

ŠIAULIŲ UNIVERSITETAS  
TECHNOLOGIJOS FAKULTETAS  
MECHANIKOS INŽINERIJOS KATEDRA

TVIRTINU:  
Katedros vedėjas  
Z. Ramonas

**ROLOMAITNIAI VIBROVARIKLIAI IR JŲ DINAMIKOS  
TYRIMAS**

Magistro darbas

Darbo vadovas:  
prof. dr. R. V. Ulozas

Recenzentas  
doc. dr. J. Rimkus

Darbą atliko:  
MM3 gr. stud.  
Gintas Bogušis

Šiauliai, 2005

ŠIAULIŲ UNIVERSITETAS  
TECHNOLOGIJOS FAKULTETAS  
MECHANIKOS INŽINERIJOS KATEDRA

Gintas Bogušis

**ROLOMAITINIAI VIBROVARIKLIAI IR JŲ DINAMIKOS  
TYRIMAS**

Magistro darbas

Darbo vadovas:  
prof. dr. R. V. Ulozas

Šiauliai, 2005

## TURINYS

SUMMARY.....	3
ĮVADAS.....	4
1. VIBROVARIKLIŲ APŽVALGA.....	5
2. VIBROVARIKLIŲ KLASIFIKACIJA.....	12
3. VIBROVARIKLIŲ VEIKIMO PRINCIPAI.....	14
4. ORIGINALIŲ VIBROVARIKLIŲ KONSTRUKCIJŲ APŽVALGA IR EKSPERIMENTINIAI TYRIMAI.....	15
5. DINAMINIO MODELIO TEORINIS TYRIMAS.....	20
6. EKSPERIMENTINIAI VIBRORITINĖLIO TYRIMAI.....	23
7. BANGINĖS PJEZOELEKTRINĖS PAVAROS.....	26
7.1. Pjezokeraminio žiedinio žadintuvo dinamika.....	27
7.2. Banginės pjezoelektrinės pavaros dinamika.....	29
8. TIESIALINIJINIS VARIKLIS.....	29
9. LINIJINIS VIBRIVARIKLIS.....	32
10. VIBROVARIKLIŲ PANAUDOJIMO SRITYS IR PAVYZDŽIAI.....	34
10.1. Linijinio ir sukamojo judėjimo vibrovarikliai.....	34
10.2. Vibromechanizmų pritaikymas automobiliuose.....	35
IŠVADOS.....	37
LITERATŪRA.....	38
PRIEDAI.....	39

## SUMMARY

The short analysis of vibromotors and rolamite type mechanisms is submitted, their advantages are revealed. Dynamic processes, occurring in vibromotor, are investigated experimentally in which the slanting impact of the converter of longitudinal fluctuations to a rotor is used, and rotates it. It is established that optimum corner of elastic pressing of the converter of longitudinal fluctuations to a rotor makes  $125^\circ$  and the greatest revolutions of a rotor is got. The size of elastic pressing of the converter of longitudinal fluctuations to a rotor insignificantly influences the form of the mechanical characteristics. It is recommending for precision systems working in a wide temperature range and at linear and vibrating overloads to use the circuits with included in a contour of the generator by converters or to construct auto oscillatory generators working on resonant frequency of the converter. The value of non-synchronicity of rotation of rotors mostly grows in elementary vibromotor with two rotors, least – in rolamite vibromotor, in which the converter of longitudinal fluctuations rotates both rotors. The variant of rolamite vibromotor, in which the converter of longitudinal fluctuations rotates both rotors, is optimum. The synthesis of the rolamite type mechanism and vibromotor allows to design qualitatively new original mechanisms.

## ĮVADAS

Vystantis šiuolaikinei technikai, išauga reikalavimai įvairiai aparatūrai ir prietaisams: jie turi būti patikimi, mažų gabaritų, aukšto naudingumo koeficiento, galėtų dirbti ekstremaliose sąlygose (vakuume, plačiame temperatūrų diapazone, prie padidintos radiacijos ir pan.).

Esantys elektros varikliai ne visada tenkina keliamus jiems reikalavimus: jie turi didelį pastovų laiką, įjungimo metu kinta dinaminės charakteristikos, turi mažas sukimosi dažnio ribas. Sprendžiamos problemos dėl jų pasisukimo kampo ir tiesialinijinių judėjimo mazgų paklaidų. Tokios jų charakteristikos, kai yra siekiama vis didesnio tikslumo, nėra tinkamos dabartiniams laikams. Todėl sukurti naujo tipo mechanizmai, kurie dirba naudojant mikrovibraciją ir turi labai didelę pritaikymo galimybę.

Šiame darbe apžvelgiami pagrindiniai vibrovariklių variantai nuo paprasčiausių schemų, kur judesys gaunamas veikiant vykdomosius elementus įžambiu smūgiu, iki vibrovariklių, kurie veikia susidarant „bėgančiais bangai“. Apžvelgti vibrovarikliai gali būti pritaikyti precizinių staklių gamyboje, robototeknikoje, optiniuose prietaisuose ir pan. Taip pat čia išnagrinėtas dinaminis modelis, kuris gali būti pritaikytas kuriant naujus tiesialinijinius vibrovariklius, su geresnėmis dinaminėmis savybėmis.

Vibrovarikliai – šis terminas pirmą kartą buvo priimtas Kaune 1970 metais, kai vyko seminaras „Mašinų teorija ir mechanizmai“.

Patys pirmieji vibrovarikliai buvo kuriami žemo dažnio vibracinio transportavimo pagrindu, be to buvo taikomi įstrižiniai smūgiai. Tolesni tyrimai ir gaminio etapai sukūrė žymiai geresnes judėjimo sąveikos grandis. Atsirado banginiai vibrovarikliai ir vibrovarikliai valdomi elektromagnetiniais skysčiais, tai pat pradėta taikyti orines gniuždančias pagalvėles.

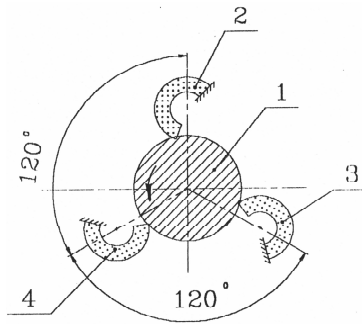
Pirmųjų sukurtų vibrovariklių tyrimai parodė jų gerą kokybę: aukštos galimybės judėjime, pritaikomumas plačiuose temperatūros skirtumuose, nekeičiantis darbo esant magnetiniams ir elektriniams laukams. Yra galimybė vibrovariklių padaryti be metalinių detalių, išskyrus laidus, kas leistų jį pritaikyti tiksluose magnetiniuose ir geodeziniuose matavimo prietaisuose. Bet pagrindinis vibrovariklio privalumas yra tas, kad jis yra pagrįstas žingsniniu judėjimu, kas leidžia tiksliai jį sustabdyti ir tai padaroma mažose pasisukimo ar pasislinkimo ribose.

Didelę reikšmę turėjo naujų pjezoelektrinių medžiagų atsiradimas, kuris leido labai supaprastinti vibrovariklių konstrukcijas. Todėl vibrovarikliai pradėti taikyti medicinos diagnostikoje, chirurgijos technikoje. Labai didelę reikšmę jie turėjo tikslų gaminių gamyboje, tai: radioteknikoje, kompiuterinėje gamyboje, nes tobulinant viskas yra mažinama ir tai darosi labai sunku atlikti iki šiol esančiomis technologijomis. Pritaikant vibrovariklius, tai leidžia žymiai palengvinti, nes jie yra maži ir labai tikslūs, kas būtina smulkiuose prietaisuose, detalėse, mikroschemose.

## 1. VIBROVARIKLIŲ APŽVALGA

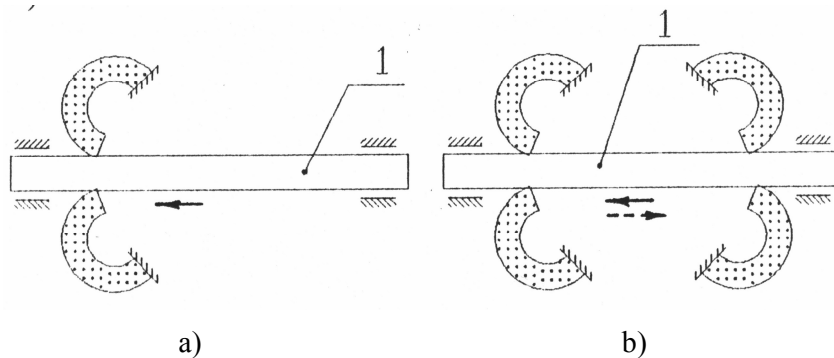
Vibrovarikliais (toliau-VBV) vadinami mechanizmai, kurie didelio dažnio (didesnio nei 20000 Hz) mechaninius svyravimus paverčia į tolygų arba žingsninį judesį. VBV gali turėti tiesiaėigį ir sukamąjį judesį. Jie (VBV) gali būti skirstomi į įvairias klases pagal linijiniškumą, judėjimo rūšį, judėjimo charakterį, pagal judėjimo greičio reguliavimą, judėjimo sinchroniškumą. Kai kurias VBV konstrukcijas apžvelgsime.

Parodytame 1 pav. vibrovariklyje, judesį ritinėliui 1 suteikia pjezokeraminiai pusžiedžiai 2, 3, 4, kurie, gavę elektrinį impulsą, tiesiasi ir, prispaudę ritinėlį 1, pastumia jį apskritimu.



1 pav.

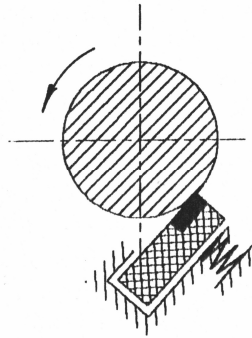
Kadangi pjezokeraminiai pusžiedžiai 2, 3 ir 4 „maitinami“ aukštadažniais elektriniais impulsais, tai gauname tolygų sukamąjį ritinėlio 1 judesį. Nutraukus „maitinimą“, pjezokeraminiai pusžiedžiai 2, 3 ir 4 tampa stabdžiu. Šį principą galima pritaikyti tiesialinijame vibrovariklyje (2.a ir 2.b pav.).



2 pav.

Vibrovariklyje, pavaizduotame 2.a paveikse, slankiklis 1 juda tik viena kryptimi. Panaudojus papildomus pjezokerامينius pusžiedžius (žiūr. 2.b pav.), galime gauti slankiklio 1 reversuojamąjį judesį.

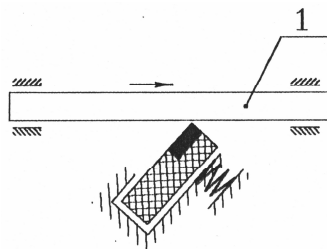
Sekantis vibrovariklio variantas parodytas 3 pav. Čia ritinėlio sukamasis judesys gaunamas, suteikus aukštadažnius elektrinius impulsus pjezokeraminei plokštei, spyruokle prispausta prie ritinėlio. Pjezokeraminės plokštės galas, besiliečiantis su ritinėliu, juda elipsoidine trajektorija ir, tokiu būdu, priverčia ritinėlį sukstis.



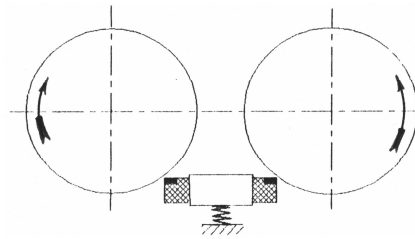
3 pav.

Kad gautume slankiklio tiesialinijinį judesį, galime pritaikyti schemą, parodytą 4 pav.

Panašiu principu ( žr. 3 pav.) veikia vibrovariklis su dviem ritinėliais (5 pav.). Čia pjezokeraminis elementas sukamjį judesį suteikia dviems ritinėliams, kurie sukasi priešingomis kryptimis [7].



4 pav.



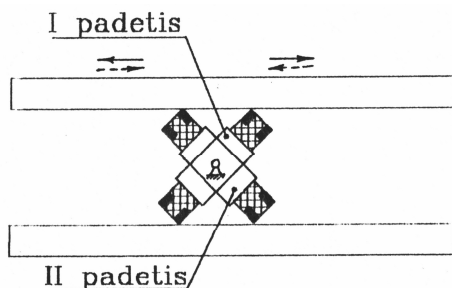
5 pav.

Dviejų slankiklių tiesialinijinį judesį priešingomis kryptimis, gautume, panaudoję mechanizmą, parodytą 6 pav.

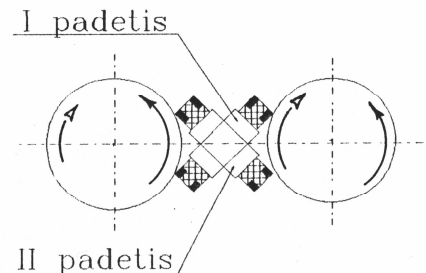
Perjungę šarnyrinį mechanizmą, kuriame įstatytas pjezoelementas, iš I padėties į II, gauname tų slankiklių grįžtamąjį judesį.

Panašiu principu, kaip ir 3 pav. parodytas vibrovariklis, gali veikti ir mechanizmas, kuriame du ritinėliai sukami į vieną pusę (7 pav.).

Perjungę šarnyrinį mechanizmą su įstatytu jame pjezoelementu, priverčiame ritinėlius sukis į vieną pusę.

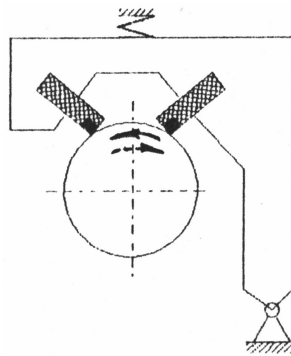


6 pav.



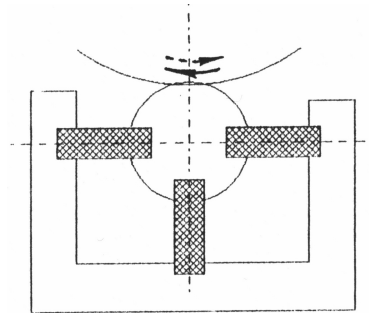
7 pav.

Taip pat galimas variantas, kai vienas ritinėlis gali būti reversuojamas tame pačiame mechanizme. Tokio variklio pavyzdys gali būti prietaisas, parodytas 8 pav.



8 pav.

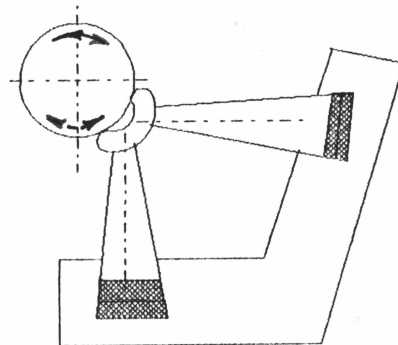
Panašiai galėtume panaudoti konstrukciją su keliais pjezokeraminiais elementais, kaip parodyta 9 pav.



9 pav.

Parodytu atveju ritinėlio sukamasis judesys gaunamas suteikiant elektinį impulsą pjezokeraminiam elementui, esančiam statmenai ritinėlio ašiai ir vienam pjezokeraminių elementų, esančių lygiagrečiai šiai ašiai. Ritinėlio sukimosi kryptis šiuo atveju priklauso nuo to, kuriam iš pastarųjų elementų suteikiami elektriniai impulsai. Šis principas gali būti pritaikytas ir linijiniam vibrovarikliui, tik ritinėlį galėtume pakeisti slankikliu, įstatytu tarp kreipiančiųjų, kaip parodyta ankstesniuose variantuose (2, 4 ir 6 pav.).

Kitokį vibrovariklį gautume, padarę mechanizmą, panašų į 9 pav. pavaizduotą konstrukciją, tačiau čia panaudoti pjezokeraminiai elementai su bangolaidžiais, padidinančiais virpesių amplitudę. Tai parodyta 10 pav.



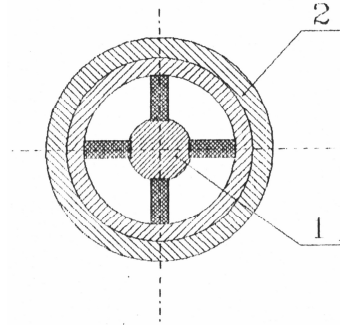
10 pav.

Atitinkamai keičiant elektrinių impulsų „padavimą“ pjezokeraminiams elementams, galime padaryti taip, kad kontaktuojančiame paviršiuje kontaktinės trinkelės judesys sudarytų



elipsoidinę trajektoriją pageidaujama kryptimi, t.y. ritinėlis sukčiasi prieš arba pagal laikrodžio rodyklės kryptį.

Įdomi vibrovariklio konstrukcija parodyta 11 pav., tačiau čia sukamąjį ritinėlio judesį sukelia keturi pjezokeraminiai elementai, išdėstyti  $90^\circ$  kampu. Atitinkamai „paduodant“ elektrinį impulsą atskiriems pjezoelementams, gaunamas ritinėlio judesys. Čia vidinė šerdis 1 yra įtvirtinta nejudamai, o sukasi išorinis ritinėlis (žiedas) 2.

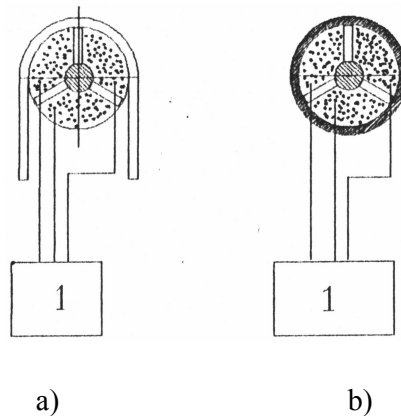


11 pav.

O dabar apžvelgsime vibrovariklius, kuriuose naudojami pjezokeraminiai žiedai, sudalinti į segmentus arba kurių elektrodai sudalinti į segmentus, ir, kurie yra gaubiami judamu elementu – lanksčia juosta arba „kietu“ žiedu. Tai pavaizduota 12 pav.:

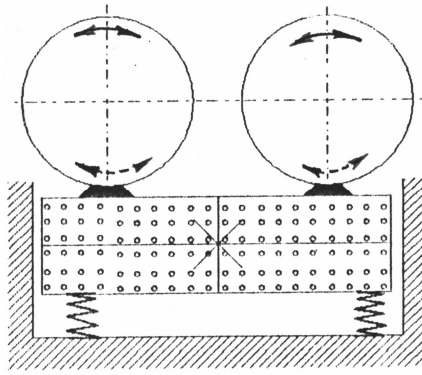
čia: 1 – fazės perstūmimo schema.

Pjezokeraminiame elemente, kurį gaubia lankstus žiedas, besikontaktuojantis su lanksčia juosta ar „kietu žiedu“, sukuriama „bėganti“ banga. Ši banga, perduodama lanksčiam žiedui, priverčia lanksčią juostą judėti ar „kietą žiedą“ sukčioti. Reikia pažymėti, kad VBV, kuriuose pjezokeraminiai žiedai gaubiami „kietu žiedu“ (12 pav. b), pasižymi mažesnėmis energijos sąnaudomis ir didesniu darbo patikimumu, nes išnaudojamas visas pjezokeraminio žiedo „darbinis“ paviršius.



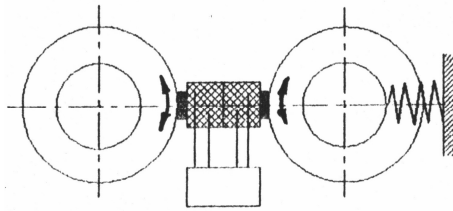
12 pav.

Vibrovarikliuose galima panaudoti pjezokeraminius elementus su sudalintais elektrodais. Tai sukelia galimybę vibrovarikliui dirbti reversiniu režimu. Yra daug variantų, kai panaudojamas toks metodas. Čia pateikiama tik keletas elementarių pavyzdžių (13 pav.):



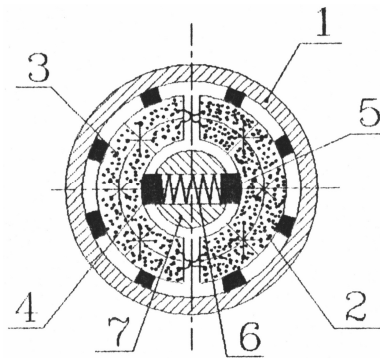
13 pav.

Čia ritinėliai gali būti sukami dviem skirtingomis kryptimis ir galima reversuoti jų sukimosi kryptį. Žymiai geresnis yra žemiau parodytas variantas. Jame (14 pav.) ritinėliai sukasi bet kuria kryptimi arba sinchroniškai viena ar skirtingomis kryptimis. Tai – gana universalus variantas.



14 pav.

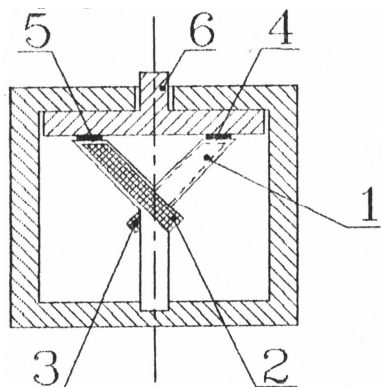
Taip pat galima pritaikyti VBV konstrukciją, parodytą 15 pav.



15 pav.

Šis VBV turi “kietą žiedą” 1, kurio viduje įtaisyti du pjezokeraminiai pusžiedžiai 2 ir 3, kurių elektrodai šachmatiškai sudalinti į segmentus. Pjezokeraminius pusžiedžius prie žiedo prispaudžia laikikliai 4 ir 5, veikiant spyruoklei 6, įstatytai į nejudamą ašį 7.

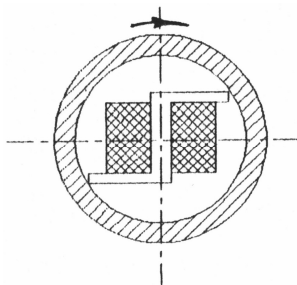
Įdomus techninis sprendimas pritaikytas vibrovariklio konstrukcijoje, kuri parodyta 16 pav.



16 pav.

Šis VBV turi Y formos plokštelę 1, prie kurios viršutinių atšakų iš priešingų pusių pritvirtintos pjezokeraminės plokštelės 2 ir 3. “Padavus” aukštadažnių virpesių impulsus pjezokeraminėms plokštelėms, Y formos plokštelė 1 pradeda deformuotis dideliu dažniu, o kontaktinės trinkelės 4 ir 5, judėdamos sudėtinga trajektorija, suka ritinėlių 6. Vis tik šis VBV yra sąlyginai sudėtingos konstrukcijos.

Panašus, tik paprastesnės konstrukcijos, vibrovariklis parodytas 17 pav. Tik čia vibratoriumi tarnauja Z formos tamprinė plokštelė, turinti išpjovą, į kurią, kaip parodyta brėžinyje (17 pav.) įstatomas pjezokeraminis elementas (plokštelė).

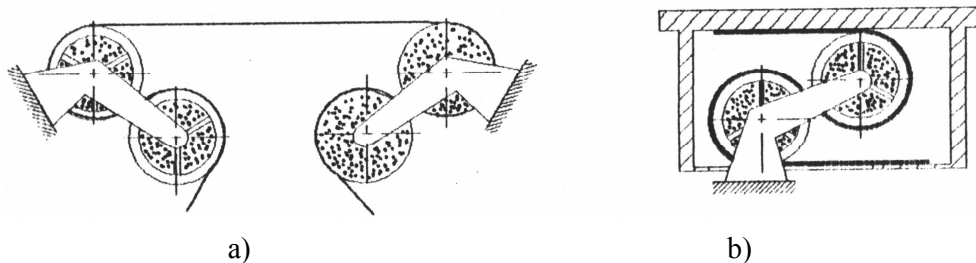


17 pav.

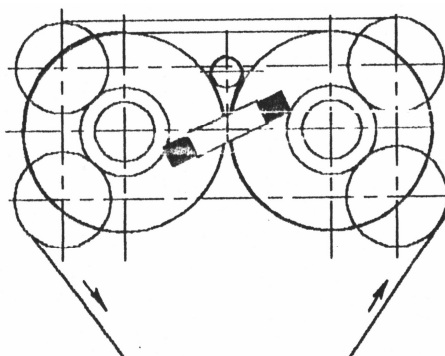
Paskutiniuose vibrovariklių pavyzdžiuose (nuo 7 iki 17 pav.) yra parodyti mechanizmai, kurie gali būti panaudoti tik kaip sukamieji varikliai. Tačiau, kaip yra žinoma, apskritimo lankas – tai sulenkta  $2\pi R$  ilgio atkarpa, todėl kai kurias konstrukcijas galima panaudoti tiesialinijiam judesiui gauti. Tam galime panaudoti D.F.Wilkes sukurtus “rolamaito” tipo mechanizmus. Toks mechanizmų pavadinimas kilęs iš anglišku žodžių “roller” – ritinėlis ir “mite” – įnašas, ir reiškia mokslininko D.F.Wilkes kuklų įnašą į ritininių mechanizmų tyrinėjimą. Galime pritaikyti šių mechanizmų ir sukamųjų vibrovariklių kombinaciją. Pasekoje gausime tiesialinijinius vibrovariklius. Pirmiausia parodysime, kur gali būti panaudoti aukščiau išvardinti sukamojo judesio vibrovarikliai.

Šis vibrovariklis, parodytas 12 pav. gali būti panaudotas juostos persukimo mechanizme (18 pav. a) ir tiesialinijinio perstūmimo atramoje (18 pav. b).

Apskritiminį vibrovariklį, parodytą 7 pav. galėtume panaudoti tiesiogiai juostos transportavimui arba sukimui.



18 pav.



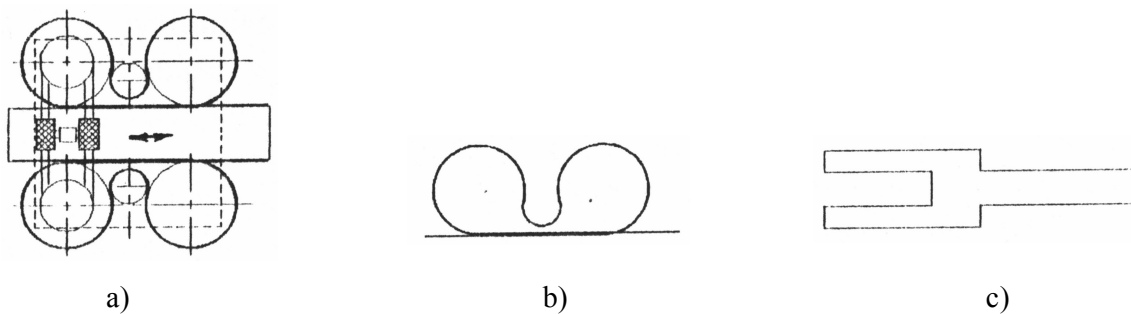
19 pav.

Kaip parodyta 19 pav., toks mechanizmas gali prasukti juosta, kurios ilgis gali būti neribojamas, t.y. sukamąjį judesį gali pakeisti į tiesialinijinį su ilgio apribojimu arba be jo.

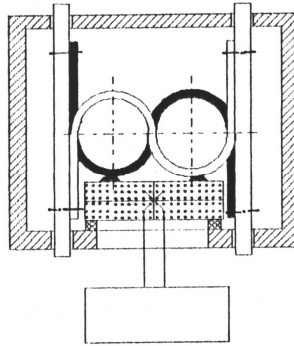
Kiek kitoks mechanizmas parodytas 20 pav. Čia sukamasis vibrovariklis veikia pagal 5 pav. parodytą schemą, tačiau tiesialinijinis judesys gaunamas ribotos eigos, ir reikalinga sudėtingesnė juostos, gaubiančios ritinėlius, konfiguracija ir išvedžiojimas tarp ritinėlių.

20 pav. a parodytas visas tiesialinijinis vibrovariklis, b – juostos išvedžiojimas tarp ritinėlių, c – juostos forma.

Jei panaudotume vibrovariklio schemą, parodytą 13 pav., tai atitinkamai sujungę juosta ritinėlius, gautume tiesialinijinį vibrovariklį, parodytą 21 pav.

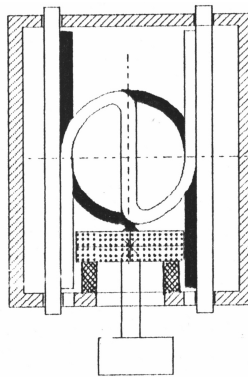


20 pav.



21 pav.

Panaudodami tokį pat vibrovariklį, kaip pastarasis, galime gauti tiesialinijinį VBV, kurio kreipiančiosios judėtų priešingomis kryptimis. Tokia konstrukcija parodyta 22 pav.



22 pav.

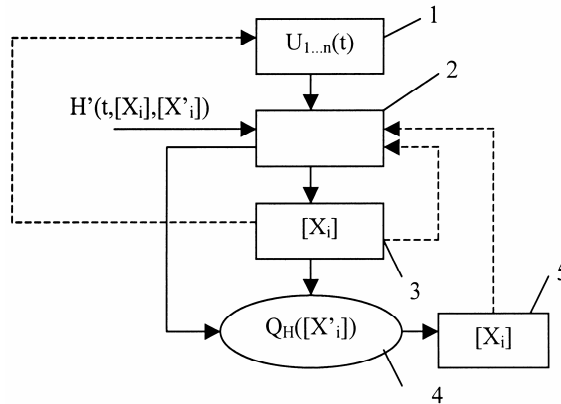
Vibrovariklių įvairumas, toli gražu, neapsiriboja pateiktais pavyzdžiais. Čia yra tik mažą jų dalis, nes vibrovariklius galima panaudoti ir kituose mechanizmuose, kurių čia neapžvelgėme. Tai – įvairūs siurbliai, griebtai, jautrūs pozicionavimo įrenginiai ir kiti.

Darbo eigoje pateikiu savo sukurtas originalias VBV konstrukcijas, kuriose naudingi išnaudotos rolamaitinių mechanizmų ir vibrovariklių (išnaudojančių aukštadažnius virpesius) teigiamos savybės.

## 2. VIBRIVARIKLIŲ KLASIFIKACIJA

Nuo paties elementariausio vibrovariklio atsiradimo praėjo daug laiko, atsirado daug naujų konstrukcijų ir naujų veikimo principų, todėl yra būtina juos sugrupuoti ir išplėsti.

Pamatinė kvalifikacija prasideda nuo pagrindinės vibrovariklio schemos (23 pav.). elektrinių virpesių generatoriaus (1) su keliais išėjimais, besiskiriančiais savo dažniu ir faze yra prijungtas prie valdančio įrenginio (2), kuris su valdymo signalu  $H^c(t, X, X^c)$  sudaro įtampos ateinančios į vibrokeitiklio (3) elektrodus, komutaciją ir moduliaciją. Reguluojamasis signalas  $H^c$  gali priklausyti ne tik nuo laiko, bet ir nuo koordinačių ašyse judančio elemento greičio  $[X_i] = [X, Y, Z, \varphi_x, \varphi_y, \varphi_z]^T$ , kur  $X, Y, Z$  – koordinačių ašyse judančio elemento poslinkiai;  $\varphi_x, \varphi_y, \varphi_z$  – pasisukimai tose pačiose koordinačių ašyse.



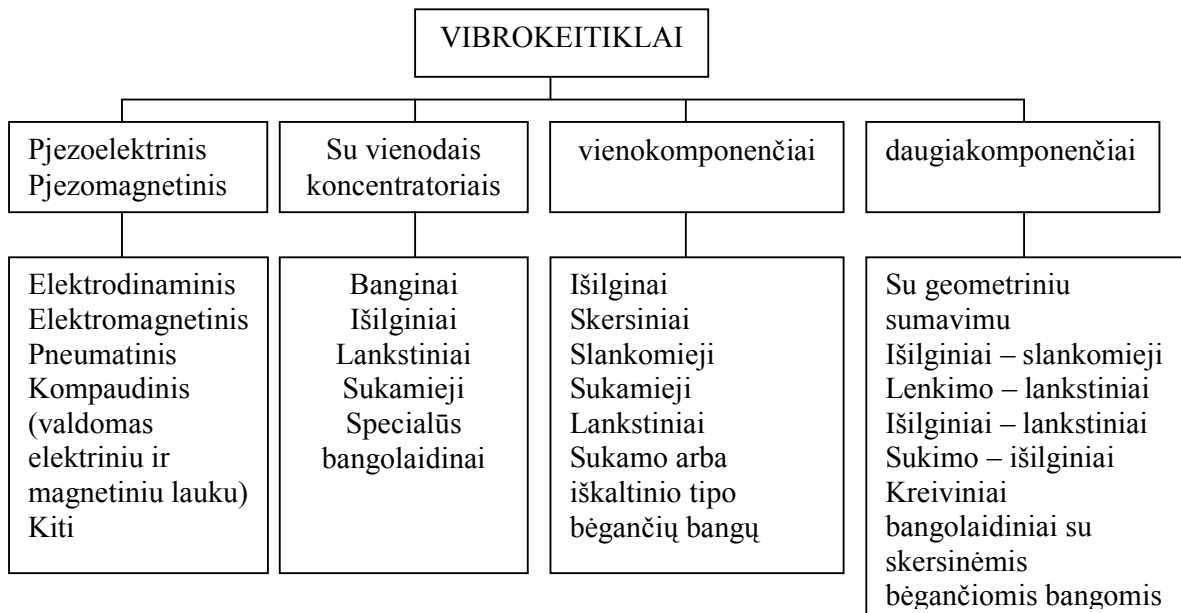
23 pav. Bendra struktūrinė vibrovariklio schema

Vibrokeitiklis transformuoja elektrinę srovę į slenkamąjį arba į sukamąjį virpėjimą. Dėl reguliuojamo arba nereguliuojamo nelinijishkumo (4) kontakto zonoje vibrokeitiklio virpesiai keičiasi į judančio elemento poslinkį (5). Piešinyje (1pav.) atgalinis ryšys perduodamas tarp: a) vibrokeitiklio (3) ir generatoriaus (1) – dėl virpėjimo stabilizacijos, kai veikia įvairūs trukdžiai: senėjimas, išsidėvėjimas, temperatūriniai pokyčiai ir t.t.; b) vibrokeitiklio (3) ir reguliuojamo bloko (2) – dėl greičio stabilizacijos nustatant poziciją, dėl optimalių judėjimo įstatymų.

Suskirstysime vibrovariklį į sekančias grupes:

1. Pagal nelinijinį judėjimą (priskiriamas vienatipiui dinaminiam modeliui):
  - a) vibrovarikliai su kreipiamuoju mušimu;
  - b) su frikciniu kontaktu (anizotropiniu);
  - c) banginiai;
  - d) su asinchroniniais virpėjimo ciklais;
  - e) su reguliuojamu ryšiu kontakte;
  - f) mechanizmai su išoriniu momentu.
2. Pagal judėjimą: sukamojo, slenkamojo ir sudėtinio judėjimo.
3. Pagal judėjimo režimus:
  - a) neatitrūkstamas, kada keitiklis su judančiu elementu yra visada susilietę;
  - b) kontaktas atsilietinėja (nebūna susilietę), (įjungiant smūginį režimą, kada pasikartojantys smūgiai gali būti  $n \geq 1$ );
  - c) režimas spaudžiant orine pagalve, smarkiai sumažina momentą arba slinkimo jėgą.
4. Pagal judėjimo charakterį:
  - a) nenutrūkstamas arba vibruojantis judančio elemento judėjimas;
  - b) žingsninis, su žingsniniu periodu ir jo dydžio reguliavimu;
  - c) start-stopinis.
5. Pagal judančio elemento greičio reguliavimo būdą:
  - a) su amplitudine vibracine moduliacija;
  - b) su dažnine vibracine moduliacija;
  - c) su fazine vibracine moduliacija;
  - d) keičiant parametrus nelinijiniame valdyme.
6. Pagal keičiantį sukimo kryptį:
  - a) nereversinis;
  - b) reversinis, reversas prasideda pakeitus dažnį, amplitudę arba šaltinio maitinimo fazes;
  - c) reversinis, kada reversas prasideda pakeitus tamprumo jėgą kontakte.

7. Pagal sinchroninį judėjimą:
  - a) asinchroninis – nesuteikiantis didelės reikšmės judančio elemento padėčiai arba jo greičiui nuo maitinimo šaltinio;
  - b) sinchroniniai, dažnai prie jų dar būna sinchronizuojantys ryšiai, pvz. magnetiniai.
8. Pagal laisvės laipsnį judėjime:
  - a) vieno laisvės laipsnio judėjimo;
  - b) nuo 2-jų iki 5-ių laisvės laipsnių judėjime;
  - c) su 6-iais laisvės laipsniais (pasiekama pasitelkus reologija reguliuojamas medžiagas);
  - d) su nenustatytu laisvės laipsniu judėjime (su elastingu vibrokeitikliu).
9. Pagal turimus atgalinius ryšius:
  - a) atviras;
  - b) neatviras, su atgaliniu ryšiu pagal padėtį, greitį arba jėgą veikiančiame kontakte.
10. Pagal vibrokeitiklio tipą (24 pav.):
  - a) pjezoelektrinis;
  - b) pjezomagnetinis;
  - c) elektrodinaminis;
  - d) elektromagnetinis;
  - e) pneumatinis.



24 pav. Keitiklių klasifikacija

### 3. VIBROVARIKLIŲ VEIKIMO PRINCIPAS

Vibrovariklių veikimo principas artimas bendrai mechanizmų klasei, virpėjimas pakeičiamas į judėjimą. Šiai klasei priskiriami reketo, laisvo judėjimo ir t.t. mechanizmai. Jie dirba prie žemų dažnių ir neperžiangia 1000Hz. Vibrovarikliais vadinsime mechanizmus, kurie keičia aukšto dažnio (pradedant 20000Hz.) mechaninius virpesius į nenutrūkstamą arba į žingsninį judėjimą. Tokiu atveju, pagrindinis parametras, kuris atskiria vibrovariklį nuo žinomų mechanizmų, kurių virpesius paverčia į judėjimą, yra virpėjimo dažnio skirtumas. Aukšto dažnio virpesiai keičia įtaiso parametrus ir tuomet pasireiškia nauji reiškiniai, kurių nėra mažo dažnio mechanizmuose.

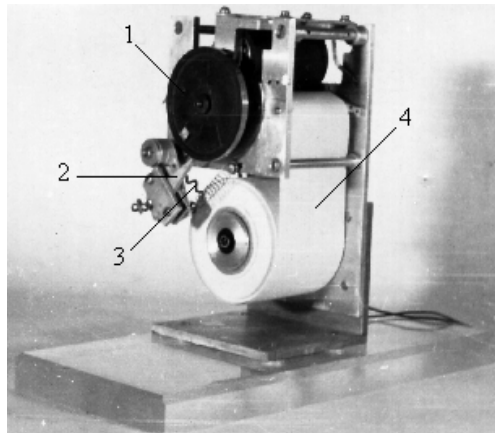
Daugelio vibrovariklių virpėjimo amplitudės keitimo dydis yra mažas – nuo  $0.1 \cdot 10^{-3}$  iki  $10 \cdot 10^{-3}$  mm. maksimalią reikšmę sudaro amplitudė, kuri yra 0.1 – 0.2 mm. Ji reikalinga greito judesio įrengimuose.

Vibrovarikliai, kaip buvo minėta, virpesius paverčia judėjimu – tai gali būti sukimo, slinkimo ir t.t. todėl juos suskirstysime į keletą grupių:

- 2) didelio dažnio su įstrižu smūgiu;
- 3) su frikciniu anizotropiniu kontaktu;
- 4) banginiai vibrovarikliai;
- 5) su cikliniu asimetriniu judesiu;
- 6) su reguliuojamu lietimosi judesiu;
- 7) su išoriniu momentu.

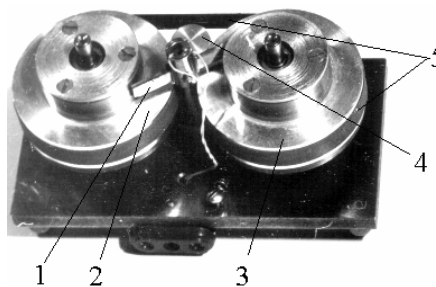
#### 4. ORIGINALIŲ VIBROVARIKLIŲ KONSTRUKCIJŲ APŽVALGA IR EKSPERIMENTINIAI TYRIMAI

Paveiksle pavaizduotos VBV, kuriuose panaudojamas įstrižas LVK smūgis į rotorius(us), schemas, t.y. pav. 25, o pav. 26 – du rotorius.



25 pav. Juostos traukimo mechanizmo su VBV maketas:

1 – rotorius, 2 – pjezoelektrinis LVK, 3 – laidas, kuriuo maitinamas pjezoelektrinis LVK, 4 – popierinė juosta



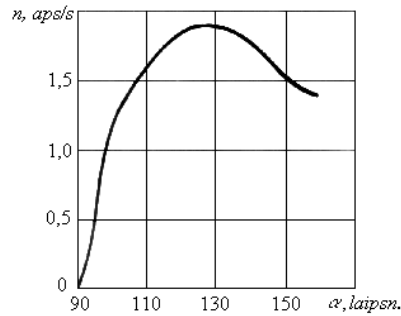
26 pav. Rolamaitinio rotorinio vibrovariklio maketas:

1 – pjezokeraminis LVK, 2,3 – rotoriai, 4 – mažesnio skersmens ritinėlis, 5 – begalinis dirželis

Pirmiausia buvo bandoma išsiaiškinti kaip priklauso rotoriaus sūčiai nuo kampo, kuriuo pjezoelektrinis LVK 2 veikia rotorius 1 (25 pav.). Kaip matyti iš kreivės, pateiktos 27-ame paveiksle, egzistuoja optimali kampo  $\alpha$  reikšmė (šioje konstrukcijoje  $\alpha = 125^\circ$ ).



Su maketu (25 pav.) galima keisti vidutinį popierinės juostos traukimo greitį, juostos prispaudimo prie vedančiojo velenėlio jėgos dydį, pjezoelektrinio LVK sąlyčio su rotoriumi konstrukcinius parametrus.

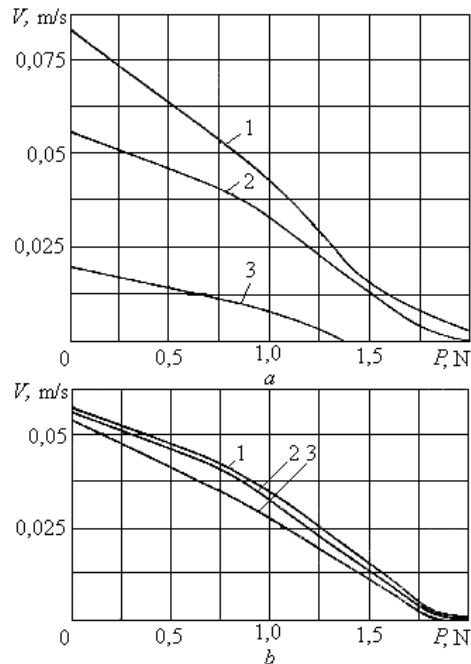


27 pav. Rotoriaus sūkių  $n$  priklausomybė nuo pjezoelektrinio LVK prispaudimo prie rotoriaus kampo  $\alpha$

Panašiose pavarose didžiausią susidomėjimą kelia pavaros mechaninės charakteristikos, t.y. priklausomybės, panašios į

$$V = V(P), \quad (1)$$

čia  $V$  - vidutinis popierinės juostos traukimo greitis;  
 $P$  - pasipriešinimo judėjimui jėga



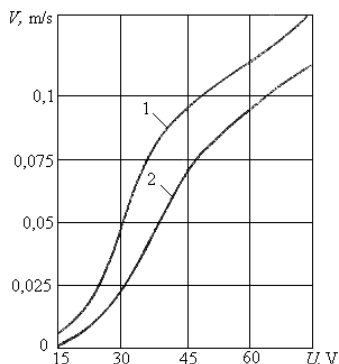
28 pav. Pavaros mechaninės charakteristikos:

$a$  – kai maitinančios įtampos amplitudžių dydžiai yra: 1 – 80 V, 2 – 60 V, 3 – 40 V (LVK tampraus prispaudimo prie rotoriaus jėgos dydis lygus 1,7 N;  
 $f_{rez} = 42,5 \text{ kHz} = const$ );  $b$  – esant skirtingoms LVK tampraus prispaudimo prie rotoriaus jėgoms: 1 – 2,0 N, 2 – 1,7 N, 3 – 1,3 N ( $U_m = 60 \text{ V} = const, f_{rez} = 42,5 \text{ kHz} = const$ );

Tokios charakteristikos (28 pav.  $a, b$ ) atrodo kaip pakrypusios kreivės, savo kreivumą keičiančios priklausomai nuo LVK (šioje konstrukcijoje pagaminto iš pjezokeramikos ЦТБС-1

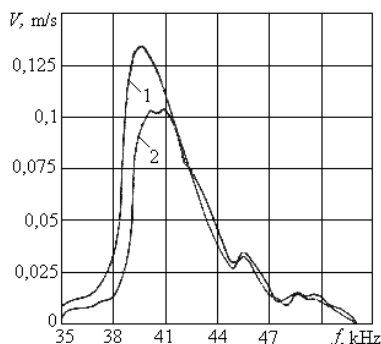
markės) virpesių amplitudės (28 a pav.). LVK tamprus prispaudimo prie rotoriaus jėgos dydis nežymiai veikia į mechaninių charakteristikų formą (28 b pav.).

Popierinės juostos traukimo greitis didžia dalimi priklauso nuo maitinančios įtampos amplitudės, t.y. nuo keitiklio virpesių amplitudės (29 pav.). Greičio kitimo charakteris yra nelinejinis, todėl tai būtina įvertinti projektuojant stabilizuotas su atgaliniu pagal greitį ryšiu sistemas.



29 pav. Juostos traukimo greičio priklausomybė nuo maitinančios įtampos dydžio: 1 – laisvoje eigoje, 2 – darbinėje eigoje, kai  $P = 1,5 N$

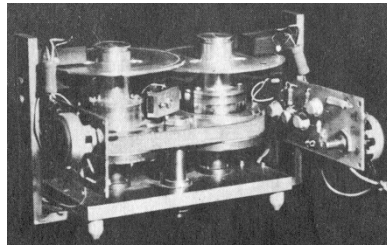
Jei nelinejinis juostos greičio charakteris, sąlygotas įtampa, yra apsprendžiamas pagrindinai smūgine keitiklio sąveika su judamu paviršiumi, tai popierinės juostos priklausomybės nuo maitinančios įtampos dažnio forma apsprendžiama keitiklio rezonansine charakteristika (30 pav.). Ryšium su tuo ypač tikslioms sistemoms, dirbančioms plačiame temperatūriniame diapazone ir esant linijinėms ir vibracinėms perkrovoms, rekomenduojama naudoti schemas su įjungtu į generatoriaus kontūrą keitikliu arba sukurti autovirpesinius generatorius, dirbančius keitiklio rezonansiniu dažniu.



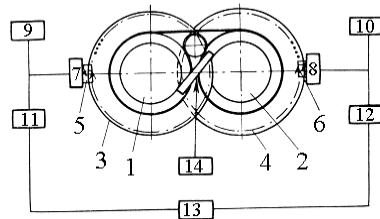
30 pav. Juostos traukimo greičio priklausomybė nuo maitinančios įtampos dažnio: 1 – laisvoje eigoje, 2 – darbinėje eigoje, kai  $P = 1,5 N$

Rolamaito tipo mechanizmo ir vibrovariklio sintezė leidžia sukurti kokybiškai naujus mechanizmus.

Kuriant rolamaitinius rotorinius VBV ir juostos traukimo mechanizmus, reikėjo išsiaiškinti, kokią įtaką ritinėlių sukimosi synchroniškumui daro rolamaitinio principo taikymas juostos traukimo mechanizmuose. Buvo sukurtas juostos traukimo mechanizmo pavaros (rolamaitinio rotorinio VBV) maketas (26 pav.), o jo pagrindu – eksperimentinis standas (31 pav.).



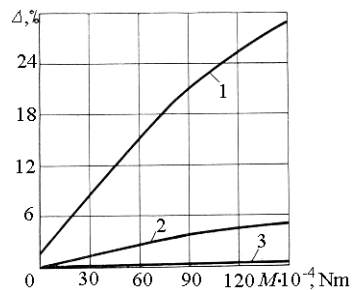
31 pav. Rolamaitinio pavaros mazgo maketas



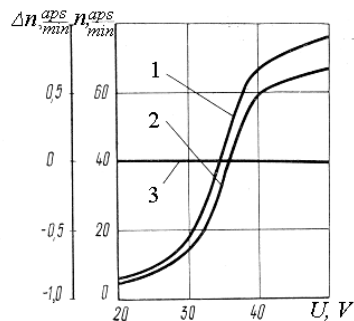
32 pav. Rotorių sukimosi nesinchroniškumo matavimo schema: 1,2 – rotoriai; 3,4 – rastriniai diskai; 5,6 – fotojutikliai; 7,8 – stiprintuvai – formuotojai; 9,10 – dažnimačiai; 11,12 – dažniniai diskriminatoriai; 13 – dviejų kanalų registracijos blokas; 14 – LVK maitinimo blokas

Kai iš pjezokeraminio LVK maitinimo bloko 14 paduodamas ant pjezokeraminio LVK elektrodų aukštadažnis kintamos įtampos signalas, pjezokeraminis elementas (32 pav.) pradeda sukėti rotorius 1 ir 2. Ant rotorių velenų įtvirtinami rastriniai diskai 3 ir 4, susieti su fotojutikliais 5 ir 6. Signalo stiprintuvai – formuotojai 7 ir 8 sujungti su dažnimačiais 9 ir 10, ir per dažninius diskriminatorius 11 ir 12 – su dviejų kanalų registracijos bloku 13.-

Pradžioje buvo tiriamas neapkrautas dviejų rotorių VBV, kurio abu rotorius suka vienas pjezokeraminis LVK (33 pav.). Vėliau, – apkraunant vieną rotorį, dviejų rotorių VBV, kurio abu rotorius suka vienas LVK, (33 pav., 1-oji kreivė), ir rolamaitinis vibrovariklis, kuriame LVK suka vieną rotorį (33 pav., 2-oji kreivė) ir abu rotorius (33 pav., 3-oji kreivė).



33 pav. Vibrovariklio rotorių sukimosi nesinchroniškumo priklausomybė nuo išorinės apkrovos vienam rotoriumi: 1 – dviejų rotorių VBV, kurio rotorius suka vienas pjezokeraminis LVK; 2,3 – rolamaitiniam VBV, kuriame pjezokeraminis LVK suka: 2 – vieną rotorį, 3 – du rotorius

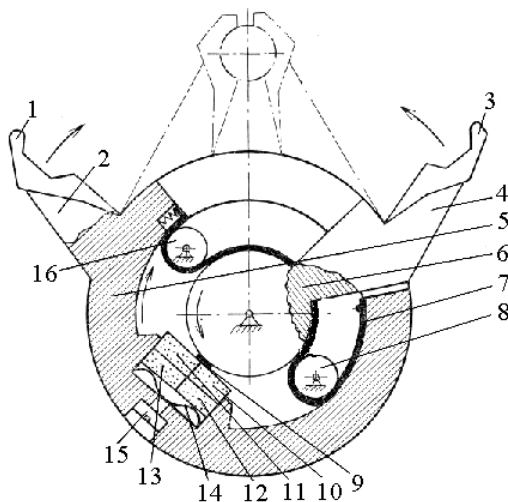


34 pav. Vibrovariklio rotorių sukimosi nesinchroniškumo priklausomybių kreivės neapkrautame darbo režime: kreivės 1, 2 -  $n=f(U)$  rotoriams 1 ir 2; kreivė 3 -  $\Delta n=f(U)$  rolamaitinio vibrovariklio rotoriams;

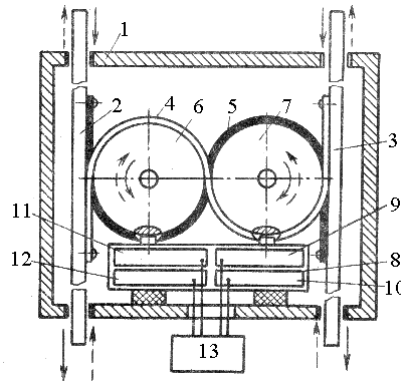
Buvo panaudotas optimalus LVK įžambaus lietimosi su rotoriumi kampas –  $125^\circ$ . Pirmoji ir antroji kreivės (33 pav.) rodo rotorių sukimosi nesinchroniškumą, didinant pjezokeraminio LVK maitinimo įtampą, o tuo pačiu ir rotorių sūkius, trečioji kreivė (tiesė) rodo, kad, sujungus rotorius rolamaitiniu būdu, jų sukimosi nesinchroniškumas išnyksta.

Kaip matome, labiausiai rotorių nesinchroniškumas išauga paprastame 2-jų rotorių vibrovariklyje (pirmoji kreivė), mažiausiai – rolamaitiniame VBV, kuriame LVK suka abu rotorius (trečioji kreivė) (34 pav.). Vadinasi, rolamaitinio VBV variantas, kai pjezokeraminis LVK suka abu rotorius, yra optimaliausias.

Tyrimų duomenimis pasinaudota, kuriant originalius rolamaitinius mikromanipuliatorių griebtus, mechanizmus, kuriuose VBV vykdo darbinių organų poslinkį. Tai tokie mechanizmai kaip mikromanipulioriaus griebtas (SSRS išradimas Nr. 1516348), banginis VBV (SSRS išradimas Nr. 921403), reversuojamas pjezoelektrinis variklis (SSRS išradimas Nr.936764), linijinis variklis (SSRS išradimas Nr. 819863), tiesiaieigio poslinkio atramos (SSRS išradimai Nr.Nr. 581336, 949236), juostos traukimo mechanizmai (SSRS išradimai Nr.Nr. 681451, 932557), peristaltiniai siurbliai (SSRS išradimai Nr.Nr. 954608, 1010316) ir kt.



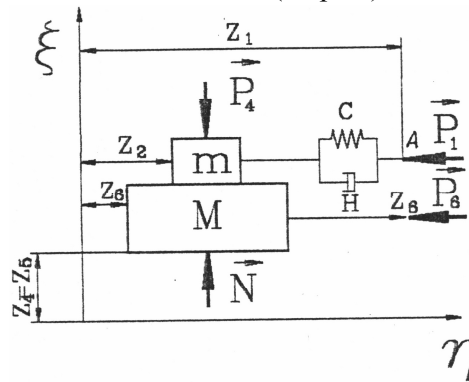
35 pav. Mikromanipulioriaus griebtas [4]: 1,3 – žiaunos; 2,4 – laikikliai; 5,6 – slankiosios griebto korpuso dalys; 7 – lanksti juosta; 8,16 – ritinėliai; 9 – trinkelė; 10,11,12,13 – elektrodai; 14 – spyruoklė; 15 – prispaudimo reguliatorius



36 pav. Linijinis variklis [5]: 1 – korpusas; 2,3 – slankūs strypeliai; 4,5 – lanksčios juostos; 6,7 – rotorius; 8 – pjezokeraminė plokštelė; 9,10,11,12 – elektrodai; 13 – maitinimo blokas

### 5. DINAMINIO MODELIO TEORINIS TYRIMAS

Vibrovariklį galima gauti sujungus dviejų rūšių mechanizmus: sukamojo judesio vibrovariklį (VBV) ir rolamaitinį mechanizmą (RTM), nes, kaip jau minėta, apskritimas – tai sulenkta  $2\pi R$  ilgio atkarpa. Kadangi tiesialinijinis vibrovariklis turi rolamaitinį mechanizmą, tai pabandytas išnagrinėti RTM dinaminis modelis (37 pav.):



37 pav.

Rolaimaitiniuose mechanizmuose virpėti gali ir juosta, ir ritinėlis, todėl reikia nustatyti virpesių įtaką praslydimui tarp lanksčios juostos ir ritinėlio. Tačiau RTM dinaminiai modeliai yra labai sudėtingi ir jų teorinis tyrimas yra sudėtingas todėl ir šis modelis yra supaprastintas. Čia:  $m$  – kontakto zonos tarp ritinėlio ir juostos viduryje sukoncentruota juostos masė, o likusi juostos dalis išilgine kryptimi pakeista tampriu ( $c$ ) ir kompensuojančiu ( $H$ ) elementais, sujungtais lygiagrečiai.  $M$  – ritinėlio masė.  $P_1$  – sistemą veikianti jėga;  $P_6$  – pasipriešinimo judėjimui jėga;  $P_4$  – masės  $m$  prispaudimo prie masės  $M$  jėga, kuri iššaukia normalinio pasipriešinimo jėgą  $N$ . Šiuo atveju kontaktas tarp juostos ir ritinėlio yra nedeformuojamas, o elementai  $c$  ir  $H$  nusako reologines juostos savybes. Šiai sistemai parašytos judėjimo diferencialinės lygtys. Jų sudarymas pagrįstas antruoju Niutono dėsniumi.

Jėgų sumą taške A aprašo lygtis (2):

$$H(z_1 - z_2) + c(z_1 - z_2) = P_1 \quad (2)$$

Antrasis Niutono dėsnis kūnui, kurio masė  $m$ , užrašomas lygtimi (3):

$$mz_2 - H(z_1 - z_2) - c(z_1 - z_2) + Nf_0 \text{sign}(z_2 - z_6) + f(z_2 - z_6) = 0 \quad (3)$$

Antrasis Niutono dėsnis kūnui, kurio masė  $M$ , užrašomas lygtimi (4):

$$Mz_6 - Nf_0 \operatorname{sign}(z_2 - z_6) - f(z_2 - z_6) = P_6 \quad (4)$$

O jėgų, veikiančių sistemą  $\xi$  ašies atžvilgiu, suma turės (5) lygties išraišką:

$$mz_5 + P_4 = N \quad (5)$$

Įvertinus naujus kintamuosius, diferencialinės judesio lygtys įgaus išraišką (6)

$$2h_{12}(x_1' - x_2') + (x_1 - x_2) = F_1,$$

$$x_2'' - 2h_{12}(x_1' - x_2') - (x_1 - x_2) + N'f_0 \operatorname{sign}(x_2' - x_6') + f(x_2' - x_6') = 0, \quad (6)$$

$$\mu x_6 - N'f_0 \operatorname{sign}(x_2' - x_6') - f(x_2' - x_6') = -F_6,$$

$$x_5'' + F_4 = N'.$$

Išorinis sužadinimas bedimensinėje išraiškoje:

$$F_1 = a_1 + b_1 x_1' + d_1 \sin(\nu\tau + \alpha_1),$$

$$F_4 = a_4 + b_4 x_4' + d_4 \sin(\nu\tau + \alpha_4),$$

$$F_6 = a_6 + b_6 x_6' + d_6 \sin(\nu\tau + \alpha_6),$$

$$x_5 = d_5 \sin(\nu\tau + \alpha_5).$$

Naudingo veikimo koeficientai:

$$\frac{A_n}{A_j} = \frac{\int F_6 x_6' d\tau}{\int F_1 x_1' d\tau} \quad (8)$$

Judėjimo greičio netolygumas:

$$\Delta x_s' = \frac{x_{s\max}' - x_{s\min}'}{x_s'}$$

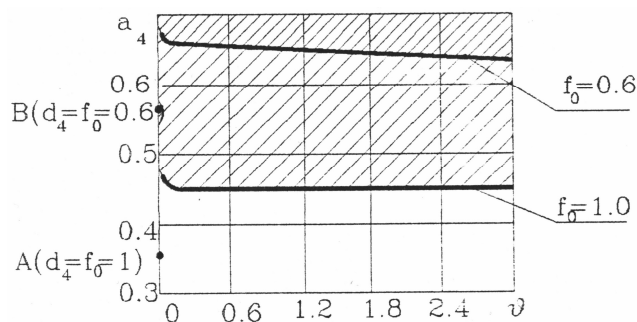
Čia: (9)

$$x_s' = \frac{x_{s\max}' - x_{s\min}'}{2}$$

Teoriškai analizuojant dinامينius procesus, vykstančius sistemoje „juosta – ritinėlis“ („JR“), buvo bandoma nustatyti, kokiose sąlygose dirbant, sistemoje „JR“ galima reguliuoti praslydimo zoną, esančią tarp kūnų, veikiant vibraciniu sužadinimu.

Keičiant atskirus bedimensinius kintamuosius ( $a$  ir  $d$ ), buvo gautos skirtingos funkcijų trajektorijos. Tai rodo, kad yra nepraslydimo trinties zona (NTZ), kur kūnai vienas kito atžvilgiu nepraslysta. Reikia pažymėti, kad pagal tyrimų rezultatus, kūnai į NTZ įeina prie palyginti mažų  $v$  reikšmių. Prie didelių  $v$  reikšmių nepraslydimo trinties zona neatsiranda. Priklausomai nuo vibracijos parametrų, kūnų judesys pasiskirsto dideliame diapazone, kai  $v$  reikšmės yra mažos, o padidinus  $v$ , šis diapazonas žymiai sumažėja. Prie pakankamai didelės  $v$  reikšmės pasiekiamas palyginti pastovus kūno judėjimo greitis.

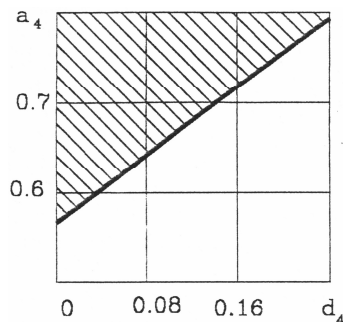
Jeigu sistemai „JR“ neprijungtume vibracinių sužadinių, t.y.  $d_4=0$ , NTZ prie duotų  $f_0=\text{const.}$  reikšmių susidarys prie mažiausios  $a_4$  reikšmės. Tai pavaizduota 38 pav.(taškai A ir B):



38 pav.

Tai paaiškinama tuo, kad trinties jėga sumažėja į sistemą įvedus virpesius, ir, kad susidarytų NTZ, reikalinga  $a_4$  reikšmė. Kuo didesnė virpesių sužadinių amplitudė  $d$ , tuo didesnė  $a_4$  reikšmė reikalinga NTZ susidarymo užtikrinimui. Tai parodyta 39 pav.

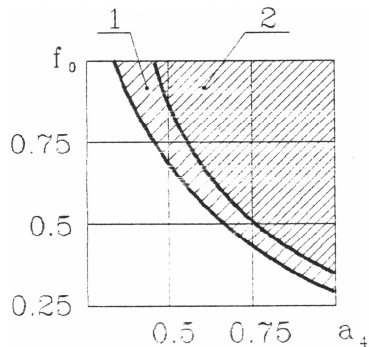
Čia pastovūs dydžiai buvo priimti tokie:  $a_1=0,5$ ;  $a_6=-0,2$ ;  $b_1=b_6=-0,5$ ;  $f_1=0,1$ ;  $x_1'=x_2'=x_6'=0,3$ ;  $d_4=0,1$ ;  $f_0=0,6$ ;  $v/2\pi=0,5$ .



39 pav.

Jei gilintumės į veiksnių, lemiančių greičio netolygumą, tyrimą, tai yra teoriškai iširta, kad prie skirtingų  $d_1$ ,  $d_4$ ,  $d_5$ ,  $d_6$  reikšmių, greičio netolygumas  $\delta x_1'$ ,  $\delta x_2'$  ir  $\delta x_6'$  kinta pagal skirtingas kreives.

Taip pat yra nagrinėtas atvejis, kaip priklauso nepraslydimo trinties zonos susidarymas, kintant dydžiui  $a_4$ , kai užduotos tokios bedimensinių kintamųjų pastovios reikšmės:  $a_1=0,5$ ;  $a_6=-0,2$ ;  $b_1=b_6=-0,5$ ;  $f_1=0,1$ ;  $x_1'=x_2'=x_6'=0,3$ ;  $2h_{12}=0,2$ ;  $2h_{23}=2h_{45}=2,0$ ;  $\delta_{23}=\delta_{45}=10$ ;  $\mu=1$ ;  $\mu_3=0,01$ . (40 pav.):



40 pav.

Čia pirmoji kreivė gaunama, kai  $d_4=0$ , o antroji – kai  $d_4=0,1$ ;  $v/2\pi=0,1$ . Nepraslydimo trinties zona užbrūkšniuota.

Tačiau šiuo atveju yra pavaizduotas sudėtingesnio dinaminio modelio kūnų tyrimo rezultatas, t.y. atvejis, kai kontaktas tarp kūnų yra deformuojamas. Dėl šios priežasties į dinaminį modelį yra įvesta daugiau papildomų kintamųjų, kurie tiksliau atstoja realų RTM dinaminį modelį.

Atliktas dinaminis procesų, vykstančių sistemoje „JR“ rolamaitiniuose mechanizmuose, matematinis tyrimas parodė, kad sistemos parametrų, prie kurių nėra praslydimo tarp juostos ir ritinėlio, sudarymo sritis daugiausiai priklauso nuo normalinio spaudimo jėgų tarp sistemos elementų, trinties koeficientų  $f_0$  ir  $f$ , o, taip pat, nuo varančių ir pasipriešinimo jėgų santykio. Egzistuoja ir kritinė bedimensinio koeficiento, įvertinančio pastoviąją normalinės apkrovos dedamąją, kurios viršijimas panaikina slydimą tarp sistemos „JR“ kūnų, reikšmė.

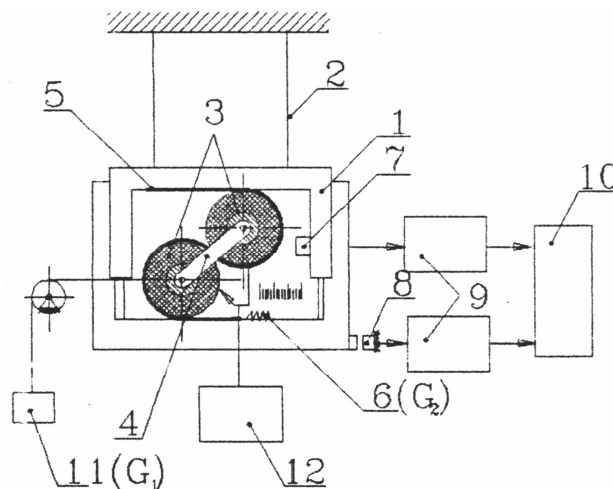
Keičiant virpesių parametrų charakterį, galima valdyti nepraslydimo zonos tarp tiriamų sistemos elementų, plotį.

Kadangi tiesialinijiniuose vibrovarikliuose judesį sužadina taip pat aukštadažniai virpesiai, tai gauti šio dinaminio modelio matematinio tyrimo rezultatai gali būti pritaikyti ir tiesialinijinio judesio vibrovarikliuose.

## 6. EKSPERIMENTINIAI VIBRORITINĖLIO TYRIMAI

Supaprastinto sistemos „juosta – ritinėlis“ („JR“) dinaminio modelio teorinis tyrimas rolamaitiniuose mechanizmuose (RTM) parodė, kad vibracinis sužadinimas, veikiantis tiriamos sistemos elementus, gali būti pritaikytas reguliuoti praslydimą tarp šių elementų. Tai reiškia, realioje RTM konstrukcijoje galima valdyti pasipriešinimo judėjimui jėgų momentą, kas labai svarbu kuriant naujas RTM konstrukcijas su geresnėmis dinaminėmis charakteristikomis.

Teorinių tyrimų rezultatai patikrinti ir pasitvirtino naudojant specialiai sukurtą prietaisą (43 pav.), kurio veikimo principas pagrįstas trinties tarp RTM elementų koeficiento reguliavimu (41 pav.):

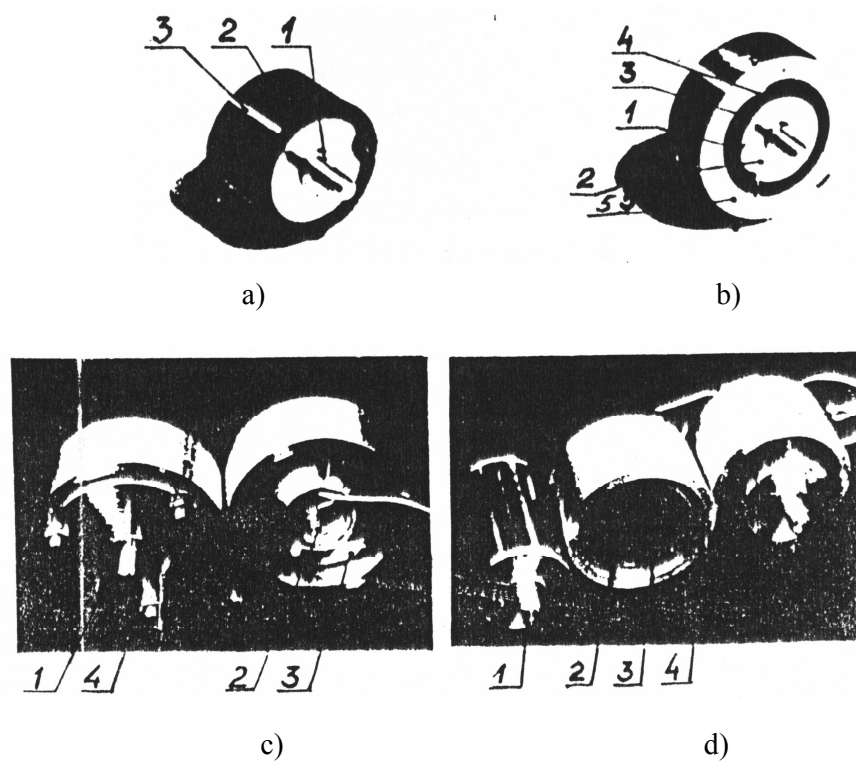


41 pav.

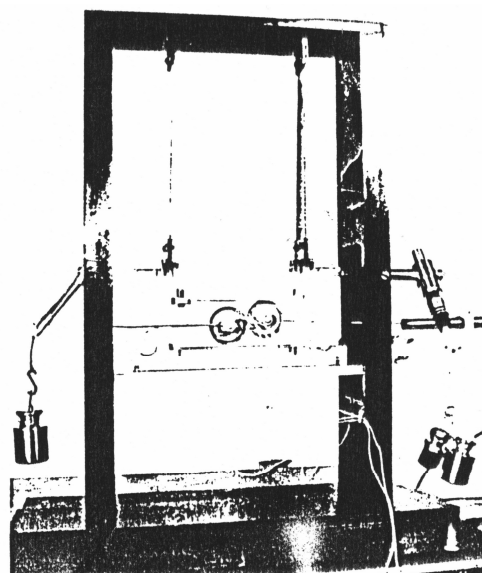
Prietaisą sudaro išardomas korpusas 1, susidedantis iš dviejų dalių, įstatytų viena į kitą taip, kad galėtų sąlyginai judėti. Korpusas 1 tampriomis spyruoklėmis 2 pritvirtintas prie nejudamo pagrindo. Korpuso viduje įtaisyti vibruojantys ritinėliai 3, kurių ašys nejudamai sujungtos plokštėmis 4. Ritinėliai apjuosti juosta 5, kurios vienas galas „kietai“ pritvirtintas prie viršutinės korpuso dalies, o kitas įtemptas svoriu 6 ( $G_2$ ). Korpusė 1 ir nejudamame pagrinde įtaisyti poslinkio davikliai 7 ir 8, prijungti per stiprintuvą 9 prie registruojančio įrenginio 10. Prie



plokštelės 4 prikabintas svoris 11, kuris jėga  $G_1$  traukia ritinėlius 3. Prie vibruojančių ritinėlių 3 elektrodų prijungtas aukštadažnės įtampos šaltinis 12.



42 pav.



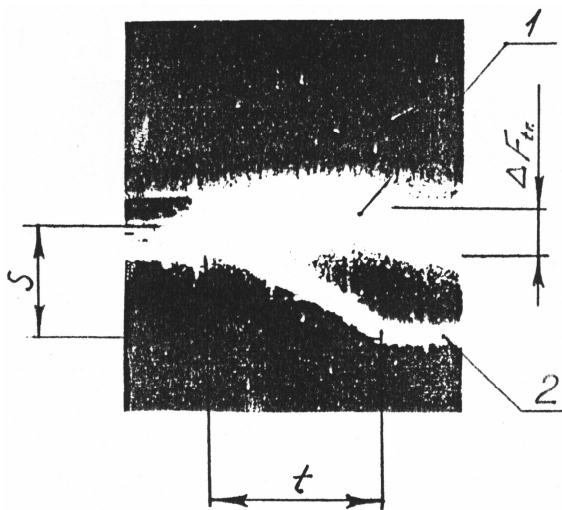
43 pav.

Korpuso 1 judesys, deformuojantis spyruoklėms 2, kurios veikiamos svorio 11, matuojamas davikliu 8. Ritinėlių judesys korpuso atžvilgiu matuojamas davikliu 7. Abiejų korpuso dalių perstūmimu ir fiksavimu galima keisti ritinėlių 3 apgaubimą juosta 5. Kiekvieno ritinėlio 3 apgaubimo kampas  $\alpha$  gali keistis nuo 180 iki 265 laipsnių. Poslinkių matavimo jautrumas 0,01 mikrono. Veikiant ritinėlius 3 jėga  $G_1$ , atsiranda trinties jėga, kuri deformuoja spyruokles 2. Tada korpusas pasislenka, ir jo poslinkis davikliu 8 registruojamas oscilografo 10 ekrane esančio spindulio nukrypimu. Pjezokeraminiai ritinėliai 3 pradeda virpėti, kai jų elektrodams „paduodami“ aukštadažniai impulsai, trinties jėga tam tikru dydžiu sumažėja ir ritinėliai 3 persistumia. Į trinties jėgos sumažėjimą „reaguoja“ spyruoklės 2 (grįžta į pradinę padėtį), o poslinkio daviklis 8 tai fiksuoja. „Atjungus“ aukštadažnius impulsus, trinties jėga atgauna pradinį dydį. Ritinėlių 3 poslinkis korpuso 1 atžvilgiu fiksuojamas poslinkio davikliu 7.

Šiuo prietaisu buvo ištirti trys vibroritinėlių (VBR) tipai. Pirmieji VBR tipai buvo paprastos konstrukcijos (45 pav. a), o trečiasis – sudėtingesnės (45 pav. b). Čia: 1 – ašis; 2 – pjezokeraminis žiedas; 3 – elastingas frikcinis žiedas; 4 – kietas žiedas; 5 – virpesių šaltinis. 42 pav. parodyti ritinėliai ir buvo pagaminti bandymų atlikimui minėtu prietaisu (41 ir 43 pav.). Variantuose a ir c parodyti vibruojantys, nesukami ritinėliai (c pagamintas su bangolaidžiais) jie ir yra pirmųjų dviejų tipų, o trečiojo tipo ritinėliai parodyti b ir d variantuose.

Sukamojo VBR pagaminimas reikalauja didelio tikslumo. Statinis tarpelis tarp pjezokeraminės ašies ir kieto žiedo darbinių paviršių yra apie 12 mikrometrų. Toks sukamas vibroritinėlis dirba apie 10g virpesinio perkrovimo. Darbinių paviršių glotnumas maždaug 6 kvaliteto, formos geometrinės nuokrypos neturi viršyti 1,5 – 2 mikrometrų. Reikalinga įtampa apie 30 V, galingumas apie 1,5 W. Taip pat reikia įvertinti, kad padidinta virpesių amplitudė gali įkaitinti pjezokeramiką.

Eksperimentai atlikti nepertraukiamame ir „paleidimo – stabdymo“ režimuose, „maitinant“ ritinėlius 3 didelio dažnio įtampa. Kad galėtume išsiaiškinti trinties jėgos priklausomybę nuo ritinėlių 3 aukšto dažnio virpesių amplitudės, apgaubimo juosta kampo  $\alpha$ , juostos 5 įtempimo jėgos  $G_1$ , naudojame nepertraukiamą ritinėlių 3 „maitinimo“ režimą. „Paleidimo – stabdymo“ režimas leidžia išsiaiškinti kelio ilgio  $s$  priklausomybę nuo impulso periodo, impulso trukmės  $t_{imp}$ , kampo  $\alpha$  ir jėgų  $G_1$  ir  $G_2$ .



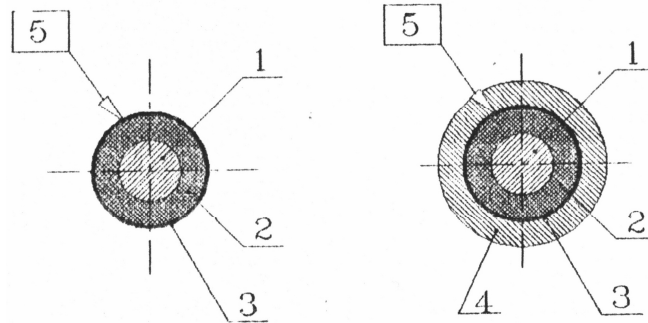
44 pav.

Pagal oscilogramą 1 (44 pav.), atitinkančią korpuso 1 poslinkį, galima spręsti apie trinties jėgos sumažėjimą  $\Delta F_{tr}$ , o pagal oscilogramą 2, atitinkančią virpančių ritinėlių 3 poslinkį – apie jų (3) „praeitą“ kelią  $s$  ir laiko tarpą, per kurį šis kelias „praeitas“, t.y. eksperimento rezultatai (1 oscilograma) patvirtinta teorinių tyrimų teisingumą (40 pav.).

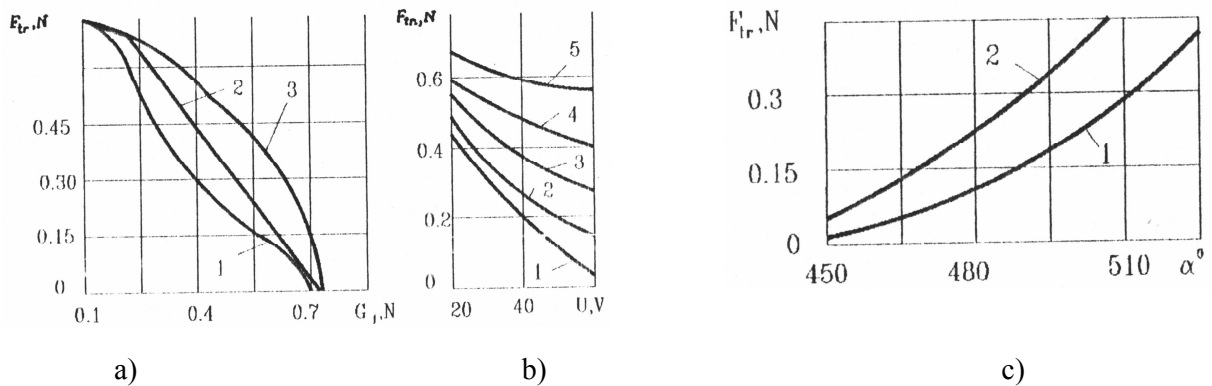
Šioje apžvalgoje neminėsime pirmųjų dviejų vibratoritinių tipų tyrimo rezultatų.

Didesnio dėmesio vertas trečio tipo ritinėlių (42 pav. d) panaudojimas RTM. Pagal 46 pav. trinties jėga  $F_{tr}$  sumažėja, jeigu: a) užduodame ritinėliams didesnę amplitudės sudarymo įtampa  $U$ ; b) ritinėlius paveikiame padidinta traukimo jėga  $G_1$  (46 pav. a); c) sumažiname juostos įtempimo jėgą  $G_2$  (46 pav. b); d) sumažiname ritinėlių apjuosimo kampą  $\alpha$  (46 pav. c).

Kaip matome eksperimentinėje medžiagoje, RTM su trečio tipo ritinėliais, palyginti su kitais, yra jautresni. Juos tikslinga panaudoti didelio jautrumo sistemose. Trečio tipo ritinėliuose palyginti greitai susidaro vibroplėvelė, nes išnaudojamas visas pjezokeraminio žiedo darbinis paviršius, kas neįmanoma RTM su pirmo ir antro tipo ritinėliais, gaubiamais juosta. Šio tipo (pirmo ir antro) ritinėliuose vibroplėvelės susidarymas sudėtingas todėl, kad lanksti juosta palyginti plona ir todėl lengvai deformuojasi.



45 pav.



46 pav.

Kaip parodė teoriniai (40 pav.) ir eksperimentiniai tyrimai, keičiant virpesių parametru charakterį, galima valdyti sistemos „juosta – ritinėlis“ elementų praslydimą arba pasipriešinimo jėgų momentą realioje RTM konstrukcijoje. Tai svarbu kuriant naujas RTM konstrukcijas su geresnėmis dinaminėmis charakteristikomis.

## 7. BANGINĖS PJEZOELEKTRINĖS PAVAROS

Precizinių prietaisų pavarų sistemose plačiai naudojamos banginės pjezoelektrinės pavaros. Jų veikimo principas paremtas įėjimo grandies, kurioje sužadunami aukštojo dažnio bėgančios bangos virpesiai, fricvine sąveika su išėjimo grandimi. Įėjimo grandis yra svarbiausia šių pavarų dalis. Nagrinėjamoju atveju – tai pjezokeraminis žiedinis žadintuvas.

Dėl didelio jautrumo slenkamajam ( $0,01 - 0,1 \mu m$ ) ir sukamajam ( $0,1$  kampinės sekundės) judesiui, kurį lemia aukšti žadintuvo virpesių dažniai ir mažos amplitudės, banginės pjezoelektrinės pavaros gali būti naudojamos mažos galios manipuliatoriuose, taip pat optinėse

matavimo sistemose pozicionavimo bei reguliavimo judesiams atlikti. Šių pavarų dinaminėms charakteristikoms bei bėgančiosios bangos virpesių parametru kokybei didelę įtaką turi pjezokeraminio žiedo tvirtinimo būdas.

Skaitmeniniu baigtinių elementų metodu ištirta paties pjezokeraminio žiedinio žadintuvo ir banginių pjezoelektrinių pavarų su žiediniu žadintuvu dinamika. Optimizuoti šių pavarų konstrukciniai parametrai, kai įėjimo grandis – pjezokeraminis žiedinis žadintuvas – tvirtinama aktyviausiais elementais, atspindinčiais bėgančiąsias bangas.

Optimizavimo kriterijai pasirinkti: maksimalus vidutinis išėjimo grandies – rotoriaus – sukimosi greitis, minimalus greičio netolygumo koeficientas ir pavaros naudingumo koeficientas.

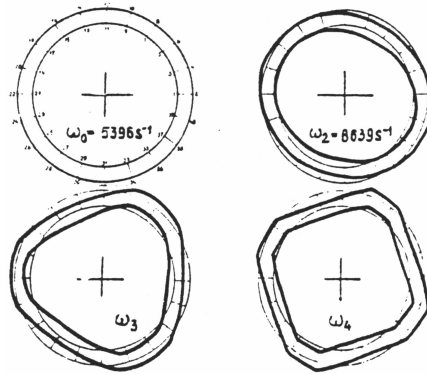
### 7.1. Pjezokeraminio žiedinio žadintuvo dinamika

Pjezokeraminiame žiediniame žadintuve vykstantys dinaminiai procesai ištirti skaitmeniniu baigtinių elementų metodu, t.y. ištirti pjezokeraminio žadintuvo laisvieji ir priverstiniai virpesiai. Žiedo elektrodus prijungiant prie vienfazio ir daugiafazio maitinimo šaltinių, pjezokeraminiame žiediniame elemente buvo sužadinti aukštojo dažnio virpesiai.

Skaičiavimams bei tyrimams paimtas pjezokeraminis žiedas, pagamintas iš pjezokeramikos CTS – 19 (švino cirkonato). Jis buvo suskaidytas į 20 baigtinių elementų ir mazginėmis linijomis sudalytas į 40 tokių parametru žiedo formos sektorių: vidinis ir išorinis žiedo spinduliai  $R_1 = 0,011\text{m}$ ,  $R_2 = 0,013\text{m}$ , pjezokeramikos tamprumo modulis  $\gamma = 3 \cdot 10^7 \text{ N/m}^2$ , pjezokeramikos tankis  $\rho = 7200 \text{ N/m}^3$ .

Pjezokeraminiame žiediniame elemente sužadinti virpesiai gali įgauti įvairias savas formas, kurios lemia mazginės linijos išilgai žiedo sudaromųjų. Jų skaičius gali būti  $n = 2, 3, 4$ . Šių mazginių linijų kryptimi radialiniai poslinkiai lygūs 0. Gauti keturių formų pjezokeraminio žiedinio žadintuvo savieji virpesiai radialine kryptimi (47 pav.). Jų dažniai:

$$\omega_0 = 5396 \text{ s}^{-1}; \omega_2 = 8639 \text{ s}^{-1}; \omega_3 = 11652 \text{ s}^{-1}; \omega_4 = 15149 \text{ s}^{-1}.$$



47 pav. Pjezokeraminio žiedo savųjų virpesių formos

Teorinis pirmos formos radialinių savųjų virpesių dažnis apskaičiuojamas pagal formulę:

$$\omega_0^{teor} = \sqrt{\frac{\gamma}{a^2 \cdot \rho}}, \text{ čia } a = (R_2 - R_1)/2. \quad (10)$$

Iš skaičiavimo rezultatų gauta, kad šis dydis lygus  $\omega_0^{teor} = 5380 \text{ s}^{-1}$  ir mažai skiriasi nuo  $\omega_0$ .

Priverstiniais virpesiais tirti buvo panaudotos iš tos pačios pjezokeraminės medžiagos (CTS – 19) pagamintas žiedinis žadintuvas, suskaidytas į 20 baigtinių elementų ir 40 sektorių pavidalo mazgų, bei pasirinkti antros formos ( $n = 2$ ), savieji virpesiai, kurių dažnis  $\omega_2 = 8639 \text{ s}^{-1}$ .

Kiekvieno baigtinio elemento atskiro sektoriaus taško matricų diferencialinio judesio lygtis užrašoma taip:

$$[M]\{\delta\} + [K]\{\delta\} + [C]\{\delta\} = \{f_i^i(t)\}, \quad (11)$$

čia  $[M]$  – masių matrica;  $[K]$  – slopinimo matrica;  $[C]$  – standumo matrica;  $\{f_j^1(t)\}$  – elektrinio lauko sukeltų jėgų vektorius;  $i$  – baigtinio elemento numeris;  $j$  – fazė;  $\{\delta\}$  – mazginių taškų poslinkio vektorius, lygus:

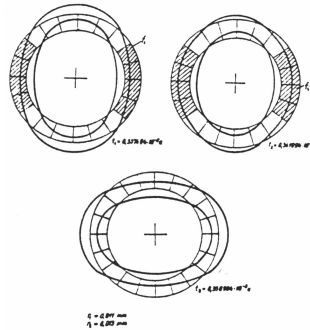
$$\{\delta\} = \begin{Bmatrix} \delta_\rho \\ \delta_\tau \end{Bmatrix}, \quad (12)$$

čia  $\delta_\rho$  – poslinkis radialine kryptimi;  $\delta_\tau$  – poslinkis tangentine kryptimi.

Jėgos vektorius:

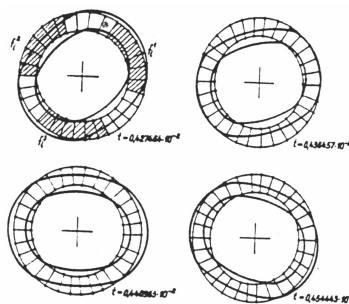
$$\{f_j^1(t)\} = A \sin(w_2 t + \varphi_k), \quad (13)$$

čia  $t$  – laikas;  $A$  – virpesių amplitudė;  $w_2$  – antros formos radialinių virpesių dažnis;  $\varphi_k$  – fazių poslinkis.



48 pav. Prie vienfazio maitinimo šaltinio prijungto pjezokeraminio žiedo priverstiniai virpesiai

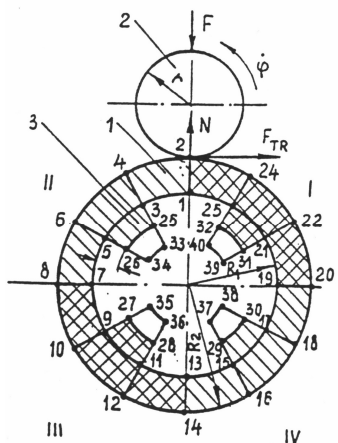
Prijungus pjezokeraminį žiedinį žadintuvą prie vienfazio maitinimo šaltinio sužadinti virpesiai neįgyja banginio pobūdžio (48 pav.). prijungus pjeziokeraminį žiedinį žadintuvą prie trifazio maitinimo šaltinio, žiede buvo sužadinti aukšto dažnio banginiai radialiniai virpesiai (49 pav.). Iš to daroma išvada, kad, norint sužadinti bėgančiosios bangos virpesius, pjezokeraminį žadintuvą reikia prijungti prie trifazio maitinimo šaltinio.



49 pav. Prie trifazio maitinimo šaltinio prijungto pjezokeraminio žiedo priverstiniai virpesiai

## 7.2. Banginės pjezoelektrinės pavaros dinamika

Banginės pjezoelektrinės pavaros su žiediniu žadintuvu, susklaidytų į baigtinius elementus, modelis, pateiktas (50 pav.).



50 pav. Banginės pjezoelektrinės pavaros su žiediniu žadintuvu modelis: 1 – pjezokeraminis žiedas; 2 – rotorius; 3 – pjezokeraminiai elementai, atspindintys bėgančiąsias bangas

Pjezokeraminiame žiediniame elemente – 1 sužadunami aukšto dažnio bėgančiosios bangos virpesiai, kurie, sąveikaudami su rotoriumi – 2, suteikia jam sukamąjį judesį. Pjezokeraminiis žiedas – 1 suskaidytas į 20 baigtinių elementų ir elektrodais sudalytas į 4 sektorius (I, II, III, IV).

Žiedinis žadintuvas – 1 tvirtinamas aktyviaisiais plokštelių pavidalo elementais – 3, atspindinčiais bėgančiąsias bangas. Jie pagaminti iš tokios pat pjezokeraminės medžiagos kaip ir žiedas – 1. Bangas atspindinčių elementų – 3 ilgis lygus arba kartotinis žadinamos bėgančiosios bangos ilgiui, kuris apskaičiuojamas pagal žadinimo dažnį. Pjezokeraminių plokštelių – 3 paviršius atstumu  $l_e$  nuo žadintuvo – 1 vidinio spindulio  $R_1$  padengtas elektrodu, o jų laisvieji galai standžiai įtvirtinti. Pjezokeraminiame žiede – 1 sužadinta bėgančioji banga perduodama į bangas atspindinčius elementus – 3, atsispindi ir grįžta į žadintuvą – 1, būdama tos pačios fazės. Šitaip pavyksta minimizuoti bėgančiosios bangos energijos nuostolius žadintuvo – 1 tvirtinimo vietose.

## 8. TIESIALINIJINIS VARIKLIS

Siūlomas išradimas priklauso staklių gamybai, robototeknikai ir gali būti pritaikytas tiksliems poslinkiams gauti.

Žinomas linijinis variklis, sudarytas iš korpuso, jame įstatyto vykdomojo elemento, kurio, abejose priešingose pusėse išdėstyta po lanksčią šakutės formos juostą, savo galais pritvirtintą prie priešingų vykdomojo elemento galų, ir kurių (juostų) kilpose įstatyta po tris ritinėlius, iš kurių vienas yra laiptuotas, o abu laiptuoti ritinėliai sąveikauja su dviem pjezokeraminiiais elementais.

Šio linijinio variklio trūkumas yra žemos funkcinės galimybės, nes gaunamas tik vieno vykdomojo elemento judesys, bei mažas darbo patikimumas, nes dėl šakutės formos juostų gaunami papildomi įtempimai.

Taip pat žinomas linijinis variklis, sudarytas iš korpuso, dviejų laiptuotų ritinėlių, sąveikaujančių su pjezokeramine plokšte su sudalintais elektrodais ir tampriai apgaubtu

dvejomis juostomis, kurių galai pritvirtinti prie atskirų dviejų vykdomųjų elementų. Šis linijinis variklis priimamas siūlomo išradimo prototipu.

Jo trūkumas yra žemos funkcinės galimybės, nes abu vykdomieji elementai gali judėti tik į tą pačią pusę, bei sąlyginai mažas jautrumas.

Išradimo esmė tame, kad žinomame tiesialinijiniame variklyje, susidedančiame iš korpuso, dviejų laiptuotų ritinėlių, sąveikaujančių su pjezokeramine plokštele su sudalintais elektrodais ir tampriai apgaubtų dvejomis juostomis, kurių galai pritvirtinti prie atskirų dviejų vykdomųjų elementų, tarp dviejų laiptuotų ritinėlių, centrų linijoje, įvestas tarpinis, mažesnio skersmens, nelaiptuotas ritinėlis, gaubiamas iš priešingų pusių suminiu 360 laipsnių kampu aukščiau minėtų juostų, be to, laiptuoti ritinėliai turi nejudamas pjezokeraminias ašis.

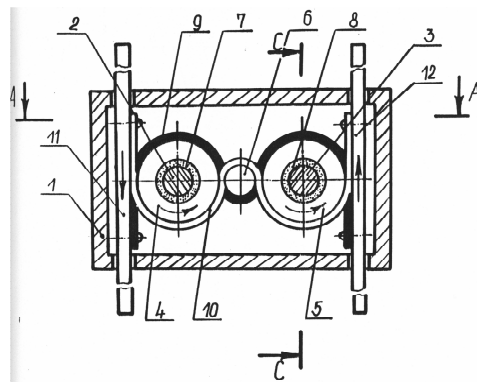
Įrenginio konstrukcija paaiškinta brėžiniu, kurio 51 pav. schematiškai pavaizduotas įrenginio konstruktyvinis sprendimas, 52 pav. - 51 pav. pjūvis A – A, 53 pav. - 52 pav. pjūvis B – B, 54 pav. - 51 pav. pjūvis C – C.

Tiesialinijinis variklis sudarytas iš korpuso 1, kuriame ant nejudamai įtvirtintų ašių 2 ir 3 įstatyti du laiptuoti ritinėliai 4, 5 ir tarp jų (4 ir 5), centrų linijoje, įstatytas tarpinis mažesnio skersmens nelaiptuotas ritinėlis 6. Ant ašių 2 ir 3 gali būti įtvirtintos pjezokeraminės ašys (žiedai) 7 ir 8, ant kurių įstatyti minėti ritinėliai 4 ir 5 (pjezokeraminės ašys 7 ir 8 įsikūša į laiptuotų ritinėlių 4 ir 5 vidų). Ritinėlius (4, 5, 6) apgaubiamas 360 laipsnių kampu. Kiekviena iš juostų (9 ir 10) savo galais pritvirtintos su įtempimu prie dviejų atskirų vykdomųjų elementų 11 ir 12 skirtinguose jų galuose. Ritinėliai 4 ir 5 per kontaktines trinkeles 13 ir 14 liečiasi su pjezokeramine plokštele 15, kurios elektrodai iš vienos pusės sudalinti į keturias simetriškas dalis 16, 17, 18 ir 19 (53 pav.), o iš kitos pusės pjezokeraminės plokštelės 15 elektrodas 20 nesudalintas (52 pav.). Pjezokeraminės plokštelės 15 ir ritinėlių 4 ir 5 geras kontaktas užtikrinamas spyruokle 21 ir įvove 22. Prispaudimo jėgos dydis reguliuojamas sraigtu 23.

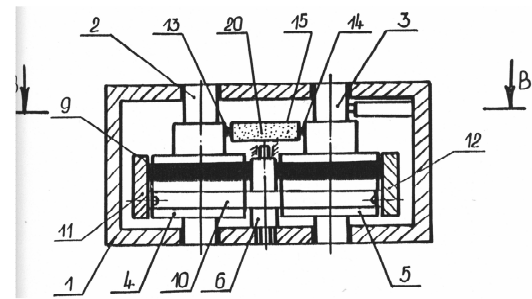
Tiesialinijinis variklis veikia taip. „Padavus“ nuo valdymo bloko aukštadažnių virpesių impulsus pjezokeraminės plokštelės 15 elektrodams 16, 19 ir 20, ji (15) pradeda virpėti, o šie virpesiai elipsoidine trajektorija virpina (judina) kontaktines trinkeles 13 ir 14 ir priverčia sukintis ritinėlius 5 ir 4 pagal laikrodžio rodyklės kryptį. Juostos 9 ir 10, gaubiančios ritinėlius 4, 6, 5 ir galais pritvirtintos prie vykdomųjų elementų 11 ir 12, priverčia vykdomąjį elementą 12 judėti aukštyn, o vykdomąjį elementą 11 – žemyn (53 pav.). Vykdomųjų elementų 11 ir 12 judesio kryptis pakeičiama priešinga, „padavus“ nuo valdymo bloko aukštadažnių virpesių impulsus pjezokeraminės plokštelės 15 elektrodams 18, 17 ir 20. Tuomet, virpėdama, pjezokeraminė plokštelė 15 virpina elipsoidine trajektorija kontaktines trinkeles 14 ir 13 priešinga kryptimi, ir taip suka ritinėlius 5 ir 4 prieš laikrodžio rodyklės kryptį.

Atjungus aukštadažnių virpesių impulsus nuo pjezokeraminės plokštelės 15 elektrodų, ji nustoja virpėti, ir kontaktinės trinkelės 13 ir 14 tampa stabdžiu, nejudamai užfiksudamos ritinėlių 4, 5, o tuo pačiu ir vykdomųjų elementų 11 ir 12 padėtį, užtikrindamos jų kinematinį tikslumą.

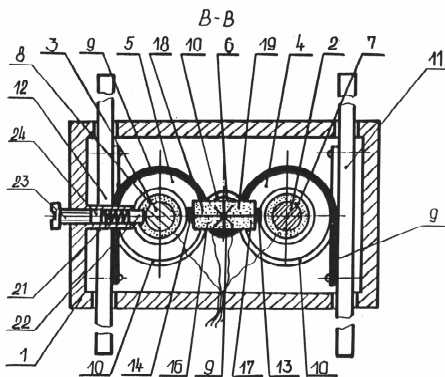
Jei laiptuoti ritinėliai 4 ir 5 yra sumontuoti ant pjezokeraminių ašių 7 ir 8, tai aukštadažniai virpesių impulsai nuo valdymo bloko (brėžinyje neparodyta) pagal eiliškumą pirmiausiai „paduodami“ pjezokeraminių ašių 7 ir 8 elektrodams, o tik po to pjezokeraminės plokštelės 15 elektrodams. Tarp pjezokeraminių ašių 7 ir 8 ir ritinėlių 4, 5 susidaro virpesių plėvelė, kuri padidina tiesialinijinio variklio darbo jautrumą. O dviejų vykdomųjų elementų judesys priešingomis kryptimis išplečia tiesialinijinio variklio funkcinės galimybės.



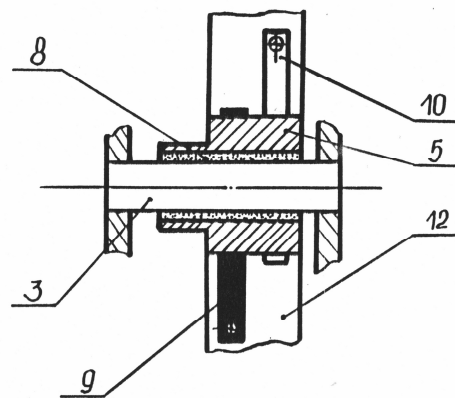
51 pav.



52 pav.



53 pav.



54 pav.

Dar vienas siūlomas išradimas taip pat priklauso staklių gamybai, robototechnikai ir gali būti panaudotas tikslių poslinkių gavimui.

Žinomas tiesialinijinis variklis, sudarytas iš korpuso, dviejų ritinėlių, apgaubtų dvejomis juostomis, kurių galai pritvirtinti prie dviejų vykdomųjų elementų (slankiklių), judančių vienodomis kryptimis, sąveikaujančių su pjezokeramine plokšte su sudalintais elektrodais.

Jo trūkumai yra konstrukcijos sudėtingumas, nes turi rolamaitinį mechanizmą ir mažos funkcinės galimybės, nes abu vykdomieji elementai juda viena kryptimi.

Taip pat žinomas tiesialinijinis variklis, sudarytas iš korpuso, ritinėlio su galuose esančiomis ašinėmis įpjovomis, kuriose įstatytos dvi juostos, kurių galai pritvirtinti prie dviejų atskirų vykdomųjų elementų (slankiklių), kurie juda priešingomis kryptimis, sąveikaujančio su pjezokeramine plokšte su sudalintais elektrodais. Šis tiesialinijinis variklis priimamas siūlomo išradimo prototipu.

Jo trūkumai yra konstrukcijos sudėtingumas ir mažos vykdomųjų elementų eigos ribos. Išradimo esmė tame, kad žinomame tiesialinijiniame variklyje, susidedančiame iš korpuso, dviejų pjezoelementų, prispaustų prie dviejų atskirų vykdomųjų, spyruokle, pjezoelementai betapiškai per kontaktines trinkeles stumia vykdomuosius elementus priešingomis kryptimis.

Mechanizmo konstrukcija paaiškinta brėžiniu, kurio 55 pav. schematiškai pavaizduotas įrenginio konstruktyvinis sprendimas, 56 pav. – 55 pav. pjūvis A – A, 57 pav. – 56 pav. pjūvis B – B.

Tiesialinijinis variklis sudarytas iš korpuso 1, kurio centre yra laikiklis su dviem pjezokeraminėmis plokštelėmis 3 ir 4. Kiekviena plokštelė per kontaktines trinkeles 5 ir 6 veikia vykdomuosius elementus (slankiklius) 7 ir 8. Laikiklis 2 turi ašį 9 (56 pav.), prie kurios pritvirtinta svirtelė 10 (57 pav.), kurią spaudžia spyruoklinė plokštelė 11.

Tiesialinijinis variklis veikia taip. „Padavus“ nuo valdymo bloko (brėžinyje neparodyta) aukštadažnių virpesių impulsus pjezokeraminių plokštelių 3 ir 4 elektrodams, jos (3 ir 4) pradeda

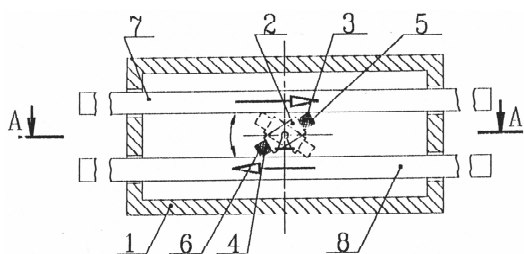


virpėti, o šie virpesiai elipsoidine trajektorija virpina (judina) kontaktines trinkeles 5 ir 6, ir priverčia judėti (slinkti) vykdomuosius elementus (slankiklius) 7 ir 8 priešingomis kryptimis, kaip parodyta 55 pav.. Spyruoklinė plokštelė 11 per svirtelę 10 ir ašį 9 sukamuoju momentu spaudžia pjezokeramines plokšteles 3 ir 4 su kontaktinėmis trinkelėmis 5 ir 6 prie slankiklių 7 ir 8.

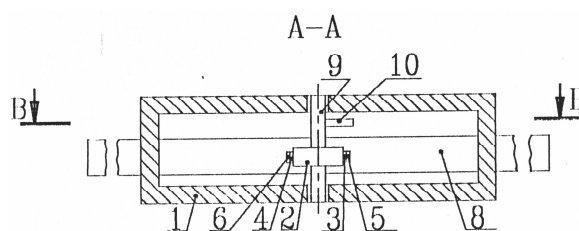
Atjungus aukštadažnių virpesių impulsus (iš valdymo bloko) nuo pjezokeraminių plokštelių 3 ir 4 elektrodų, kontaktinės trinkelės 5 ir 6 nustoja virpėti elipsoidine trajektorija ir tampa stabdžiu, fiksuojančiu slankiklių 7 ir 8 padėtį.

Mechaniškai arba elektriškai pasukus ašį 9 parodyta (55 pav.) kryptimi, laikiklis 2 su pjezokeraminėmis plokštelėmis, o spyruoklinė plokštelė 11 fiksuoja svirtelę 10 naujoje padėtyje. Tada „padavus“ aukštadažnių virpesių impulsus pjezokeraminių plokštelių 3 ir 4 elektrodams, vyksta analogiškai aprašytiems veiksmai, tik pasikeičia slankiklių 7 ir 8 judėjimo kryptys į priešingas, parodytoms (55 pav.) kryptims.

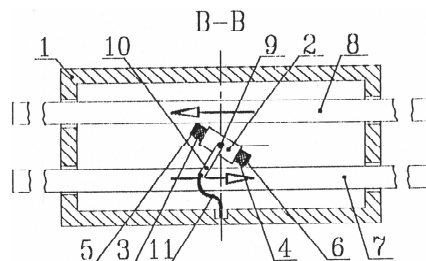
Atjungus aukštadažnių virpesių impulsus (iš valdymo bloko) nuo pjezokeraminių plokštelių 3 ir 4 elektrodų, kontaktinės trinkelės 5 ir 6 nustoja virpėti elipsoidine trajektorija ir tampa stabdžiu, fiksuojančiu slankiklių 7 ir 8 padėtį.



55 pav.



56 pav.



57 pav.

## 9. LINIJINIS VIBROVARIKLIS

Šis siūlomas išradimas priklauso staklių gamybai, robototechnikai ir gali būti pritaikytas automatinėse sistemose.

Žinomas linijinis vibrovariklis, sudarytas iš judamo elemento (slankiklio), pagrindo, jame įtaisyto rotoriaus, dviejų pjezokeraminių elementų su elektrodais, prijungtas prie aukšto dažnio įtampos šaltinio, ir sąveikaujančių su rotoriumi, be to glaudžiai gaubiamų dviejų lanksčių juostų, kurių vieni galai tvirtinami prie judamo elemento, o kiti – prie pavaros ritinėlio, kuris su rotoriumi sujungtas ant jo uždėtu pjezokeraminiu žiedu.

Šio linijinio vibrovariklio trūkumas yra konstrukcijos sudėtingumas: dvi lanksčios juostos, vibroguolis.

Taip pat žinomas linijinis vibrovariklis, sudarytas iš korpuso, jame įtaisytų dviejų pjezoelektrinių vibratorių, vykdomojo elemento (slankiklio), prie kurio galų iš priešingų pusių su įtempimu pritvirtintos dvi lanksčios juostos, kurių kilpose yra su vibratoriais sąveikaujantys

ritinėliai, be to ritinėlių ašys tvirtinamos korpuse, o juosta pagaminta šakutės formos. Šis linijinis vibrovariklis priimamas siūlomo išradimo prototipu.

Išradimo esmė tame, kad žinomame linijiniame vibrovariklyje, susidedančiame iš korpuso, jame įtaisyto vykdomojo elemento (slankiklio), prie kurio galų su įtempimu pritvirtinta lanksti šakutės formos juosta, glaudžiai gaubianti tris ritinėlius, iš kurių du du per kontaktines trinkeles sąveikauja su pjezokeramine plokštele su sudalintais elektrodais ir yra laiptuoti.

Įrenginio konstrukcija paaiškinta brėžiniu, kurio 58 pav. yra schematiškai pavaizduotas įrenginio konstruktyvinis sprendimas, 59 pav. – 58 pav. pjūvis A – A, 60 pav. – lanksčios juostos išsklotinė, 61 pav. – lanksčios juostos darbinė padėtis mechanizme.

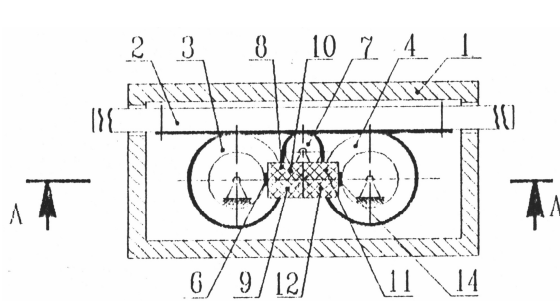
Linijinis vibrovariklis sudarytas iš korpuso 1, jame įtaisyto laisvai judančio dviem kryptimis vykdomojo elemento (slankiklio) 2, dviejų laiptuotų ritinėlių 3 ir 4 bei tarp jų esančio nelaidejo ritinėlio 7. Visų ritinėlių ašys nejudamai tvirtinamos korpuse 1. Ritinėlius 3, 7 ir 4 gaubia (kaip parodyta 61 pav.) lanksti šakutės formos (60 pav.) juosta 13. Jos (13) galai nejudamai pritvirtinti prie slankiklio 2. Kad užtikrinti reikiamą juostos įtempimą bei glaudų ritinėlių 3, 7 ir 4 ryšį su juosta, ritinėliai 3 ir 4 vienas kito atžvilgiu, o ritinėlis 7 nuo ritinėlių 3 ir 4 ašies, yra stumiami spyruoklių (brėžinyje neparodytos). Pjezokeraminė plokštelė 8, kurios elektrodas vienoje pusėje sudalintas į keturias simetriškas dalis 9, 10, 11 ir 12, o kitoje pusėje elektrodas 5 nesudalintas, per kontaktines trinkeles 14 ir 6 glaudžiasi prie ritinėlių 3 ir 4.

Linijinis vibrovariklis veikia taip. „Padavus“ nuo valdymo bloko (brėžinyje neparodyta) aukštadažnių virpesių impulsus pjezokeraminės plokštelės 8 elektrodams 9, 11 ir 5, ji (8) pradeda virpėti, o šie virpesiai elipsoidine trajektorija virpina kontaktines trinkeles 14 ir 6, kurios priverčia judėti (suktis) ritinėlius 3 ir 4 laikrodžio rodyklės kryptimi. Kadangi ritinėliai 3 ir 4 gaubiami juosta 13, kuris sujungta su slankikliu 2, tai jis (2) slenka parodyta Fig.1 kryptimi.

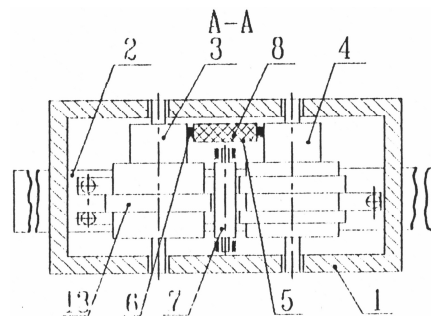
Atjungus aukštadažnių virpesių impulsus (iš valdymo bloko) nuo pjezokeraminės plokštelės 8 elektrodų 9, 11 ir 5, kontaktinės trinkelės 14 ir 6 nustoja virpėti elipsoidine trajektorija ir tampa stabdžiu, fiksuojančiu ritinėlių 3 ir 4, o tuo pačiu ir slankiklio 2 padėtį.

„Padavus“ aukštadažnių virpesių impulsus pjezokeraminės plokštelės 8 elektrodams 10, 12 ir 5, vyksta analogiški aprašytiems veiksmai, tik pasikeičia kontaktinių trinkelėlių 14 ir 6 elipsoidinių trajektorijų kryptys į priešingą, o tuo pačiu ritinėlių 3, 4 ir slankiklio 2 judėjimo kryptys pasikeičia į priešingą aukščiau nurodytoms kryptims.

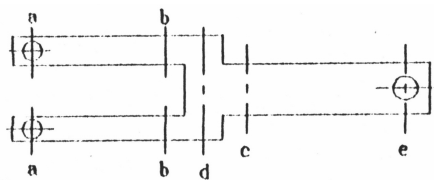
Atjungus aukštadažnių virpesių impulsus (iš valdymo bloko) nuo pjezokeraminės plokštelės 8 elektrodų 10, 12 ir 5, kontaktinės trinkelės 14 ir 6 nustoja virpėti elipsoidine trajektorija ir tampa stabdžiu, fiksuojančiu ritinėlių 3 ir 4, o tuo pačiu ir slankiklio 2 padėtis.



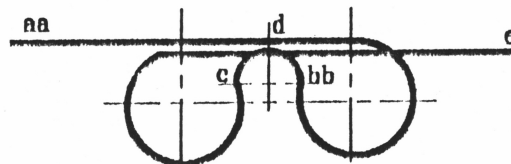
58 pav.



59 pav.



60 pav.



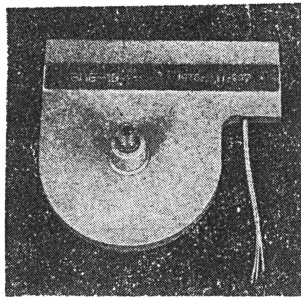
61 pav.

## 10. VIBROVARIKLIŲ PANAUDOJIMO SRITYS IR PAVYŽIAI

Pateikiami pavyzdžiai įrengimų su vibrovarikliais, kuriuose geriausiai pasireiškia pagrindinės teigiamos jų pusės: aukštos galimybės, maža laiko pastovioji, plataus greičio reguliavimo diapazonas, judančiojo elemento padėties fiksacija išjungus maitinimą, maži gabaritai ir masė.

### 10.1. Linijinio ir sukamojo judėjimo vibrovarikliai

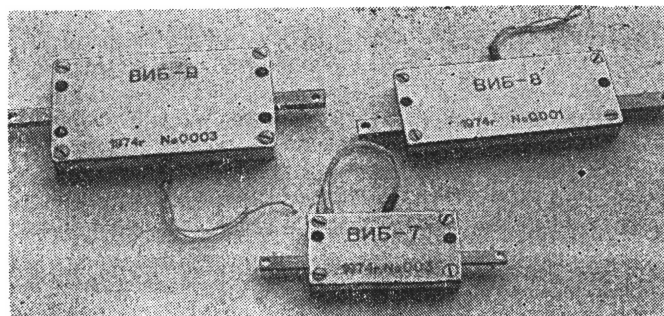
Pagrindinės vibrovariklių dirbančių nenutrūkstamo judėjimo režimu charakteristikos: nominalus greitis prie inercinės ar jėginės apkrovos, greičio netolygumo koeficientas ir vidutinio reguliavimo diapazonas.



62 pav. Reversinis vibrovariklis ВИБ – 16

Paveikslėlyje (62 pav.) matomas bendras automatinio reversinio plataus vartojimo vibrovariklio ВИБ – 16 vaizdas. Vibrovariklyje naudojamas išilginių ir lankstinių virpesių keitiklis, leidžiantis atskirai reguliuoti amplitudes ir tangentines, bei normalines fazes sudarančias virpesius kontakto zonoje, t.y. virpesių greito judėjimo parametrų optimizavimas įskaitant apkrovos charakteristikas ir dydžius. Vibrovariklyje yra įdėtas slopinamasis (dempferinis) įrenginys, skirtas keitiklio kokybės  $Q_m$  reguliavimui  $(Q_m)_{max}/(Q_m)_{min} \approx (8-10)$  ribose. Įrenginyje virpesių keitiklis sudarytas iš pjezokeraminių pagalvėlių, tvirtai priglundusių prie pagrindinio vibrovariklio keitiklio. Bendras keitiklių energijos, suvartojamos abiejų keitiklių kontakto zonoje, valdymas paremtas santykinės fazės virpesių pagrindimo ir papildymo reguliavimu. Tokiu būdu variklis gali dirbti tiek žingsniniuose režimuose, kur maksimalus greitas judėjimas priklauso nuo sistemos kokybės, tiek ir nusistovėjusio greičio režime.

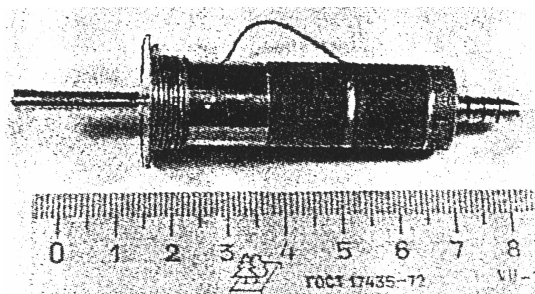
Vibrokeitikliai aprūpina judančiojo elemento greičio simetrinį reversą ir atitinka daugelio vibrovariklių keitiklių naudojimo reikalavimus. Jų pagrindu sukurta serija linijinio (63 pav.) ir sukamojo (51 pav.) judėjimo vibrovarikliai. Kaip rodo techninės charakteristikos, greičio ir momentų diapazonas yra pakankamai platus bendro naudojimo įrenginiams.



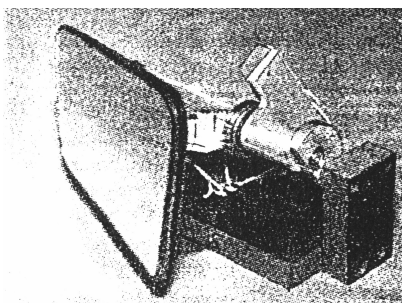
63 pav. Trijų didžiųjų linijiniai vibrovarikliai

## 10.2. Vibromechanizmų pritaikymas automobiliuose

Vibromechanizmai jau pradėti taikyti ir automobiliuose, štai vibropurkštuvas (64 pav.), kuris porcijomis įpurškia kurą į mišinį sudarančią naujo tipo sistemą. Labai perspektyvus vibroįtaisas, kuris reguliuoja išorinio atgalinio vaizdo veidrodžio padėtį (65 pav.). Jis valdomas iš automobilio kabinos aukštojo dažnio virpesiais. Pagamintas ir reversinis vibrovariklis karbiuratoriaus droseliavimo sklendei automatinu režimu valdyti.



64 pav. Vibropurkštuvas



65 pav. Vibropavara valdomas išorinio vaizdo veidrodėlis

Jau minėto išorinio apžvalgos veidrodėlio padėties reguliatorių, panaudojant dviejų judrumo laipsnių vibropavaras – jos valdomos elektriniu signalu iš kabinos. Perspektyvoje – veidrodėlis ant automobilio stogo, taip pat valdomas vibropavaromis per optinę sistemą priklausomai nuo vairuotojo padėties kabinoje. Taip pat mažėja oro pasipriešinimas važiuojant, didesnis ar apžvalgos kampas. Vibratoriumi galima reguliuoti priekinių sėdynių padėtį pagal antropologinius vairuotojo duomenis. Tada nebereiktų šiuo metu naudojamų sėdynių rankinių reguliavimo mechanizmų.

Taikant vibracinius judesio keitiklius, patogų pakelti ir nuleisti durelių stiklus. Tai nauja ir efektyvu.

Kiekvienas vairuotojas žino, kaip svarbu gerai apšviestas kelias. Jis priklauso ne tik nuo stiprių ir gerai sureguliuotų žibintų, bet ir nuo paties automobilio apkrovos – vienoks šviesos srauto kampas, kai važiuoja pustuštis, ir visai kitoks – kai automobilis pakrautas. Panaudojus vibropozicionavimo įtaisus, žibintų padėtį galima reguliuoti tiesiai iš kabinos ar net automatiškai, pritaikius padėties daviklį.

Modernizuoti preciziniai vibrovožtuvai gali būti pritaikyti ir hidraulinėse skysčio tiekimo sistemose priekiniams ir užpakaliniams stiklams, taip pat žibintams valyti.

Dėmesio verti įvairūs vibrodavikliai – paprastų konstrukcijų, patikimi ir efektyvūs. Jais galima matuoti bako benzino kiekį, elektrolito akumuliatoriuje, stabdymo sistemos skysčio lygį. Precizinis daviklis puikiai galėtų valdyti ir karbiuratoriaus droselinę sklendę.

Perspektyvūs ir vibrovožtuvai – dozatoriai karbiuratoriaus darbui optimizuoti bei automobilio ekonomiškai rida pagal išmetamųjų dujų toksiškumą palaikyti.

Vibrotechnika padidins ir automobilių saugumą. Pritaikius galingas vibropavaras galima išstumti ir atgal gražinti automobilių buferius – avarinio smūgio metu tokie mechanizmai labai sumažintų smūgio pasekmes. Artimiausiu metu sukurtus greitaveikius vibrovariklius pritaikyti benzino siurbliui. Norint paleisti net sunkiai užsivedantį variklį, vairuotojui nebereikės lipti iš kabinos ir spausti ranka siurblio.

Vibracinės pavaros labai pravers uždarančią ir atidarant automobilio duris, užtikrins užraktų saugumą.

Jau šiandien lengvajame automobilyje galima įrengti per keturiasdešimt originalių vibroįtaisų. Svarbu ir tai, kad vibroįtaisai gali būti gerai suderinami su elektroniniais prietaisais, lengvai kompiuterizuojami. Svarbus vibrotechnikų uždavinys – sukurti vibroįtaisus su kai kuriais valdymo elementais, o automobilių pramonės specialistų uždavinys – pritaikyti sukurtus mechanizmus automobiliams bei juos kompiuterizuoti. Yra visos sąlygos pagaminti automatizuotus ekonomiškus ir ekologiškai švairius automobilius, pagerinti sąlygas keleiviams ir vairuotojams.

Tolesnėje ateityje planuojama automobiliuose panaudoti kai kurias vibrotechnikų pasiekimus, pavyzdžiui, vibrodiagnostikos, metodus bei priemones. Galima patobulinti aktyvaus saugumo priemones, pavyzdžiui, automobilių kėbulų pakabinimą ir amortizaciją. Visa tai labai pagerintų automobilio komfortabilumą.

## IŠVADOS

Šiame darbe apžvelgtas magistratūros studijose atliktas darbas. Kadangi su vibrovarikliais susipažinta tik studijų metu, tai pradėta nuo literatūros studijavimo. Dirbant kartu su kolega V. Stravinsku ir vadovaujant doc. R.-V. Ulozui, buvo atlikti eksperimentiniai vibroritinėlių tyrimai. Jų metu buvo praktiškai įsitikinta, kad tiesialinijiniame vibrovariklyje su tokiais vibroritinėliais sumažėja statinė trintis, o tuo pačiu ir pasipriešinimas sukimuisi, nes atsiranda vibracinė plėvelė, o tai padidina vibrovariklio greitaeigiškumą ir jautrumą.

Atlikdami teorinius ir praktinius tyrimus, įsitikinome vibrovariklių privalumais: paprasta konstrukcija, palyginti plačios praktinio pritaikymo galimybės, didelis kinematis tikslumas.

Vibrovarikliuose (VBV) aukšto dažnio mechaniniai virpesiai (pradedant nuo 20.000 Hz) linijinių virpesių keitiklio (LVK) transformuojami į nepertraukiamą arba žingsninį judamo objekto (plokštelės, juostos, rotoriaus) judesį. Eksperimentiškai ištirti dinaminiai procesai, vykstantys vibrovariklyje, kuriame panaudojamas įstrižas LVK smūgis į rotorius, ir rolamaitiniame VBV. Nustatyta:

1. Rotoriaus sūkliai  $n$  didžiausi, kai linijinis virpesių keitiklis prispaudžiamas prie rotoriaus optimaliu kampu (tiroje konstrukcijoje  $\alpha = 125^\circ$ ).

2. LVK tampraus prispaudimo prie rotoriaus jėgos dydis nežymiai veikia į mechaninių charakteristikų formą.

3. Ypač tikslioms sistemoms, dirbančioms plačiame temperatūriniame diapazone ir esant linijinėms ir vibracinėms perkrovoms, rekomenduojama naudoti schemas su įjungtu į generatoriaus kontūrą keitikliu arba sukurti autovirpesinius generatorius, dirbančius keitiklio rezonansiniu dažniu.

4. Rotorių nesinchroniškumas labiausiai išauga paprastame dviejų rotorius VBV, mažiausiai – rolamaitiniame VBV, kuriame LVK suka abu rotorius. Rolamaitinio VBV variantas, kai LVK suka abu rotorius, yra optimaliausias.

5. Rolamaito tipo mechanizmo ir vibrovariklio sintezė leidžia sukurti kokybiškai naujus mechanizmus.

## LITERATŪRA

1. "Lietuvos staklininkystė" 14d. Vilnius „Mokslas“, 1982.К Рагульскис Р – В Улозас, Бакай Н.
2. Бансявичюс Р.Ю., Рагульскис К.М., 1981, *Вибродвигатели*.-Вильнюс, Мокслас, 193 с.
3. Рагульскис К., Улозас Р. В., Бакай Н., Палявичюс А. 1990, *Механизмы тупа роламайт*.-Вильнюс, Мокслас, 200 с.
4. Ulozas R.V., Būda A.V., Kurilo R., Ragulskis K., Tvaronavičius, R. *Juostos traukimo mechanizmas. SSRS išradimas Nr. 570102.*
5. Alekna Z. P., Ulozas R. V. *Mikromanipulatoriaus griebtas. SSRS išradimas Nr. 1602735.*
6. Ulozas R. V., Skačkovas V., Kazanavičius K., Ragulskis K. *Linijinis variklis. SSRS išradimas Nr. 1566851.*
7. Bogušis G., Stravinskas V., Ulozas R. V. 2004, *Rolomaitinių vibrovariklių dinamikos tyrimai, Jaunujų mokslininkų darbai. Šiauliai*, VšĮ Šiaulių universiteto leidykla, 54 psl.
8. Bogušis G., Stravinskas V., Ulozas R. V. 2005, *Vibrovariklių eksperimentiniai tyrimai, Mechanika*. Kauno technologijos universitetas, 474 psl.

# PRIEDAI