

Kuģa daudzpakāpju dzenvārpstas pārnestās jaudas mērīšana

Juris Cimanskis, Janis Kokars, *Latvian Maritime Academy*

Kopsavilkums. Darbā tiek izpētīta kuģa dzenvārpstas pārnestās jaudas mērīšanas ierīce. Šī ierīce dod iespēju paaugstināt mērījumu kvalitāti un precizitāti. Tas tiek sasniegts tādejādi, ka informācija par vārpstas deformāciju tiek iegūta nerotējošos, korpusā iemontētos adapteros. Vismaz divi korpusā iemontētie adapteri kontaktē ar uz vārpstas virsmas garenass virzienā pret minētiem adapteriem nostiprinātām zīmēm nemehāniski, piemēram, elektroniski vai optiski, un ģenerē impulsa signālu. Impulsa signāli no adapteriem tiek sūtīti uz reģistrācijas ierīci. Reģistrācijas ierīce nosaka laiku starp jebkura impulsa signāla priekšējo vai aizmugurējo fronti, impulsa signālu priekšējās vai aizmugurējās frontes savstarpējo laika novirzi, vārpstas rotācijas ātrumu, tangenciālos spriegumus vārpstā un vārpstas pārnesto jaudu.

Atslēgas vārdi: kuģis, enerģētiskā iekārta, dzenvārpsta, pārnestā jauda, jaudas mērīšanas iekārta.

I. KUĢA ENERGOIEKĀRTA AR DZENVĀRPSTU

Kuģa energoiekārta ar vienu dzenskrūvi (1.att.) satur:

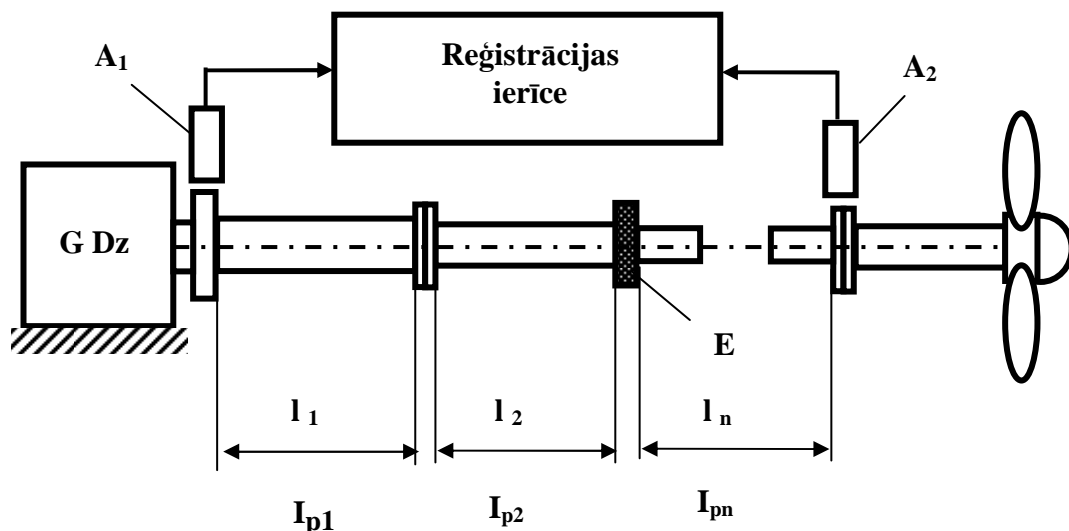
- galveno dzinēju $G Dz$,
- dzenvārpstu, kas sastāv no vairākiem posmiem,
- dzenskrūvi.

Dzenvārpsta sastāv no vairākiem posmiem, kuri savstarpēji savienoti ar atloku sajūgiem. Daži dzenvārpstas posmi var būt savienoti ar elastīgu sajūgu E (1.att.). Apsēkotajā energoiekārtā galvenais dzinējs tieši savienots ar dzenskrūvi, nesatur reduktoru. Dzenskrūves rotācijas frekvence sakrīt ar galvenā dzinēja kloķvārpstas rotācijas frekvenci. Energoiekārtas ekspluatācijas laikā tiek noteikta galvenā dzinēja jauda. Jaudas noteikšanas metodes ir dažādas, tai

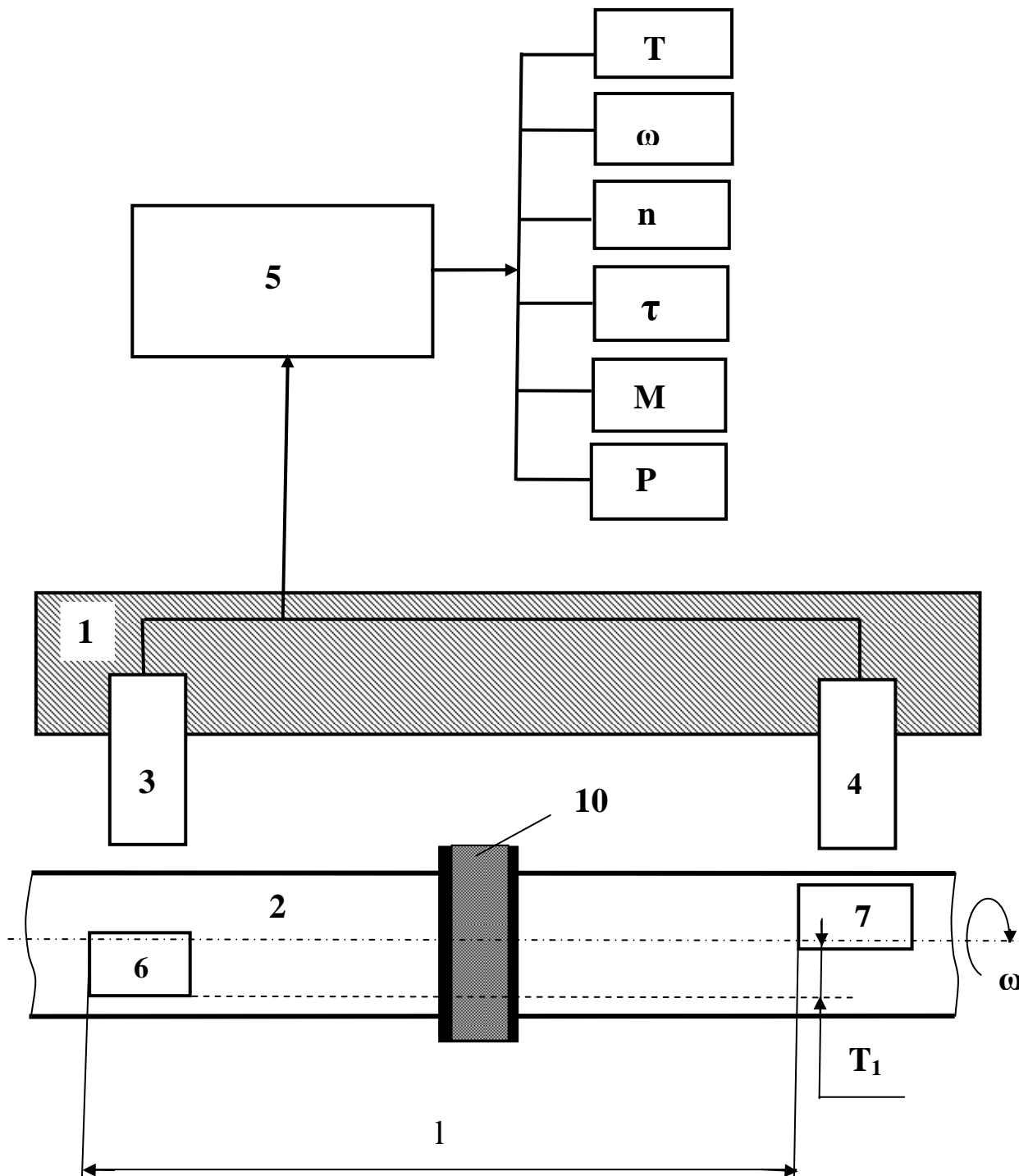
skaitā nosakot dzenvārpstas savērpes leņķi. Savērpes leņķis dod iespēju noteikt vārpstas griezes momentu, kas ir nepieciešams vārpstas pārnestās jaudas noteikšanai [1].

Kuģu energoiekārtās plaši tiek pielietots vērpes pārnestās jaudas mērīšanas paņēmieni [2]. Tādā paņēmienā informācija par vārpstas deformācijām iegūst no vairākām, uz vārpstas nostiprinātām, rotējošām detaļām - uz vārpstas piestiprināta adaptera, kurš mēra vārpstas deformāciju, analoga-ciparu pārveidotāja un raidītāja, kas pārraida informāciju no rotējošās vārpstas uz korpusā izvietotu reģistrācijas ierīci. Pārraidot informācijas no rotējošās vārpstas uz reģistrācijas ierīci, rodas traucējumi. Tas samazina mērīšanas kvalitāti. Uz vārpstas nostiprinātā devēja gabarīti ir ierobežoti, kas samazina vārpstas deformācijas mērījumu precizitāti.

Darbā tiek izskatīts paņēmieni, kas dod iespēju paaugstināt mērījumu kvalitāti un precizitāti. Tas tiek sasniegts tādejādi, ka informācija par vārpstas deformāciju tiek iegūta nerotējošos, korpusā iemontētos adapteros A_1 un A_2 (1.att.). Vismaz divi korpusā iemontētie adapteri kontaktē ar uz vārpstas virsmas garenass virzienā pret minētajiem adapteriem nostiprinātām zīmēm nemehāniski, piemēram, elektroniski vai optiski, un ģenerē impulsa signālu. Impulsa signāli no adapteriem tiek sūtīti uz reģistrācijas ierīci. Reģistrācijas ierīce nosaka laiku starp jebkura impulsa signāla priekšējo vai aizmugurējo fronti, impulsa signālu priekšējās vai aizmugurējās frontes savstarpējo laika novirzi, vārpstas rotācijas ātrumu, tangenciālos spriegumus vārpstā un vārpstas pārnesto jaudu.



1.att. Kuģa daudzpakāpju dzenvārpsta

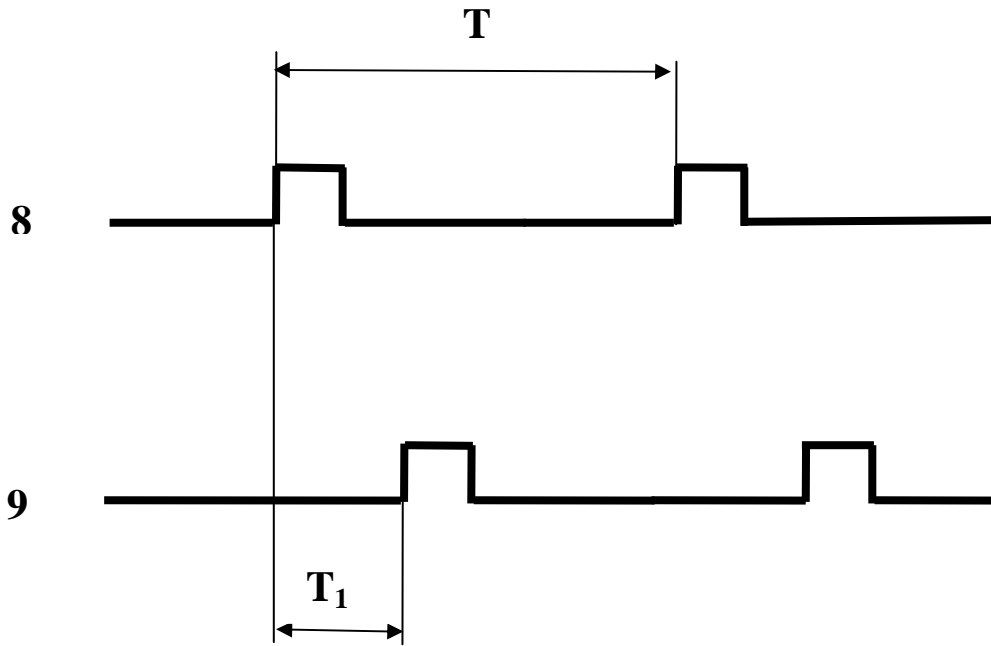


2.att. Vārpsta ar elastīgu sajūgu

II. DZENVĀRPSTA AR PASTĀVĪGU ŠĶĒRSGRIEZUMU

Piedāvātās vārpstas pārnestās jaudas mērīšanas paņēmieni realizē sekojoši (2.att. un 3.att.). Korpusā 1 uzstādīta rotējoša vārpsta 2. Uz vārpstas 2 virsmas nostiprinātā zīme 6 virzās gar adapteri 3. Zīme 7 virzās gar adapteri 4. Adapteris 3 nemeķāniski, piemēram, elektroniski vai optiski kontaktē ar zīmi 6 un ģenerē impulsu signālu 8 (3.att.), kamēr zīme 6

virzās gar to. Adapteris 4 nemeķāniski, piemēram, elektroniski vai optiski kontaktē ar zīmi 7 un ģenerē impulsu signālu 9 (3.att.), kamēr zīme 7 virzās gar to. Impulsu signāli 8 un 9 tiek padoti uz reģistrācijas ierīci 5. Reģistrācijas ierīce 5 reālā laikā apstrādā signālu 8 un 9 informāciju sekojoši. Tiek noteikts laiks T [s] starp jebkura impulsa signāla 8 vai 9 priekšējo vai aizmugurējo fronti. 2.att. minētais laiks T [s] parādīts starp signāla 8 priekšējo fronti.



3.att. Adapteru ģenerētie impulsu signāli

Vārpstas 2 rotācijas ātrums ω [rad/s]

$$\omega = \frac{2 \cdot \pi}{T} \quad (1)$$

Vārpstas apgriezienu skaits minūtē n [apgr/min]

$$n = \frac{30 \cdot \omega}{\pi} \quad (2)$$

Reģistrācijas ierīce 5 nosaka impulsu signālu 8 un 9 priekšējās vai aizmugurējās frontes savstarpējo laika novirzi. 3. att. parādīta impulsu signālu 8 un 9 priekšējās frontes laika novirze T_1 [s]. Šajā gadījumā leņķis θ [rad] starp priekšējās frontes impulsu signālu 8 un 9 novirzi vienādojas

$$\theta = \frac{2 \pi \cdot T_1}{T} \quad (3)$$

Šo leņķi var izteikt sekojoši

$$\theta = \theta_0 + \Delta \theta, \quad (4)$$

kur

θ_0 [rad] – sākotnējais zīmju 8 un 9 savstarpējās novirzes leņķis, vārpstai rotējot bez slodzes vai pie nerotējošas vārpstas.

$\Delta \theta$ [rad] – griezes momenta M izsauktais rotējošas vārpstas savērpes leņķis.

Rotējošas vārpstas savērpes leņķis $\Delta \theta$ [rad]

$$\Delta \theta = \frac{M \cdot l}{G \cdot I_p}, \quad (5)$$

kur

l [m] – attālums starp zīmēm 8 un 9 (2.att.),

G [Pa] – vārpstas bīdes modulis,

I_p [m⁴] – vārpstas šķērsriezuma polārais inerces moments.

Ja vārpsta satur elastīgu sajūgu 10 (2.att.), tad rotējošās vārpstas savērpes leņķis $\Delta \theta$ [rad]

$$\Delta \theta = \frac{M \cdot l}{G \cdot I_p} + M \cdot k, \quad (5a)$$

kur k [rad/Nm] - elastīgā sajūga 10 pakļāvības koeficients

Vārpstas griezes moments M [Nm]

$$M = \frac{\Delta \theta \cdot G \cdot I_p}{l + G \cdot I_p \cdot k} \quad (6)$$

Tangenciālais spriegums τ vārpstā

$$\tau = \frac{M}{W_p}, \quad (7)$$

$$\Delta\theta_2 = M \frac{l_2}{G \cdot I_{p2}}$$

kur W_p [m^3] – vārpstas šķērsriezuma polārais pretestības moments.

Vārpstas pārnestā jauda P [W] tiek noteikta, sareizinot vienlaicīgi izmērīto vārpstas vērpes momentu un rotācijas ātrumu

$$P = M \cdot \omega. \quad (8)$$

$$\Delta\theta_n = M \frac{l_n}{G \cdot I_{pn}}$$

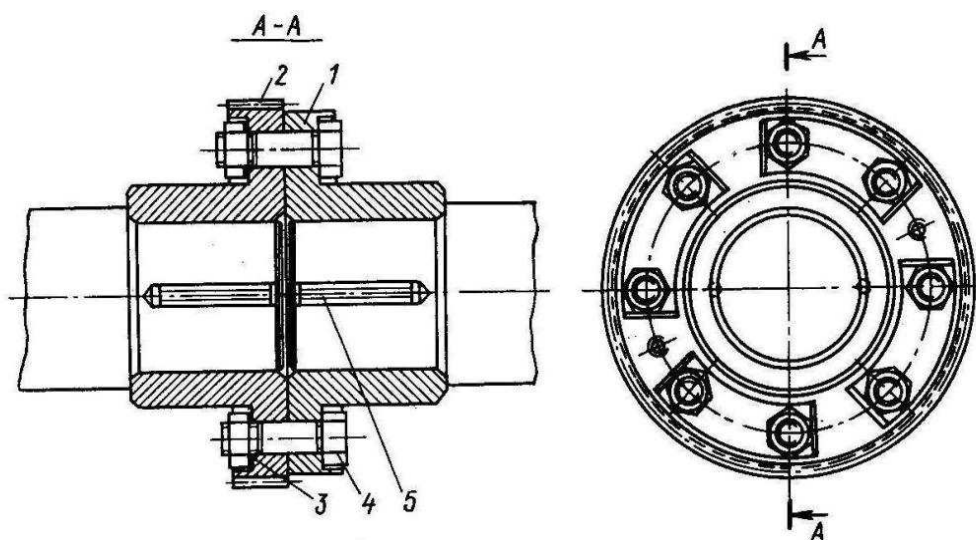
kur
 $l_1, l_2 \dots l_n$ - dzenvārpstas pakāpju garumi, m,
 $I_1, I_2 \dots I_n$ - dzenvārpstas pakāpju šķērsriezuma polārais inerces moments.

III. DAUDZPAKĀPJU DZENVĀRPSTA

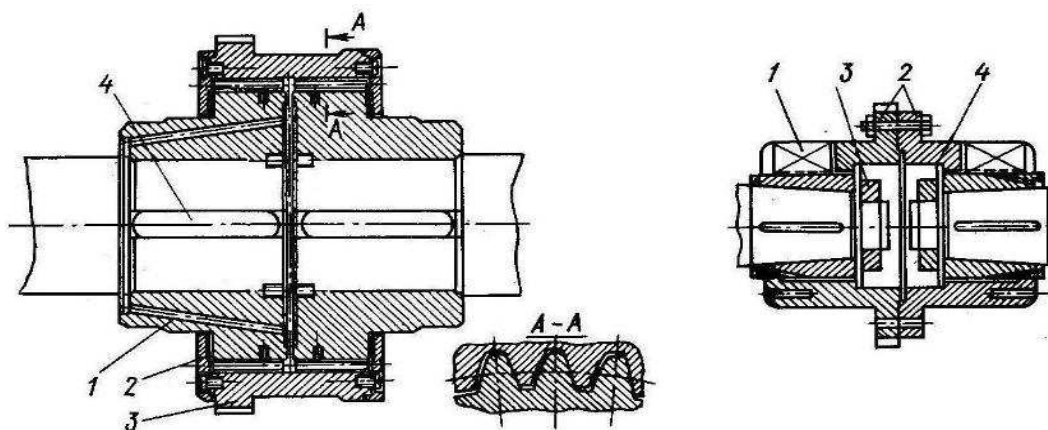
Vārpstas griezes moments M deformē dzenvārpstas posmus,

Kuģu enerģētiskajās iekārtās dzenvārpstu savienojumos tiek pielietoti dažāda tipa sajūgi. 4. att. parādīts atloku sajūgs, kurš nodrošina ērtu montāžu. Normalizētajās konstrukcijās viena skrūvju vai tapu daļa urbumos ielāgota, otra daļa nav ielāgota.

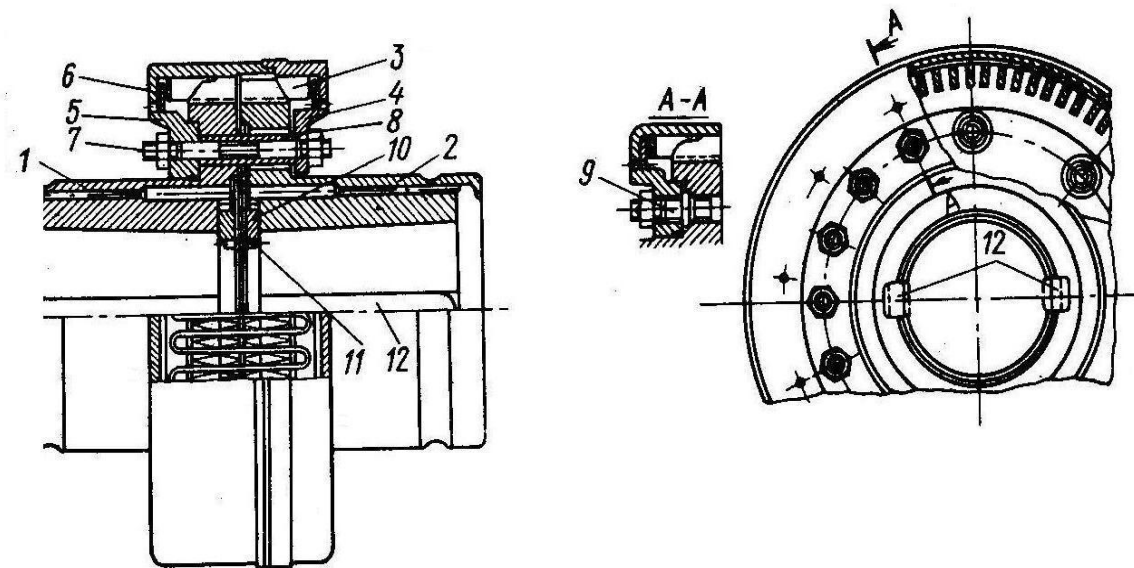
$$\Delta\theta_1 = M \frac{l_1}{G \cdot I_{p1}}$$



4.att. Dzenvārpsta ar atloku sajūgu



5.att. Dzenvārpsta ar zobu sajūgu



6.att. Dzenvārpsta ar elastīgu sajūgu

5. att. parādīts dzenvārpstas savienojums ar zobu sajūgu. Zobu sajūgus lieto liela vērpes momenta pārvešanai. Zobu profils evolvente, to forma garenvirzienā taisnstūra vai mucveida, starp čaulas un apvalka zobiem ir palielināta spēle. Sajūgi standartizēti, tos izvēlas pēc vārpstas diametra, bet pārbauda vērpi.

6. att. parādīta dzenvārpsta ar elastīgu sajūgu. Elastīgie sajūgi kompensē nelielus vārpstas pārvietojumus. Elastīgo sajūgu priekšrocība salīdzinājumā ar stingajiem ir: samazina triecienus, samazina vērpes svārstību amplitūdu un novērš svārstību rezonansi.

Dzenvārpstas elastīgā sajūga E (1.att.) savērpes leņķis

$$\Delta \theta_E = M \cdot k$$

kur k - elastīgā sajūga pakļāvības koeficients

Summārais dzenvārpstas deformācijas leņķis starp adapteriem 3 un 4 (2.att.)

$$\Sigma \Delta \theta = M \left(\frac{l_1}{G \cdot I_{p1}} + \frac{l_2}{G \cdot I_{p2}} + \dots + \frac{l_n}{G \cdot I_{pn}} + k \right) \quad (9)$$

No vienādojuma (9) savērpes moments

$$M = \frac{\Sigma \Delta \theta}{\left(\frac{l_1}{G \cdot I_{p1}} + \frac{l_2}{G \cdot I_{p2}} + \dots + \frac{l_n}{G \cdot I_{pn}} + k \right)} \quad (10)$$

Tangenciālais spriegums τ vārpstas posmos

$$\tau_1 = \frac{M}{W_{p1}} \quad \tau_2 = \frac{M}{W_{p2}} \quad \tau_n = \frac{M}{W_{pn}} \quad (11)$$

kur $W_{p1}, W_{p2}, \dots, W_{pn}$ - dzenvārpstas pakāpju šķērsriezuma polārais pretestības moments.

Galvenā dzinēja jauda tiek noteikta atbilstoši (8).

LITERATŪRAS SARAKSTS

1. *Materiālu pretestība uzdevumos.* J.Auzukalns, E.Ceplītis, I.Kalniņš, I.Liepiņš. Rīga: Zvaigzne, 1973. 742 lpp.
2. Marine Propulsion & Auxiliary Machinery. Riviera Maritime Media Ltd. UK. Measure Torque Verify Power. April/May. 2009.– p. 154. - www.binsfeld.com
3. Marine Propulsion & Auxiliary Machinery. Riviera Maritime Media Ltd. UK. Kyma Shaft Power Meter. April/May. 2009. – p. 122. – www.kyma.no
4. **Cimanskis J., Indriksons R., Kokars J., Zāgeris A.** Patents Nr. 14004. Latvijas Republika. 2009.

Juris Cimanskis, is a 1968 ungraguate of the Faculty of Marine Engineering Sankt Peterburg State Maritime Academy of Admiral Makarow. In 1986 he was awarded the Dr. Habil. sc. ing. From 1991 for a present tense is a professor of Latvian Maritime Academy Ship Engineering Department. Scientific interests includes: bearings, mechanical vibrations, diagnostics, ship power plants.
Flotes st., 5B, Rīga, LV-1016, Latvia,
Tel. 371-67432091, fax: 371-67432091
e-mail: j.cimanskis@livas.lv

Janis Kokars, is a 1982 ungraguate of the Faculty of Marine Engineering Sankt Peterburg State Maritime Academy of Admiral Makarow. Ship Chief Engineer. From 2002 for a present tense is a as. professor of Latvian Maritime Academy. Director of Research and Development Department of Latvian Maritime Academy. Scientific interests includes: Marine and Port Engineering, Technical management, Ship power plants.
Flotes st., 5B, Rīga, LV-1016, Latvia,
Tel. 371-29223227, fax: 371-67830138
e-mail: janis.kokars@latja.lv

Juris Cimanskis, Janis Kokars. Ship many-stage propeller shaft power meteri

The works offers the method of measuring technique, specifically, for measuring shaft transferred power by means of multiplication of shaft torsion moment and rotational speed both gauged during operation. In this topic is developed device which can measure power on the shaft of the engine. The ship propeller shaft line consists from different parts which are joined by the connecting clutch. The shaft parts are different section. The connection of shaft are done by different joints. In this topic the research cover the joints with strong gear connection and flexible connection. In the ship power plant under research the main engine is connected with propeller shaft directly without gear. In such a case the rotation speed of engine is equal to rotation of the ship propeller. During the engine running it is necessary to control the power of engine on regular basis. One of the methods of controlling main engine power is method of measuring propeller shaft turning deviation. The purpose is to increase measurement accuracy. Shaft deformation data is provided by immovable adapters and installed in non-rotary housing. At least two adapters and, being installed in housing 1, are in non-mechanical union, e.g. either electronically or optical, with relevantly to them aligned and fixed marks on top of a shaft in way of longitudinal axis. Generated impulse signal and is transmitted to recording device by adapters and. The recording device determines both time and its deviation between whatever impulses and of either forward or back front, shaft rotation speed, tangential stresses in the shaft and shaft transferred power.

Юрис Циманскис, Янис Кокарс. Измерение мощности многоступенчатого судового валопровода

В работе рассматривается устройство для измерения мощности, передаваемой судовым гребным валопроводом. Валопровод состоит из отдельных участков, которые между соединены собой муфтами. Рассмотрены валы постоянного и переменного поперечного сечения. Соединение валов осуществляется различными муфтами. В работе рассмотрены конструкции жесткой муфты, муфты с зубчатым соединением и муфты с упругим соединением. В рассматриваемой судовой энергоустановке главный двигатель соединен непосредственно с валопроводом без редуктора. В этом случае частота вращения главного двигателя совпадает с частотой вращения гребного винта. Во время эксплуатации постоянно необходимо определять мощность главного двигателя. Одним из методов определения мощности главного двигателя является измерение угла скручивания гребного валопровода. Устройство дает возможность повысить качество и точность измерения. Это достигается тем, что информация о деформации валопровода поступает от невращающихся, вмонтированных в корпусе датчиков. По крайней мере два, вмонтированные в корпусе датчики, контактируют с прикрепленными на поверхности вала вдоль продольной оси метками не механически, например, электронно или оптически, и генерируют импульсный сигнал. Импульсный сигнал от датчиков подается на регистрирующее устройство. Регистрирующее устройство определяет время между передним и задним фронтом любого сигнала, взаимное временное смещение между импульсными сигналами, частоту вращения вала, тангенциальные напряжения в вале и мощность, передаваемую валом. Рассмотрены валы постоянного и переменного поперечного сечения. Соединение валов осуществляется различными муфтами. В работе рассмотрены конструкции жесткой муфты, муфты с зубчатым соединением и муфты с упругим соединением.