvartsplaati (y-lõik) võnkesagedusega 450 kHz. Ühe kvartsvibraatori toitmiseks vajalik elektriline võimsus on 1,0—1,2 kW.

Hoidjale kinnitatud kvartsplaat asetatakse trafoõliga täidetud anumasse (joon. 54). Trafoõli pumbatakse läbi külmutusseadme ja filtri.

Kvartsplaadi peale on paigutatud valgevasest võrkmembraan, mis on voolu juurdejuhtijaks ja lahustaja ning pesevate detailidega täidetud nõu alustoeaks.

Et kvartsvibraator töötamisel märgatavalt kuumeneb, siis voolava veega jahutatava külmutusseadme abil hoitakse õli temperatuur vannis ca 40—60°C. Läbi valgevasest membraani ja alustoe varda juhitakse kvartsplaatidele kõrgsageduslik vahelduvvool pingega 2—2,5 kV.

Väikeste kelladetailide puhastamiseks loetakse tehases kõige vastuvõetavamaks järgmise koostisega seebilahust (ühe liitri lahuse kohta): 15 ml 25% NaOH lahust; 40 ml 5% oblikhappelahust ja 100 ml vedelat seepi; ülejäänud on destilleeritud vesi. Vahel kasutatakse lahustajana ka bensiini.

Puhastamisel andis parimaid tulemusi triklooretüleen.

Pesemisseadme tootlikkuseks on 60—70 tuhat detaili vahetuses.

Võrdlemiseks on tabelis 17 vanad puhastusmeetodid kõrvutatud ultrahelipuhastusega.

I. M. Erlichi ja V. A. Mihhailovi poolt konstrueeritud ultraheli-seade väikeste detailide puhastamiseks. Sellel seadmel kasuta-

Vana meetodi järgi ja ultraheli abil puhastamiseks kulutatav aeg

Detailide nimetus	Võõrsadestuse liik	Puhastamise aeg min.		Lahus
		ultraheli vannis	vana meetodi kohaselt	
Detailid automaatjaoskonnast	Masinaõli, metallitolm, sõrmejäljed	1—2	5—10	Bensiin
Blokiks ühendatud detailid	Elektrokrund, steeriin, kampil, vaha	5	25	Bensiin
Ankrukahvel ja -ratas	Sellak, petrooleum, kroomhapend, searasv	10	60	Bensiin ja seebilahus
Poleeritud detailid	Kroomoksüüd	5	30	Bensiin
Kampoliga kaetud detailid	Kampil, kroomoksüüd	10	60	Bensiin ja seebilahus

takse elektriliste võnkumiste muundamiseks mehaanilisteks kvartskristallij (x-lõik) piesoelektrilisi omadusi.

Kvartsplaadid töötavad resonantsiolukorras. Nende tööpinnad on elektrienergia juurdejuhtimiseks kaetud 2—3 μ paksuse hõbedakihihiga. Kvartsplaat on kinnitatud hoidjas nii, et tema töötamisel ei katkeks elektriline kontakt (vt. joon. 54).

Kvartsihoidja paigutatakse koos temasse kinnitatud kvartsplaadiga trafoõliga täidetud vanni. Trafoõli läbilöögipinge peab olema umbes 40 kV/mm.

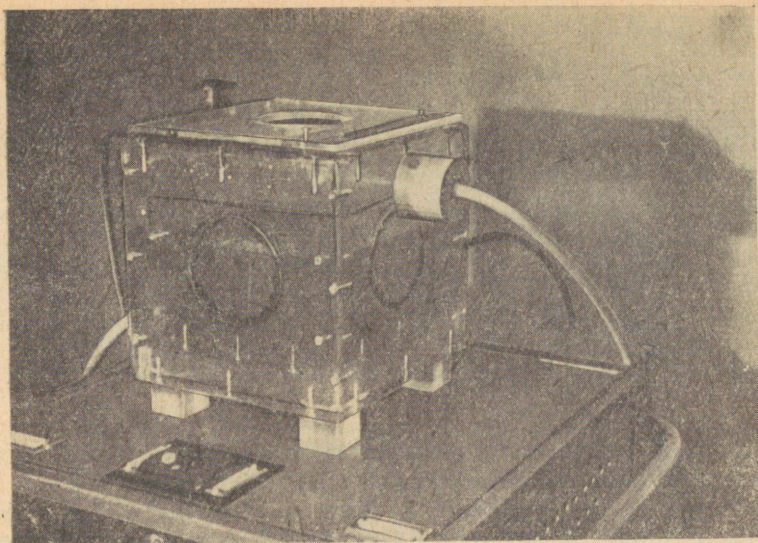
Orgaanilisest klaasist vanni kahekordsete seinte vahel tsirkuleerib õli jahutav vesi (joon. 55).

Puhastatavad detailid asetatakse bensiiniga täidetud reservuaari, millel on membraanpõhi paksusega 0,09 mm. Reservuaar paigutatakse omakorda kvartsplaadi peal asetsevasse õlivanni.

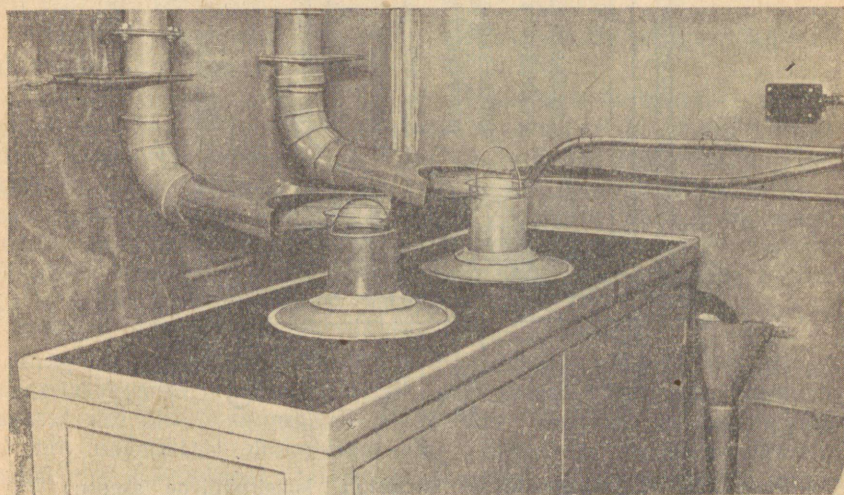
Piesoelektrilise anduri* sisselülitamisel kanduvad elastsed võnkumised õli ja reservuaari põhja kaudu üle bensiinile. Viimases tekib kavitatsioon, mille abil 15—30 sekundi jooksul toimub bensiini asetatud detailide hoolikas puhastamine. Seejärel uhutakse detaile puhtas bensiinis ja saadetakse monteerimisele.

Piesoelektrilist andurit toidetakse 1,2 kW võimsusega (300—600 kHz) kõrgsagedusgeneraatorist.

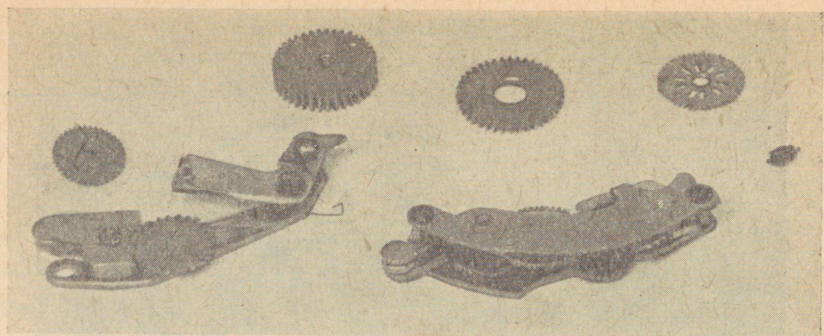
* Venekeelne vaste — датчик



Joon. 55. Kvartsvibraatoriga ja jahutusseadmega orgaanilisest klaasist pesemismasina üldvaade.



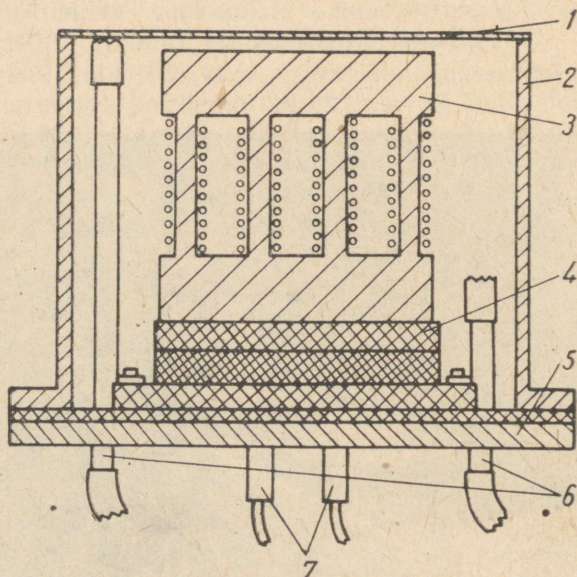
Joon. 56. Kvartsvibraatoriga ja tõmbeseadmega ultraheli-pesemismasin.



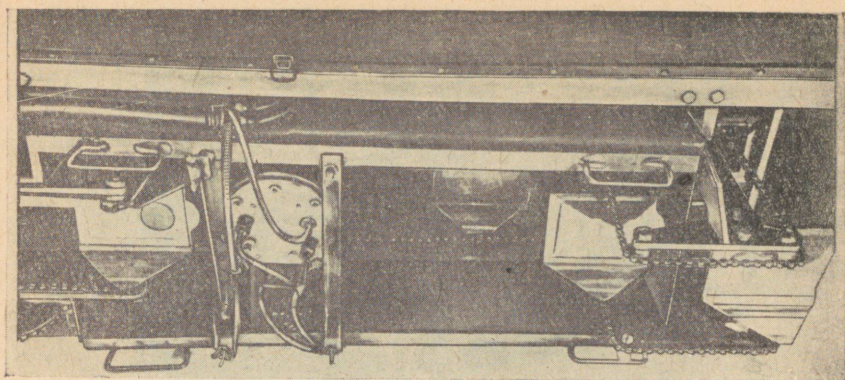
Joon. 57. Ultraheliseadmega puhastatud fotoparaadi detailid ja katik.

Konstruktiivselt on generaator kujundatud kahe blokina, mis on asetatud kapi mõõtmetega $600 \times 600 \times 800$ mm.

Ülemine on generaatoriblokk, alumine — alaldaja. Sama kapi ülemisele paneelile on paigutatud piesoelektrilise vibraatoriga vann. Signaallambid, mis näitavad võrgu- ja kõrgepinge sisse-



Joon. 58. Magnetrostriktiivse vibraatori konstruktiivne skeem: 1 — membraan; 2 — vibraatori silindriline korpus; 3 — magnetrostriktiivne pakk; 4 — poorkummi kiht; 5 — vibraatori alus; 6 — jahutusvee juurde- ja äravool; 7 — ühendusjuhtmed.



Joon. 59. Optiliste detailide puhastamiseks ettenähtud ultraheli-pesemis-seadme üldvaade.

lülitamist, ja lülitid on koondatud koos häälestamis- ja anood-
pinge reguleerimisnupuga kapi ülemisele paneelile.

Ühes teises masinaehitustehases ekspluateeritakse kahekohalist
kahe kvartskiirgajaga ja tõmbeseadisega ultrahelipesemis-
seadet (joon. 56), millega saab puhastada mitte ainult detaile, vaid
ka terveid sõlmi, näiteks fotoaparaatide katikuid (joon. 57).

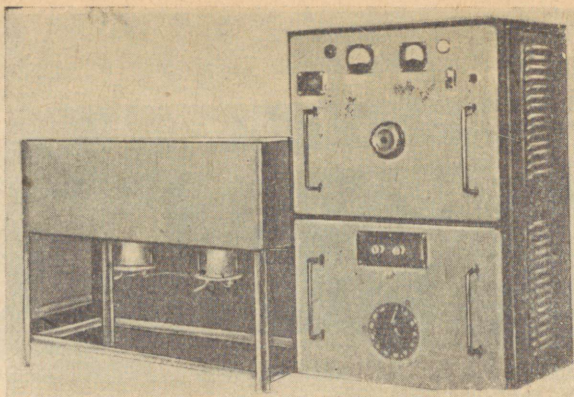
Ultraheliseade optiliste detailide puhastamiseks. Katseeksem-
plar koosneb 35 l mahutavusega vannist, kahest magnetostriktiiv-
sest vibraatorist (joon. 58) ja kett-transportöörist.

Viimane on varustatud 12 rippseadisega, mille külge paiguta-
takse korvikesed pestavate optiliste detailidega.

Detailid satuvad alguses ühe ja pärast teise vibraatori ultra-
helivälja (joon. 59). Üks vibraator on kinnitatud vanni põhja,
teine vanni ülemise osa külge. Vann on täidetud atsetooniga. Vib-
raatorite poolt tekitatud ultrahelivälja mõjul toimub korvikes-
tesse asetatud detailide puhastamine. Vanni korpus on kaetud koonuse-
kujulise orgaanilisest klaasist liikuva kattega. Pärast kiiritamist
võetakse detailid transportöörilt, uhutakse teises vannis puhta
atsetooniga ja kuivatatakse väikese rätikuga.

Detaile hoitakse ultrahelivannis umbes 6 minutit.

Magnetostriktiivseid vibraatoreid toidetakse «Bar»-tüüpi ultra-
heligeneraatorist, kuid selle generaatori laiast sageduspiirkonnast
kasutatakse ainult sagedusi 19—22 kHz. Vibraatorid koosnevad
0,1 mm paksustest nikkelpaatidest. Äärmiste plaatide paksus
on 2,0 mm. Käesoleval ajal tehas valmistab ja ekspluateerib kuue
magnetostriktiivse vibraatoriga poolautomaatset ultraheli-pese-
misseadet. Selle seadme toiteallikaks on generaator УЗГ-10 võim-
susega 8 kW (vt. joon. 10).



Joon. 60. НИТИ ultraheli-pesemisseadme üldvaade (paremal — kõrgsagedusgeneraatori lisaseade УЗП-10).

Ultraheliagregaadid ja -vannid detailide võõrsadestusest puhastamiseks. Tehnoloogiline Teadusliku Uurimise Instituut (НИТИ) Moskvas töötas välja ja valmistas seeria mitmesuguseid agregaate ja vanne, mis on ette nähtud detailide puhastamiseks vaikudest, lakkidest, poleerimisvastast, õlidest, rasvadest, oksüüdikiledest, tagist ja muust võõrsadestusest. Ühe pesemisseadme üldvaade on näidatud joonisel 60.

Tabelis 18 on toodud НИТИ pesemisseadmete tehniline iseloomustus.

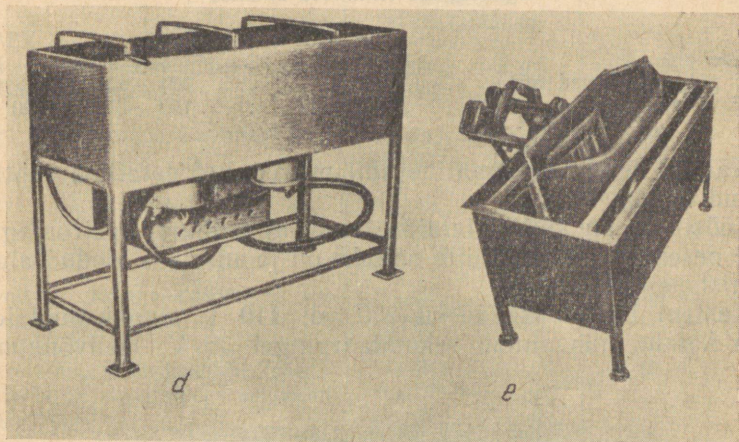
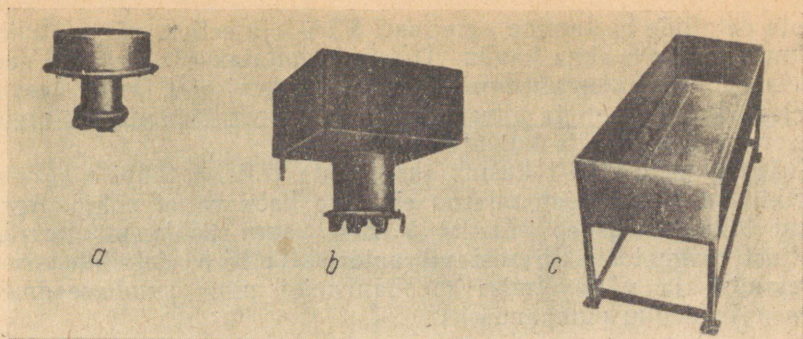
Tabel 18

Pesemisseadmete tehniline iseloomustus

Seadme tüüp	Vanni põhja mõõtmed mm	Vanni kõrgus mm	Magnetostriktiivsete muundajate tüüp ja arv
УЗВ-1 (joon. 61a)	Ø 300	150	ПМС-4 (joon. 62)
УЗВ-2 (joon. 61b)	30×300	150	ПМС-8
УЗВ-3 (joon. 61c)	500×750	500	ПМС-8
УЗВ-4 (joon. 61d)	500×1500	500	ПМС-8
УЗВ-5 (joon. 61e)	80×600	400	ПМС-8 (joon. 63)

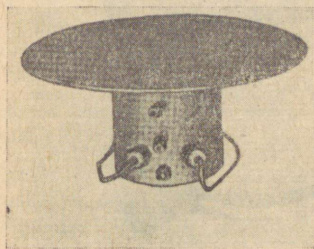
Automaatsed ultraheliagregaadid УЗА-1 ja УЗА-2 on samuti ette nähtud detailide puhastamiseks poleerimisvastast, vaigust, lakkidest, värvidest, õlidest, rasvadest, oksüüdikiledest, tagist ja muust.

Nende agregaatide toitmine toimub generaatorist УЗГ-10. Väi-

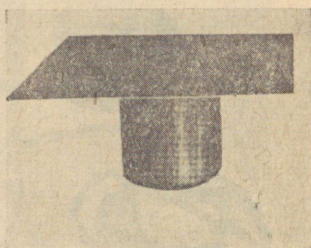


Joon. 61. Magnetostriktiivsete vibraatoritega ultraheli-pesemisvannide üldvaade (НИТИ konstruktsioon):

a — УЗВ-1; *b* — УЗВ-2; *c* — УЗВ-3; *d* — УЗВ-4; *e* — УЗВ-5.



Joon. 62. Magnetostriktiivse vibraatori ПМС-4 üldvaade (НИТИ konstruktsioon).



Joon. 63. Magnetostriktiivse vibraatori ПМС-8 üldvaade (НИТИ konstruktsioon).

keste detailide asetamine agregaat Y3A-1 ja sellest väljavõtmine toimub vastava akna kaudu. Detaile nihutatakse agregaadis sees asetsevais võrkudes pneumaatilise mehhanismi abil ja nad teevad järjestikku läbi eel- ja ultrahelipuhastuse operatsioonid, uhtumise pesemisvedelikuga ja kuivatamise.

Agregaadis Y3A-1 kasutatakse kahte ПМС-4 tüüpi magnetrostriktivset muundajat, mis on ehitatud kahe vanni põhja. Agregaat Y3A-2 koosneb vannist Y3B-4, vanni põhja monteeritud neljast magnetrostriktivsest vibraatorist ПМС-8, detailide sisseasetamise ja väljavõtmise mehhanismist ning pumbaseadmest pesemisvedeliku pumpamiseks.

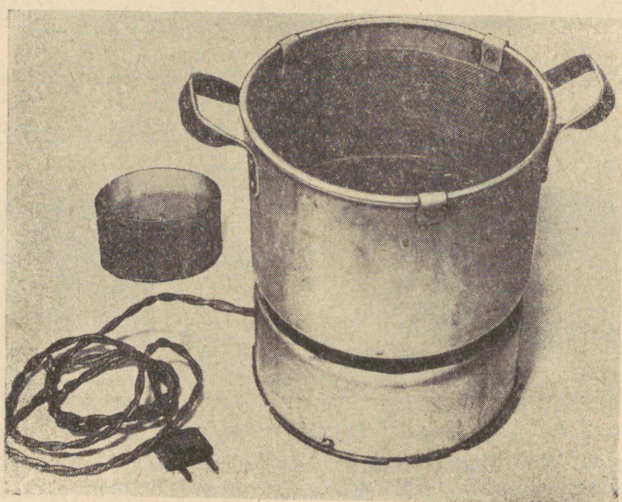
Agregaatide tehnilised andmed

	Y3A-1	Y3A-2
Vannide arv	5	1
Vanni põhja mõõtmed mm	300	500×1500
Vanni kõrgus mm	150	500

Näiteid nende agregaatide abil puhastatud detailide kohta on toodud tabelis 19.

Tööstuses on küllalt laialdast levikut leidnud elektromagnetilised pesemisseadmed, mille näiteks on joonisel 64 toodud alumiiniumist pesemiskastrul.

Kastrul lülitatakse võrku 220 või 110 V pinget madaldava trafo kaudu, mis annab sekundaarpinget 36 V. Helivõnkumiste



Joon. 64. Elektromagnetilise vibraatoriga «pesemiskastrul».

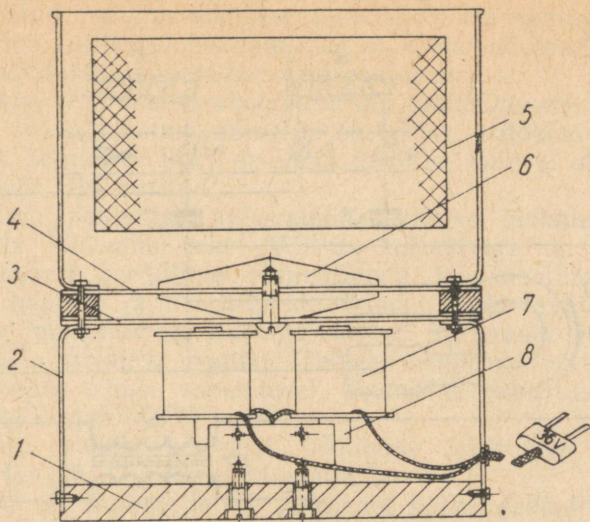
Kodumaises tööstuses kasutatava detailide ultrahelipuhastuse näiteid

Operatsiooni nimetus	Koostis	Temperatuur °C	Aeg min
Detailide puhastamine poleerimis-pastast enne galvanilist katmist	Na_3PO_4 — 30 g/l, sünteetiline pese- misvahend ОП-7 — 3 g/l	50	1,5
Rasvade, poleerimis-pasta ja metalli- tolmu eemaldamine	Kummitööstuses kasutatav bensiin- lahustaja (ГОСТ 443-56)	Kuni 30	eelpuh. 6 järelpuh. 4
Pinnakatete puhastamine pastast pärast poleerimist	Na_3PO_4 — 3 g/l, ОП-7 — 3 g/l	50—60	0,5
Augu puhastamine lihvimispastast	Na_3PO_4 — 3 g/l, ОП-7 — 10 g/l	50	1,5
Rasvast vabastamine	Na_2CO_3 — 10 g/l, Na_3PO_4 — 30 g/l, ОП-10 — 3 g/l	20—40	1,5
Tolmu ja rasva eemaldamine väi- kestelt detailidelt	Bensiinlahustaja (ГОСТ 443-56)	Kuni 30	6
Puhastamine määrdeõlidest (päeva- lilleõli ja vaseliin) pärast kül- stantsimist	Na_3PO_4 — 3 g/l, Na_2CO_3 — 3 g/l, $\text{K}_2\text{C}_2\text{O}_7$ — 0,5 g/l, ОП-7 — 3 g/l	60	1
Puhastamine pastast «ГОИ» pärast nikeldamist ja poleerimist	Majapidamisseep 10 g/l, ОП-7 — 3 g/l	50—60	5
Rasvade ja oksüüdikile eemalda- mine õhukeseseinalistelt, laine- kujulistelt pronksist jätkutükki- delt (sulfonidelt)	Na_3PO_4 — 30 g/l, ОП-7 — 10 g/l	55—60	2
Rasvade ja metallilaastude eemal- damine alumiiniumkehadelt	Na_3PO_4 — 4 g/l, ОП-7 — 4 g/l	50	7
Terasdetaili (CT 40) puhastamine korrosiooniproduktidest enne po- leerimist ja kroomimist	H_2SO_4 — 100 mg/l, Na_2CO_3 — 50 mg/l, Petrovi kontakt (pindaktiivsete sulfohapete segu) — 30 g/l	60	2
Terasdetailide puhastamine keevita- miseks ja keevisõmbluste puhas- tamine	Na_2CO_3 — 3%	Kuni 60	3

Operatsiooni nimetus	Koostis	Tempera- tuur °C	Aeg min
Torude (CT 20) puhastamine korrosioonist	H ₂ SO ₄ — 10%, HCl — 5%, NaCl — 5 g/l, Petrovi kontakt — 30 g/l	40—50	5
Detailide puhastamine oksüüdikilest ja rasvast pärast külmstantsimist	Vesi	50	4 s
Vedruide puhastamine oksüüdikilest	Vesi	20	3 s
Oksüüdide ja räbu eemaldamine pärast jootmist eelpuhastusel järelpuhastusel	H ₂ SO ₄ — 3%	20—40	3
	Vesi	20—40	3
Kampoli eemaldamine pärast jootmist	Na ₃ PO ₄ — 30 g/l Na ₂ CO ₃ — 10 g/l, OII-7 — 10 g/l	50	2
Trükitud skeemiga raadiotehnilise bloki puhastamine eelpuhastusel järelpuhastusel	Destilleeritud vesi	20	4
	Sama	20	4
Optiliste läätsede puhastamine pealekleepunud vaikudest ja emailist eelpuhastusel järelpuhastusel	Atsetoon	20	1,5
	„	20	1,5

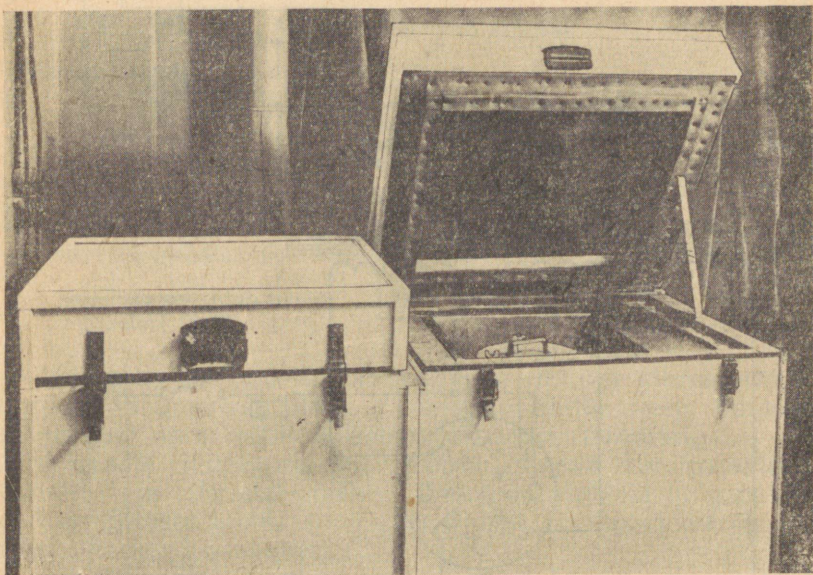
allikaks on elektromagneti ankur, mis teeb 100 võnget sekundis võrgusagedusel 50 Hz. Joonisel 65 on näidatud taolise pesemiskastruli skemaatiline lõige. Aluse 1 külge kinnitatakse alumiiniumist silindriline kest, mis on ülaosas kaetud membraanidega 3 ja 4, mille külge on keskelt kinnitatud elektromagneti ankur 6. Elektromagneti 7 mähise pingestamisel sulgub vahelduvmagnetväli ankrude 6 kaudu, mis võngub koos membraanidega. Ülemisse anumasse valatakse pesemisvedelik, detailid aga asetatakse võrkkorvi 5 ja see omakorda pesemisvedelikku.

Taoliste pesemisseadmete levikut soodustas nende lihtsus. Vajab märkimist, et pesemisprotsess toimub neis tunduvalt aeglasemalt (kümneid minuteid) ja pesemise kvaliteet on mõnevõrra halvem kui eespool kirjeldatud ultraheli-pesemismasinatel. Joonisel 66 on näidatud kahe elektromagnetilise vibraatoriga pesemismasin.

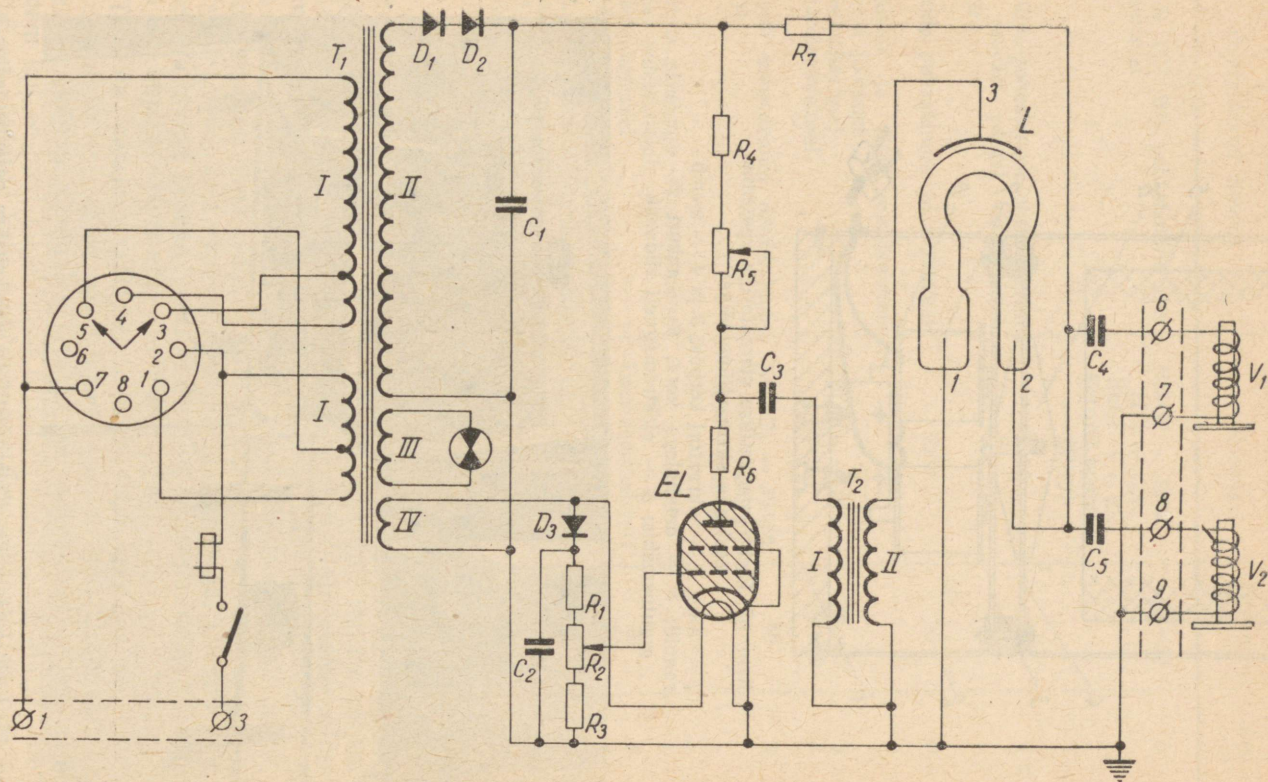


Joon. 65. Elektromagnetilise vibraatoriga «pesemis-
kastruli» skemaatiline lõige:

1 — alus; 2 — vibraatori korpus; 3 ja 4 — mem-
braanid; 5 — detailidega korv; 6 — ankur; 7 —
ergutusmähis; 8 — elektromagneti südamik.



Joon. 66. Elektromagnetiliste vibraatoritega kahekohalise pesemisseadme
üldvaade.



Joon. 67. Katlakivi tekkimise vältimiseks ettenähtud ultraheliseadme ИГ-7 elektriline skeem (ЛИИВТ-i konstruktsioon).

Nimetatud pesemisseadmete puuduseks on nende töötamisel tekkiv müra, mille pehmemdamiseks on mõlemad seadmed paigutatud heliisolatsiooni omavasse puust katesse.

Katlakivi tekkimise ärahoidmine ultraheliõnkkumistega mitmesugustes soojusvahetusseadmetes (kateldes, autoklaavides, torujuhtmetes, segistites jne.) on väga huvitav, kuid ei ole seni veel teoreetiliselt läbi uuritud.

Katlakivi põhjustab aurukateldes kütuse ülekulu ja kutsub esile katla lõhkemise ohu. Võitlus katlakiviga on seni toimunud peamiselt keemiliste reagentidega, mis sisaldavad mitmesuguseid happeid ja metallide korrosiooni aeglustavaid lisandeid. Niisugune puhastamine on aga seotud agregaadid seismajätmisega, sellele järgneva hoolika läbipesemisega ja neutraliseerimisega aluselise lahuse vahendusel. Keemiline puhastus ilma läbipesemiseta kestab üle 24 tunni.

Seetõttu pakub katlakivi tekkimise vältimine ultraheliga ($f \approx 28$ kHz) [25, 47, 51] vaieldamatut huvi.

Näiteks ultraheliseade ИГ-7 koosneb kõrgsagedusliku impulssgeneraatori blokist ja magnetostriktiivse vibraatori blokist. Esimeses blokis genereeritakse kõrgsageduslikke elektrilisi impulsse, teises aga toimub nende muundamine ultraheliõnkkumiseks, millega toimub pesemisvedeliku kiiritamine soojusvahetusaparaadi kogu eksploatatsioonaja vältel.

Aparaadi tehnilised andmed

Toitepinge täpsus		
vahelduvpinge korral 110, 127 ja 220 V		±10%
alalisvoolu korral 12 või 24 V (vahelduvvoolu muundaja kasutamisel)		±15%
Võrgust tarbitav maksimaalne võimsus		50 W
Ultrahelisagedus		28 kHz
Impulsside sagedus sekundis		1—10
Vibraatorite arv		2
Vibraatori ekraaneeritud ühenduskaabli pikkus		kuni 20 m
Kaal:		
impulssgeneraatori blokk		28 kg
vibraatori blokk		15 kg

Ultraheligeneraator töötab magnetostriktiivse vibraatori tõukeergutusega impulssrežiimis. Generaator, mille skeem on toodud joonisel 67, on arvestatud töötamiseks kahe vibraatoriga.

Aparaadi lülitamisel elektrivõrku laadub kondensaator C_4 takisti R_7 ja vibraatori mähise V_1 kaudu alaldaja pingeni. Poolperioodlülituses alaldaja koosneb trafost T_1 , diodidest D_1 ja D_2 ning filterkondensaatorist C_1 .

Tavalises olukorras spetsiaalne gaaslahenduslamp voolu läbi ei lase ja kondensaator jääb laetuks. Vastava pingeiimpulsi andmisel gaaslahenduslambi L elektroodile 3 lampi täitev gaas

ioniseerub, elektroodide 1 ja 2 vaheline takistus väheneb ja kondensaator C_4 tühjeneb vibraatori V_1 mähise kaudu. Võnkeringis, mis koosneb induktiivsusest V_1 ja mahtuvusest C_4 , tekivad sumbuvad elektrilised võnkumised, mille sagedus sõltub mahtuvusest C_4 ja vibraatori mähise induktiivsusest:

$$f = \frac{15}{\sqrt{LC}}$$

kus L — vibraatori mähise induktiivsus μH ;

C — kondensaatori mahtuvus μF .

Täpselt samuti toimub protsess vibraatori V_2 ahelas. Seejuures lambi L ioniseerumisel elektrilised impulsid tekivad üheaegselt võnkeringis V_1-C_4 ja V_2-C_5 .

Pinge puudumisel lambi L elektroodil 3 muutub lamp mittejuhtivaks ja kondensaatorid C_4 ja C_5 laaduvad uuesti.

Seega on impulsside kordamiseks vajalik anda kõrgepingeimpulsse lambi L elektroodile 3. Kõrgepingeimpulsside kujundamiseks kasutatakse tiratroni EL , mis töötab relaksatsioonirežiimis järgmiselt: kondensaator C_3 laadub põhialaldajast takistite R_4 ja R_5 ning impulsstrafo T_2 mähise kaudu. Kui pinge kondensaatori plaatidel saavutab väärtuse, mis vastab tiratroni süttimise potentsiaalile, toimub kondensaatori C_3 kiire tühjenemine transformatori T_2 mähise I , tiratroni EL ja takisti R_6 kaudu. Seejuures trafo mähises II , mis on ühendatud lambi E elektroodiga 3, indutseeritakse lambis oleva gaasi ioniseerimiseks («eelsüttimiseks») vajalik kõrgepinge.

Diod D_3 , takistid R_1 , R_2 ja R_3 ning kondensaator C_2 kindlustavad tiratroni võrele vajaliku eelpinge.

Impulsside arvu reguleeritakse takistiga R_5 , mis muudab kondensaatori C_3 laadumise aega.

Kui vool läbib vibraatorite mähiseid, siis nende südamikud hakkavad magnetostriktiivse nähtuse tõttu võnkuma, mis kandub üle neid ümbritsevasse keskkonda. Vibraatorite impulssrežiimi ajal tavaliselt ei kasutata magnetostriktorite eelmagneetimist, mistõttu mehaaniliste (ultraheli) võnkumiste sagedus on kaks korda kõrgem elektriliste võnkumiste sagedusest võnkeringis. Seega peab elektrilise võimsuse võimalikult täielikumaks ära kasutamiseks võnkeringi resonantsisagedus võrduma vibraatori poolele omasagedusega, s. t. saadavate ultrahelivõnkumiste sagedusega. Kui vibraatori omasageduseks on näiteks 28 kHz, siis võnkeringi resonantsisagedus peab olema 14 kHz.

Aparaat tarbib võrgust võimsust 30—50 W. Generaatori keskmine elektriline võimsus, sõltuvalt impulsside arvust sekundis ja teistest parameetritest, kõigub iga vibraatori kohta piirides 0,2—5 W.

Impulssrežiimil on võnkeringist saadav keskmine võimsus P_k

ligikaudselt (kadusid arvestamata) määratav valemiga

$$P_k = 0,5CU^2f \cdot 10^{-6} \text{ W},$$

kus C — võnkeringi kondensaatori mahtuvus μF ;

U — kondensaatori pinge V;

f — impulsside sagedus Hz.

Näiteks kui $C=2\mu\text{F}$, $U=500 \text{ V}$ ja $f=3 \text{ Hz}$, siis

$$P_k = 0,5 \cdot 2 \cdot 500^2 \cdot 3 \cdot 10^{-6} = 0,75 \text{ W}.$$

Niisuguse keskmise võimsuse juures võib impulsi võimsus osutada väga suureks. Viimane määratakse valemiga

$$P_i = P_k \frac{\tau}{\tau_i} = P_k \frac{1}{f\tau_i},$$

kus P_i — impulsi keskmine võimsus W;

τ_i — impulsi kestus s;

τ — impulsside vaheaeg s.

Näiteks kui $\tau_i=2,5 \cdot 10^{-4} \text{ s}$, $f=3 \text{ Hz}$ ja $P_k=0,75 \text{ W}$, siis

$$P_i = 0,75 \cdot \frac{1}{3 \cdot 2,5 \cdot 10^{-4}} = 1000 \text{ W}.$$

Magnetostriktiivsete vibraatorite kasutamisel on elektrienergia akustiliseks energiaks muundumise kasutegur impulssrežiimi korral 0,1—0,3. Seega vibraatori akustiline impulssvõimsus on antud juhul 100—300 W.

Magnetostriktiivne vibraator koosneb 0,1 mm paksusest nikkelplekkide pakist ja mähisest. Plekid on kokku liimitud liimiga БФ-2.

Aparaadis kasutatakse poollaine-varbvibraatorit, kuid võib kasutada ka teisi vibraatoreid.

Vibraatori pikkuseks võetakse ultraheli võnkumiste pool laine-pikkust, s. t.

$$l = \frac{\lambda}{2}.$$

Vibraatori ristlõikeks on ruut $28 \times 28 \text{ mm}$. Vibraator joodetakse metallist vahelehe külge, mis on surutud helijuhi äärikute ja vibraatori kere vahele. Helijuhiks on terastoru sisemise läbimõõduga 32 mm.

Helijuht ühendatakse läbiviigukraani kaudu katlaga ja täidetakse veega.

Helijuhi keskmisse ossa on keevitatud vesijahutussärk. Jahutaja alumine ots ühendatakse jahutusveetoruga, ülemine — äravoo-

luga. Vibraatori mähise üks ots, mis asetseb hermeetilise kesta sees, tuuakse välja isolaatori (autoküünla) kaudu, teine ots ühendatakse korpusega ja maandatakse.

Ultraheliimpulsside generaatorblokk paigutatakse ruumi, mille temperatuur ei ületa $+40^{\circ}\text{C}$. Generaatori ja vibraatori vahetäugus katlaruumis ei ole üle 15—20 m.

Generaator kinnitatakse amortisaatorite abil vertikaalasendisse.

Generaatori vahetus läheduses peab asetsema jaotuskilp koos tema külge ühendatud elektrivõrguga.

Vibraator peab olema ühendatud katla veeruumiga ükskõik missuguse sulgemisseadise abil, mille minimaalne ava on umbes 32 mm.

Ülalkirjeldatud aparaat on välja töötatud Leningradi Veetranspordi Inseneride Instituudis * (ЛИИВТ) ja teda katsetati aurikul «Aleksandr Nevski». Katsete esialgsed tulemused olid lootustäratavad.

Aurikul on kahekäigulisest lektorukatlast agregaat. Iga katla küttepind on 130 m^2 . Kütusena kasutatakse masuuti. Aurusurve — 12 kg/cm^2 .

Katse ajal toideti katlaid mereveega.

7. Emulsioonide valmistamine ultraheliga ja ainete dispergeerimine

Ultraheli kaasabil võib valmistada mitmesuguste materjalide ja vee emulsioone ning viia sellesse tootmise käigus kõiki vajalikke lisandeid [26].

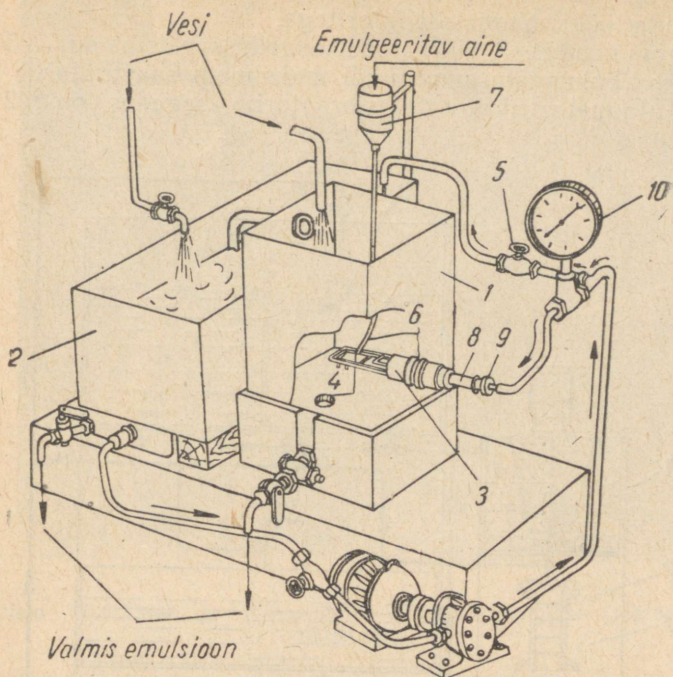
Sel eesmärgil on kõige enam levinud hüdrodünaamilised muundajad. Ultraheliga saadud emulsioonid ja suspensioonid on hea kvaliteediga ja ajaliselt küllaldaselt püsivad.

Rida välismaiseid ettevõtteid kasutab edukalt ultraheliseadmeid ainete emulgeerimiseks ja dispergeerimiseks. Näiteks Toronto linnas töötab seade, mille tootlikkus ulatub 1800 l/h , kusjuures pumba elektriajami võimsus on 2 kW. Vedelik juhatakse vibraatorisse 14 at surve all ja vibreeriva plaadi sagedus on 20 kHz.

Joonisel 68 on näidatud mitmesugust liiki emulsioonide valmistamiseks määratud hüdrodünaamilise vilega ultraheliseadme üldvaade. Seade on konstrueeritud Tselluloosi- ja Paberitööstuse Teadusliku Uurimise Instituudi (ЦНИИБ) Leningradi filiaalis ja sellega võib saada vee-õli emulsiooni umbes 15 l/h , kusjuures õli sisaldus emulsioonis on 20%. Pumba surveks on 10 at.

Selle hüdrodünaamilise vibraatori tööjooniseid võib saada ette-

* Väljatöötamisest võtsid osa N. K. Lopõrjev, E. S. Lev, M. V. Bruk ja B. A. Petrov.



Joon. 68. Hüdrodünaamilise vibraatoriga ultraheliseade emulsioonide saamiseks (ЦНИИВ-1 konstruktsioon):

- 1 ja 2 — reservuaarid; 3 — hüdrodünaamiline vibraator; 4 — vibreeriv plaat; 5 — ventiil; 6 — toru lähteaine sissejuhtimiseks; 7 — paak; 8 — reguleerimiskaala; 9 — reguleerimiskruvi; 10 — manomeeter.

võtete nõudmisel Leningradi Teaduslik-Tehnilise Propaganda Majast.

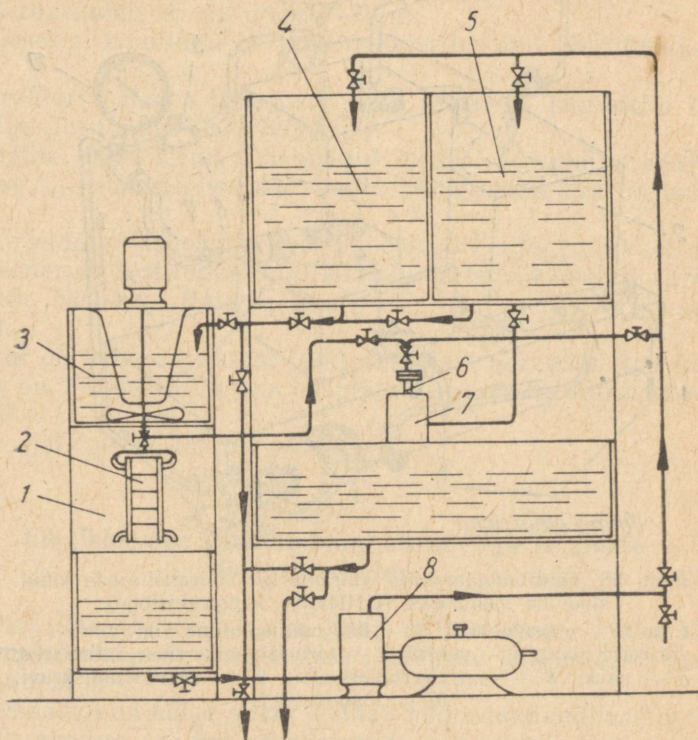
Joonisel 69 on toodud V. M. Fridmani poolt konstrueeritud ultrahelidispergaatori ja -emulgaatori УЗД-1 skeem. Seade on ette nähtud püsivate emulsioonide saamiseks omavahel segunevatest ja mittesegunevatest vedelikest ja kõikvõimalike hõljuvas olekus aineosakeste dispergeerimiseks suspensioonide saamise eesmärgil. Seadme tootlikkus on 2—3 m³/h.

Ultraheliseadmel УЗД-1 on neli hüdrodünaamilist vibraatorit — kaks ühepilulist ja kaks mitmepilulist (joon. 70). Vibraatorite toitmine toimub kõrgsurvepumbast (kuni 20 at), mille tootlikkus on kuni 200 l/min.

Dispergeerimist teostavaid magnetrostriktiivseid vibraatoreid toidetakse masin- või lamp-kõrgsagedusgeneraatorist. Sel eesmärgil võib näiteks kasutada karastamiseks ettenähtud lamp-

kõrgsagedusgeneraatorit ЛГ3-10, kusjuures generaator tuleb kohandada tööks magnetrostriktoritega.

Hüdrodünaamiliste vibraatorite sagedusspektri on 5–50 kHz, kusjuures võnkumiste amplituudi maksimum saavutatakse 7 kHz juures. Magnetrostriktiivsete vibraatorite sagedus on 22 kHz.



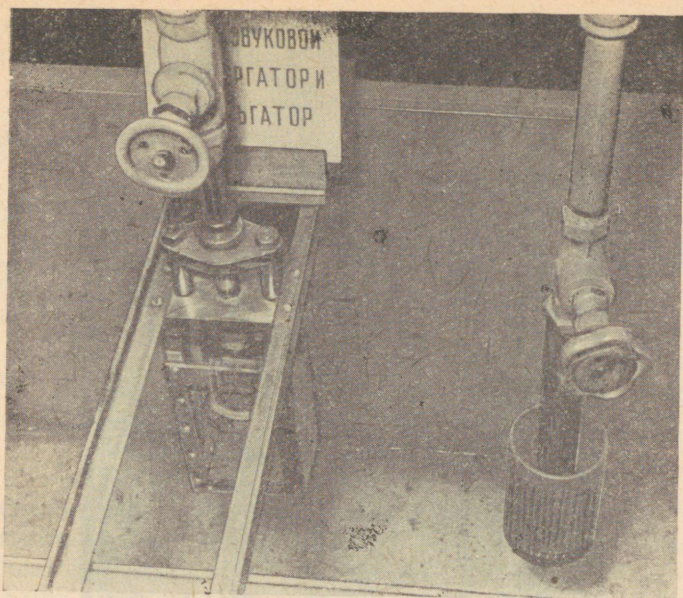
Joon. 69. Hüdrodünaamilise ja magnetrostriktiivse vibraatoriga ultraheliseade УЗД-1 emulsioonide saamiseks ja suspensioonide ning hõljuvate aineosakeste dispergeerimiseks

(V. M. Fridmani konstruktsioon):

- 1 — anum; 2 — magnetrostriktiivne vibraator; 3 — paak; 4 ja 5 — lähtepaagid; 6 — düüs; 7 — hüdrodünaamiline vibraator; 8 — pump.

Vedelik juhitakse paakidest 4 ja 5 mehaanilisse segajasse 3, seejärel hüdrodünaamiliste vibraatoritega anumasse 7 või magnetrostriktiivsete vibraatoritega 2 anumasse 1 (vt. joon. 69).

Emulgeerimise protsess võib toimuda ühe- ja mitmekordselt kusjuures algul võib lasta töödeldavat vedelikku läbi magnetrostriktiivse, seejärel aga läbi hüdrodünaamilise vibraatori. Seadme gabariitmõõtmed on 600×2400×2500 mm. Seadme УЗД-1 üldvaade on näidatud joonisel 71.



Joon. 70. Ühe- ja mitmepilulise hüdrodünaamilise vibraatori välisvaade.

8. Ultraheliga jootmine ja tinutamine

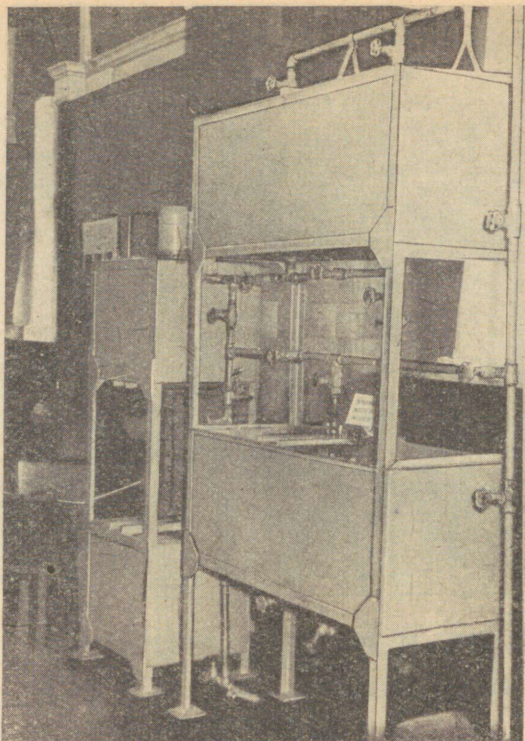
Alumiiniumi ja tema sulamite jootmise ja tinutamise raskus pehmejoodistega on tingitud tema pinnal tugeva, keemiliselt inertse ja raskelt sulava oksüüdikihi olemasolust [48]. Real juhtudel piirab see asjaolu alumiiniumi kasutamist mitmesuguste detailide valmistamiseks aparaaditööstuses ja masinaehituses. Oksüüdikihi eemaldamine on tavaliselt seotud tugevate, fluorühendeid sisaldavate räbustajate kasutamisega, mis hiljem kutsuvad esile detaili kiire korrodeerumise ja samuti mõjuvad tervist kahjustavalt töölistele.

Oksüüdikihi eemaldamisel ultraheliväljaga, mis tekitatakse sulajoodises, pole vaja kasutada räbustajaid, sest tekkiv kavitatsioon erosioon lõhub kiiresti oksüüdikihi, mille osakesed tõusevad sulajoodise pinnale.

Paljas metall on kergesti tinutatav tina-tsink-joodistega (näit. 80% pliid, 20% tsinki), mis hästi difundeeruvad alumiiniumis.

Alumiiniumi jootmiseks kasutatakse enamikul juhtudel sagedust 20–25 kHz ja poollainetüüpi magnetrostriktiivseid muundajaid, mis muundavad elektrienergia mehaaniliseks.

Magnetrostriktorite toiteallikaks on lampgeneraatorid. Seadme



Joon. 71. Seadme Y3D-1 välisvaade.

УП-21 toiteallikas koosneb positiivse tagasisidestusega tekitatud endaergutusega neljaastmelisest võimendajast.

Esimeses ja teises astmes kasutatakse kaksiktriiodi 6H1П, kolmandas astmes lampi 6П9 ja lõppastmes lampi ГY-50, mis on lülitatud paralleeltoiteskeemi kohaselt. Lampide anoodtoiteallikaks on kenotron 5Л4M.

Endaergutuse vältimiseks resonantsisagedusest erinevatel sagedustel on lülituses ette nähtud selektiivne negatiivne tagasisidustus, mis saadakse põhisagedusele häälestatud kahekordse T-kujulise filtri abil.

Magnetrostriktiivne vibraator on valmistatud 0,1 mm paksuste permendüürplekkide pakina. Uksikud plekid on kokku liimitud liimiga БФ-2.

Jootetõlvik ühendatakse valgevastest amplituudtransformaatoriga kõvajoodise abil. Magnetrostriktori sagedusele häälestatud jootetõlvikust ja amplituudtransformaatorist koosnev poollainesüsteem kas joodetakse kõvajoodisega või keevitatakse magneto-

striktori külge. Jootetõlvikut kuumendatakse kroomniklist soojendusmähisega.

Alumiiniumi jootmiseks НИТИ poolt väljatöötatud seadet УП-42, mis koosneb toiteblokist ja jootetõlvikust, iseloomustavad järgmised andmed.

Töösagedus	23—26 kHz
Ultrahelivõimsus	30 W
Soojendusmähise võimsus	70—120 W
Eelmagneetimise pinge ja vool	24 V, 0,8 A
Elektrivõrgust (50 Hz, 220 V) võetav võimsus	300 W
Gabariitmõõtmed:	
jootetõlvik	45×160×268 mm
toiteblokk	260×194×230 mm
Kaal:	
jootetõlvik	0,75 kg
toiteblokk	11 kg

Generaator koosneb kolmest astmest: RC-lülituses töötavast tüürastmest, faasipöördeastmest ja lõppastmest, milleks on transformaatorväljandiga kahetaktiline võimsusvõimendaja.

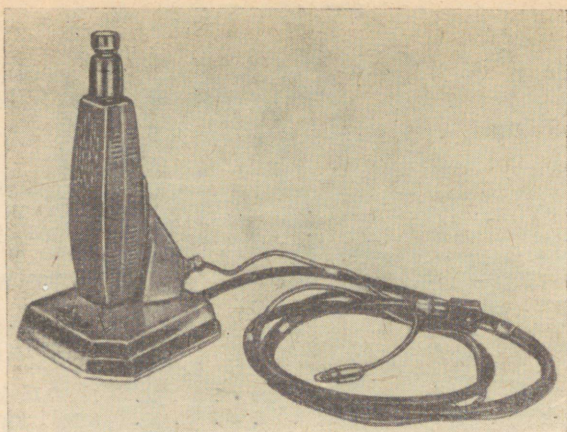
Sama seadmega annab tehas kaasa väikese, 25 mm läbimõõduga ja 10 mm sügavuse jootevanni, mis ühendatakse sama toiteallika külge ja kasutatakse aparaatide alumiiniumkontaktide ja teiste analoogiliste detailide jootmiseks ja tinutamiseks. Vanni kaal on 0,8 kg, gabariitmõõtmed 162×200×288 mm (joon. 72).

Sama instituut on välja töötanud ja tööstuslikuks tootmiseks üle andnud võimsa ultraheli-jootevanni УП-31, mis samuti koosneb toiteblokist ja vannist.

Toiteblokiks on selektiivne neljaastmeline ultrahelisagedusvõimendaja. Tema esimene ja teine aste töötavad takistussidestuses kaksiktrioidiga, eelviimane aste transformaatorsidestuses ja lõppastmeks on transformaatorväljandiga kahetaktiline võimsusvõimendaja.

Väljandastme koormuseks on magnetostriktiivse muundaja ergutusmähis. Sama mähis on ka seleenalaldajast toidetavaks eelmagneetimismähiseks. Alalisvoolu ja kõrgsagedusliku vahelduvvoolu toiteallikate eraldamiseks on kasutatud paispooli ja kondensaatorit.

Süsteem võimendaja-muundaja on positiivse tagasisidestusega saadud endaergutuse režiimis töötav generaator. Sidestuskondensaatori üks plaat on kinnitatud isoleeralusele, teiseks plaadiks on vibraatori väljaulatuv osa. Kondensaatorile antakse jagaja kaudu alalispinge. Sisselülitamise hetkel kutsub vooluimpulss ergutusmähises magnetostriktiivse efekti tõttu vibraatoris esile kustuvate võnkumiste rea. See põhjustab kondensaatori õhuvähe muutumist ja tema plaatidel vahelduvkomponendi tekkimist, mis juhitakse võimendaja esimese lambi võrele. Nii säilitatakse mittekustuvad



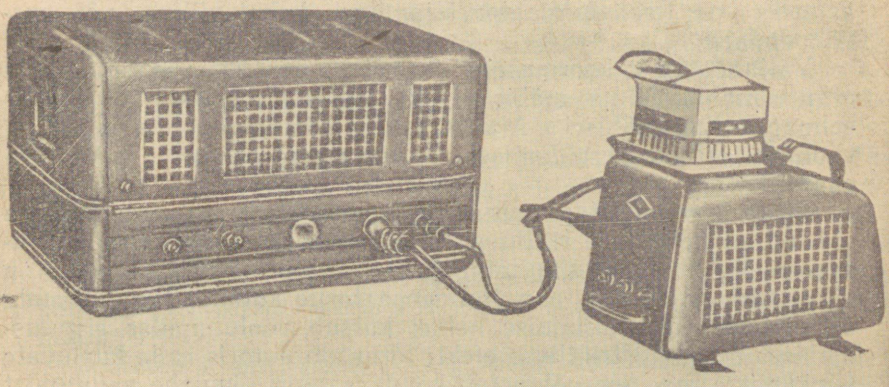
Joon. 72. Ultraheli-jootmisvanni välisvaade.

võnkumised, mille sagedus on võrdne vibraatori resonantsisagedusega.

Parasiitpingete tekkimist väldib kahekordne T-filter, mis on lülitatud eelviimasesse astmesse negatiivse tagasisidestuse ringi.

Vann koosneb metallnõust ja vanniga metallvarda abil ühendatud magnetrokriitvõrgust muundajast. Metallvarras on ühtlasi lainejuhiks ja samaaegselt eraldab magnetrokriitit kuumast vannist.

Soojendusmähis on kinnitatud vanni põhja alla.



Joon. 73. Jootmis-tinutusseadme YII-31 välisvaade.

Ultrahelivanni УП-31 (joon. 73) tehnilised andmed

Töösagedus	18—20 kHz
Võimsus	300 W
Eelmagneetimine	6 V, 6 A
Toitevõrk	120/220 V, 50 Hz
Soojendusmähise võimsus	300 W
Vanni sisemõõtmed	100×100×25 mm
Vanni gabariitmõõtmed	245×560×370 mm
Vanni kaal	20 kg
Toitebloki kaal	28 kg

Tina-tsink-joodisega (80% inglistina, 20% tsinki) joodetud õmbluse tugevus on 5 kg/mm².

9. Aerosoolide koagulatsioon

Ultraheli üheks tähtsamaks iseärasuseks masinaehituses ja aparaaditööstuses on tema võime sadestada gaasilises keskkonnas või õhus sisalduvat peenimat tolmu.

Tööstuslike katsetega kinnitust leidnud laboratoorsed uurimused näitasid, et tolmutüüdmise protsess kiireneb akustilises väljas kolm kuni kümme korda.

Ultraheliga tolmutüüdmise suureks eeliseks on asjaolu, et tema abil on võimalik sadestada tolmu, mille osakesed on väiksemad kui 10 μ. Tavaliselt kasutatavad seadmed (tsüklonid, elektrofiltrid) nii väikseid osakesi ei püüa. Tolmu tüüdmiseks kasutatakse praegu kahte tüüpi ultraheliseadmeid: Hartmani printsiibi kohaselt töötavaid õhujoageneraatoreid ja sireene.

Üleliidulise Mäeseadmete Teadusliku Uurimise ja Projekteerimise Instituudi (ВНИИГорпмаш) Leningradi filiaal teostas samas instituudis konstrueeritud õhujoageneraatoriga tööstuslikke katseid ja tegi kindlaks, et aerosoolide (kvartsiitporfüüride, tsingioksüüdi, kvartsiitsete albiitporfüüride, graniitporfüüride, söetolmu) sadestamisel osutus kõige efektiivsemaks sagedus 7—8 kHz, kusjuures välja intensiivsus oli 0,2 W/cm² ja kiiritamise kestus 5—6 sekundit. Kiiritamise maksimaalne efekt saadi välja kontakteerimisel aerosoolidega 30 sekundi kestel.

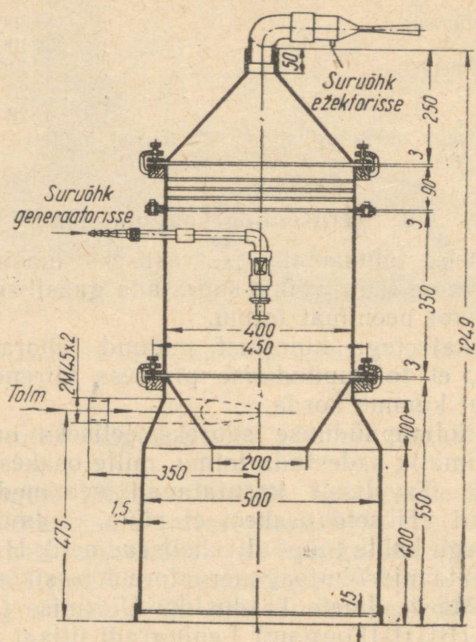
Aerosoolide maksimaalne kontsentratsioon, mille juures algab helivälja toime koagulatsiooniprotsessile, on 200—300 mg/m³. Puhastuse efektiivsuseks saavutati 99,0—99,6%.

Joonisel 74 on näidatud ВНИИГорпмаш õhujoa-tolmutüüdmise seadme katsekonstruktsioon, mille tootlikkus on 40—50 m³/h.

Tolmutüüdmiseks kasutatavate sireenide abil tekitatud helisagedus on 3—34 kHz ja akustiline võimsus 2—40 kW.

Tuleb märkida, et aerosoolide koagulatsiooni ei või kasutada kohtades, kus inimesed pikemaks ajaks võivad sattuda akustilise välja vahetu mõju alla, s. t. tolmustes töökodades või tsehhides, sest 1—10 kHz sagedusega helivõnkumisi on raske ekraneerida ja isegi mõne millivattine akustiline võimsus kutsub esile tõsiseid kuulmishäireid [52].

Sireenide kasutamisel algab aerosoolide koagulatsioon ultrahelivälja intensiivsusel umbes 1 W/cm^2 . Sireenid asetatakse spetsiaalsetesse silindrikujulistesse helikambritesse, mille läbimõõt on



Joone 74. Ohuvooluline tolmu püüdmise katse-seade tootlikkusega $40\text{--}50 \text{ m}^3/\text{h}$ (ВНИИГОРМАШ-i konstruktsioon).

800—1500 mm ja kõrgus 8—12 m. Kambrite seinad on siledad, et heli võnkumised peegelduksid neilt mitu korda. Helikambri mõõtmel valitakse nii, et helikamber resonanceeriks ultrahelivõnkumiste mõjul. Agglomeritavad suitsugaasid juhitakse kambrisse, kus toimub nende kiiritamine 10 sekundi jooksul.

Akustilise välja toimel õnnestub koaguleerida aerosoole mõõtmega $0,001\text{--}10 \mu$. Sireeniga, mis tekitab heli sagedusega $0,5\text{--}22 \text{ kHz}$, puhastati tunnis $2000\text{--}3000 \text{ m}^3$ gaasi. Vastavalt Tööstuse Töökaitse Keskinstituudis (Poola) teostatud katsetele on võimsustarvidus suitsugaasi puhastamisel ultraheliga 10 kW/m^3 , elektrofiltrite kasutamisel on see suurus piirides $0,3\text{--}0,5 \text{ kW/m}^3$ ning mehaaniliste vahenditega puhastamisel 1 kW/m^3 .

Chopenitze (Ülem-Sileesia, Poola) Tööstuse Töökaitse Keskinstituudis konstrueeritud suitsugaaside ultraheli-puhastusseade püüab kinni iga kuu umbes 30 tonni sadestatud tahma.

Ultraheli kasutamise ülaltoodud lühikesest ülevaatest võib teha järelduse, et käesoleval ajal on kõige efektiivsemad ja tööstuslikuks kasutamiseks kõige paremini ette valmistatud järgmised heli- või ultrahelivõnkumiste abil teostatavad operatsioonid:

- 1) defektoskoopia;
- 2) mitmesugused mõõtmised (paksuste jt.);
- 3) detailide puhastamine;
- 4) kõvade ja habraste materjalide mehaaniline töötlemine;
- 5) jootmine ja tinutamine;
- 6) emulsioonide ja suspensioonide valmistamine.

Saadud kogemused lubavad soovitada nende operatsioonide laialdast juurutamist tööstusse.

Mis puutub ultraheli kasutamise teistesse viisidesse masinaehituses ja aparaaditööstuses, siis peab nende kasutamisele eelneva vastavate uurimisorganisatsioonide laialdane ja hoolikas töö optimaalsete tehnoloogiliste konstruktsioonide kindlaksmääramiseks ning vastava aparatuuri ja seadmete loomiseks.

Magnetrostriktiivse vibraatori arvutus

Magnetrostriktiivse vibraatori arvutamiseks koostatakse põhi-võrrandid, mis iseloomustavad magnetrostriktiivseid efekte (otsesest ja pööratavat), ning elektromehaanilise analoogia meetodile vastav aseskeem.

Aseskeemide alusel saadakse arvutuste teostamiseks vajalikud põhilised kvantitatiivsed suhted [41; 54; 62; 63].

Arvutus seisneb magnetrostriktiivse vibraatori põhimõõtmete, ergutusmähise keerdude arvu, voolu tugevuse ja kiirratava akustilise võimsuse määramises.

Üldreeglina töötavad magnetrostriktiivsed vibraatorid nende resonantsisagedusel. Seda asjaolu arvestatakse ka vibraatorite arvutamisel.

Generaatori võimsusest ja magnetrostriktiivse materjali omadustest lähtudes valitakse magnetrostriktiivse paki kiirguspind S_k .

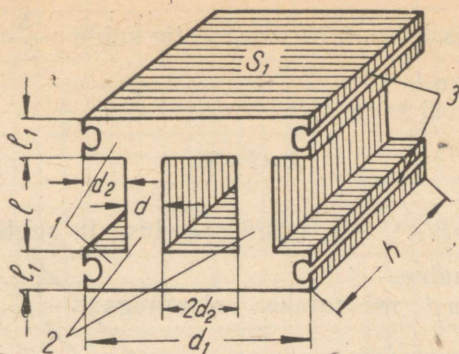
Niklist ja alferist valmistatud mitme südamikuga vibraatorid võimaldavad saada akustilist võimsust kuni 30 W/cm^2 , permendüürist (K50Φ2, 49KΦ, K-65) vibraatorid — kuni 60 W/cm^2 .

Kirjanduse andmeil kasutatakse ultraheliga mehaanilisel töötlemisel ja detailide puhastamisel kõige enam sagedust $16\text{--}25 \text{ kHz}$.

Pöörisvooludest tingitud kadude ja sellest põhjustatud vibraatori kuumenemise vähendamiseks stantsitakse südamikud $0,1\text{--}0,3 \text{ mm}$ paksusest plekist analoogiliselt trafode südamikele. Plekkide kuju ja mõõtmed on näidatud joonisel 75. Kui plekid on niklist, siis nad eelnevalt puhastatakse rasvainetest ja kuumutatakse neid temperatuuril 750°C $25\text{--}30$ minuti jooksul ning jahutatakse seejärel õhus. Kuumutamisel tekib plekkidele oksüüdikiht, mis on plekkidevaheliseks isolatsiooniks.

Plekipakk kinnitatakse poltide või bandaažidega. Südamiku ümber keritakse ergutusmähis.

Võimsustel kuni 250 W valmistatakse magnetrostriktiivsed vibraatorid tavaliselt ühe südamikuga. Suuremate võimsuste korral tuleb kasutada mitme südamikuga vibraatoreid, mis võimaldavad saada kiirguspinnal ühikult mitu korda suuremat akustilist võimsust.



Joon. 75. Magnetrostriktiivse vibraatori südamikü üldvaade:
 1 — ikked; 2 — südamikud; 3 — sooned
 pingutusbandaazi paigutamiseks.

Vibraatori geometriliste mõõtmete arvutamine. Südamiku resonantsisagedus f_0 määratakse valemiga

$$f_0 = \frac{c}{2l} = \frac{\sqrt{E}}{2l\rho},$$

kus c — heli kiirus vibraatori materjalis m/s;
 l — südamiku kõrgus cm (joon. 75);
 E — materjali elastsusmoodul düün/cm²;
 ρ — materjali tihedus g/cm³.

Antud sagedusel f_0 on heli lainepikkus

$$\lambda_0 = \frac{c}{f_0}.$$

Pleki mõõtmed l ja l_1 määratakse valemist

$$\operatorname{tg}\left(2\pi \frac{l_1}{\lambda_0}\right) \cdot \operatorname{tg}\left(2\pi \frac{l}{2\lambda_0}\right) = \frac{S}{S_k} = \frac{1}{\beta},$$

kus S — südamikude summaarne ristlõige cm²;
 S_k — magnetrostriktiivse paki kiirguspind cm²;
 β — amplituudi transformatsioonitegur.

Kahe ruudukujulise südamikuga vibraatori korral võetakse suhe

$$\frac{S}{S_k} = \frac{2d}{d_1}$$

tavaliselt piirides 0,40—0,70. Andes ette suhte $\frac{S}{S_k}$ võib määrata südamiku kõrguse l .

Vibraatori pleki kõrgus

$$L = l + 2l_1.$$

Kui võtta $l = 2l_1$ *, siis antud sageduse ja suhte $\frac{S}{S_k} = \frac{1}{\beta}$ korral on L minimaalne.

Suurused l ja l_1 määratakse valemitega:

$$l = \frac{C}{\pi f_0} \operatorname{arc} \operatorname{tg} \frac{1}{\sqrt{\frac{S_k}{S}}} \text{ cm}$$

ja

$$l_1 = \frac{C}{2\pi f_0} \operatorname{arc} \operatorname{tg} \frac{1}{\sqrt{\frac{S_k}{S}}} \text{ cm}.$$

Ülejäänud mõõtmed arvutatakse järgnevalt:

$$S = 2dh \text{ cm}^2;$$

$$S_k = d_1h \text{ cm}^2;$$

$$\beta = \frac{S_k}{S} = \frac{d_1}{2d};$$

$$d_1 = 2d + 4d_2 \text{ cm}.$$

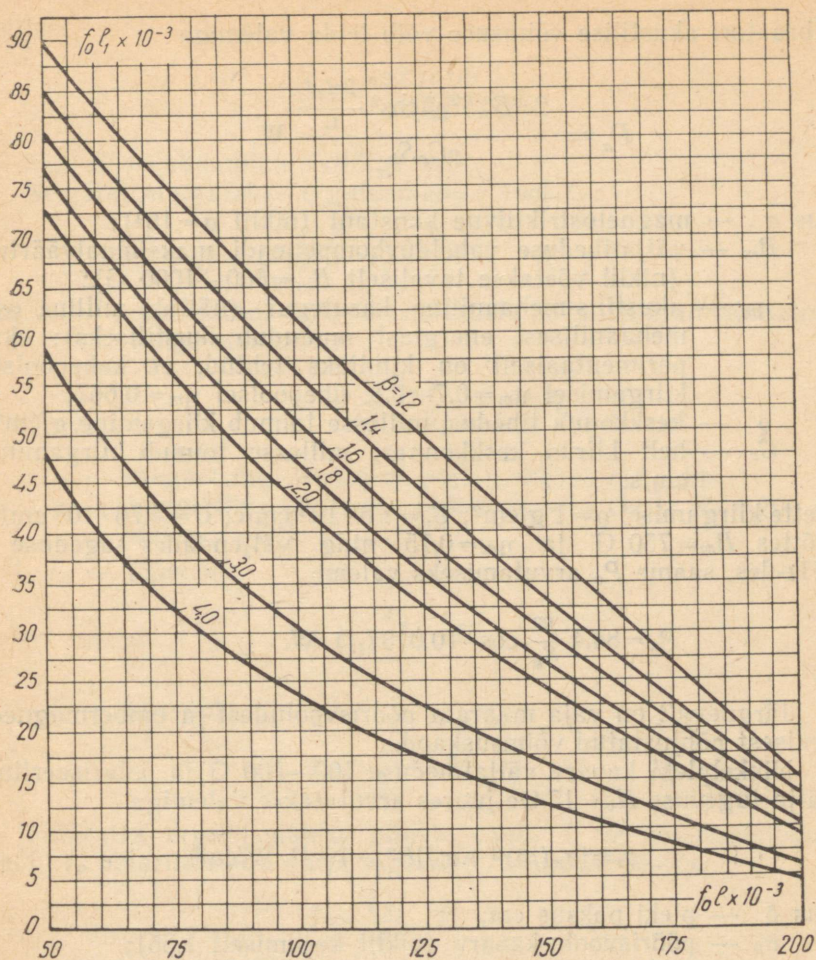
Toodud valemitest selgub, et on küllaldane ette anda ainult üks mõõtmetest, näiteks d või akna laius $2d_2$ ning ülejäänud mõõtmed on arvutatavad.

Nagu praktika näitab, on valmistatud vibraatori tegelik resonantsisagedus mõnevõrra väiksem arvutatust. See seletub sellega, et magnetostriktiivse paki iketes I tekivad peale pikivõngete veel ristivõnked, mille tõttu ikked painduvad südamiku akna kohal. Seetõttu ei või ikke laiust l_1 projekteerida liiga väiksena ja akna laiust $2d_2$ liiga suurena.

Akna laius peab võimaldama ergutusmähise paigutamist.

Näitena on allpool toodud resonantsisagedusele $f_0 = 28,5$ kHz

* Kui ei ole võimalik valida suhet $\frac{l}{l_1} = 2$, siis võib kasutada graafikut joonisel 76 [41], millel on nikli kohta antud korrutise f_{ol_1} sõltuvus korrutisest f_{ol} mitmesuguste β väärtuste juures.



Joon. 76. Korrutise $f_0 l_1$ sõltuvus korrutisest $f_0 l$ mitmesuguste β väärtuste korral.

arvutatud vibraatori mõõtmed: $l = 2,45$ cm; $l_1 = 1,525$ cm; $h = 18$ cm; $d = 1,0$ cm; $d_1 = 5,4$ cm; $d_2 = 0,85$ cm.

Kiiratava erivõimsuse P_a suuruse valikul arvestatakse vibraatorit ümbritsevas vedelikus kavitatsiooni tekkimist.

Sagedusribas 15–100 kHz kavitatsiooni tekkimise piir praktiliselt ei sõltu sagedusest.

Elektromagnetiliste parameetrite arvutamine. Nikkelplekkidest valmistatud ühepoolselt kiirgava polariseeritud magnetostriktiivse

vibraatori akustilise võimsuse võib leida valemiga

$$P_a = \frac{2\sigma^2 B_m^3 S^2 \eta_m^2 \cos^2 \frac{2\pi l_1 f}{C}}{\rho C_c S_k} W,$$

- kus σ — magnetostriktiivne konstant (niklil $\sigma = 10^4$);
 B_m — väljatiheduse vahelduvkomponendi maksimaalväärtus (niklil võetakse tavaliselt $B_m = 600$ — 1000 G);
 η_m — akustilis-mehaaniline kasutegur (näitab, milline osa mehaanilisest energiast muundub akustiliseks); eksperimentaalselt on kindlaks tehtud, et kahepoolisel kiirgamisel $\eta_m = 0,7$ — $0,8$, ühepoolisel $\eta_m = 0,667$;
 ρ — keskkonna tihedus, millesse toimub kiirgamine, g/cm³;
 C_c — heli kiirus keskkonnas, millesse toimub kiirgamine, cm/s.

Vette kiirgamisel $\rho = 1$ g/cm²; $C_c = 1,5 \cdot 10^5$ cm/c; $C = 4,76 \cdot 10^5$ cm/s. Võttes $B_m = 750$ G ja $\eta_m = 0,75$ ning väljendades sageduse f kHz-des, saame P_a arvutamiseks valemi

$$P_a = 84,4 \frac{S^2}{S_k} \cos^2 (0,013 l_1 f) W.$$

Järgnevalt on vaja määrata pöörivooludest ja ümbermagnetimisest põhjustatud võimsuskaod.

Nikkelpleki kaoarv väljatiheduse 100—800 G ja polariseeritud välja tugevuse $H_o = 15$ Oe juures arvutatakse valemiga

$$p_r = [\sigma_p (f\delta)^2 + \sigma_n f] B_m^2 \cdot 10^{-11} W/cm^3,$$

- kus δ — pleki paksus cm;
 σ_p — pöörivoolu-kaoarv (niklil keskmiselt 1,35);
 σ_n — ümbermagnetimise kaoarv (niklil keskmiselt 5,0).
 Võttes $\delta = 0,01$ cm ja $B_m = 700$ G, saame kaoarvuks

$$p_r = (0,66 f^2 + 25,5 f) \cdot 10^{-3} W/cm^3.$$

Arvutanud järgnevalt magnetostriktiivse vibraatori paki mahu V , võime määrata kaovõimsuse

$$P_r = p_r V \quad W.$$

Generaatori antud väljandpinge U korral on vajaliku magnetvoo tekitamiseks vibraatori ergutusmähise keerdude arv määratav valemist

$$U = 4,44 f B S' \omega \cdot 10^{-8} V,$$

millest

$$\omega = \frac{0,23 \cdot U \cdot 10^8}{fS'B_m}.$$

Siin S' — südamikü ristlõige cm^2 .

Seejärel määratakse ergutusmähise vool I_e :

$$I_e = \sqrt{I_m^2 + (I_a + I_r)^2} \quad \text{A},$$

kus I_m — magneetimisvool, mis on faasis 90° nihutatud vibraatori pingesuhtes:

$$I_m = \frac{B_m L_k}{0,8 \cdot \sqrt{2} \pi \mu \omega} \quad \text{A},$$

L_k — magnetringi keskmine pikkus vibraatori pakis,

μ — magnetiline läbitavus (niklil $H_0 = 15 \text{ Oe}$ ja $B_m = 700 \text{ G}$ juures $\mu = 50$).

I_a — töövool:

$$I_a = \frac{P_a}{\eta_m U} \quad \text{A},$$

I_r — kaovool:

$$I_r = \frac{P_r}{U} \quad \text{A},$$

Määrates ergutusmähise läbiva voolu I ja polarisatsiooni-
voolu I_p polariseeritud välja tugevuse $H_0 = 15 \text{ Oe}$ juures

$$I_p = \frac{6L}{\omega} \quad \text{A},$$

võime arvutada ka ergutusmähise summaarse voolu

$$I = \sqrt{I_e^2 + I_p^2}.$$

Et vibraatorit ja seega ka ergutusmähise jahutatakse veega, siis võib voolutiheduseks mähises võtta $8-10 \text{ A/mm}^2$.

Vibraatori poolt võetav summaarne elektriline võimsus

$$P = \frac{P_a}{\eta_m} + P_r \quad \text{W}.$$

Elektroakustiline kasutegur

$$\eta_a = \frac{P_a}{P}.$$

$$R = \frac{U}{I_a + I_r} \quad \Omega,$$

$$\omega L = \frac{U}{I_m} \quad \Omega.$$

Seejuures tuleb arvestada, et nimetatud takistused on lülita-
tud paralleelselt.

Lisa 2

Generaatorite ЛГЕ ja ГЛЗ kohandamine tööks ultrahelivibraatoritega.

Suure võimsusega spetsiaalsete ultraheligeneraatorite massi-
lise tootmise viivitamise tõttu võib ultrahelivibraatoritega (mag-
netostriktiivsete, piesoelektriliste) töötamiseks kasutada kõrg-
sagedusgeneraatoreid ЛГЕ ja ЛГЗ, mis on ette nähtud materja-
lide karastamiseks ja dielektriliseks kuumutamiseks. Selleks on
vaja mõningal määral muuta generaatorite skeeme (joon. 77,
78, 79) ja valmistada erilised lisaseadmed УЗП. Arvutamiseks
vajalikud põhilised andmed, mis on välja töötatud ins. B. Novitski
poolt, on toodud allpool [26].

**Kõrgsagedusgeneraatori ЛГЕ-3Б kohandamine tööks ultraheli-
vibraatoritega sagedustel 20 ja 1000 kHz.** Kõrgsagedusgeneraa-
tor ЛГЕ-3Б võimsusega 3 kW ja sagedusega 25 MHz on ette
nähtud materjalide dielektriliseks kuumutamiseks. Peale ümber-
tegemist võib generaatorit kasutada ultrahelivibraatorite toit-
miseks.

Kvartskiirgaja toitmiseks sagedusega 1000 kHz tehakse järg-
mised muudatused (joon. 77). Suurendatakse võre ja anoodi
eralduskondensaatori mahtuvust ning võre ja anoodi paispoolide
induktiivsust. Võetakse välja paispool 2L ja pool 5L. Nende ase-
mele asetatakse võnkeringi uus vastavate väljavõtetega pool.
Võnkeringis on pinge 4000 V, mis on küllaldane 1000-kHz kvarts-
kiirgaja ergutamiseks; kapi sees asendatakse pöördkondensaa-
tor 1C. Kuna kvarts on kõrgeoomiliseks koormuseks, võib teda lüli-
tada võnkeringi paralleelselt.

Generaatori ümbertegemisel sagedusele 20 kHz suurenda-
takse samuti anoodi ja võre eralduskondensaatorite mahtuvust
ning anoodi- ja võrepaisspoolide induktiivsust. Võnkeringi poolid

tehakse variomeetritena. Magnetostriktor ühendatakse konduktiivsides. Alalisvooluringis olev paispool P_p täidab peale filterpaispooli veel koormuse kõrgsagedusliku komponendi tõkestuspaispooli ülesannet.

Generaatori režiimi arvutus. Lamp ГY-5A: $E_a=5000$ V; $I_s=4,0$ A; $P_{am}=3,5$ kW; $P_k=3,5$ kW; $S=13,6$ mA/V; $D=\frac{1}{64,5}$.

Maksimaalne anoodvool:

$$I_{am} = \frac{5P_k}{E_a} = \frac{5 \cdot 3,5 \cdot 10^3}{5 \cdot 10^3} = 3,5 \text{ A.}$$

Kontrollime, kas on täidetud võrratus $I_{am} < I_s$:

$$3,5 \text{ A} < 4 \text{ A.}$$

Leiame anoodpinge kasutatavuse teguri:

$$\varepsilon = 1 - \frac{I_{am}}{SE_a} \approx 1 - \frac{3,5}{13 \cdot 10^{-3} \cdot 5 \cdot 10^3} = 0,95.$$

Selleks et saada alapingestatud režiimi, võtame $\varepsilon=0,9$. Seejärel määrame vahelduvanoodpinge 1. harmoonilise amplituudi:

$$E_{a1m} = \varepsilon E_a = 0,9 \cdot 5000 = 4500 \text{ V.}$$

Anoodvoolu 1. harmoonilise amplituud

$$I_{a1m} = \frac{2P_k}{E_{a1m}} = \frac{2 \cdot 3,5 \cdot 10^3}{4,5 \cdot 10^3} = 1,56 \text{ A.}$$

Anoodvoolu 1. harmoonilise teguri:

$$\alpha_1 = \frac{I_{a1m}}{I_{am}} = \frac{1,56}{3,5} = 0,45.$$

Teades α_1 väärtust määrame tabelist* lõikenurga Θ ja alalis-komponendi teguri α_0 : $\Theta=78^\circ$, $\alpha_0=0,28$.

* Г. Г. Гинкин. Справочник по радиотехнике. Госэнергоиздат. Стр. 571, табл. 13, 1.

Leiame anoodvoolu alaliskomponendi:

$$I_a = \alpha_0 I_{am} = 0,28 \cdot 3,5 = 1 \text{ A.}$$

Anoodi toitevõimsus

$$P = I_a E_a = 1 \cdot 5 \cdot 10^3 = 5 \text{ kW}$$

ja anoodi kaovõimsus

$$P_a = P - P_k = 5 - 3,5 = 1,5 \text{ kW.}$$

Kontrollime võrratust $P_a < P_k$:

$$1,5 \text{ kW} < 3,5 \text{ kW}$$

ja leiame anoodi kasuteguri

$$\eta = \frac{P_k}{P} = \frac{3,5}{5} = 70\%.$$

Määrame võre ergutuspinge:

$$E_{gm} = \frac{I_{am}}{S(1 - \cos\theta)} + DE_{a1m} = \frac{3,5}{13,6 \cdot 10^{-3}(1 - 0,21)} + \frac{4500}{64,5} = 330 \text{ V.}$$

Anoodiringi takistus:

$$Z_k = \frac{E_{a1m}}{I_{a1m}} = \frac{4500}{1,56} = 2,9 \cdot 10^3 \Omega.$$

Arvutame vönkeringi $5L-1C$ sagedusele 1 MHz:

$$R_k = 12 \Omega;$$

Joon. 77. Generaatori ЖГЕ-3Б elektrilise skeemi muudetav osa (a):

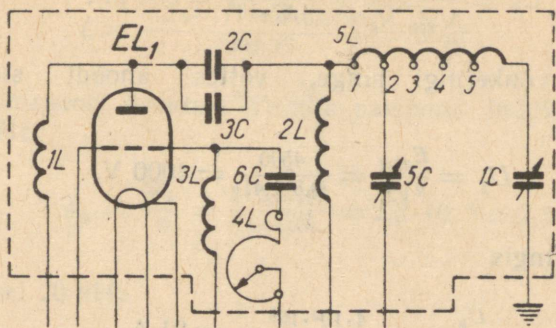
$1L - 3L$ — paispoolid; $4L$ — tagasisidestuspool; $5L$ — vönkeringi induktiivsus; $1C$ — pöördkondensaator plaatide mõõtmetega 280×230 mm; $2C-3C$ — kondensaator (ТГК-1А, 1000 pF, 15 kV); $5C$ — reguleeritav kondensaator (maks. 70 pF); $6C$ — vaakuumkondensaator (B-50, 50 pF, 15 kV, 20 A); EL — generaatorlamp (ГΥ-5А; 3 kW, 5 kV).

Skeemi muudetud osa tööks ultrahelivibraatoritega sagedusel 20 kHz (b):

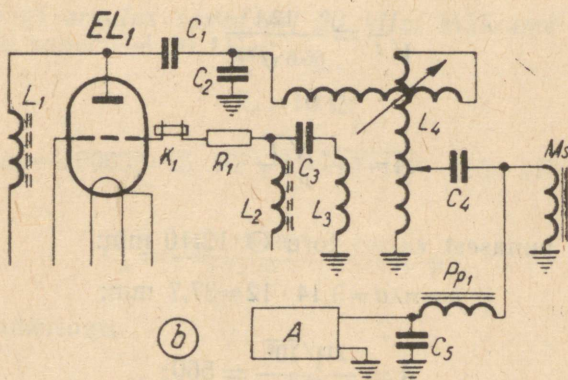
EL_1 — generaatorlamp (ГΥ-5А); L_1 — anoodpaispool (0,09 H); L_2 — võrepaispool (10 mH); L_3 — tagasisidestuspool; L_4 — pool (1,3–1,65 mH); C_1 — anoodi eralduskondensaator (1 μ F, 10 kV); C_2 — vönkeringi kondensaator (0,05 μ F, 10 kV); C_3 — võre eralduskondensaator (1 μ F, 3000 V); C_4 — koormuse eralduskondensaator (6 μ F, 600 V); C_5 — filterkondensaator (4 μ F, 50 V); P_p — filtri paispool (1, H, 10 A); A — gasotronalaldaja M_s — magnetostriktiivne vibraator; R_1 — takisti (200 Ω , 5 W); K_1 — kaitse (0,1 A).

Skeemi muudetud osa tööks ultrahelivibraatoritega sagedusel 1000 kHz (c):

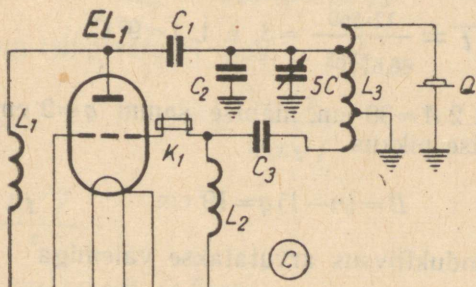
EL_1 — generaatorlamp (ГΥ-5А); L_1 — anoodpaispool (2,3 mH); L_2 — võrepaispool (0,2 mH); L_3 — pool (30 μ H); $5C$ — reguleeritav kondensaator (maks. 70 pF); C_1 — anoodi eralduskondensaator (0,05 μ F, 10 kV); C_2 — võre eralduskondensaator (0,05 μ F, 3 kV); Q — pieoelektriline vibraator; K_1 — kaitse (0,1 A).



(a)



(b)



(c)

$$L_k = 0,00053 \lambda \sqrt{Z_k R_k} = 0,00053 \cdot 300 \sqrt{2,9 \cdot 12 \cdot 10^3} = 30 \mu\text{H};$$

$$C_k = \frac{530\lambda}{\sqrt{Z_k R_k}} = \frac{530 \cdot 300}{1,87 \cdot 10^2} = 850 \text{ pF}.$$

Leiame vönkeringi pinget, võttes anoodi sidestusteguriks $k=0,8$:

$$U_k = \frac{E_{aim}}{k\sqrt{2}} = \frac{4500}{0,8 \cdot 1,41} = 4000 \text{ V}.$$

Vool vönkeringis

$$I_k = \frac{U_k}{\omega L_k} = \frac{4 \cdot 10^2 \cdot 10^8}{6,28 \cdot 10^6 \cdot 3 \cdot 10^4} = 21 \text{ A}$$

ja vönkeringi temperatuuri tõus

$$\sqrt{t} = \frac{12A}{66,6 \sqrt[4]{f}},$$

kus

$$A = \frac{I_k \sqrt{f}}{p}.$$

Võtame punasest vasest toru $\varnothing 12/10$ mm:

$$p = \pi \lambda d = 3,14 \cdot 12 = 37,7 \text{ mm};$$

$$A = \frac{21 \sqrt[4]{10^6}}{37,7} = 560;$$

$$\sqrt{t} = \frac{12 \cdot 560}{66,6 \sqrt[4]{10^6}} = 3, \text{ s. t. } t = 9^\circ \text{ C}.$$

Pooli läbimõõt $2A = 30$ cm, mähise samm $q = 2$ cm; keerdude arv $n = 10,5$; mähise pikkus

$$B = (n-1)q = 19 \text{ cm}.$$

Sellise pooli induktiivsus arvutatakse valemiga

$$L = \frac{4\pi^2 n^2 A^2 K}{1000B} \mu\text{F},$$

kus K oleneb suhtest $\frac{2A}{B}$ ning võetakse tabelist*.

$$L = \frac{3,14^2 \cdot 111 \cdot 900 \cdot 0,5795}{1000 \cdot 19} = 30 \mu\text{F}.$$

Anoodpaispooli arvutus. Vajalik paispooli induktiivsus sagedusel 1 MHz

$$L_{p1} = \frac{5Z_k}{\omega} = \frac{5 \cdot 2,9 \cdot 10^3}{2\pi \cdot 10^6} = 2,3 \cdot 10^{-3} = 2,3 \text{ mH}$$

ja sagedusel 20 kHz

$$L_{p20} = \frac{5Z_k}{\omega} = \frac{5 \cdot 2,9 \cdot 10^3}{2\pi \cdot 20 \cdot 10^3} = 0,1 \text{ H}.$$

Võnkeringi arvutus sagedusel 20 kHz. Määrame võnkeringi parameetrid sagedusel 20 kHz:

$$R_k = 10 \Omega;$$

$$L_k = 0,00053 \cdot 15 \cdot 10^3 \sqrt{2,9 \cdot 10 \cdot 10^3} = 1360 \mu\text{H};$$

$$C_k = \frac{530 \cdot 15 \cdot 10^3}{1,7 \cdot 10^2} = 47000 \text{ pF}.$$

Vool võnkeringis

$$I_k = \frac{U_k}{\omega L_k} = \frac{4 \cdot 10^3 \cdot 10^9}{1,26 \cdot 10^5 \cdot 1,36 \cdot 10^6} = 24 \text{ A}$$

ja võnkeringi temperatuuri tõus

$$\sqrt{t} = \frac{12 \text{ A}}{66,6 \sqrt{f}},$$

$$\text{kus } A = \frac{I_k \sqrt{f}}{p}.$$

Võtame vasktraadi $\varnothing 3 \text{ mm}$:

* Г. Г. Гинкин. Справочник по радиотехнике. Госэнергоиздат, стр. 195, табл. 5, 2.

$$\rho = \pi d = 3,14 \cdot 3 = 9,5 \text{ mm};$$

$$A = \frac{24\sqrt{2 \cdot 10^4}}{9,5} = 3,6 \cdot 10^2;$$

$$\sqrt{t} = \frac{12 \cdot 3,6 \cdot 10^2}{66,6 \sqrt[4]{2 \cdot 10^4}} = 6,2,$$

s. t. $t = 39^\circ \text{C}$.

Pooli läbimõõt $2A = 30 \text{ cm}$; mähise samm $q = 0,6 \text{ cm}$; keerdude arv $n = 110$; pooli pikkus $B = (n-1)q = 65 \text{ cm}$.

Sellise pooli induktiivsus

$$L = \frac{4\pi^2 n^2 A^2 K}{1000B} = \frac{10 \cdot 900 \cdot 12,1 \cdot 10^8 \cdot 0,8306}{1000 \cdot 65} = 1,38 \text{ mH}.$$

Võrepaispool. Võrepaispooli induktiivsuse võtame 10 korda väiksema anoodpaispooli induktiivsusest, s. o. $L = 225 \mu\text{H}$. Poolikeha läbimõõdu 40 mm ja juhtme ПЭШО $0,69 \text{ mm}$ juures on vajalik keerdude arv 135.

16 mm jämeduse ja 50 mm pikkuse ferriitsüdamiku ($\mu = 260$) kasutamisel on induktiivsus $L = 9000 \mu\text{H}$.

Kõik ülejäänud andmed on toodud muudetud skeemide spetsifikatsioonis (joon. 77).

Joon. 78. Generaatori ЛГЗ-10 elektrilise skeemi muudetav osa (a):

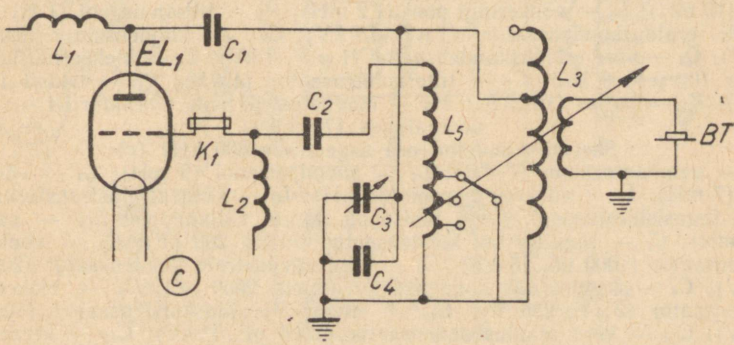
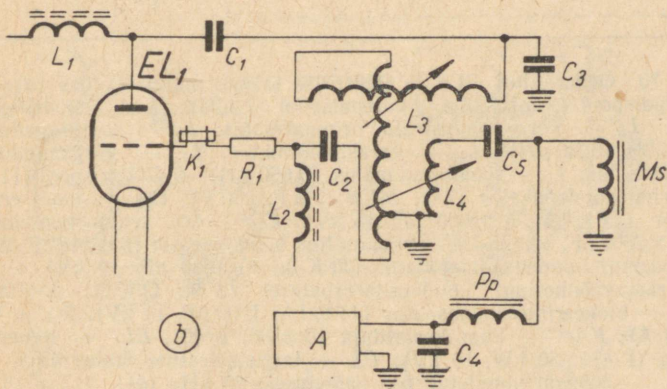
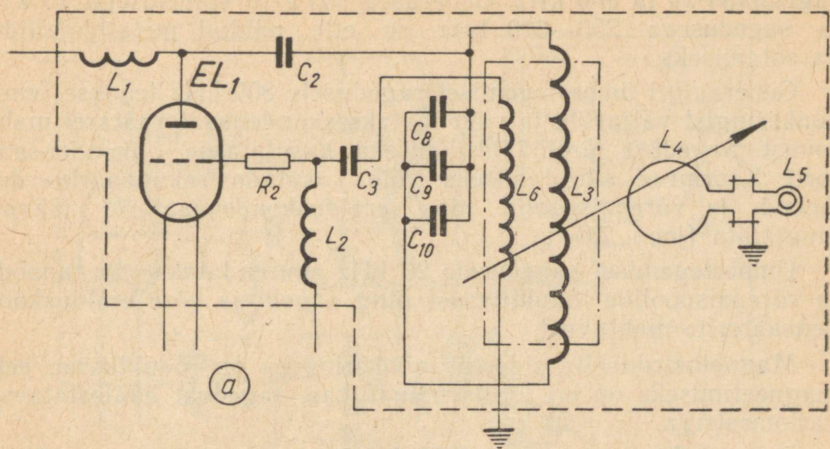
L_1 — anoodpaispool ($\emptyset 120$; 332 keerd; ПЭЛБО-0,8); L_2 — võrepaispool (160; 192 keerd; ПЭЛБО-0,38); L_3 — karastustransformaatori primaarmähis; L_4 — sekundaarkeerd 3Т (0,18 μF); L_5 — karastusinduktor; L_6 — tagasisidestuspool; C_3 — võre eralduskondensaator (ТГК-2,5; $3 \times 2500 \text{ pF}$, 6 kV); C_8-C_{10} — kondensaatorpatarei (ТГК-1k; $3 \times 1000 \text{ pF}$, 10 kV); R_2 — takisti (65 Ω); EL_1 — generaatorlamp (ГΥ-89; 10 kW, 8,5 kV).

Skeemi muudetud osa sagedusele 20 kHz (b):

EL_1 — generaatorlamp (ГΥ-89A); L_1 — anoodpaispool (0,09 H); L_2 — võrepaispool (10 mH); L_3 — pool (1,3–1,6 mH); L_4 — väljavõte; C_1 — anoodi eralduskondensaator (1 μF , 15 kV); C_2 — võre eralduskondensaator (1 μF , 6 kV); C_3 — kondensaator (0,05 μF , 15 kV); C_4 — filterkondensaator (4 μF ; 50 V); C_5 — koormuskondensaator (6 μF , 1000 V); P_p — filterpaispool (1 H); K_1 — kaitse (0,2 A); M_s — magnetostriktiivne vibraator; R_1 — takisti (200 Ω , 15 W); A — alalisvooluallikas (2 kW).

Skeemi muudetud osa sagedusele 800 kHz (c):

EL_1 — generaatorlamp (ГΥ-89A); L_1 — anoodpaispool (3 mH); L_2 — võrepaispool (0,3 mH); L_3 — pool-kondensaator (36,5 μH); L_5 — sidestuspool; C_1 — anoodi eralduskondensaator (4000 pF, 15 kV); C_2 — võre eralduskondensaator (5000 pF, 6 kV); C_3 — reguleeritav kondensaator (maks. 300 μF); C_4 — kondensaator (1100 pF, 15 kV); K_1 — kaitse (0,2 A); BT — baariumtitaanaatkiirgaja.



Generaatori ЛГЗ-10 kohandamine tööks ultrahelivibraatoritega sagedustel 20 ja 800 kHz. Generaator ЛГЗ-10 võimsusega 10 kW ja sagedusega 250—300 kHz on ette nähtud metalldetailide karastamiseks.

Generaatori ümbertegemisel sagedusele 800 kHz tehakse tema võnkeringist väljavõte ja vähendatakse kondensaatorpatarei mahutuvust. Sageduse järelhäälestamiseks kasutatakse õlikondensaatorit. Koormuse sidestamiseks võib kasutada sekundaarkeerdu. Anood- ja võrepaispoolid ning eralduskondensaatorid jäävad muutmata (joon. 79).

Ümbertegemisel sagedusele 20 kHz suurendatakse ka anood- ja võrepaispoolide induktiivsust ning anoodi ja võre eralduskondensaatorite mahtuvust.

Magnetostriktorite sidestus võnkeringiga on induktiivne; eelmagneetamiseks on eri alalisvooluallikas; sagedust häälestatakse variomeetriga.

Rakendades generaatori ЛГЕ-3Б kohta toodud arvutuskäiku,

Joon. 79. Generaatori ЛГЗ-30 elektrilise skeemi muudetav osa (a):

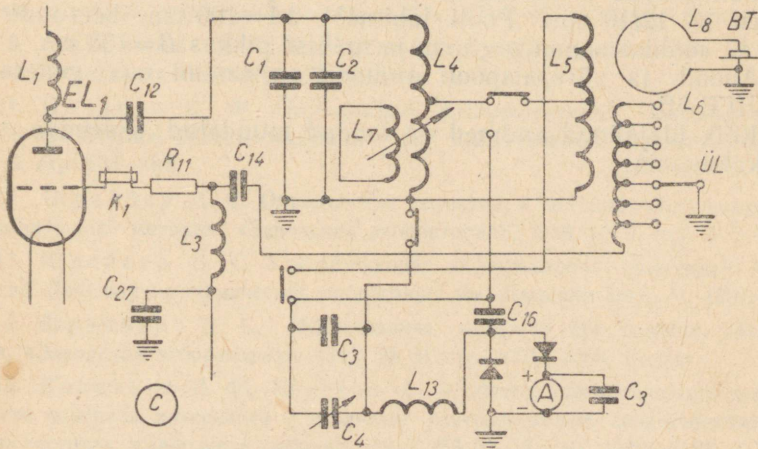
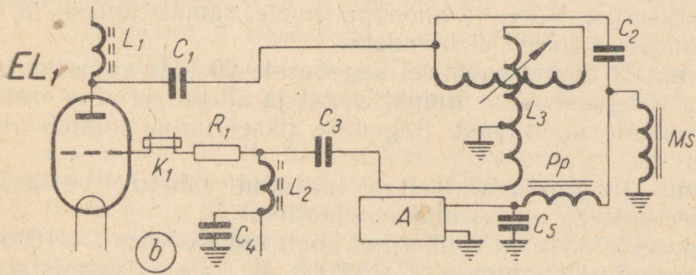
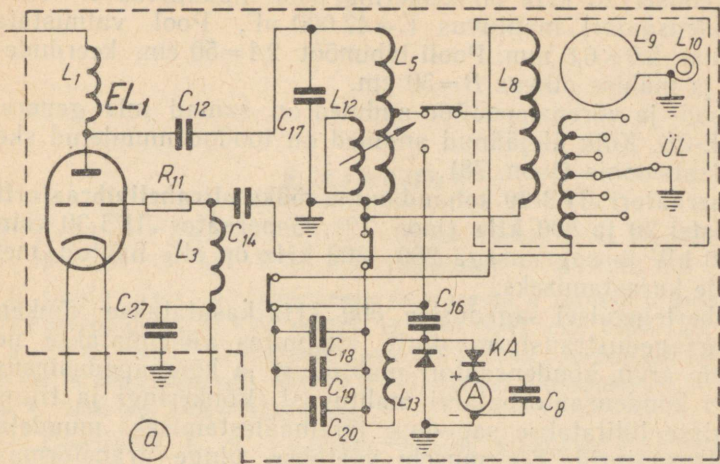
L_1 — anoodpaispool (9 mH); L_3 — võrepaispool (7 mH); L_5 — anoodringi pool (0,334 mH); L_8 — kõrgsagedustrafo primaarmähis; L_9 — kõrgsagedustrafo sekundaarmähis (0,32 μ H); L_{10} — karastusinduktor; L_{11} — kõrgsagedustrafo tagasisidestusmähis; L_{12} — lühistatud mähis (0,660 μ H); L_{13} — paispool (11 mH); C_9 — blokeerimiskondensaator (7 tk; MKB; 2 μ F, 250 V); C_{12} — anoodi eralduskondensaator (ТГК-1А; 5×1000 pF, 15 kV); C_{14} — võre eralduskondensaator (ТГК-2,5; 4×2500 pF, 5 kV); C_{16} — keraamiline kondensaator (6 tk; 45 pF; 20 kV); C_{17} — anoodringi kondensaatorpatarei (ТГК-лк; 3×1000 pF; 10 kV); C_{18} , C_{19} , C_{20} — karastusvõnkeringi kondensaatorpatarei (3 tk; ТГК-лк; 6×1000 pF, 10 kV); C_{27} — blokeerimiskondensaator (ТГК-1А; 1000 pF, 15 kV); R_{11} — takisti (130 Ω , 0,75 A); KA — kuproksalaldaja (Э-3366; \emptyset 40); EL_1 — generaatorlamp (Г-431; 30 kW, 15 kV); UL — tagasisidestuse ümberlüüti.

Skeemi muudetud osa sagedusele 20 kHz (b):

EL_1 — generaatorlamp (Г-431); L_1 — anoodpaispool (0,09 H); L_2 — võrepaispool (10 mH); L_3 — võnkeringi pool (1,2 mH); Pp — filterpaispool (1 H); C_1 — anoodi eralduskondensaator (1 μ F, 15 kV); C_2 — kondensaator (0,053 μ F, 15 kV); C_3 — võre eralduskondensaator (1 μ F, 5 kV); C_4 — blokeerimiskondensaator (0,1 μ F, 5 kV); C_5 — filterkondensaator (4 μ F); R_1 — takisti (130 Ω , 70 W); K_1 — kaitse (10,35 A); M_s — magnetostriktiivne vibraator; A — alalisvooluallikas (7,5 kW).

Skeemi muudetud osa sagedusele 800 kHz (c):

EL_1 — generaatorlamp (Г-431); L_1 — anoodpaispool (9 mH); L_3 — võrepaispool (7 mH); L_4 — võnkeringi pool (33 μ H); L_5 — kõrgsagedustransformaator; L_6 — tagasisidestuspool; L_7 — lühispool; L_9 — väljandpool; L_{13} — paispool (1,1 mH); C_1 — reguleeritav kondensaator (maks. 200 pF); C_2 — võnkeringi kondensaator (1000 pF, 15 kV); C_3 — kõrgsagedustrafo kondensaator (2000 pF, 15 kV); C_4 — reguleeritav kondensaator (maks. 2000 pF); C_9 — blokeerimiskondensaator (2 μ F; 250 V); C_{12} — anoodi eralduskondensaator (5000 pF, 15 kV); C_{14} — võre eralduskondensaator (1000 pF, 15 kV); C_{16} — keraamiline kondensaator (6×45 pF); C_{27} — blokeerimiskondensaator (1000 pF, 15 kV); R_{11} — takisti (130 Ω , 70 W); K_1 — kaitse (0,35 A); BT — baariumtitaatkiirgaja.



leiame, et sagedusel 800 kHz on võnkeringi pooli induktiivsus $L=36,5 \mu\text{H}$ ja kondensaatori mahtuvus $C=1100 \text{ pF}$.

Sagedusel 20 kHz on võnkeringi pooli induktiivsus $L=1300 \mu\text{F}$ ja kondensaatori mahtuvus $C=47\,000 \text{ pF}$. Pool valmistatakse vasklatist $5,6 \times 6,6 \text{ mm}$. Pooli läbimõõt $2A=50 \text{ cm}$, keerdude arv $\omega=62$ ja mähise pikkus $B=50 \text{ cm}$.

Anood- ja võrepaispoolide andmed on samad mis generaatoril ЛГЕ-3Б. Kõik ülejäänud andmed on toodud muudetud skeemi spetsifikatsioonis (joon. 78).

Generaatori ЛГ3-30 kohandamine tööks ultrahelivibraatoritega sagedustel 20 ja 800 kHz (joon. 79). Generaator ЛГ3-30 võimsusega 30 kW ja sagedusega 250—300 kHz on ette nähtud metallidetailide karastamiseks.

Ümbertegemisel sagedusele 800 kHz kasutatakse võnkepooli ja kõrgsagedustransformaatorit, kusjuures vähendatakse nende keerdude arvu, kondensaatori mahtuvust ja kõrgsagedustransformaatori kondensaatorpatarei mahtuvust. Võnkeringi ja transformatorisse lülitatakse sageduse järelhäälestamiseks muudetavad õlikondensaatorid. Koormusele võetakse pinge transformatori sekundaarkeerust. Võre- ja anoodpaispoole, samuti anoodi ja võre eralduskondensaatoreid ei muudeta.

Generaatori ümbertegemisel sagedusele 20 kHz suurendatakse anood- ja võrepaispoolide induktiivsust ja anoodi ja võre eralduskondensaatorite mahtuvust. Sageduse fikseerimine toimub variomeetriga.

Koormus (magnetostriktor) on lülitatud vahetult võnkeringi. Eelmagneetamiseks on eri alalisvooluallikas.

Sagedusel 20 kHz on võnkeringi pooli induktiivsus $L=1200 \mu\text{H}$ ja kondensaatori mahtuvus $C=53\,000 \text{ pF}$. Pool valmistatakse torust $\varnothing 12/10 \text{ mm}$. Pooli läbimõõt $2A=100 \text{ cm}$, keerdude arv $\omega=47$, mähise samm $q=3 \text{ cm}$ ja mähise pikkus $B=138 \text{ cm}$.

Anood- ja võrepaispooli andmed on samad mis generaatoril ЛГЕ-3Б.

Kõik ülejäänud andmed on toodud muudetud skeemide spetsifikatsioonis.

KIRJANDUS*

1. Стрэтт Дж. В. Релей, Теория звука, т. 1, Гостехтеориздат, М.-Л., 1944, 499 стр., илл. Т. П. Гостехтеориздат, М.-Л., 1940, 476 стр., илл.

2. Соколов С. Я. Применение ультразвука в технике и физике, «Заводская лаборатория», т. XIV, ноябрь, 14, 1948, № 11, стр. 1328—1335, 11 илл.

3. Соколов С. Я. Ультраакустические методы определения внутренних дефектов в металлических изделиях. «Заводская лаборатория», т. IV, декабрь, 4, 1935, стр. 1468—1473, 9 илл.

4. Соколов С. Я. Ультраакустические колебания и их применение, «Заводская лаборатория», т. IV, 4, май, 1955, стр. 527—538, 17 илл.

5. Соколов С. Я. Применение ультразвуковых колебаний для наблюдений физико-химических процессов, «ЖТФ», 16, 1946, стр. 783, илл.

6. Соколов С. Я. Ультраакустический микроскоп, «ЖТФ», 19, 1949, стр. 271, илл.

7. Ржевкин С. Н. Визуализация пространственно-модулированных звуковых волн, «Успехи физических наук», 44, 1951, № 1, стр. 70—75, илл.

8. Михайлов И. Г. Скорость и поглощение ультразвуковых волн в некоторых бинарных смесях. «ДАН СССР», 26, 1940, стр. 147.

9. Михайлов И. Г. Скорость ультразвуковых волн в водных, смесях некоторых органических жидкостей, «ДАН СССР», 31, 1941, стр. 324.

10. Михайлов И. Г. Распространение ультразвуковых волн в жидкостях, Гостехиздат, М., 1949, 152 стр., илл.

11. Ноздрев В. Ф. Исследование распространения ультразвуковых волн в критической области жидкость — пар, «Акустический журнал», 1955, 1, вып. 3, стр. 235—248.

12. Шрайбер Д. С. Определение дефектов в металлических изделиях ультразвуковым методом, «Заводская лаборатория», 1939, № 9, стр. 816—825.

13. Шрайбер Д. С. Ультразвуковая дефектоскопия (конспект). Московский Дом научно-технической пропаганды им. Дзержинского, М. 1957.

14. Шрайбер Д. С. Исследование металлов при помощи ультразвука, «Заводская лаборатория», 1940, № 9, стр. 1001—1008, 15 илл.

15. Васильев Д. Ф., Шустов Н. Ф. Метод автоматического непрерывного контроля материалов с помощью ультразвукового дефектоскопа на низких частотах, «Заводская лаборатория», 1956, № 10, стр. 1186—1188, 3 илл.

* Avaldatakse täpses vastavuses originaalile.

16. Рябуха Н. И., Ногин С. И. Ультразвуковые приборы для испытания и исследования бетона, Киев, 1957, информационное письмо № 65 технического управления МСПУ, «ВНИИМа — промжилстрой».
17. Мэзон У. Пьезоэлектрические кристаллы и их применение в ультразвуке, Издательство иностранной литературы, М., 1952, 448 стр., илл.
18. Вул Б. М. Сегнетоэлектрики АН СССР, М., 1956, 27 стр., илл.
19. Полоцкий И. Г., Филиппов Г. С. К вопросу о механизме деполяризующего действия ультразвука, «Журнал общей химии», 1947, 17, № 2, стр. 193—198.
20. Защук И. В., Госсен К. Я. Испытание твердеющего бетона ультразвуковыми методами, «Заводская лаборатория», 1951, 17, № 7, стр. 833—844.
21. Дурасов А. С., Крылов Н. А. Аппаратура для акустического и радиотехнического контроля качества строительных материалов. Стенограмма лекций. Ленинградский Дом научно-технической пропаганды, 1958.
22. Пирожников Л. Б. Развитие акустических методов контроля качества бетона и железобетона за рубежом. Углетехиздат, М., 1957.
23. Пирожников Л. Б. Акустические методы контроля качества бетона. Стенограмма лекции. Ленинградский Дом научно-технической пропаганды, 1957.
24. Кудрявцев Б. Б. Применение ультразвуковых методов в практике физико-химических исследований. Гостехтеоретиздат, М.-Л., 1952, 323 стр. 151 илл.
25. Бергман Л. Ультразвук. Издательство иностранной литературы. М.-Л. 1957, 726 стр., 610 илл.
26. Фридман В. М. Звуковые и ультразвуковые колебания и их применение в легкой промышленности. Гизлепром., М., 1956, 281 стр., 151 илл.
27. Богословский Ю. В. Ультразвуковой дефектоскоп УЗД-7Н. М., Машгиз, 1957.
28. Ермолов И. Н. Ультразвуковые приборы ЦНИИТМАШа для измерения толщины и контроля изделий. Московский Дом научно-технической пропаганды им. Дзержинского, 1957.
29. Ермолов И. Н., Рыжов В. И., Краковяк М. Ф. Ультразвуковой импульсный дефектоскоп для контроля сварных швов большой толщины. М., ФВИНИТИ, тема 9, № М57-308/3, 1957.
30. Голубев А. С., Жаров К. В. Ультразвуковой дефектоскоп УЗД-12Т системы профессора С. Я. Соколова, ФВИНИТИ, М., 1957, тема 33, № П-57-23/1.
31. Красильников В. А. Звуковые волны. Машгиз, М., 1954, 439 стр., 291 илл.
32. Гурвич А. К. Ультразвуковая дефектоскопия стыковых сварных швов. Информ. техн. листок № 63, Ленинградский Дом научно-технической пропаганды, 1956.
33. Химченко Н. В. Некоторые работы НИИХиммаша в области ультразвуковой дефектоскопии. Московский Дом научно-технической пропаганды им. Дзержинского, М., 1957.

34. Гурвич А. К. Контроль качества сварных швов ультразвуком. «Автоматическая сварка», 1956, № 5.
35. Штремер Ю. Н. Ультразвуковой дефектоскоп УЗД-55 системы ЦНИИ МПС. Информационное письмо по обмену опытом № 39(342), МПС., М., 1956.
36. Козлов В. Б. Ультразвуковой дефектоскоп для контроля железнодорожных рельсов (конспект). Московский Дом научно-техн. пропаганды им. Дзержинского, 1957.
37. Шрайбер Д. С. Современные методы дефектоскопии. Изд. АН СССР, Ин-т техн. информ. М., 1956, стр. 40, илл.
38. Розенберг Л. Д. Обзор методов визуализации ультразвуковых полей. «Акустический журнал», 1955, т. 1, вып. 2.
39. Ульман В. Ультразвук и его техническое применение для целей очистки № 29, стр. 11—12, § 3—6.
40. Польшман Р. К вопросу о механизме ультразвуковой очистки. „Metalloberfläche“, т. 10, № 9, стр. 273—276, 1956.
41. Евдокимов Н. А. Теория и расчет магнитострикционных вибраторов. ЛЭТИ им. Ульянова (Ленина), Л., 1957. 70 стр., 32 илл.
42. Кеди У. Пьезоэлектричество и его практическое применение. М., Издательство иностранной литературы, 1949, 717 стр., илл.
43. Бронникова Е. Г., Ставицкий Н. М. Промышленные пьезоэлектрики и их применение. Информационный сборник «Радиотехническое производство», 1956, № 3, стр. 3—53, 16 илл.
44. Бреховских Л. М., Красильников В. А., Ноздрев В. Ф., Розенберг Л. Д. Физические основы промышленных применений ультразвука (конспект). Московский Дом научно-технической пропаганды им. Дзержинского, М., 1957.
45. Использование ультразвуковых волн в металлургии. The Journal of the Acoustical Society of America. 1954, № 5, сентябрь, стр. 831—842.
46. Дельфс И. Новые исследования влияния ультразвука на электродные процессы. «Metalloberfläche», 1956. 10. № 9, стр. 266—271.
47. Брук М. В., Петров Б. А. Предупреждение образования накипи в котлах с помощью ультразвука. Информ. техн. листок № 32. Ленинградский Дом научно-технической пропаганды. 1958.
48. Рабинович И. К. Ультразвуковая аппаратура для пайки алюминия (конспект). Московский Дом научно-технической пропаганды им. Дзержинского, 1957.
49. Розенберг Л. Д. и Якимович Д. Ф. Современное состояние и возможные перспективы развития ультразвукового способа резания хрупких металлов в книге «Прогрессивная технология в машиностроении и приборостроении». Московский Дом научно-техн. пропаганды им. Дзержинского, 1958.
50. Бебчук А. С., Макаров Л. О. и Розенберг Л. Д. О механизме квантационного разрушения поверхностных пленок в звуковом поле, «Акустический журнал», АН СССР. 1956, т. II, вып. 2, стр. 113—117, илл. 11,

51. The «Crustax» ultrasonic boiler descaler. «Engineering», 1953, т. 175, № 4555, стр. 619.

52. «Отделение пыли с помощью звуковых колебаний». «Bergbautechnik», 1955, № 4, стр. 201—209.

53. Керли Б. Ультразвук. Изд-во иностр. лит., М., 1950, 306 стр., илл.

54. Гутин Л. Я. К теории магнитострикционного преобразователя. «ЖТФ», 1945, стр. 239, Магнитострикционные излучатели и приемники. «ЖТФ», 1945, стр. 924.

55. Карновский М. И. Теория и расчеты сирен — «ЖТФ», 1945, стр. 348.

56. Меркулов Л. Г. Исследование рассеяния ультразвука в металлах. «ЖТФ», 1956, стр. 64.

57. Меркулов К. Г. Поглощение и диффузное рассеяние ультразвука в металлах. «ЖТФ», 1957, стр. 1386—1391, 7 илл.

58. Меркулов Л. Г. Применение ультразвука для исследования структуры сталей, «ЖТФ», 27, 1957.

59. Соколов В. С. Дефектоскопия материалов. Госэнергоиздат, М.-Л., 1957.

60. Matauscheck. Einführung in die Ultraschalltechnik, Berlin, 1957.

61. Голубев А. С., Щукин В. А. Прибор для измерения скорости распространения ультразвука в твердых телах. «Передовой научно-технический и производственный опыт» 1957, тема 33, № II—57-86/5, ФВИНИТИ.

62. Меркулов Л. Г. Теория ультразвуковых концентраторов. «Акустический журнал», 1957, т. III, вып. 3, стр. 230—238, 4 илл.

63. Марков А. И. и Лямин Б. Н. Вибраторы для ультразвукового резания. «Авиационная промышленность», № 9, 1957.

64. Инструктивные материалы и типовые технологические процессы очистки деталей с применением ультразвука. М., НИТИ, 1959.

65. Институт металлургии им. А. А. Байкова АН СССР. Инструкция по ультразвуковой сварке алюминия и его сплавов. М., 1959.

66. Центральное правление НТО Машпром. Тезисы докладов «Применение ультразвука в сварке». М., 1959.

SISUKORD

Sissejuhatus	3
I. Elastsete võnkumiste allikad	10
1. Vibraatorid	10
2. Kõrgsagedusgeneraatorid	16
II. Heli ja ultraheli tööstuslik kasutamine	23
1. Ultrahelidefektoskoopia ja mõõtmised ultraheliga	23
2. Ultraheli kasutamine metallurgias	51
3. Ultraheli kasutamine keevitamisel	56
4. Ultraheli kasutamine elektrokeemias	59
5. Kõvade ja habraste materjalide töötlemine ultraheli abil	61
6. Detailide ja mehhanismide sõlmede puhastamine ultraheliga	72
7. Emulsioonide valmistamine ultraheliga ja ainete disperseerimine	94
8. Ultraheliga jootmine ja tinutamine	97
9. Aerosoolide koagulatsioon	101
Lisa 1. Magnetroktriivse vibraatori arvutus	104
Lisa 2. Generaatorite ЛГЕ ja ЛГЗ kohandamine tööks ultrahelivibraatoritega	110
Kirjandus	121

Ачкинадзе Шамиль Дауович
ПРИМЕНЕНИЕ УЛЬТРАЗВУКА В МАШИНО-
СТРОЕНИИ И ПРИБОРОСТРОЕНИИ.

Эстонское Государственное Издательство
Таллин, Пярнуское шоссе, 10.

Toimetaja L. Abo

Tehniline toimetaja O. Lau

Korrektorid V. Leibak ja A. Nurmoja

Ladumisele antud 29. XII 1960. Trükkimisele antud
7. III 1961. Paber 60×90, 1/16. Trükipoognaid 8,0.
Arvutuspoognaid 7,48. Trükiarv 2000.

Tellimise nr. 11129. Hans Heidemanni nim. trükikoda,
Tartu, Ülikooli 17/19. III.

Hind 44 kop.

44 kop.

A-23661
J

TÜ RAAMATUKOGU



1 0300 00366695 7