Zoran Hrnjez,
major, dipl. inž.
Vojnotehnička akademija VJ,
Beograd

BUKA NA BRODOVIMA

UDC: 629.12.011.5:534.831

Rezime:

U radu su opisani neki izvori buke na brodu i efekti primene specifičnih mera za njeno smanjenje. Objasnjene su i dodatne mere akustičkih obrada boravišnih prostorija na brodu, kao i kriterijumi buke primenjeni na boravišni prostor na inostranim patrolnim brodovima, obrada prostora i postignuti nivo smanjenja buke.

Ključne reči: buka, strukturna buka, vibraciona buka, zvučna izolacija, vibracije, fleksioni talasi, smanjenje buke, elastično postavljenje.

NOIS ON SHIP'S

Summary:

This paper discusses sources of shipboard noise. Effects of some specific measures of shipboard noise control such as stern wells are described. Some additional measures of ship compartments acoustical treatment are explained as well as the noise criteria applied to accommodation areas on a patrol boat, noise control approaches, treatments and achieved levels.

Key words: noise, structure-born noise, vibration noise, sound isolation, vibration, flexural waves, shipboard noise (control), elastic mounting.

Uvod

U mašinskim prostorima broda nalazi se veći broj motora i uređaja čiji nivo buke prelazi 100 dBA, tako da se ukupni nivo buke kreće između 110 i 115 dBA. Inače, u svetskim okvirima dozvoljeni nivo buke u brodskim prostorijama (koje su nekada udaljene samo 5 do 6 metara od mašinskog prostora) iznosi za veće brodove do 60 dBA i do 45 dBA za putničke brodove. U poslednje vreme vrlo su zaoštreni kriterijumi dozvoljenog nivoa buke na brodovima. To se posebno odnosi na ruske propise, prema kojima su brodovi razvrstani u četiri kategorije [12]. Za najnižu, 4. kategoriju brodova, dozvoljeni ukupni

nivo buke za kabine iznosi 60 dBA, a u kabinama i bolničkim prostorima brodova 1. kategorije dozvoljeno je samo 45 dBA. To predstavlja bitan zaokret u tretmanu buke na brodovima u odnosu na kriterijume i preporuke koje su doskora bile na snazi.

Brodaska konstrukcija se sastoji od čeličnih limova, pregrada koje mogu biti i od stakloplastike, profila i okvira koji su veoma dobri provodnici zvučnih vibracija. Pred projektante brodske akustike postavljaju se veoma složeni problemi — kako na veoma malom prostoru, uz malu masu izolacionih materijala, postići visoki stepen redukcije buke. U ratnoj brodogradnji taj problem je još naglašeniji, jer je potrebno *akustičko polje*

*broda*¹ smanjiti na najmanju moguću meru i, na taj način zaštititi brod od *akustičkih morskih mina*.² Rešavanje ovih problema moguće je, prvenstveno, redukcijom buke na samim izvorima, dok akustička obrada prostora i broskog trupa (oplate) ima dodatne efekte u smanjenju buke. Za ova rešenja potrebno je veliko teoretsko znanje iz akustike i praktično iskustvo (veliki broj merenja na već postojećim brodovima i ispitivanja novih vrsta materijala za gradnju broda).

Izvori buke na brodovima

Na brodovima i podmornicama koncentrisane su brojne mašine i uređaji velike snage. Kod gotovo svih fizičko-mehaničkih, aero, hidromehaničkih i elektromagnetskih procesa koji se dešavaju u tim mašinama, kao

— vazduh i vodu. Deo zvuka koji se prenosi kroz vazduh predstavlja nepoželjnu pojavu za čoveka i predstavlja buku.

Glavni izvor zvučnih vibracija su brodske dizel motore. Vibracije mogu biti prouzrokovane neuravnoteženim inercijalnim silama, neuravnoteženim momentima inercijalnih sila, neravnomernim obrtnim momentom, neujednačenošću radnog procesa i vibriranjem sistema i uređaja na motoru. Vibracije glavnih motora prenose se na brodsku strukturu prvenstveno preko postolja motora, koji su po klasičnim metodama kruto montirani pobuđujući, na taj način, vibriranje elemenata brodske konstrukcije.

Mehaničke vibracije elemenata motora pobuđuju akustičke vibracije okolnog vazduha, koje deluju na organe sluha. Dejstvo preterane buke za-

Sl. 1 — Prostiranje zvuka kroz brodsku konstrukciju

nusprodukt nastaju elastične oscilacije, koje se šire u okolinu kao zvuk.

Zvučna energija se od izvora u okolni prostor širi direktno i preko strukture broda kroz dva različita medija

mara organe sluha i izaziva njihovo slabljenje. Pored toga, intenzivna buka smanjuje oštrinu vida i sposobnost raspoznavanja boja, izaziva glavobolju, vrtoglavicu, razdražljivost, uzrok je brzog zamaranja i smanjenja radne sposobnosti [6].

Koristeći činjenicu da karakter i nivo buke i vibracija motora zavise od podešenosti uređaja i istrošenosti tarućih površina, razrađene su meto-

¹ Oblast vodenog prostranstva u kojoj se može registrovati ili izmeriti akustički pritisak koji stvara brod svojim prisustvom.

² Mornaričke mine koje imaju paljbeni uređaj koji radi na principu pasivne detekcije akustičkog polja broda.

de dijagnostike motora, bez njihovog rasklapanja [4].

Izduvni cevovodi motora su, takođe, veliki prenosioci zvučnih vibracija, zbog neujednačenog impulsnog rada motora i prolaza gasova. Zadatak da se ova komponenta strukturne buke redukuje i ne prenosi na brodske prostorije veoma je složen i težak, zbog složenosti dinamičkih odnosa postolja motora i izduvnih cevovoda (čija se dužina kreće od 10 do 30 m) i »valjanja« broda u toku plovidbe. Pored toga, slabljenje strukturnog zvuka u brodskim konstrukcijama je veoma malo, jer je brodska struktura sačinjena od čeličnih profila, nosača i debelih limova [13].

Za redukciju industrijske buke (i buke brodskih glavnih motora i turbina) razvijena je familija prigušivača buke raznih tipova, i to: apsorpcijski, rezonantni, reaktivno-rezonantni, reaktivno-apsorpcijski i rezonantno-apsorpcijski. Redukcija buke ovim prigušivačima kreće se u rasponu od 18 do 45 dB, a primenjuju se za redukciju buke kod: usisa klipnih i centrifugalnih kompresora, izduvnih cevovoda dizel i oto motora, manjih gasnih turbina, usisa i ispusta ventilacionih klima-uređaja. Pored toga, pogodni su za ugrađivanje u cevovode za vazduh, gas i ventilacione kanale.

Mere za smanjenje buke na izvorima

U brodogradnji je posvećivana velika pažnja problemu redukcije strukturne buke. Smanjenje vibracione buke postiže se njenim anuliranjem na mestu nastanka, što se obezbeđuje uvođenjem zvučne izolacije i postavljanjem amortizera na sredstva i uređaje koji predstavljaju osnovne izvore, tj. nizom mera konstruktivnog, eksploatacionog i tehnološkog karaktera. Konstruktivne mere smanjenja vibracione buke su: smanjenje veličine vibracionih sila konstrukcijom i u-

gradnjom mehanizama za smanjenje vibracija, odstranjenje rezonantnih frekvencija sopstvenih vibracija delova mehanizama, izmena elastičnosti određenih delova (promena debljine određenih delova, postavljanje ojačavajućih rebara, gradnja dvotrupnih brodova sa jačom brodskom oplatom, itd.), primena vibroizolacionih materijala u konstrukciji mehanizama, i sl. U tehnološke mere smanjenja vibracione buke spada bolje balansiranje, tačnija izrada i montaža mehanizama [13].

Ukoliko su motori kruto oslonjeni, nikakve metode akustičke obrade prostorija i trupa broda ne mogu dati značajnije rezultate. Razlozi neefikasnosti su u tome što su plivajući podovi, plivajuće obloge i apsorpcioni materijali najnedelotvorniji na niskim frekvencijama od 63 do 125 Hz, a to su upravo područja u kojima dominiraju osnovne frekvencije motora i nekoliko njihovih prvih harmonika i poluharmonika. Da bi se ovaj problem mogao uspešno rešiti neophodno je primeniti postavljanje dizel motora na elastična postolja.

Elastično postavljanje motora najefikasnije je izvesti tako da se antivibracioni elementi postave ispod osnove motora, pod uglom od 45°. Ovakvim načinom elastičnog postavljanja dolazi do uklinjenja motora i osiguranja od eventualnih pomaka usled »valjanja broda«, pri čemu brod ima šest stepeni slobode kretanja.

Jedno od rešenja zaštite od vibracije, udara i buke je ugradnja zavojnih amortizera od čeličnih užadi. Ovi amortizeri poseduju jedinstvene osobine u sistemu aktivne i pasivne zaštite od istovremenog dejstva vibracija, potresa, udara i strukturne buke. Visoko unutrašnje prigušenje, usled trenja tankih čeličnih žica u užetu, omogućuje apsorpciju i znatno ujednačenje rasipanje energije po celom području deformacije, bez obzira na to koliko brzo deluje opterećenje, bilo da se radi o niskofrekventnim ili viso-

kofrekventnim vibracijama, a velika deformacija pri dinamičkom opterećenju ublažava teške udare. Kako se amplituda pobude povećava, zavojni amortizer postaje progresivno elastičniji udaljavajući rezonantnu od pobudne frekvencije, što poboljšava ukupni efekat stepena izolacije.

Izbor i raspored antivibracionih elemenata određuje se računski na osnovu: vlastite frekvencije motora i brodske strukture, mase, rasporeda težišta i neuravnoteženih masa motora i stepena redukcije antivibracionih elemenata [14].

Elastični elementi treba da zadovolje mehaničke uslove, kao što su: duži vek trajanja, otpornost na ulja, naftu, morsku vodu i temperaturu do 80°C . Smanjenje vibracionog šuma, koji stvaraju glavni i pomoćni motori na brodu, postiže se njihovim postavljanjem na specijalne amortizere u verzijama *jednoelastičnih i dvoelastičnih*³ (slika 2). Na taj način smanjuju se vibracije koje se prenose sa motora i mehanizama preko fundamenta (strukture broda — strukturna buka) na oplatu broda i dalje u vodu. Osim toga, amortizeri štite motore i mehanizme od naglih udara i potresa koji nastaju u procesu eksploatacije broda. Na slici 3 prikazani su efekti ugrađivanja jednoelastične verzije amortizera i dvoelastične verzije amortizera, radi smanjenja zvučnog pritiska na celom frekventnom području. Praktična merenja pokazuju veoma dobre rezultate koji se, u proseku, kreću oko 20 dBA u celom frekventnom području.

Amortizeri i zvučna izolacija ne neutrališu u potpunosti vibracionu komponentu akustičkog polja broda, jer se deo energije predaje preko amortizera na telo broda, i preko njega u vodu. Smanjenje veličine vibra-

cije fundamenta i tela broda postiže se vibroapsorpcionim sredstvima [11, 9], u koja spadaju različiti materijali od kojih se izrađuje brodska oplata. Tako, na primer, oplata od dr-

Sl. 2 — Jednoelastično i dvoelastično postavljanje motora

Sl. 3 — Spektri buke za male i velike brzine kao i za jednoelastično i dvoelastično postavljanje motora

³ Jednoelastično postavljanje motora izvedeno je sa jednim slojem antivibracionog materijala ili nosača, dok je dvoelastično postavljanje motora izvedeno sa dva sloja ili dva nivoa antivibracionih nosača.

veta i stakloplastike obezbeđuje znatno bolju apsorpciju zvuka. Sendvič-višeslojni sistemi gradnje brodske oplata, kako kod stakloplastičnih, tako

Sl. 4 — Sendvič konstrukcija zidova za smanjenje strukturne buke u kabinama

Sl. 5 — Elastično montirani plivajući podovi u kabinama

i kod železnih brodova, takođe znatno utiču na smanjenje intenziteta vibracija i smanjenje strukturne buke. Primer takvog rešenja prikazan je na slici 4. Iskustva sa plivajućim podovima prenesena su na brodogradnju, a jedno od rešenja elastične montaže ovih podova prikazano je na slici 5.

Posebna pažnja posvećuje se redukciji veoma važne komponente *strukturne buke*⁴ motora, koja nastaje

zbog neujednačenog impulsnog sistema rada motora i neujednačenog toka gasova koji se šire izduvnim cevovodima. Izduvni cevovodi prolaze kroz grotno mašinskog prostora u neposrednoj blizini kabina, i drugih »osetljivih« brodskih prostorija, tako da je njihov akustički uticaj znatno veći od uticaja postavljanja motora. Temperatura izduvnih gasova u cevovodima kreće se između 300 i 400°C, pa različiti elementi moraju biti, pored ostalih navedenih karakteristika, i otporni na visoke temperature (nezapaljivi). Izbor elastičnih elemenata, tip, broj, »radno opterećenje« i karakteristika priгуšenja vrši se, takođe, proračunskim putem.

Redukcija strukturne buke propelera ne zavisi od prenošene snage, već od brzine propelera i zazora u njegovim ležajevima. Te razlike mogu se kretati i preko 10 dB. Redukcija zvučnih vibracija krmene strukture može se postići povećanjem mase oplata iznad propelera i nanošenjem zaštitnog sloja na unutrašnju stranu oplata u površini 1,5 do 2,0 prečnika propelera. Ta masa može biti od asfalta, betona ili elastičnih veštačkih masa. Masom koja je 4 do 5 puta veća od mase oplata može se postići redukcija buke za 3 do 6 dB.

Druga metoda za redukciju strukturne buke propelera sastoji se u izradi šahtova ili bunara iznad propelera. U ove šahtove mogu se ugraditi gume, dijafragme ili odušnici koji ublažavaju hidraulične sile usled rada propelera [11]. Na ovaj način nivo buke može se smanjiti za 6 do 8 dB.

Brodske stambene prostorije najčešće su udaljene od krme. Vlastite frekvencije propelera i tih prostorija u praksi se ne podudaraju, tako da se ove metode redukcije strukturne buke veoma retko primenjuju.

Najefikasniji način redukcije strukturne buke kompresora, pumpi (posebno balastnih), ventilatora, klima-

⁴ Strukturna buka je ona koja nastaje u brodskoj konstrukciji i kroz nju se prostire.

centrala i drugih uređaja postiže se korišćenjem antivibracionih materijala.

Najbolji rezultati postižu se primenom antivibracionih tepiha ispod osnove motora i antivibracionih elastičnih spojnika na cevovodima pumpi, kompresora, i sl. Antivibraciono postavljanje ovih uređaja preporučuje se jer ne zahteva visoke troškove ugradnje, a postignuti efekti su značajni i izražavaju se u:

— sprečavanju prenosa strukturnih vibracija i izbegavanju mogućnosti pojave rezonancije u nekoj pregradi ili palubi prostorija broda;

— smanjenju dodatnog opterećenja brodske konstrukcije i pojave pucaanja varova zbog opterećenja mašina i temperaturnih razlika;

— mirnom radu mašina i produženju veka trajanja za 25 do 35%, što je potvrđeno u praksi za vreme redovnog održavanja broda.

Zvučna izolacija brodskih pregrada

Akustičke karakteristike brodskih pregrada definisane su koeficijentom apsorpcije zvuka i koeficijentom propustljivosti zvuka.

Energija zvuka koji udara u brodsku pregradu delom se upija u nju, a delom izlazi iz pregrade u prostor iza nje, što znači da je faktor zvučne izolacije manji od faktora zvučne apsorpcije pregrade. On se definiše odnosom intenziteta zvuka neposredno iza i ispred pregrade:

$$\tau = \frac{I_2}{I_1} \quad (1)$$

Recipročna vrednost ove veličine u logaritamskom odnosu naziva se izolaciona moć R:

$$R = 10 \log \frac{1}{\tau} \quad (2)$$

Za pregradu od dva panela važi da je

$$\frac{1}{\tau} = \left(\frac{p_1}{p_2} \right)^2 \quad (3)$$

gde su p_1 i p_2 akustički pritisci ispred i iza pregrada.

Kod takvih panela obe strane se kreću zajedno, pri čemu je V_1 brzina površine prema izvoru buke, a V_2 brzina na drugoj strani, pa je $V_1 = V_2 = \omega$. Ovaj uslov je, najčešće, ispunjen kod pregrada od istog materijala i debljine panela koja je manja od $1/6$ talasne dužine fleksionog talasa u panelu [3, 6, 7].

U čvrstim materijalima javljaju se longitudinalni talasi, čiji je pravac oscilovanja čestica isti kao i pravac širenja. Ravni normalne na pravac širenja pomeraju se tako da se menja i njihova relativna udaljenost.

Srednji modul elastičnosti je po definiciji:

$$E_z = \frac{E}{1 - \mu^2} \quad (4)$$

gde je:

μ — Poasonov broj;

E — modul elastičnosti.

Za brzinu longitudinalnih talasa u štapu važi jednačina:

$$c_1 = \sqrt{\frac{E_z}{\rho}} \quad (5)$$

Uvođenjem izraza (4) u (5) dobija se brzina longitudinalnih talasa u ploči:

$$c_1 = \sqrt{\frac{E}{\rho(1 - \mu^2)}} \quad (6)$$

Za širenje talasa u pregradi debljine h talasni broj k određen je odnosom kružne frekvencije ω i brzine

širenja talasa, odnosno brzine fleksionih talasa, koja se označava kao c_0 :

$$k = \frac{\omega}{c_0} \quad (7)$$

Brzina fleksionih talasa može se izraziti kao:

$$c_0 = \sqrt{\omega} \sqrt{\frac{(hc_1)^2}{12}} = \sqrt{1,8 f h c_1} \quad (8)$$

Iz formule (8) vidi se da je brzina fleksionih talasa proporcionalna drugom korenu frekvencije f . Fleksioni talasi viših frekvencija širiće se brže od talasa nižih frekvencija. Kao posledica toga menjaće se i određeni oblik prolazećeg talasa, koji se javlja u smislu Furijeove sinteze usled superpozicija talasa raznih frekvencija. Kod svake ploče konačnih dimenzija, od kojih se praktično sastoji brodska konstrukcija, postoji veliki broj frekvencija (kao posledica longitudinalnih i fleksionih talasa) kod kojih često dolazi do pojave rezonancije. Za svaku rezonantnu frekvenciju raspored maksimalnog otklona je drugačiji. Ova oscilujuća područja emituju zvučne talase, a intenzitet emisije zavisi od pobudne snage. Ovi nivoi buke često mogu biti znatno jači od intenziteta pobuda, pa je u brodskim konstrukcijama potrebno, pre svega, redukovati zvučne vibracije na samim izvorima i sprečiti njihov prenos sa brodske strukture na oblogu kabine.

Programi smanjenja buke na ratnim brodovima

Programi smanjenja buke na ratnim brodovima morali su da pođu od akustičke stvarnosti, a to je da buku treba svesti na nivo ispod 90 dBA u prostorima za odmor. Pored toga, programi su morali obuhvatiti i sva ograničenja vezana za masu upotrebljenih materijala, ograničeni prostor i cenu.

Nivo buke od 90 dBA direktno je primenjiv na industrijske radnike koji su 8 sati izloženi visokom nivou buke i 16 sati niskom nivou buke. To nije slučaj sa posadom operativnih ratnih brodova, koji često provode više dana na plovidbi [5].

Nivo buke u kabinama za odmor na brodu tipa 95 WPB iznosi od 76 do 94 dBA u punoj brzini, pri čemu dizel pogon i propeleri predstavljaju dominantni izvor buke. Propeleri indukuju strukturnu buku dominantnu na niskim frekvencijama koja se prenosi po celoj konstrukciji broda.

Pregled izmerenih vrednosti buke u određenim karakterističnim brodskim prostorima (reprezentativnim mestima) za brod tipa 95 WPB prikazan je u tabeli 2, a za sličan brod, ali nešto većih dimenzija, tipa 110 WPB, u tabeli 3.

Spektar buke za krmene kabine za odmor prikazan je na slici 6. Zapis najvišeg nivoa buke nalazi se na frekvencijama od 58 do 63 Hz.

Za apsorpciju niskofrekventne buke u vazduhu, kod ovih brodova, primenjeni su sistemi obloga debljine 5 inča (12,5 cm ploče od stakloplastike)

Sl. 6 — Nivo buke u kabini za odmor na krmu broda 95 WPB

koje su instalirane u mašinskom prostoru po zidovima i po tavanicama. Ap-sorbujući materijal u ovako »akustič-

Tabela 1

Osnovne karakteristike brodova

Tip broda	Dužina (m)	Širina (m)	Gaz (m)	Deplasman (t)	Materijal	Posada (članova)	Brzina (čv)	Pogon (kW)	Broj okretaja motora (o/min)
95 WPB	31,5	6,5	1,5	105	čelik	15	24	1285	1800
110 WPB	36,5	7	3	165	čelik	18	26	3000	1500

Tabela 2

Izmerene vrednosti buke

Centralne frekvencije oktava (Hz)									
31,5	63	125	250	500	1000	2000	4000	8000	Ukupna buka
Remontovani brodovi bez tretmana za smanjenje buke									
Krmena kabina za posadu									dBA
91	103	95	88	86	90	79	77	77	93
Pramčana kabina za posadu									
83	88	82	77	72	72	67	57	49	76
Most									
94	93	80	100	73	71	70	62	57	90
Mašinski prostor									
88	101	101	106	110	110	106	100	98	112
Remontovani brodovi sa tretmanom za smanjenje buke									
Krmena kabina za posadu									dBA
96	95	90	80	74	69	65	64	63	79
Pramčana kabina za posadu									
85	87	75	74	70	67	63	59	55	72
Most									
95	83	75	75	72	62	58	56	57	72

Brod 95 WPB — nivo buke na reprezentativnim mestima.

Maksimum nivoa zvučnog pritiska, L_p dB re 20 μ Pa.

U uslovima punog opterećenja (maksimalna brzina vožnje).

ki teškom« prostoru je u stanju da redukuje, preko vremena reverberacije, nivo buke na niskim frekvencijama oko 3 dB i na višim frekvencijama oko 7 dB. Ovakav način izolacije prostorija nije efikasan u zonama bliskim izvorima ili buci koju stvaraju mašine, pa se ne primenjuje često.

Za smanjenje buke u kabinama i drugim prostorima koriste se obloge koje redukuju značenje sa njihovih površina. Najčešće se pribegava sendvič-kompozitnom tretmanu prostorija, koji se sastoji od ploča stakloplastike punjenih vinilom. Ovaj sistem je primenjen i u kabinama za odmor, a obezbeđuje redukciju buke za 5 do 12 dB, u zavisnosti od karakteristika prostora i okoline. Na sličan način tretiraju se i poprečne pregrade broda, kao i palubne površine. Tretman smanje-

nja buke obezbeđuje redukciju buke za 16 dB na frekvencijama iznad 250 Hz. Rezultati pokazuju da je buka smanjena za 10 do 20 dB u zavisnosti od frekvencije. Rezultujući nivo buke u operativnim prostorijama i kabinama za odmor sveden je na nivo od 71 do 79 dB.

Jedan od najuspešnijih sistema za smanjenje buke, u kabinama za odmor i operativnim prostorijama, jeste instalacija »plivajućih soba«, koja je u stanju da sa istom efikasnošću smanjuje i strukturnu buku i buku koja se prenosi vazduhom. Primer »plivajućih soba« prikazan je na slici 7.

Paluba i obloge kabina sastavljene su antivibracionom montažom sa osnovnom nosećom konstrukcijom broda. Plafoni su, takođe, elastično

Tabela 3

Izmerene vrednosti buke

Centralne frekvencije oktava (Hz)										
	31,5	63	125	250	500	1000	2000	4000	8000	Ukupna buka
110 matični brod										
Krmena kabina za posadu										(dBA)
	105	106	98	92	88	87	79	74	65	92
110 WPB										
Krmena kabina za posadu										
	85	93	93	89	83	75	71	68	61	86
Pramčana kabina za posadu										
	85	87	81	76	69	63	63	55	47	73
Most										
	79	86	78	68	63	57	50	46	42	68
Skladište										
	89	87	83	80	76	70	66	62	57	78
Mašinski prostor	—	—	—	—	—	—	—	—	—	119

Brod 110 WPB — nivo buke na reprezentativnim mestima.

Maksimum nivoa zvučnog pritiska, L_p dB re 20 μ Pa.

U uslovima punog opterećenja (maksimalna brzina vožnje).

montirani ili se sastoje od visokoap-sorbujućih materijala. Na slici 7 vidi se da su za pregrade korišćeni laki sa-

Sl. 7 — Plivajuća kabina na brodu — pogled na sekcije

časti paneli od aluminijuma, koji po svojim izolacionim svojstvima nisu tako dobri kao krute ploče, ali je to us-tupak koji je vezan za ograničenje ma-se broda. Instalacioni detalji su speci-fični (izolacioni blokovi, neoprenski blokovi, neoprenski linijski kanali, alu-minijumski sačasti paneli, aluminijum-ski »Z« barovi i aluminijumski nosači)

i sjedinjeni u brodogradilištu. Konkretna rešenja realizuju se u konstrukcio-nim biroima brodogradilišta, uz oba-vezno konsultativno učešće akustičara.

Zaključak

Uzimajući u obzir teoretske postu-pke, razvijene metode redukcije zvuč-nih vibracija i praktična merenja na novim brodovima, može se zaključiti da sistemi dizel motora i izduvnih ce-vovoda, ukoliko se elastično ugrade na brodsku konstrukciju, neće prouz-rokovati prekomerne nivoe buke u prostorima brodske posade. Adekvat-no smanjenje strukturne buke lakše je kod visokih nego kod niskih frekven-cija, zbog toga što se sporohodne ma-šine mogu montirati jedino kao jedno-elastične, dok brzohodne dozvoljavaju, bez teškoća, upotrebu dvoelastične montaže, a samim tim i znatno veće izolacione vrednosti.

Borba protiv buke, posebno na ra-tnim brodovima, ima veliki značaj, jer se sa smanjenjem buke smanjuje i a-kustičko polje broda, a na taj način brod postaje manje primetljiv kao cilj za pasivne hidroakustičke detekcione sisteme. S obzirom na to da akustič-ke morske mine rade sa pasivnim hi-droakustičkim sistemima za detekciju broda, smanjenjem njegovog akustič-kog polja (tj. smanjenjem buke na bro-du) smanjuje se i mogućnost otkriva-nja, odnosno uništenja.

Literatura:

- [1] Purchase, M.: Effective signature control; Naval Forces, No 4, 1989.
- [2] Geicke, K.: Acoustic Planning in Naval Shipbuilding, HDW Naval Division, 1/1990.
- [3] Bošnjaković, R.: Praktične metode spriječavanja prenosa zvučnih vibracija sa brodske strukture na oblogu kabina, Elektrotehnika 40, br. 3—4, 1991.
- [4] Živković, C. M.: Motori sa unutrašnjim sago-revanjem I deo, Mašinski fakultet, Beograd, 1985.
- [5] Fischer, R.: Patrol boat habitability noise control, Naval Engineers Journal, may, 1988.
- [6] Simonović, M., Kalić, D., Pravica, P.: Buka, Institut zaštite na radu Edvard Kardelj, Niš, 1982.

- [7] Kurtović, Š. H.: Osnovi tehničke akustike, Naučna knjiga, Beograd, 1982.
- [8] Izveštaj Brodarskog instituta Zagreb, Ispiti-vanje vibracija, buke i podvodnog šuma na podmornicama, Zagreb, 1968.
- [9] Vraneš, B.: Akustičko polje broda, Mornarič-ki školski centar, Split, 1973.
- [10] Hrnjez, Z.: Akustičko polje broda, ETRAN 97, Zlatibor, 1997.
- [11] Juras, K.: Utjecaj nekih specifičnih mjera na smanjenje buke na brodovima, Brodogradnja, 36 (1988) 5—6.
- [12] Sanitarna pravila za pomorske brodove SSSR, Moskva, 1984.
- [13] Zainčenko, V. I., Zaharov, V. K.: Sniženie šu-ma na sudah, Sudostroenie, Leningrad, 1968.
- [14] Zavojni amortizeri od čeličnih užadi, Novka-bel — Novi Sad i Ivo Lola Ribar — Beograd, 1996.