

# **RĪGAS TEHNISKĀ UNIVERSITĀTE**

Transporta un mašīnzinību fakultāte

Mašīnbūves tehnoloģijas institūts

**TOMS TORIMS**

Aparātu inženierijas doktora programmas doktorants

(doktor.apl.nr. 951RMP009)

## **DĪZELDZINĒJU KLOĶVĀRPSTU KAKLIŅU VIRSMAS APSTRĀDES PĒTĪJUMI**

**Promocijas darba kopsavilkums**

Zinātniskais vadītājs  
Dr. habil. sc. ing., profesors  
**J. RUDZĪTIS**

**Rīga 2005**

UDK 621.431.74 (043)  
To 640 d

Torims T. Dīzeļdzinēju kloķvārpstu  
kakliņu virsmas apstrādes pētījumi.  
Promocijas darba kopsavilkums.  
R.:RTU, 2005.23 lpp.

Šis darbs ir izstrādāts ar Eiropas Sociālā fonda atbalstu Nacionālās programmas „Atbalsts doktorantūras programmu īstenošanai un pēcdoktorantūras pētījumiem” projekta „Atbalsts RTU doktorantūras attīstībai” ietvaros.

ISBN \_\_\_\_\_

**PROMOCIJAS DARBS  
IZVIRZĪTS RĪGAS TEHNISKAJĀ UNIVERSITĀTĒ  
INŽENIERZINĀTŅU DOKTORA GRĀDA IEGŪŠANAI**

Promocijas darbs inženierzinātņu doktora grāda iegūšanai tiek publiski aizstāvēts 2006. gada 22. martā plkst. 15.00 Rīgas Tehniskās universitātes Transporta un mašīnzinību fakultātē Rīgā, Ezermalas ielā 6, 405. auditorijā.

**OFICIĀLIE OPONENTI**

1. Prof., Dr.sc.ing. Reins Lāneots (Rein Laaneots)
2. Prof., Dr.h.ing. Viktors Mironovs
3. Prof., Dr.sc.ing. Ruslans Dorošenko

**APSTIPRINĀJUMS**

Es apstiprinu, ka esmu izstrādājis šo promocijas darbu, kurš iesniegts izskatīšanai Rīgas Tehniskajā universitātē inženierzinātņu doktora grāda iegūšanai. Promocijas darbs nav iesniegts nevienā citā universitātē zinātniskā grāda iegūšanai.

Toms Torims \_\_\_\_\_

Datums: \_\_\_\_\_

Promocijas darbs ir uzrakstīts latviešu valodā, satur ievadu, 6 nodaļas, secinājumus, literatūras sarakstu, 2 pielikumus, 36 attēlus, 9 tabulas, kopā 106 lapaspuses. Literatūras sarakstā ir 124 nosaukumi.

# PROMOCIJAS DARBA VISPĀRĒJS RAKSTUROJUMS

## **Tēmas aktualitāte**

Izvēlētā promocijas darba tēma “Dīzeļdzinēju kloķvārpstu gultņu kakliņu virsmas apstrādes pētījumi” ir cieši saistīta ar Latvijas ražošanai svarīgu nozari – kuģu būvi un kuģu remontu. Veicot kuģu dīzeļdzinēju remontu, kloķvārpstu gultņu kakliņu virsmas ir jāatjauno, ievērojot ļoti augstas ģeometriskās un virsmas raupjuma prasības. Šobrīd kuģu remonta uzņēmumos pieejamās tehnoloģijas nodrošina šo prasību ievērošanu, bet ir laikietilpīgas un dārgas. Tādēļ nepieciešams veikt kuģu dīzeļdzinēju kloķvārpstu gultņu kakliņu virsmu apstrādes pētījumus, uzlabojot tehnoloģiskos procesus, nosakot atbilstošus virsmas raupjuma parametrus un sniedzot adekvātas tehnoloģiskās rekomendācijas. Pie kam gultņu kakliņu virsmas jāaplūko kā trīs dimensiju objekts, definējot reālajai virsmai atbilstošus mikropogrāfiskos raupjuma parametrus. Apkopojot pieejamos zinātniskajos pētījumus, konstatēts, ka līdz šim nav analizēta slīpēšanas tehnoloģisko režīmu ietekme uz kuģu dzinēju kloķvārpstu gultņu kakliņu mikropogrāfiju.

Nemot vērā iepriekš minētos apsvērumus, promocijas darbā tiek izmantota jauna tehnoloģiskā pieeja, kas ievērojami atvieglo tehnoloģisko apstrādi un ļauj veikt kloķvārpstas kakliņu slīpēšanu, neizņemot to no dzinēja, proti, apstrādi veicot dzinēja karterī. Šī tehnoloģija ļauj ietaupīt ievērojamus līdzekļus, kā arī krietni samazina dzinēja remonta laiku.

Promocijas darba tēmā ir ietverts aktuāls ražošanas uzdevums ar praktisku pielietojumu. Atrisinot ar virsmas precizitāti saistītās problēmas, iespējams būtiski uzlabot kloķvārpstu apstrādi, kā arī remonta operācijas veikt daudz lētāk un augstākā kvalitātē.

## **Darba mērķis**

Promocijas darba mērķis ir veikt dīzeļdzinēju kloķvārpstu kakliņu virsmas apstrādes pētījumus. Šī mērķa sasniegšanai tika izvirzīti sekojoši uzdevumi.

1. Izveidot kloķvārpstas gultņu kakliņu mikropogrāfisko raupjuma modeli.
2. Aprēķināt galvenos kloķvārpstas gultņu kakliņu virsmu raksturojošos mikropogrāfiskos parametrus, kuri ir balstīti uz metroloģiski un tehnoloģiski viegli nodrošināmiem raksturlielumiem.
3. Izstrādāt atbilstošu tehnoloģisko aprīkojumu kloķvārpstu gultņu kakliņu slīpēšanai.
4. Izpētīt virsmas trīsdimensiju raupjuma parametru saistību ar kloķvārpstas gultņu kakliņu apstrādes tehnoloģiskajiem režīmiem.

5. Veikt eksperimentālos pētījumus ar izstrādāto slīpēšanas ierīci, formulēt secinājumus un sniegt atbilstošas rekomendācijas teorētiski un praktiski pamatotu tehnoloģisko režīmu izvēlei.

### **Pētījumu metodika**

Dīzeļdzinēju kloķvārpstu gultņu kakliņu virsmas raupjuma pētīšanai ir pielietota gadījuma lauku teorija, kas dod iespēju izveidot ticamu (reālajiem apstākļiem maksimāli tuvu) virsmas raupjuma modeli un ar to saistītos mikrotopogrāfiskā virsmas raupjuma parametrus.

Tehnoloģisko režīmu ietekmes uz mikrotopogrāfiskajiem raupjuma parametriem analīze veikta, izmantojot eksperimenta plānošanas metodes, pielietojot datorprogrammas "Microsoft Access" un SPSS v.12.0.

### **Zinātniskā novitāte un galvenie pētījuma rezultāti**

Promocijas darbā izveidots jauns dīzeļdzinēju kloķvārpstu gultņu kakliņiem piemērots trīsdimensiju raupjuma modelis un noteikti tā mikrotopogrāfiskā virsmas raupjuma parametri.

Izstrādāts novatorisks dīzeļdzinēju kloķvārpstu kakliņu slīpēšanas tehnoloģiskais aprīkojums, kas ļauj veikt kloķvārpstu kļu gultņu kakliņu apstrādi dzinēja karterī, nedemontējot kloķvārpstu no dzinēja.

Veikta daudzfaktoru tehnoloģisko režīmu ietekmes analīze uz dīzeļdzinēju kloķvārpstu gultņu kakliņu virsmas trīs dimensiju raupjuma parametriem.

Iepriekšminētie promocijas darba rezultāti ir jauns ieguldījums mašīnbūves tehnoloģijas zinātņu nozarē.

### **Praktiskais pielietojums**

Promocijas darbā pētītā tehnoloģija ir pielietojama vidēja lieluma kuģu dīzeļdzinēju kloķvārpstu ar gultņu kakliņu diametru no 100 līdz 350 mm slīpēšanai. Izstrādātā tehnoloģija ļauj veikt operatīvu kloķvārpstu kļu gultņu remontu tieši uz kuģa, nedemontējot dzinēju. Ar šīs slīpēšanas tehnoloģijas palīdzību iegūtais kloķvārpstu gultņu kakliņu virsmas raupjums un ģeometriskā forma pilnībā atbilst izvirzītajām tehniskajām prasībām.

Tādējādi promocijas darbs sniedz efektīvu kloķvārpstu apstrādes problēmu risinājumu, kas atļauj būtiski samazināt kuģu dzinēju remonta laiku un iekonomēt ievērojamus līdzekļus.

Promocijas darba rezultāti var tikt izmantoti Latvijas kuģu būves un remonta uzņēmumos, veicot dīzeļdzinēju remontu.

### **Aizstāvēšanai izvirzīti šādi pētījuma rezultāti**

1. Dīzeļdzinēju kloķvārpstu gultņu kakliņu virsmas mikropogrāfiskais raupjuma modelis.
2. Izstrādātā kloķvārpstu gultņu kakliņu slīpēšanas ierīce un ar to saistītā apstrādes tehnoloģija.
3. Izstrādātās slīpēšanas ierīces tehnoloģisko režīmu ietekme uz mikropogrāfiskajiem raupjuma parametriem  $R_{aT}$ ,  $S_{m1}$ , un  $S_{m2}$ .
4. Tehnoloģiskās rekomendācijas mikropogrāfiskā virsmas raupjuma parametru  $R_{aT}$ ,  $S_{m1}$  un  $S_{m2}$  vērtību nodrošināšanai.

### **Darba aprobācija**

Par promocijas darba galvenajiem atzinumiem un rezultātiem sniegti ziņojumi, kuri saņēmuši pozitīvu novērtējumu, sekojošās konferencēs un semināros.

#### Latvijā:

- RTU 42. un 43. studentu zinātniskā un tehniskā konference. Rīga. 2001. un 2002. gads.
- RTU 43. un 45. starptautiskā zinātniskā konference. Rīga. 2002. un 2004. gads.
- RTU MTF Aparātbūves katedras seminārs. Rīga. 2005. gada 12.maijs.

#### Ārvalstīs:

- XIX International conference of World Association for Case Method Research and Case Method Application. Long term Responsibility for Sustainable Life. Brno. Czech Republic. August 07. – 11. 2002.
- 47. Internationales Wissenschaftliches Kolloquium. Ilmenau. Germany. September 23. – 26. 2002.
- Fourth International Congress: Mechanical Engineering technologies '04. Varna. Bulgaria. September 23 – 25. 2004.
- 10<sup>th</sup> International Conference “Metrology and Properties of Engineering Surfaces”. Saint Étienne, France, July 4 – 7, 2005.
- International Conference Polycomtrib – 2005. Gomel, Belarus, July 18 – 21, 2005.

- 4<sup>th</sup> DAAAM International Conference on Advanced Technologies for Developing Countries. Slavonski Brod, Croatia, September 21 – 24, 2005.
- 9<sup>th</sup> International Research / Expert Conference: Trends in the Development of Machinery and Associated Technology. TMT 2005, Antalya, Turkey, September 26 – 30, 2005.

Izstrādātā slīpēšanas ierīce ir sertificēta Krievijas Jūras Kuģniecības reģistrā un tai izsniegts sertifikāts Nr. 01.01522.123.

### **Publikācijas**

Par veikto pētījumu galvenajiem rezultātiem un izstrādnēm publicēti seši zinātniskie raksti (skat. 23. lpp).

### **Darba struktūra un apjoms**

Promocijas darbs ir uzrakstīts latviešu valodā, satur ievadu, 6 nodaļas, secinājumus, literatūras sarakstu, 2 pielikumus, 36 attēlus, 9 tabulas, kopā 106 lapaspuses. Literatūras sarakstā ir 124 nosaukumi.

## PROMOCIJAS DARBA SATURS

**Ievadā** pamatota promocijas darba tēmas aktualitāte un praktiskais pielietojums. Konstatēts, ka, atrisinot ar virsmas precizitāti saistītās problēmas, var ievērojami uzlabot kloķvārpstu apstrādi, samazināt remonta izmaksas un paaugstināt kloķvārpstu remonta kvalitāti.

**Pirmajā nodaļā** veikts literatūras apskats, kas ietver:

- pastāvošo virsmas raupjuma standartu analīzi;
- virsmas mikrotopogrāfiskā raupjuma parametru pētījumu apskatu;
- virsmas raupjuma parametru tehnoloģiskā nodrošinājuma iespējas;
- galvenos pētījumā risināmos uzdevumus.

Salīdzinot pasaules standartos noteiktos virsmas raupjuma parametrus, secināts, ka ISO un industriāli attīstīto valstu nacionālajos standartos ir reglamentēti praktiski identiski virsmas raupjuma parametri, kas raksturo virsmas raupjumu tikai šķēlumā. Virsmas raupjuma parametrus iedala trīs grupās: *augstuma*, *soļa* un *formas* parametros. Formas parametrus sauc arī par kombinētiem jeb *hibrīda* parametriem. Secināts, ka industriālā ražošanas praksē visā pasaulē pagaidām biežāk lieto parametrus, kas raksturo virsmas raupjuma profilu vienā plaknes šķēlumā, t.s. profila parametrus jeb divu dimensiju virsmas raupjumu. Šobrīd Latvijā ir spēkā adaptētie ISO standarti, kuri reglamentē ģeometrisko produktu specifikācijas: LVS EN ISO 1302:2002; LVS EN ISO 4287:2002; LVS EN ISO 4288:2002; LVS EN ISO 11562:2002; LVS EN ISO 11562:2002; LVS EN ISO 12085:2002. Arī šie standarti raksturo virsmas raupjumu profila parametrus tikai šķēlumā.

Savukārt standarti, kas raksturotu virsmas mikrotopogrāfisko raupjumu, šobrīd ir tikai izstrādes stadijā un trīsdimensiju raupjuma ISO standartu ieviešana paredzama ne ātrāk kā 2006. / 2007. gadā.

Iekšdedzes dzinēja kloķvārpstas gultņa virsma ir reāls telpisks objekts, tāpēc šī virsma arī jāapskata telpiski – tīs dimensijās. Topogrāfiskā virsmas analīzes metode, atšķirībā no parastajiem virsmas raupjuma parametriem, ļauj daudz pilnīgāk un reālajam modelim atbilstoši raksturot apskatāmo virsmu. Virsmas raupjuma mikrotopogrāfiju ir pētījuši vairāku valstu zinātnieki, un par šo tēmu ir sarakstīti daudzi zinātniskie raksti, publikācijas un grāmatas. Šajā jomā kā nozīmīgākos teorētisko pētījumu autorus var minēt J. Rudzīti, N. Djomkinu, E. Rižovu T. Tomasu, V. Lukjanovu, A. Husu, J. Šnaideru, P. Naijaku, D. Vaithausu, Q. Čenu, W. Dongu, P. Sullivanu, K. Stoutu, L. Bluntu, X. Jiangu un D. Batleru. Promocijas darbā veikta iepriekšminēto autoru pētījumu analīze un konstatēts, ka neviens no autoriem nav pētījis kuģu dzinēju kloķvārpstu gultņu kakliņu trīsdimensiju virsmas raupjuma problemātiku. Secināts, ka J. Rudzītis un V. Lukjanovs

piedāvā samērā vienkāršu mikrotopogrāfijas noteikšanas metodiku un trīsdimensiju virsmas raupjuma parametrus  $R_{aT}$ ,  $S_{m1}$  un  $S_{m2}$ , kas ir praktiski izmērāmi un tehniski realizējami. No šiem trim parametriem konkrētā modeļa ietvaros var atvasināt arī visus pārējos nepieciešamos trīsdimensiju raupjuma parametrus. Tāpēc turpmākajā kloķvārpstu gultņu kakliņu raupjuma parametru izpētē tiek pielietota J. Rudzīša un V. Lukjanova pieeja raupjas virsmas mikrotopogrāfijai.

Šobrīd pieejami vairāki teorētiski un eksperimentāli pētījumi, kuros ir pētīti slīpēšanas procesi, slīpripas nodilums, virsmas raupjuma makro un mikro reljefa veidošanās likumsakarības, temperatūras izmaiņas slīpripas un apstrādājamās virsmas kontakta zonā, slīpripas vibrācijas utt. Nopietnākos pētījumus raupjuma parametru tehnoloģiskās nodrošināšanas jomā ir veikuši N. Djomkins, E. Rižovs, Z. Prusaks un A. Aleksejevs. Šie autori ir pētījuši slīpēšanas procesu rādītāju atkarību no slīpripas raksturlielumiem un slīpēšanas tehnoloģiskajiem režīmiem. Tomēr, aprēķinu komplicētības un nepilnīgas tehnoloģisko režīmu ietekmes analīzes uz soļa parametriem ( $S_{m1}$  un  $S_{m2}$ ) dēļ, iespējams tikai daļēji izmantot E. Rižova un A. Aleksejeva pētījumus. Šo divu autoru iegūto formulu pārbaude un atbilstības konkrētajiem darba apstākļiem analīze ir veikta promocijas darba sestajā nodaļā.

Noslēdzot literatūras apskatu, secināts, ka šobrīd nav pieejami zinātniskie pētījumi, kuros būtu pētīta slīpēšanas tehnoloģisko režīmu ietekme uz kuģu dzinēju kloķvārpstu kakliņu virsmas mikrotopogrāfiju.

Literatūras apskats ļauj formulēt promocijas darba galvenos uzdevumus, kas ir minēti kā darba mērķi.

**Otrajā nodaļā** noteikts kloķvārpstas gultņu kakliņu virsmas raupjuma modelis. Šim virsmas raupjuma matemātiskajam modelim ir jābūt pietiekoši pilnīgam, lai tas varētu attēlot reālo virsmu, un tai pašā laikā šim modelim ir jābūt arī pietiekoši vienkāršam, lai tā izejas parametri būtu praktiski nosakāmi. Lai sekmīgi varētu veikt kloķvārpstu gultņu kakliņu virsmas raupjuma modeļa izstrādi, promocijas darbā veikta raupju virsmu klasifikācija un pētīts neregulāra raupjuma modelis.

Promocijas darbā noskaidrots, ka katram mehāniskās apstrādes veidam un virsmas veidošanās procesam ir raksturīga sava unikāla virsmas raupjuma topogrāfija, tomēr šīs mehāniski apstrādātās virsmas var iedalīt divās principiālās grupās: izotropas un neizotropas virsmas. *Izotropā* virsma ir tāda, kurai raupjuma parametri visos virzienos ir vienādi, bet *neizotropas* virsmas virsmas raupjuma parametri atkarībā no to mērīšanas virziena ir atšķirīgi. Izotropā raupjuma struktūra raksturīga detaļām, kuru virsma apstrādāta ar elektroerozijas, smilšu vai skrošu strūklu, vibro – abrazīvo, pulēšanas un šāberēšanas metožu palīdzību. Savukārt neizotropas virsmas struktūra galvenokārt raksturīga detaļām, kuru virsma apstrādāta ar

dažādām abrazīvām apstrādes metodēm – slīpējot, superfinišējot, kā arī velmējot, caurvelkot utt.

Neskatoties uz iepriekšminēto iedalījumu, virsmām ar identisku virsmas struktūru var būt pilnīgi atšķirīgs virsmas nelīdzenumu raksturs. Tādēļ pētījumā veikta arī sīkāka virsmas negluduma klasifikācija, proti, pēc virsmu matemātiskajām funkcijām tās var iedalīt trīs grupās: regulāra rakstura, gadījuma rakstura un jaukta tipa. Regulāra rakstura negludumu veids raksturojas ar periodiskiem nelīdzenumu kopumiem, kuri maz atšķiras cits no cita un pirmajā tuvinājumā aprakstāmi ar periodiskas matemātiskas funkcijas palīdzību. Gadījuma rakstura negludumu veids raksturojas ar neregulāru mikro nelīdzenumu augstumu un neregulāru formu. Jaukta tipa virsmas profils veidojas, savstarpēji kombinējoties regulāra un gadījuma rakstura virsmas negluduma faktoriem, un faktiski atrodas starp abiem iepriekš aprakstītajiem virsmas negluduma veidiem.

Vadoties pēc iepriekš aprakstītās klasifikācijas, kuģu dīzeļdzinēju kloķvārpstu kakliņu apstrādi ar mehāniskās slīpēšanas metodi var aplūkot kā neizotropu virsmu ar gadījuma rakstura virsmas negludumu veidu. Šādu virsmu var aprakstīt ar normāla sadalījuma likuma palīdzību. Noteikts, ka optimālo aplūkojamās virsmas mikrotopogrāfisko modeli veido sekojoši pamatparametri: negludumu augstuma topogrāfiskais parametrs  $R_{aT}$  un divi savstarpēji perpendikulāri topogrāfiskie soļa parametri  $S_{m1}$  un  $S_{m2}$ , bet atskaites bāze visiem parametriem ir virsmas raupjuma vidējā plakne. Izvēlētajā trīsdimensiju raupjuma modeļa pamatparametru plašāka analīze sniegta turpmākajās pētījuma nodaļās.

**Trešajā nodaļā** noteikti kloķvārpstas gultņu kakliņu virsmas topogrāfiskie parametri. Neviens no šiem parametriem nav definēts šobrīd spēkā esošajos standartos, tāpēc to aprēķini veikti, balstoties uz konkrētajiem kloķvārpstas gultņu kakliņu apstrādes metroloģiskajiem un tehnoloģiskajiem virsmas parametriem.

Izvestas virsmas pamatparametru  $R_{aT}$ ,  $S_{m1}$  un  $S_{m2}$  aprēķina formulas. Mikrotopogrāfiskais virsmas raupjuma negludumu augstums:

$$R_{aT} = \frac{1}{A} \iint_{\Omega} |h(x, y)| dx dy ,$$

kur:  $A$  – apskatāmās virsmas laukums, mm<sup>2</sup>;

$h(x, y)$  – virsmas nelīdzenumu (punktu) novirze no vidējās plaknes koordinātēs  $x$  un  $y$ .

Topogrāfiskie soļa parametri  $S_{m1}$  un  $S_{m2}$ :

$$S_{m1,2} = \frac{2}{n(0)_{1,2}},$$

kur:  $n(0)_{1,2}$  – „nulļu” skaits uz garuma vienību, profilam šķērsojot vidējo plakni divos savstarpēji perpendikulāros virzienos.

Promocijas darbā noteikti sekojoši virsmas statistikas parametri un to aprēķina formulas: relatīvais virsmas atbalsta laukums  $\eta_u$ ; virsmas nelīdzenumu novirzes asimetrijas rādītājs apskatāmajā plaknē  $R_{sk}$  un virsmas ekscesa rādītājs  $R_{ku}$ .

**Ceturtajā nodaļā** veikta kloķvārpstas gultņu kakliņu virsmas raupjuma parametru un apstrādes tehnoloģisko režīmu saistības vispārējā izpētē: definētas kuģu dīzeļdzinēju kloķvārpstu gultņu kakliņiem izvirzītās tehniskās prasības un noteikta pamatparametru atkarība no slīpēšanas ierīces tehnoloģiskajiem parametriem.

Kloķvārpsta ir viena no iekšdedzes dzinēja komplicētākajām un smagāk noslogotajām detaļām. Neskatoties uz relatīvi lielajiem gabarītiem, kloķvārpstām tiek izvirzītas relatīvi augstas virsmas raupjuma prasības:

- $R_a = 0,32 \mu\text{m}$  – virzuļu klaņu kakliņiem ar diametru līdz 100 mm;
- $R_a = 0,63 \mu\text{m}$  – virzuļu klaņu kakliņiem ar diametru virs 100 mm;
- $R_a = 1,25 \mu\text{m}$  – visiem pamatgultņu /rāmja gultņu/ kakliņiem.

Kloķvārpstas gultņu kakliņiem noteiktā virsmas raupjuma tehnoloģiskā nodrošināšana ir balstīta uz teorētisku un eksperimentālu sakarību izpēti. Vairākos pētījumos ir atrastas empīriskas sakarības starp slīpēšanas tehnoloģiskajiem režīmiem un vairākiem virsmas raupjuma parametriem. Tomēr, kā jau iepriekš aprakstīts, aplūkoto autoru izstrādātā metodika bez iepriekšējas praktiskas pārbaudes nevar tikt piemērota konkrētajiem darba apstākļiem. Vispiemērotākās reālajiem kloķvārpstas slīpēšanas darba apstākļiem ir A. Aleksejeva un prof. E. Rižova pētījumos iegūtās empīriskās mikropogrāfiskā virsmas negluduma augstuma aprēķinu formulas. Aprēķinu izteiksmēs tehnoloģisko režīmu apzīmējumi ir ievietoti atbilstoši kloķvārpstu gultņu kakliņu apstrādei, līdz ar to A. Aleksejeva formulas iegūst sekojošu veidu:

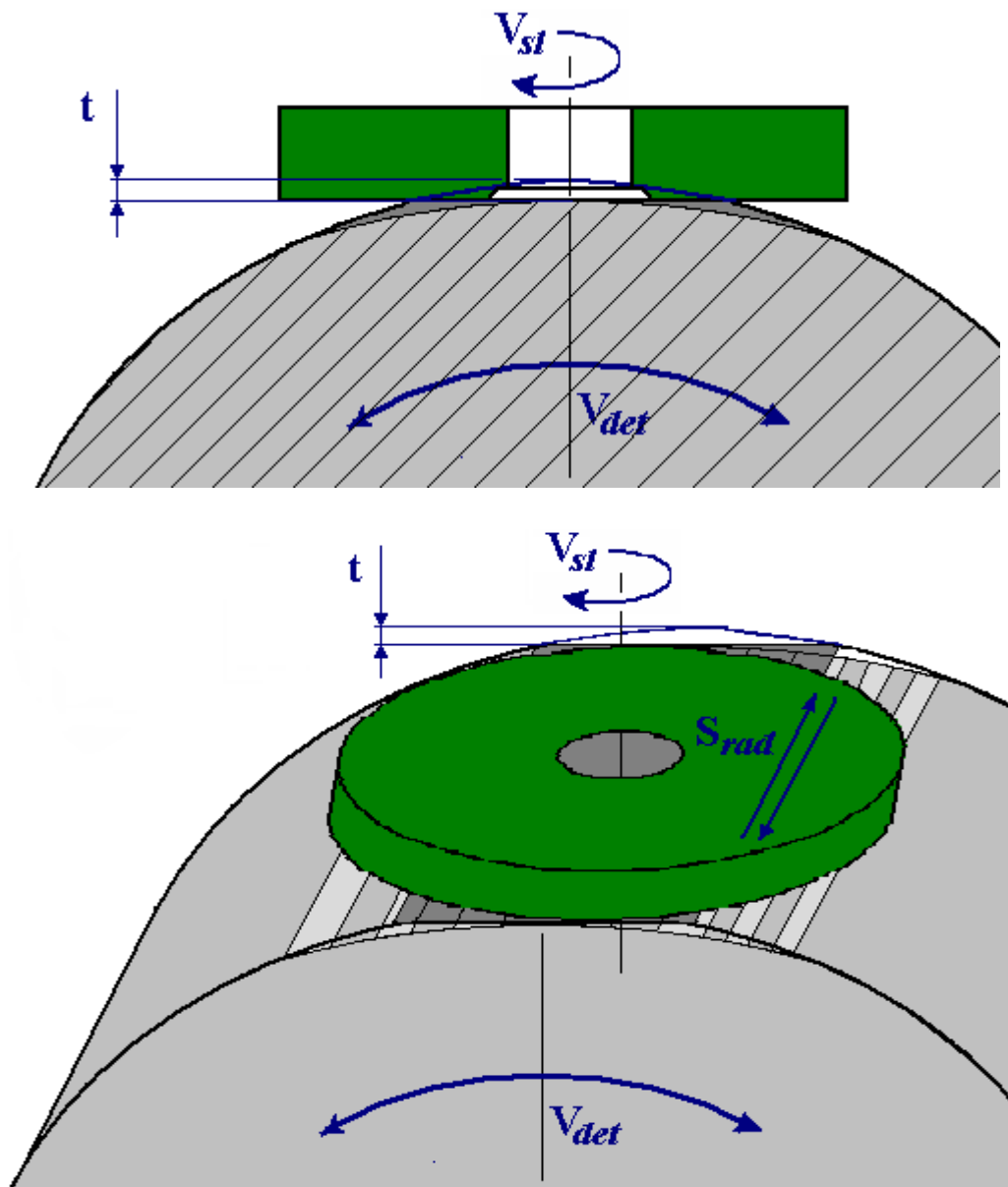
$$R_{aT} = 0,44 \frac{S_{rad}^{0,34} t^{0,17} Z^{0,43}}{V_{det}^{0,01}};$$

$$S_{m1} = 0,083 \frac{S_{rad}^{0,22} t^{0,2} Z^{0,09}}{V_{det}^{0,07}};$$

$$S_{m2} = 0,037 \frac{S_{rad}^{0,18} t^{0,21}}{V_{det}^{0,42} Z^{0,9}},$$

kur:  $S_{rad}$  – slīpripas šķērspadeve (mm/gāj.);  
 $t$  – slīpēšanas dziļums (mm);  
 $Z$  – slīpripas graudainība;  
 $V_{det}$  – detaļas /ierīces/ garenpadeves ātrums (m/min).

Minēto formulu analīze veikta šā darba sestajā nodaļā, bet atbilstošā slīpēšanas procesa principiālā shēma ir redzama 1. attēlā.

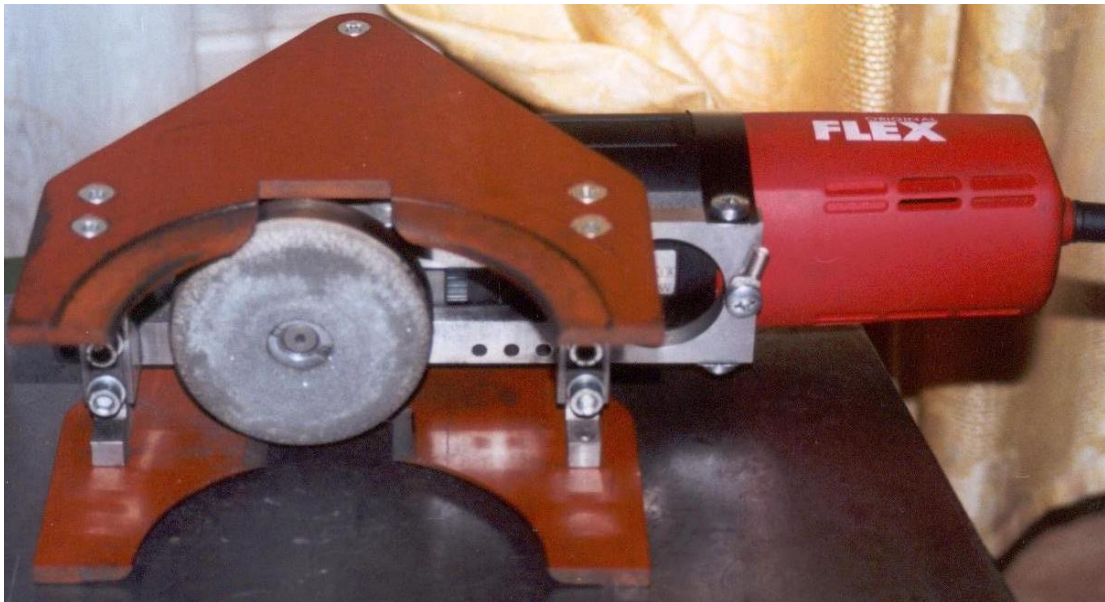


1. attēls. Slīpēšanas procesa principiālā shēma

**Piektajā nodaļā** sniegts izstrādātās kloķvārpstas gultņu kakliņu slīpēšanas ierīces apraksts, kas izklāstīts sekojošās apakšnodaļās:

- slīpēšanas ierīces pielietojums un darbības princips;
- slīpēšanas ierīces principiālā konstrukcija un galvenie tehniskie parametri;
- droša un efektīva slīpēšanas ierīces pielietošana.

Izstrādātā slīpēšanas ierīce (skat. 2. attēlu) ir paredzēta kloķvārpstu kļauņa gultņu kakliņu slīpēšanai kārtējā „remonta” vai jebkurā citā izmērā atjaunojot gultņa virsmas ģeometriskos un raupjuma parametrus. Slīpēšanas ierīce tiek novietota tieši uz kloķvārpstas apstrādājamā kakliņa dzinēja karterī, iepriekš veicot kļauņa un gultņa ieliktnu demontāžu. Slīpēšanas ierīci var lietot arī, kloķvārpstu centrējot stacionārā mehāniskās apstrādes darbgaldā, šajā gadījumā būs iespējama arī kloķvārpstas pamata gultņu darba virsmu atjaunošana.



2. attēls. Slīpēšanas ierīces modifikācija  $\varnothing$  120 mm kakliņu apstrādei

Mainot ierīces bāzēšanas aptveres un vadotnes (atkarībā no vajadzīgā gultņa kakliņa diametra), slīpēšanas ierīci principā var pielietot jebkura tipa un markas dīzeļdzinēju kloķvārpstu apstrādei. Papildus grūtības rodas, apstrādājot ļoti mazas (kakliņa  $\varnothing < 100$  mm) un ļoti lielas (kakliņa  $\varnothing > 350$  mm) kloķvārpstas.

Atjaunojamās kloķvārpstas kakliņa virsma tiek abrazīvi apstrādāta ar slīpripas plakano virsmu. Šāda veida abrazīvā akmens novietojums ir netipisks slīpēšanas operācijām, bet tikai tādējādi iespējams veikt kloķvārpstu apstrādi īpaši šauros darba telpas apstākļos. Slīpripas nelielo diametru un specifisko novietojumu kompensē augstais slīpripas rotācijas ātrums. Slīpēšanas ierīces padevi nodrošina operators, vienmērīgi pārvietojot ierīci paralēli apstrādājamai virsmai un veicot cikliskas

riņķveida kustības. Slīpēšanas dziļums tiek iestādīts ar speciālu regulēšanas plāksni un skrūvju palīdzību. Īpašos gadījumos, kad apstrādes rezultātā nepieciešams iegūt sevišķi gludu virsmu, iespējams lietot speciālus pulēšanas diskus un dažādas slīpēšanas pastas. Slīpēšanas ierīce pilnībā nodrošina nepieciešamo ģeometrisko un virsmas raupjuma parametru precizitāti saskaņā ar izvirzītajām tehniskajām prasībām šāda veida remonta operācijām. Izstrādātā ierīce ir eksperimentāli pārbaudīta ražošanas apstākļos un pilnībā pierādījusi savu efektivitāti.

Slīpēšanas ierīce ir elektromehānisks rokas instruments, kura principiālā konstrukcija ir relatīvi vienkārša un droša, tā galvenās sastāvdaļas ir piedziņas mehānisms, reduktors, pamata plāksne, regulēšanas un bāzēšanas sistēma, slīpripa, slīpripas stiprinājums un aptvere, noslodzes kontroles mēraparāts, kā arī papildus aprīkojums. Aptverē ievietotā slīpripa ar bronzas bukses palīdzību tiek uzsēdināta uz piedziņas reduktora darba vārpstas. Pietiekoši drošs un stingrs slīpripas un darba vārpstas savienojums tiek panākts, izmantojot speciālu stiprinājuma uzgriezni. Piedziņas mehānisms ir savienots ar slīpēšanas ierīces pamata plāksni, uz kuras savukārt tiek stiprināts regulēšanas un bāzēšanas mehānisms, tādējādi tiek panākta slīpripas bāzēšana attiecībā pret apstrādājamo kloķvārpstas virsmu. Dažādiem apstrādājamo kloķvārpstu gultņu kakliņu diametriem ir izstrādāti atšķirīgi regulēšanas mehānismi un bāzēšanas vadotņu modifikācijas, tomēr slīpēšanas ierīces darbības princips un konstrukcija paliek nemainīga, neskatoties uz tās iespējamajām modifikācijām.

Izstrādātā slīpēšanas ierīce un tās aprīkojums ir novatoriski, tai šobrīd nav zināmu analoģu kuģu remonta uzņēmumos, tāpēc ir svarīgi izprast un precīzi ievērot specifiskas prasības, kuras tiek izvirzītas darbam ar šo slīpēšanas ierīci, kā arī pareizi veikt tās tehnisko apkopi. Lai nodrošinātu sekmīgu un drošu kloķvārpstu apstrādi, promocijas darbā sniegts tehnoloģisko principu un galveno darba aizsardzības prasību izklāsts.

**Sestajā nodaļā** veikta tehnoloģisko režīmu ietekmes analīze. Šīs nodaļas mērķis ir pārbaudīt iepriekšējās nodaļās izvēlētajā mikrotopogrāfiskā raupjuma modeļa un šī modeļa mikrotopogrāfisko pamatparametru matemātisko aprēķina formulu atbilstību reālajiem kloķvārpstu gultņu kakliņu apstrādes apstākļiem, slīpēšanas tehnoloģijai un izstrādātajam speciālajam aprīkojumam.

Promocijas darbā tika konstatēts, ka šim pētījumam piemērotākās virsmas slīpēšanas tehnoloģisko režīmu un virsmas raupjuma parametru sakarības ir radījuši zinātnieki A. Aleksejevs un E. Rižovs. Šajā nodaļā tika izvērtēta šo autoru piedāvāto sakarību piemērotība kuģu dīzeļdzinēju kloķvārpstu gultņu kakliņu slīpēšanai ar izstrādāto slīpēšanas ierīci.

Šāda pamatparametru aprēķina formulu pārbaude ļauj adaptēt iepriekš izvēlētajās aprēķina izteiksmes piemērotību reālajiem darba apstākļiem un

empīriski iegūt konkrētajam aprīkojumam atbilstošas aprēķinu izteiksmes. Pamatparametru aprēķina formulas tiek pārbaudītas ar datorprogrammas palīdzību, veidojot nepieciešamos grafiskos attēlus, kuri uzskatāmi raksturo slīpēšanas tehnoloģisko režīmu komplekso ietekmi uz raupjuma parametru  $R_{aT}$ ,  $S_{m1}$  un  $S_{m2}$  veidošanos. Tādējādi ir iespējams noteikt tehnoloģiskos režīmus, kuriem ir visbūtiskākais iespaids uz pamatparametru veidošanos, kā arī noteikt tehnoloģiskos parametrus, kuru ietekme nav tik būtiska.

Lai varētu veikt iepriekšminēto  $R_{aT}$ ,  $S_{m1}$  un  $S_{m2}$  aprēķina formulu kompleksu pārbaudi, matemātiskajās izteiksmēs nepieciešams ievietot reālās apstrādes režīmu vērtības. Atbilstošās slīpēšanas ierīces tehnoloģisko režīmu vērtības, kas iegūtas praktiskajā darbā SIA „Rēdertehserviss”, ir  $t = 0,01 \text{ mm} \div 0,1 \text{ mm}$ ,  $Z = 6 \div 50$ ,  $V_{det} 5 \div 25 \text{ m/min}$  un  $S_{rad} 1 \div 10 \text{ mm/gāj.}$ , bet apstrādes kinemātiskā shēma tika parādīta 1. attēlā. Šīs kloķvārpstu gultņu kakliņu apstrādes tehnoloģisko režīmu vērtības tika izmantotas arī, sertificējot šajā darbā izstrādāto slīpēšanas ierīci Krievijas Jūras kuģniecības reģistrā. Slīpēšanas ierīces tehnoloģiskā uzbūve ļauj iestādīt  $t$  un  $Z$  vērtības mehāniski, savukārt  $V_{det}$  un  $S_{rad}$  ir manuāli režīmi.

Veicot tehnoloģisko parametru komplekso ietekmes analīzi uz virsmas raupjuma augstuma parametriem, noteikts, ka galvenais tehnoloģiskais uzdevums, apstrādājot kloķvārpstu gultņu kakliņus ar diametru virs 100 mm, ir sasniegt pamatparametru vērtības, kas nebūtu lielākas par  $R_{aT} < 0,63 \text{ } \mu\text{m}$ , un ievērot empīriskās sakarības  $R_{aT} / S_{m1} \leq 200$ . Tādējādi ir zināms, kādiem jābūt  $R_{aT}$  aprēķina izteiksmes rezultātiem.

Ievietojot  $R_{aT}$  aprēķina formulā visas 5000 iespējamās tehnoloģisko vērtību kombinācijas saskaņā ar 1. tabulu un izveidojot atbilstošu datu bāzi, ar „Microsoft Access” ir iegūti grafiki, no kuriem var spriest kā slīpēšanas tehnoloģiskie režīmi ietekmē  $R_{aT}$  veidošanos. No šiem grafikiem izriet, ka, saskaņā ar A. Aleksejeva empīriski izvesto mikrotopogrāfiskā virsmas negluduma augstuma aprēķina formulu,  $R_{aT}$  vērtības tehnoloģisko režīmu kompleksās iedarbības rezultātā svārstās robežās no 0,42 līdz 3,44 mikrometriem. Minimālo  $R_{aT} = 0,42 \text{ } \mu\text{m}$  vērtību teorētiski iespējams sasniegt, izmantojot slīpēšanas režīmus:  $V_{det} = 25 \text{ m/min}$ ,  $S_{rad} = 1 \text{ mm/gāj.}$ ,  $t = 0,01 \text{ mm}$ ,  $Z = 6$ . Savukārt maksimālā  $R_{aT} = 3,44 \text{ } \mu\text{m}$  vērtība rodas pie šādas tehnoloģisko režīmu kombinācijas:  $V_{det} = 5 \text{ m/min}$ ,  $S_{rad} = 10 \text{ mm/gāj.}$ ,  $t = 0,1 \text{ mm}$  un  $Z = 50$ . Tikai neliels skaits tehnoloģisko režīmu kombināciju nodrošina nepieciešamās mikrotopogrāfiskā virsmas negluduma augstuma vērtības.

Analizējot  $R_{aT}$  aprēķina formulas pārbaudes rezultātus, var apgalvot, ka galvenie tehnoloģiskie faktori, kas ietekmē  $R_{aT}$  veidošanos, ir šķerspadeve  $S_{rad}$  un slīpripas graudainība  $Z$ , bez tam tikai minimāli kloķvārpstas gultņu kakliņu apstrādes režīmi sniedz vēlamo rezultātu – uzdoto  $R_{aT}$  vērtību sasniegšanu. Ņemot vērā, ka A. Aleksejeva piedāvātās formulas ir empīriskas, to atbilstība konkrētajiem kloķvārpstu apstrādes apstākļiem var

būt nepilnīga, tāpēc, veicot tehnoloģisko režīmu ietekmes teorētisko analīzi, promocijas darbā veikta arī prof. E. Rižova piedāvātās  $R_{aT}$  aprēķina formulas pārbaude. Šajā pārbaudē tika noteikts, ka saskaņā ar E. Rižova piedāvāto  $R_{aT}$  noteikšanas formulu gandrīz visas slīpēšanas režīmu kombinācijas nodrošina nosacījuma  $R_{aT} \leq 0,63 \mu\text{m}$  ievērošanu: maksimālās  $R_{aT}$  vērtības teorētiski iespējams pārsniegt vienīgi, veicot apstrādi ar šķērspadevi  $S_{rad} = 9 \div 10 \text{ mm/gāj.}$ , pielietojot vidējas graudainības slīpripas ( $Z = 32, 40$  un  $50$ ) un maksimālo griešanas dziļumu ( $t = 0,09 \div 0,1 \text{ mm}$ ). Balstoties uz prof. E. Rižova empīriskās  $R_{aT}$  aprēķina formulas analīzi, var apgalvot, ka teorētiski nosacījums  $R_{aT} \leq 0,63 \mu\text{m}$  tiks ievērots pie jebkuras tehnoloģisko režīmu kombinācijas, ja vien tiks ievēroti šādi nosacījumi  $S_{rad} \leq 8 \text{ mm/gāj.}$  un  $Z = 6 \div 25$ . Savukārt lielākas šķērspadeves uz slīpripas graudainība nav ieteicama. Būtiskāko ietekmi uz  $R_{aT}$  veidošanos, analogiski kā A. Aleksejeva piedāvātās formulas gadījumā, atstāj slīpēšanas šķērspadeve  $S_{rad}$  un slīpripas graudainība  $Z$ , mazāka ietekme ir slīpēšanas dziļumam  $t$ , bet garenpadeves ātruma  $V_{det}$  ietekme ir mazsvarīga.

Analizējot tehnoloģisko parametru komplekso ietekmi uz virsmas raupjuma soļa parametriem, noteikts, ka kloķvārpstu remonta tehniskie noteikumi nereglamentē prasības izvēlētajiem soļa parametriem  $S_{m1}$  un  $S_{m2}$ , tomēr, lai šie soļa parametri būtu teorētiski savstarpēji proporcionāli un saderīgi ar parametra  $R_{aT}$  vērtībām, svarīgi ievērot sekojošas empīriskās sakarības:  $S_{m1} / R_{aT}$  un  $c = S_{m1} / S_{m2}$ . Konkrētajam tehnoloģiskajam apstrādes veidam – slīpēšanai saskaņā ar prof. J. Rudzīša pētījumiem šīs proporcionālās attiecības ir:  $S_{m1} / R_{aT} = 10 \div 190$  un  $c = 0,5 \div 0,7$ . Pie kam attiecību  $c = S_{m1} / S_{m2}$  pieņemts saukt par mikrotopogrāfisko soļa parametru anizotropijas jeb neviendabīguma rādītāju. Tādējādi teorētiski ir zināms, kādai jābūt iepriekšminēto  $S_{m1}$  un  $S_{m2}$  aprēķina formulu rezultātu savstarpējai attiecībai, lai varētu nodrošināt optimālās nelīdzenumu vidējo soļu parametru vērtības.

Analogiski kā  $R_{aT}$  aprēķina formulu teorētiskajā pārbaudē arī, veicot kompleksu tehnoloģisko režīmu ietekmes analīzi uz  $S_{m1}$  un  $S_{m2}$  veidošanos, A. Aleksejeva empīriskajās formulās tika ievietotas reālās apstrādes tehnoloģisko režīmu vērtības (skat. 1. tabulu un 1. attēlu). Tika noskaidrots, ka saskaņā ar A. Aleksejeva empīriski izvesto mikrotopogrāfisko virsmas profila nelīdzenumu vidējā soļa parametra  $S_{m1}$  aprēķina formulu,  $S_{m1}$  vērtības atkarībā no tehnoloģisko režīmu kompleksās iedarbības svārstās robežās no 0,030 līdz 0,110 milimetriem. Mazāko  $S_{m1} = 0,030$  vērtību teorētiski iespējams sasniegt, izmantojot sekojošus slīpēšanas režīmus:  $V_{det} = 10 \text{ m/min}$ ,  $S_{rad} = 1 \text{ mm/gāj.}$ ,  $t = 0,01 \text{ mm}$ ,  $Z = 6$ . Savukārt lielākā  $S_{m1} = 3,44 \mu\text{m}$  vērtība rodas pie šādas tehnoloģisko režīmu kombinācijas:  $V_{det} = 5 \text{ m/min}$ ,  $S_{rad} = 10 \text{ mm/gāj.}$ ,  $t = 0,1 \text{ mm}$  un  $Z = 50$ . Var secināt, ka tehnoloģiskie režīmi, kas teorētiski nodrošina minimālo un maksimālo  $S_{m1}$  vērtību iegūšanu, ir analogiski kā

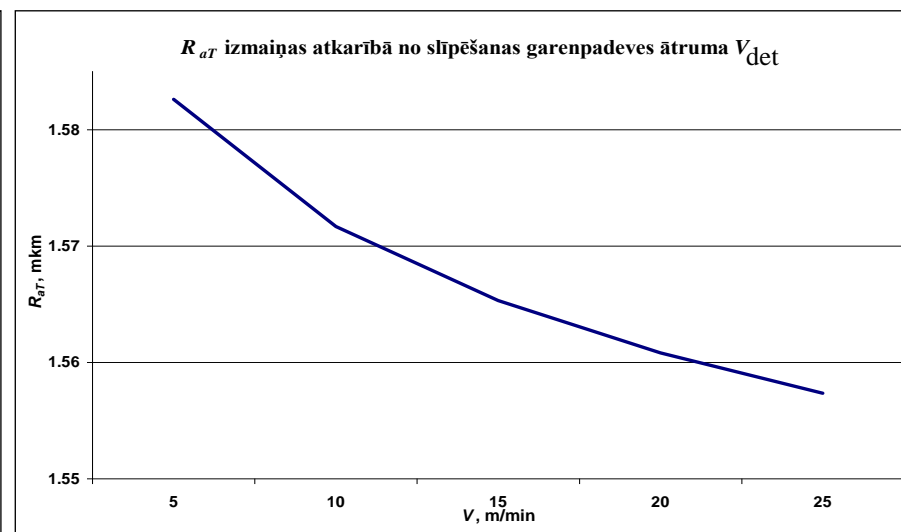
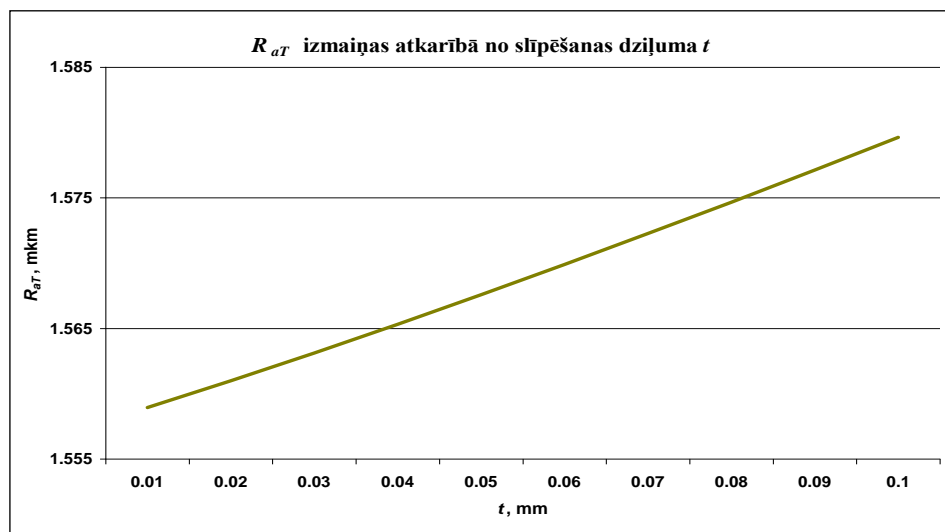
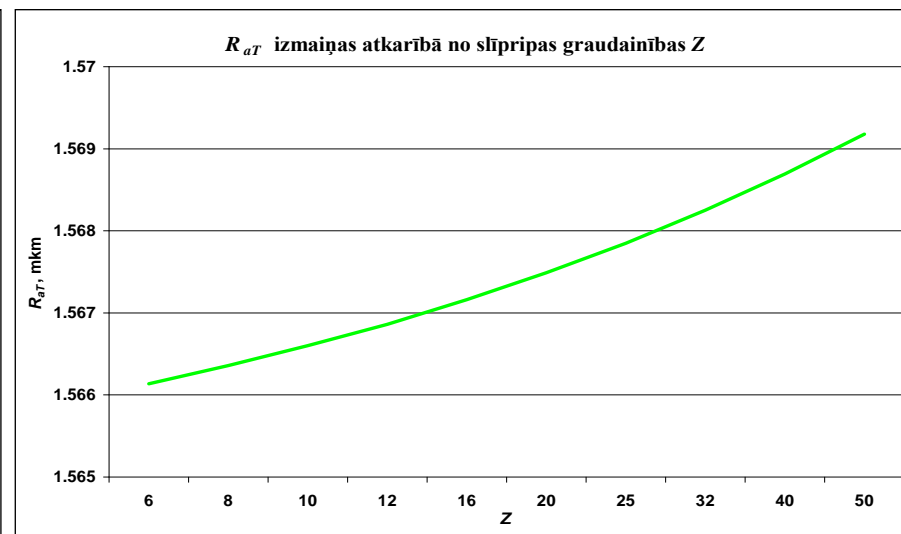
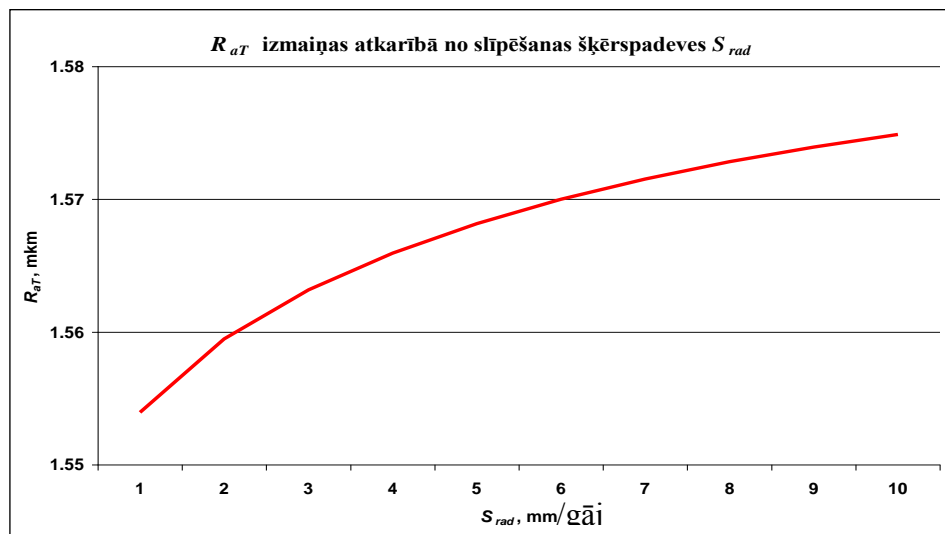
parametram  $R_{aT}$ , bez tam saskaņā ar J. Rudzīša pētījumiem iegūtie  $S_{m1}$  rezultāti atbilst vispārpieņemtajai inženiertehniskajai praksei un ir ticami. Noskaidrots, ka galvenie tehnoloģiskie faktori, kas ietekmē  $S_{m1}$  veidošanos, ir šķērspadeve  $S_{rad}$  un slīpēšanas dziļums  $t$ . Palielinoties šķērspadeves vērtībām un griešanas dziļuma vērtībām, palielinās arī  $S_{m1}$  vērtības. Slīpripas graudainība  $Z$  un slīpēšanas garenpadeves ātrums  $V_{det}$  šajā gadījumā ir mazāk nozīmīgi faktori un to ietekme uz  $S_{m1}$  nav tik būtiska.

Veicot tehnoloģisko režīmu kompleksās ietekmes uz  $S_{m2}$ , noteikšanu ar „Microsoft Access” palīdzību iegūti grafiki, no kuriem var secināt, ka lielāko iespaidu uz  $S_{m2}$  veidošanos atšķirībā no  $S_{m1}$ , atstāj slīpēšanas garenpadeves ātrums  $V_{det}$  un slīpripas graudainība  $Z$ . Šīs atšķirības izskaidrojamas ar to, ka minētie mikrotopogrāfisko soļa parametru aprēķini ir veikti savstarpēji perpendikulārām plaknēm. No grafikiem redzams, ka griešanas dziļuma un garenpadeves izmaiņas teorētiski maz ietekmē  $S_{m2}$  veidošanos.

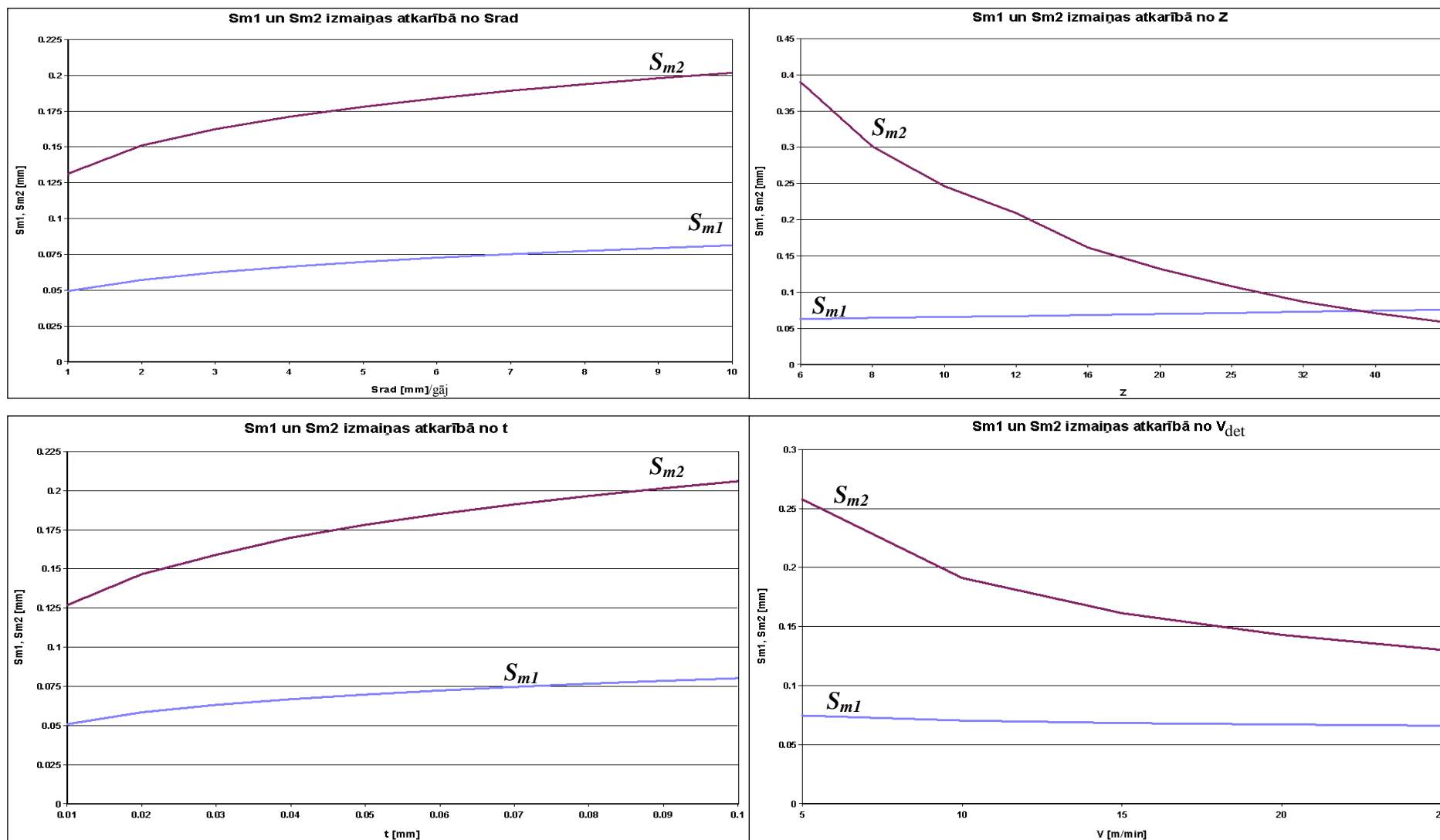
Noteikta atsevišķu tehnoloģisko parametru ietekme uz virsmas raupjuma parametru  $R_{aT}$ ,  $S_{m1}$  un  $S_{m2}$  vidējo vērtību veidošanos. Ar „Microsoft Access” datorprogrammas palīdzību ir izveidoti grafiki, no kuriem var spriest par vidējo vērtību izmaiņu dinamiku atkarībā no slīpēšanas ierīces tehnoloģiskajiem režīmiem: šķērspadeves  $S_{rad}$ , slīpripas graudainības  $Z$ , griešanas dziļuma  $t$  un garenpadeves ātruma  $V_{det}$ . Tādējādi ir noskaidrotas vispārējās tendences, veidojot katram atsevišķam tehnoloģiskajam parametram atbilstošu matemātiski vidējo vērtību līkni.

3. attēlā ir parādīta šo tehnoloģisko parametru vidējo vērtību ietekme uz  $R_{aT}$  saskaņā ar A. Aleksejeva empīrisku formulu. Uz  $x$  ass ir izvietotas apskatāmo tehnoloģisko parametru matemātiskās vērtības, bet uz  $y$  ass  $R_{aT}$ . Grafiki, kas ir veidoti pēc prof. E. Rižova empīriskās  $R_{aT}$  aprēķinu formulas, promocijas darbā nav parādīti, jo iegūtās līknes ir identiskas 3. attēlā redzamajām, atšķiras vienīgi  $R_{aT}$  skaitliskās vērtības. Analizējot 3. attēlu, var secināt, ka: pieaugot šķērspadevei  $S_{rad}$  un slīpripas graudainībai  $Z$ , arī  $R_{aT}$  vērtības proporcionāli pieaug, bet, palielinoties slīpēšanas dziļumam  $t$ ,  $R_{aT}$  vērtības palielinās. Savukārt, pieaugot slīpēšanas dziļumam  $V_{det}$ , samazinās  $R_{aT}$  vērtības.

Slīpēšanas tehnoloģisko režīmu ietekme uz virsmas raupjuma soļa parametru veidošanos ir parādīta 4. attēlā. Grafiki veidoti, izmantojot  $S_{m1}$  un  $S_{m2}$  aprēķina formulu rezultātu vidējās vērtības un uz  $x$  ass novietojot tehnoloģisko parametru skalu, bet uz  $y$  ass  $S_{m1}$  un  $S_{m2}$  vērtības. Veicot iegūto grafiku analīzi, var izdarīt sekojošus secinājumus: palielinoties šķērspadeves  $S_{rad}$  un griešanas dziļuma  $t$  vērtībām, pieaug gan  $S_{m1}$ , gan  $S_{m2}$  vērtības (līknes ir lēzenas, vienmērīgi augšupejošas), bet, palielinoties slīpripas graudainībai  $Z$  un garenpadeves ātrumam  $V_{det}$ ,  $S_{m1}$  vidējās vērtības praktiski nemainās, bet  $S_{m2}$  vērtībām ir tendence strauji samazināties.



3. attēls. Atsevišķu slīpēšanas tehnoloģisko režīmu ietekme uz  $R_{aT}$  veidošanos



4. attēls. Atsevišķu slīpēšanas tehnoloģisko režīmu ietekme uz  $S_{m1}$  un  $S_{m2}$  veidošanos

Veikta kloķvārpstas gultņu kakliņu virsmas raupjuma eksperimentālā pārbaude. Izstrādātās slīpēšanas ierīces tehnoloģisko režīmu ietekme uz kloķvārpstas gultņu kakliņu virsmas raupjuma pamatparametriem  $R_{aT}$ ,  $S_{m1}$  un  $S_{m2}$  eksperimentāli tika pārbaudīta SIA „Rēdertehserviss” metālapstrādes ražotnē. Šī pārbaude tika izpildīta, izmantojot tehnoloģisko parametru kompleksās ietekmes pārbaudē rezultātā iegūtās režīmu vērtības. Lai nesarežģītu eksperimenta gaitu, empīriskajās pārbaudēs tika izmantotas tehnoloģisko režīmu minimālās, maksimālās un vidējās vērtības, kas ir apkopotas 1. tabulā. Šādām tehnoloģisko režīmu vērtībām saskaņā ar iepriekš veikto analīzi attiecīgi ir jānodrošina vajadzīgo  $R_{aT}$ ,  $S_{m1}$  un  $S_{m2}$  vērtību veidošanos.

Eksperimentālajā pārbaudē izmantotās tehnoloģisko režīmu robežvērtības

1. tabula

	$t$ (mm)	$Z$	$V_{det}$ (m/min)	$S_{rad}$ (mm/gāj)
Minimālā	0,02	6	5	3
Vidējā	0,05	16	15	6
Maksimālā	0,1	40	25	8

Tika izvirzīts loģisks pieņēmums: ja šīs robežvērtības nodrošina uzdoto pamatparametru skaitliskās vērtības ( $R_{aT} \leq 0,63 \mu\text{m}$ ,  $S_{m1} / R_{aT} = 10 \div 190$  un  $S_{m1} / S_{m2} = 0,7 \div 0,5$ ), tad pēc analogijas arī visas pārējās, 1. tabulā minētajās robežās esošās, bet eksperimentos nepārbaudītās tehnoloģisko režīmu kombinācijas sniegs vēlamo rezultātu. Šo slīpēšanas režīmu kombināciju skaits arī noteica kopējo nepieciešamo eksperimentu skaitu – 81. Eksperimentālajā pārbaudē tika izmantotas divas remontā esošu kuģa dīzeļdzinēju 6Ч – 18 – 22 iepriekš izņemtās kloķvārpstas ar slīdes gultņu kakliņu diametru 120 mm, kurām bija jāatjauno visu pamata un kļauņu gultņu kakliņu virsmas ģeometriskie un raupjuma parametri (šajā pētījumā apskatīta tikai virsmas raupjuma parametru atjaunošana). Virsmas raupjuma parametru kontrole tika veikta ar divām atšķirīgām metodēm: ar „raupjuma paraugiem” un firmas „Feinprüf Perthen GmbH” kloķvārpstu kakliņu virsmas raupjuma mērīšanas ierīci PFK2 komplektā ar elektronisko bloku S3P, kurš nodrošina lielu daļu šobrīd spēkā esošajos standartos reglamentēto virsmas raupjuma parametru nolasīšanu, tai skaitā arī šim pētījumam nepieciešamo parametru  $R_a$  un  $S_m$  noteikšanu. Tomēr jāņem vērā, ka ar S3P iespējams noteikt tikai virsmas raupjuma profila parametrus, un tas nenodrošina mikropogrāfisko pamatparametru  $R_{aT}$ ,  $S_{m1}$  un  $S_{m2}$  nolasīšanu.

Lai iegūtu šo parametru mikrotopogrāfiskās vērtības, tika pielietota pamatparametru noteikšanas diskrētos pētījumos metodoloģija, sadalot pētāmo virsmu vairākos atsevišķos profilos. Mikrotopogrāfisko  $R_{aT}$ ,  $S_{m1}$  un  $S_{m2}$  noteikšana, izmantojot ar S3P nolasītās diskrētās  $R_a$  un  $S_m$  vērtības, tika veikta, sadalot aplūkojamo virsmu desmit atsevišķos profilos ( $N=10$ ) ar mērāmās trases garumu  $l = 4,0$  mm. Iegūtās vērtības tika ievietotas sekojošās promocijas darbā noteiktajās formulās:

$$R_{aT} = \frac{1}{MN} \sum_{j=1}^N \sum_{i=1}^M R_a(i, j);$$

$$S_{m1} = \frac{1}{MN} \sum_{j=1}^N \sum_{i=1}^M S_{m1}(i, j);$$

$$S_{m2} = \frac{1}{MN} \sum_{j=1}^N \sum_{i=1}^M S_{m2}(i, j),$$

kur:  $M$  – mērījumu skaits vienā profilā;

$N$  – apskatāmo profilu skaits;

$i$  – tais apskatāmais profils;

$j$  – tais mērījums profila ietvaros.

Šīs formulas ļauj izdarīt pāreju no diskrētos mērījumos (no profilogrammām) iegūtajām  $R_a$ ,  $S_{m1}$  un  $S_{m2}$  vērtībām uz mikrotopogrāfiskajiem virsmas raupjuma parametriem. Soļa parametri  $S_{m1}$  un  $S_{m2}$  tika noteikti savstarpēji perpendikulāros virzienos.

Veicot eksperimentālajā pārbaudē iegūto rezultātu multifaktoriālo analīzi, izmantojot datorprogrammu SPSS v. 12.0, tika noteiktas matemātiskās sakarības starp eksperimentā pielietotajām tehnoloģisko režīmu vērtībām un to iedarbības rezultātā iegūtajām virsmas raupjuma pamatparametru  $R_{aT}$ ,  $S_{m1}$  un  $S_{m2}$  skaitliskajām vērtībām. Tādējādi ar multifaktoriālās analīzes palīdzību ir noteiktas empīriskās raupjuma pamatparametru aprēķina formulas, kas atbilst tieši kuģu dīzeļdzinēju kloķvārpstu gultņu kakliņu apstrādei ar izstrādāto slīpēšanas ierīci:

$$R_{aT} = 0,42 \frac{Z^{0,3} t^{0,29} S_{rad}^{0,11}}{V_{det}^{0,01}};$$

$$S_{m1} = 0,09 \frac{Z^{0,1} t^{0,3} S^{0,18}}{V_{\text{det}}^{0,03}} ;$$

$$S_{m2} = 8,9 \frac{t^{0,22} S^{0,16}}{V_{\text{det}}^{0,4} Z} .$$

Promocijas darbā empīriski noteiktās  $R_{aT}$ ,  $S_{m1}$  un  $S_{m2}$  aprēķinu formulas ir tieši pielietojamas gadījumos, kad tiek veikta kloķvārpstu gultņu kakliņu slīpēšana ar izstrādāto slīpēšanas ierīci un praktiskajā darbā rodas nepieciešamība, izejot no tehnoloģisko režīmu vērtībām, prognozēt mikrotopogrāfiskās virsmas vidējo aritmētisko novirzi  $R_{aT}$  un savstarpēji perpendikulāros profila nelīdzenumu vidējos soļus  $S_{m1}$  un  $S_{m2}$ .

## SECINĀJUMI

Promocijas darbā „Dīzeļdzinēju kloķvārpstu gultņu kakliņu virsmas apstrādes pētījumi” ir iegūti sekojoši rezultāti:

1. Veicot literatūras apskatu, konstatēts, ka pētījuma izstrādes laikā pieejamajos zinātniskajos darbos nav pētīta slīpēšanas tehnoloģisko režīmu ietekme uz kuģu dzinēju kloķvārpstu gultņu kakliņu mikrotopogrāfiju. Secināts, ka pastāvošajos starptautiskajos standartos ir ietverti virsmas raupjuma profila parametri un standarti, kas reglamentē mikrotopogrāfiskās virsmas raupjuma parametrus, ir tikai izstrādes stadijā.
2. Izveidots kloķvārpstu gultņu kakliņu mikrotopogrāfiskā raupjuma modelis, kuru veido virsmas vidējā aritmētiskā novirze  $R_{aT}$  un savstarpēji perpendikulāri virsmas profila nelīdzenumu vidējie soļi  $S_{m1}$  un  $S_{m2}$ . Šāds virsmas raupjuma modelis atbilst darbā analizētajai slīpēšanas tehnoloģijai un tā parametri reālajos darba apstākļos ir praktiski nosakāmi.
3. Noteikti kloķvārpstu gultņu kakliņu raksturošanai nepieciešamie virsmas raupjuma mikrotopogrāfiskie parametri, to matemātiski sagaidāmo vērtību aprēķina formulas. Piedāvātas formulas, ar kuru palīdzību no diskrētiem raupjuma parametru mērījumiem iespējama pāreja uz mikrotopogrāfiskajiem parametriem  $R_{aT}$ ,  $S_{m1}$  un  $S_{m2}$ .
4. Izstrādāta oriģināla kloķvārpstu gultņu kakliņu slīpēšanas ierīce, kurai šobrīd kuģu remontā nav zināmu analoģu. Slīpēšanas ierīce ļauj veikt kloķvārpstu kļu gultņu apstrādi, neizņemot kloķvārpstu no dzinēja, tādējādi tiek panākta ievērojama remonta darbu izmaksu samazināšana. Veikts pilnīgs izstrādātās kloķvārpstu gultņu kakliņu slīpēšanas ierīces konstruktīvais, pielietojuma un darbības principu apraksts. Sniegtas detalizētas slīpēšanas ierīces pielietošanas rekomendācijas.
5. Apkopotas kuģu dīzeļdzinēju kloķvārpstu gultņu kakliņu remontam izvirzītās tehniskās prasības. Noteikti izstrādātās slīpēšanas ierīces tehnoloģiskie režīmi un izvēlētas atbilstošas mikrotopogrāfisko raupjuma parametru aprēķina formulas.
6. Veikta slīpēšanas tehnoloģisko režīmu kompleksās ietekmes uz kloķvārpstu gultņu kakliņu mikrotopogrāfiskā virsmas raupjuma parametriem analīze un veikta tā daudzfaktoru analīze.
7. Noteikta tehnoloģisko režīmu ( $t$ ,  $Z$ ,  $S_{rad}$  un  $V_{det}$ ) individuālā ietekme uz mikrotopogrāfisko raupjuma parametru  $R_{aT}$ ,  $S_{m1}$  un  $S_{m2}$  veidošanos. Konstatētas sekojošas funkcionālās sakarības:
  - mikrotopogrāfiskās virsmas vidējās aritmētiskās novirzes  $R_{aT}$  vērtības visvairāk ietekmē slīpripas graudainība  $Z$  un slīpēšanas

šķērspadeve  $S_{rad}$ . Slīpēšanas dziļuma  $t$  ietekme uz  $R_{aT}$  ir mazāk izteikta, bet slīpēšanas ātrumam  $V_{det}$  ir minimāla ietekme. Pieaugot  $Z$ ,  $S_{rad}$  un  $t$  vērtībām,  $R_{aT}$  palielinās, bet, pieaugot  $V_{det}$  – nedaudz samazinās;

- galvenie tehnoloģiskie parametri, kuri ietekmē virsmas mikrotopogrāfisko profila nelīdzenumu vidējo soli  $S_{m1}$ , ir slīpēšanas dziļums  $t$  un slīpēšanas šķērspadeve  $S_{rad}$ . Secināts, ka, palielinoties  $t$  un  $S_{rad}$ , attiecīgi pieaug  $S_{m1}$  vērtības. Slīpripas graudainība  $Z$  un slīpēšanas ātrums  $V_{det}$  parametra  $S_{m1}$  veidošanos praktiski neietekmē;
  - virsmas mikrotopogrāfisko profila nelīdzenuma vidējo soli  $S_{m2}$  galvenokārt ietekmē slīpripas graudainība  $Z$  un slīpēšanas ātrums  $V_{det}$ . Noteikts, ka, palielinoties  $Z$  un  $V_{det}$ ,  $S_{m2}$  ir tendence samazināties. Palielinoties slīpēšanas dziļumam  $t$  un slīpēšanas šķērspadevei  $S_{rad}$ ,  $S_{m2}$  pieaug, kaut gan šo tehnoloģisko režīmu ietekme ir mazāk svarīga.
8. Ar izstrādāto tehnoloģisko aprīkojumu veikti eksperimentālie pētījumi, nosakot tehnoloģisko režīmu reālo ietekmi uz mikrotopogrāfiskajiem raupjuma parametriem  $R_{aT}$ ,  $S_{m1}$  un  $S_{m2}$ . Iegūtie eksperimenta rezultāti ir analizēti ar multifaktoriālās analīzes palīdzību, kā rezultātā ir iegūtas iepriekšminēto parametru empīriskās aprēķina formulas. Iegūtās formulas atbilst konkrētajam izstrādātajam kloķvārpstu gultņu kakliņu slīpēšanas aprīkojumam, tādēļ ir pielietojamas, veicot kuģu dīzeļdzinēju remontu, nosakot režīmu  $t$ ,  $Z$ ,  $S_{rad}$  un  $V_{det}$  ietekmi uz parametriem  $R_{aT}$ ,  $S_{m1}$  un  $S_{m2}$ .
9. Sniegtas sekojošas tehnoloģiskās rekomendācijas vajadzīgo mikrotopogrāfiskā virsmas raupjuma parametru  $R_{aT}$ ,  $S_{m1}$  un  $S_{m2}$  vērtību nodrošināšanai:
- slīpēšanas dziļumu un slīpripas graudainību ieteicams izvēlēties šādos diapazonos:  $t = 0,02 \div 0,09$  mm,  $Z = 6, 8, 10, 12, 16, 20, 25, 32$ ,  $S_{rad} = 3 \div 8$  mm/gāj. un  $V_{det} = 5 \div 25$  m/min;
  - nav ieteicamas tādas tehnoloģisko režīmu kombinācijās, kurās vienlaicīgi tiek izmantots liels slīpēšanas dziļums ( $t > 0,07$  mm) un lielas graudainības ( $Z > 20$ ) slīpripas.
10. Izstrādātā slīpēšanas ierīce ir pielietojama vidēja lieluma kuģu dīzeļdzinēju kloķvārpstu slīpēšanai, atjaunojot gultņu kakliņu ģeometriskos un virsmas raupjuma parametrus vajadzīgajā remonta izmērā. Promocijas darbā veiktie pētījumi un izstrādātā tehnoloģija sniedz efektīvu kloķvārpstu apstrādes problēmu risinājumu, būtiski uzlabojot kloķvārpstu kļu gultņu kakliņu slīpēšanas kvalitāti un samazinot kopējo dzinēju remonta laiku.

## PUBLIKĀCIJAS

1. J. Rudzitis, E. Shiron, M. Skurba, T. Torims. Classification of Rough Surfaces. Scientific Proceedings of Riga Technical University. Series 6. Machine Science and Transport. Production Engineering Volume 2. "RTU". Riga. 2001. p 53 – 57.
2. T. Torims, D. Birzniece. The necessity for exploitation of novel technologies in order to secure a sustainable development of ship repairs in Latvia. Proceedings of XIX World Association for Case Method Research and Case Method Application (WACRA) Conference. Long term Responsibility for Sustainable Life. Brno. Czech Republic. August 07. – 11. 2002. p 110 – 116.
3. J. Rudzitis, R. Doroshenko, T. Torims, M. Skurba. Wear Calculation of Surfaces in Sliding Friction. 47. Internationales Wissenschaftliches Kolloquium. Tagungsband: Technische universitat Ilmenau. Ilmenau. Germany. September 23. – 26. 2002. p 47 – 49.
4. J. Rudzitis, T. Torims, E. Gerinsh, G. Konrads. Rough surfaces contact examination. Scientific Proceedings of Riga Technical University. Series 6. Machine Science and Transport. Production Engineering Volume 14. "RTU". Riga. 2004. p 19 – 24.
5. G. Konrads, J. Rudzitis, E. Gerinsh, T. Torims. Stresses Calculation of Sliding Friction Surfaces. Proceedings of Fourth International Congress: Mechanical Engineering technologies '04. Volume 6. Varna. Bulgaria. September. 23 – 25. 2004. p 198 – 200.
6. T. Torims, J. Rudzitis. "Analysis of novel grinding technology impact to the Three – Dimensional Roughness Parameters of the Shipboard Diesels Crankshaft Bearings". Proceedings of the 4<sup>th</sup> DAAAM International Conference on Advanced Technologies for Developing Countries. Slavonski Brod, Croatia, September 21 – 24, 2005. p 327 – 332.