

Brza plovilica (II deo*)

* U ovom delu rada „Brza plovilica“ su delovi koji su izostavljeni u I delu: „Poseban osvrt na pitanje otpora valova“, „Neka poređenja BRZE PLOVILICE sa drugim plovilima“ i „Još jedna konstrukcijska izvedba BRZE PLOVILICE“.

POSEBAN OSVRT NA PITANJE OTPORA VALOVA

Otpor oblika se, kako je poznato, sastoji od više komponenti, a otpor valova je jedna od tih komponenti. U kretanju ove plovilice otpor oblika je otpor $G'\sin\alpha$; pa je, znači, za ovu plovilicu otpor valova samo deo otpora $G'\sin\alpha$; tj. otpor valova je u ovom slučaju deo jedne relativno male veličine koja se u području većih brzina, kako je to ranije pokazano, sa povećavanjem brzine sve više smanjuje. I upravo time što uzgonsko propulzor-aerotelo kao trup plovilice predstavlja takvo rešenje da se kretanje plovilice ostvaruje sa takvim međudelovanjem između trupa plovilice i vode da je otpor oblika relativno mala veličina koja se, pri većim brzinama plovidbe, sa povećavanjem brzine još i smanjuje, - time je, u stvari, rešen problem otpora valova (tj. time je postignuto to da otpor valova ne predstavlja nikakvu nesavladivu barijeru). A svrha ovog posebnog osvrta je u tome da se ta činjenica, činjenica da je otpor valova samo jedan deo male veličine $G'\sin\alpha$, malo bolje objasni.

Razmatranje ovog pitanja ograničavamo ovde samo na onaj režim plovidbe u kome se ne vrši nikakvo (tj. ni propulziona ni kočćeće) tangencijalno dejstvo propulzor-oplate na vodu, na režim u kome je $v'' = v$.

Zadržimo se najpre na nekim bitnim karakteristikama fizičkih uslova za stvaranje valova.

Fizički uslovi za stvaranje valova postoje onda kada plovilica svojim trupom vrši dinamički pritisak na vodu. Prema tome, fizički uslovi za stvaranje valova postoje tada kada je brzina plovilice manja od one brzine za koju je $U' = G$ i $\alpha = 0$. Tada se plovilica po vodi kreće tako da joj je jedan deo trupa uronjen u vodu, a propulzor-oplata vrši tada na vodenu kosinu pritisak $(G'\cos\alpha - U')/LB$. Pod dejstvom sile $G'\cos\alpha - U'$ vrši se složeni proces smicanja vodene mase sa prostorne putanje uronjenog dela trupa plovilice.

U vezi sa fizičkim uslovima za stvaranje valova treba odmah naglasiti da je od posebnog značaja činjenica da se smicanje vodene mase sa prostorne putanje uronjenog dela trupa plovilice ne vrši pod dejstvom sile koju daju propulzori plovilice, nego pod dejstvom sile $G'\cos\alpha - U'$.

Smicanje vodene mase sa prostorne putanje uronjenog dela trupa plovilice vrši se, pored ostalog, i u smeru napred nagore. Usled toga na vodi se stvara ispučenje (breg vodenog vala). Iako težina vodene mase dejstvuje protiv takvog smicanja kojim se na vodi pravi ispučenje, ipak je, s obzirom na nestišljivost vode (a stišljivost vazduha) i inercijalnost njene mase, i takvo smicanje sasvim logično.

Prednji deo ravnog dela propulzor-oplate je na vodenom ispučenju. Nekliznim prostiranjem propulzor-oplate i dejstvom avionskih propulzora i kormila plovilice održava se takav prostorni položaj plovilice da je prednji zakrivljeni deo propulzor-oplate neokvašen (onako kako je to navedeno u osnovnoj postavci o prostornom položaju uzgonskog propulzor-aerotela u toku kretanja po vodi). Ali, zbog vodenog

ispupčenja cela polovica je na nešto većoj visini od one na kojoj bi bila da vodenog ispupčenja nema. U vezi sa ovim bitno je sledeće pitanje: Za koliko je, pri određenoj brzini v , uvećan otpor $G'\sin\alpha$ time što je prednji kraj trupa na vodenom ispupčenju? Drugim rečima: kako i koliko postojanje vodenog ispupčenja utiče na veličine kojima je određen otpor $G'\sin\alpha$, tj. koliko i kako utiču na veličinu G' i veličinu ugla α ?

Za dobijanje odgovora na gornja pitanja biće nam od koristi, pored ostalog, i jednačina

$$\frac{1}{2}CLB\rho v^2 \operatorname{tg}^2 \alpha = G' - U' \quad (6)$$

koja se, kako se vidi, dobija iz izraza (3) i (4), ali uz uprošćavanje koje se sastoji u tome da se umesto $G'\cos\alpha$ u jednačinu stavlja G' . Ovakvo uprošćavanje smo smeli izvršiti: prvo, jer je uprošćavanje takvo da ovako dobijena jednačina (6) takođe dosta dobro predstavlja fizičke uslove u kojima se kretanje plovilice vrši (tj. jer je uprošćenje neznatno i njime se ništa bitno ne menja), i drugo, jer bi fizički uslovi koji bi potpuno odgovarali jednačini (6) bili nešto nepovoljniji od stvarnih fizičkih uslova.

Pretpostavimo sad da, uz odgovarajuća dejstva kormila i propulzora, održavamo takav režim plovidbe u kome su brzina v i uzgon U' konstantne veličine, a da se mogu menjati veličina G' i ugao α . Tada, polazeći od jednačine (6), za vezu između promene ugla α u zavisnosti od promene veličine G' dobijamo izraz

$$CLB\rho v^2 \frac{\operatorname{tg}\alpha}{\cos^2 \alpha} \Delta\alpha \approx \Delta G'$$

a odavde:

$$\Delta\alpha \approx \frac{\Delta G' \cos^2 \alpha}{CLB\rho v^2 \operatorname{tg}\alpha} \quad (7)$$

Težinu plovilice možemo iskazati kao težinu ekvivalentnog pravouglog paralelopipeda $L \times B \times h$ čija je gustoća jednaka gustoći vode (visina h je, dakle, tolika da je težina plovilice jednaka težini paralelopipeda). Znači,

$$G = LBh\rho g \quad (g - \text{gravitaciono ubrzanje}). \quad (8)$$

Hidrostatski potisak P_i koji bi na plovilicu delovao u jednoj idealiziranoj situaciji, tj. u situaciji u kojoj dinamički pritisak $(G'\cos\alpha_i - U')/LB$ ne bi uzrokovao stvaranje vodenog ispupčenja, možemo predstaviti izrazom

$$P_i = \frac{1}{2}L^2 B\rho \cdot \operatorname{tg}\alpha_i \quad (9)$$

(uz oznake za veličine idealizirane situacije stavljamo indeks i). Ovde smo za računanje, umesto zapremine uronjenog dela trupa plovilice, uzeli zapreminu ekvivalentne trostrane prizme. Baza te prizme je pravougli trougao. Jedna kateta tog trougla ima dužinu L , ta kateta sa hipotenuzom zaklapa ugao α_i , druga kateta ima, dakle, dužinu $L\operatorname{tg}\alpha_i$ (površina tog pravouglog trougla jednaka je površini okvašenog

dela bočne strane trupa).

S obzirom na to da je plovilica zbog vodenog ispušćenja na nešto većoj visini od one na kojoj bi bila u idealiziranoj situaciji, to je stvarni hidrostatički potisak nešto manji od veličine P_i . U stvari, stvarni hidrostatički potisak možemo predstaviti sledećim izrazom:

$$P = kP_i = \frac{1}{2}kL^2B\rho g \cdot \operatorname{tg}\alpha_i, \quad \frac{1}{2} < k < 1 \quad (10)$$

pri čemu, u određivanju granica brojnog intervala unutar koga je sigurno brojna vrednost faktora k , polazimo od toga da faktor k ne može biti veći od 1 i da bi bilo nelogično da bude manji od 1/2.

Pošto je težina plovilice konstantna veličina, to se veličina G' ($G' = G - P$) menja, u stvari, za onoliko za koliko se menja veličina P . Prema tome,

$$\Delta G' = G' - G'_i = P_i - P = \frac{1-k}{2}L^2B\rho g \cdot \operatorname{tg}\alpha_i \quad (11)$$

A iz izraza (7) i (11) dobijamo na kraju izraz:

$$\Delta\alpha \approx \frac{(1-k)Lg \cdot \cos^2\alpha_i}{2Cv^2} \quad (12)$$

Dakle, zbog stvaranja vodenog ispušćenja uvećana su oba faktora otpora $G'\sin\alpha$; uvećanje faktora G' predstavljeno je izrazom (11), a uvećanje ugla α izrazom (12). Prema tome, otpor vodenog ispušćenja (R_v) možemo predstaviti izrazom:

$$R_v = (G'_i + \Delta G') \sin(\alpha_i + \Delta\alpha) - G'_i \sin\alpha_i \quad (13)$$

Za velike brzine je $\Delta\alpha$ zanemarljivo mala veličina, pa stoga imamo da je $\sin(\alpha_i + \Delta\alpha) \approx \sin\alpha_i$ (tj. $\alpha_i \approx \alpha$), te za velike brzine otpor R_v možemo predstaviti izrazom

$$R_v = \frac{1-k}{2}L^2B\rho g \cdot \operatorname{tg}\alpha \cdot \sin\alpha \quad (14)$$

Pošto je, dalje, za velike brzine $\operatorname{tg}\alpha \cdot \sin\alpha \approx \operatorname{tg}^2\alpha$, to na osnovu ove činjenice, izraza (5) i izraza (14) dobijamo:

$$R_v = \frac{(1-k)Lg}{Cv^2} (G' \cos\alpha - U') \quad (15)$$

A izraz (15) nam, kako se vidi, pokazuje u kakvoj je zavisnosti veličina otpora vodenog ispušćenja od sile $G' \cos\alpha - U'$ čijim dejstvom se vodeno ispušćenje stvara.

Na kraju, za velike brzine možemo izraz za otpor oblika pisati i u sledećoj formi:

$$G' \sin \alpha = LB \left(h - \frac{1}{2} Ltg \alpha + \frac{1-k}{2} Ltg \alpha \right) \sin \alpha \quad (16)$$

gde je trećim članom u zagradi iskazano: koji je deo od ukupnog otpora oblika uzrokovan stvaranjem vodenog lispupčanja.

Umesto naziva »otpor valova«, za odgovarajući otpor kod brze plovilice koristimo naziv »otpor vodenog ispupčenja«. Na taj način je i formalno istaknuta činjenica da kod brze plovilice intenzitet tog otpora zavisi od brzine bitno drukčije nego kod klasičnih plovila.

NEKA POREĐENJA BRZE PLOVILICE SA DRUGIM PLOVILIMA

U kretanju brze plovilice: sa povećanjem brzine dubina gaza se smanjuje a da se ne pogoršava stabilnost plovilice; za stabilnost plovilice je inercijalnost vodene mase pozitivan činilac, a ne predstavlja štetan činilac po pitanju postizanja velike brzine (hidrodinamičko dejstvo na propulzor-oplatu je za stabilnost plovilice pozitivan činilac); smicanje vodene mase sa prostorne putanje uronjenog dela trupa vrši se pod dejstvom jedne komponente težine (i to umanjene za veličinu aerodinamičkog uzgona), a ne pod dejstvom propulzionih sila, tj. snaga propulzora se ne troši na smicanje vodene mase sa prostorne putanje trupa. A u kretanju klasičnog broda: sa povećanjem brzine dubina gaza mora ostati nepromenjena jer bi većim smanjivanjem dubine gaza bila narušena stabilnost broda; inercijalnost vodene mase nije pozitivan činilac po pitanju stabilnosti, a predstavlja vrlo štetan činilac po pitanju postizanja velike brzine; zaronjenost (dubina gaza) trupa uslovljena je težinom broda, ali se smicanje vodene mase sa prostorne putanje zaronjenog dela trupa vrši pod dejstvom sile propulzora, tj. snaga propulzora se troši na smicanje vodene mase sa prostorne putanje.

Sledećem poređenju namenjeni su neki detalji sa sl. 1. U trenutku »t« određeni delić propulzor-oplate upravo nailazi na površinu vode (na slici je to označeno tačkom A); u-trenutku »t + Δt« taj delić propulzor-oplate nalazi se pred »uviranjem« u trup (što je označeno tačkom A'). Kretanje uočenog dela propulzor-oplate je pravolinijsko (uz pretpostavku da se u toku »Δt« v" i v ne menjaju) te je predstavljeno vektorom $\overline{AA'}$. Kretanja ostalih delića propulzor-oplate su paralelna vektoru $\overline{AA'}$; vektor $\overline{AA'}$ predstavlja, u stvari, kretanje propulzor-oplate, a ne samo kretanje nekog njenog dela. Usmerenost vektora $\overline{AA'}$ zavisi od brzina v" i v. Uzimamo u obzir samo slučaj kada je v" > v; tada je vektor $\overline{AA'}$ usmeren nazad nadole.

Prema tome, kada je v" > v, vektor $\overline{AA'}$ zaklapa sa vektorom translacije trupa, sa vektorom \vec{T} , tup ugao.

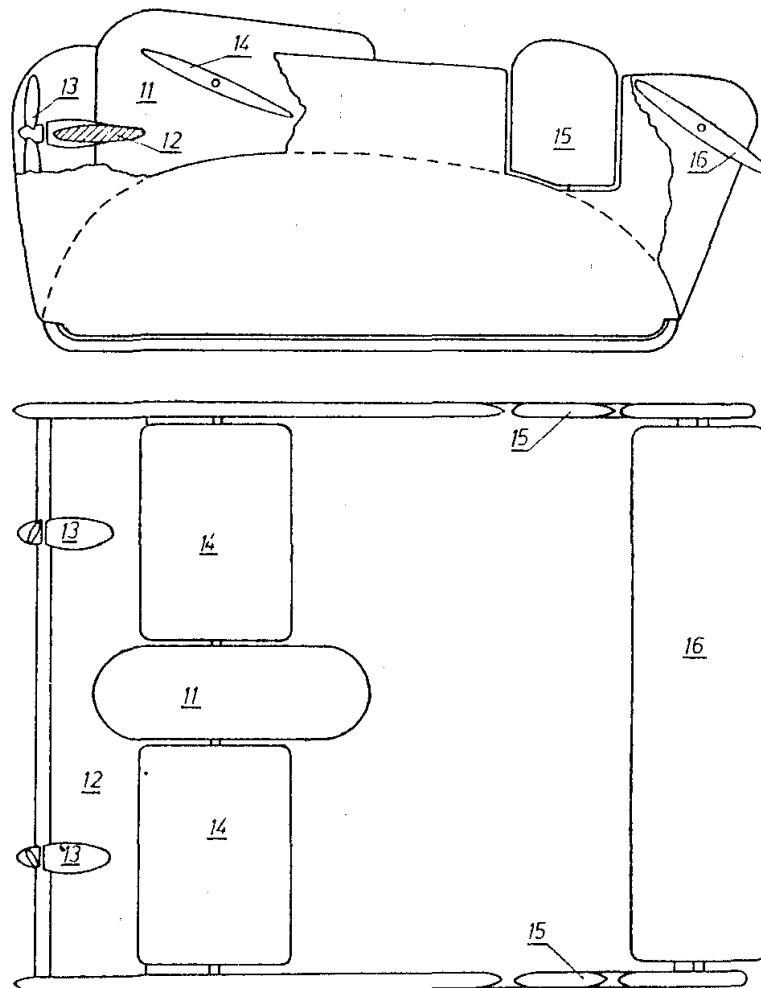
Dakle, kretanje brze plovilice (kada je v" > v) karakteriše, pored ostalog, i činjenica da vektor kretanja propulzor-oplate sa vektorom kretanja trupa zaklapa tup ugao; a u slučaju klasičnog plovila uopšte se ne može govoriti o vektoru kretanja oplata i vektoru kretanja trupa kao o nekakva dva različita vektora.

Kretanje u oblasti srednjih brzina možemo za brzu plovilicu tretirati kao prelazni režim. Uporedimo taj

prelazni režim sa prelaznim režimima lebdilice i hidrokrilca. U sva tri slučaja se u toku prelaznog režima vrši određeno izdizanje trupa plovila. Bitno za prelazni režim brze plovilice je to što se izdizanje plovilice vrši pod uglom α , a taj ugao je sigurno manji od onog koji se dobija po aproksimativnoj formuli (5'). Izdizanju plovilice protivi se samo ona komponenta težine koja je paralelna vodenoj kosini; hidrodinamičko dejstvo na propulzor oplatu je pozitivno, njime se uravnotežuje veća komponenta težine plovilice, a sa druge strane, to hidrodinamičko dejstvo ne predstavlja nikakav otpor za neklizno prostiranje propulzor-oplate kojim se izvršava kretanje plovilice po vodi. Prelazni režim kod hidrokrilca je lošiji jer hidrodinamičko dejstvo na trup nije korisno nego štetno dejstvo A prelazni režim u kretanju lebdilice je takođe lošiji jer se izdizanju lebdilice protivi cela težina plovila. Kako se vidi, prednost brze plovilice u odnosu na hidrokrilce i lebdilice proizilazi upravo iz toga što je inercijalnost vodene mase za kretanje brze plovilice pozitivan činilac.

JOŠ JEDNA KONSTRUKCIJSKA IZVEDBA BRZE PLOVILICE

Na sl. 3 date su, uprošćeno, dve projekcije ove konstrukcijske izvedbe brze plovilice: na slici gore je njen bočni izgled, dok je na slici dole njen izgled odozgo.



Sl. 3

I kod ove izvedbe, naravno, trup plovilice je uzgonsko propulzor-aerotelo. Međutim, ovde su bočne strane trupa produžene nagore, pa gornja oplata uzgonskog propulzor-aerotela (trupa) sa ovim produžecima bočnih strana obrazuje jedan aerodinamički kanal (gornja oplata trupa je dno, a produžeci bočnih strana trupa su bočni zidovi tog aerokanala). Imamo, dakle, aerodinamički kanal na uzgonskom propulzor-

aerotelu.

Prednji deo aerodinamičkog kanala je uzdužnom vertikalnom razdelnicom (11) podeljen na dva dela (sama razdelnica može biti široka, tj. može da bude deo trupa, a može da bude i pločasta). Bočne strane razdelnice su najvećim delom ravne i međusobno paralelne. Delovi koji sačinjavaju gornji stroj plovilice, tj. krilo-nosač (12) sa dva avionska propulzora (13), dva uzgonska kormila (14) (koja su, naravno, ujedno i nagib-kormila), dva vertikalna kormila (15) i elevaciono kormilo (16), ugrađeni su u aerodinamički kanal.

Uzgonska kormila zaklapaju odozgo deo aerodinamičkog kanala neposredno iza krilo-nosača; svako uzgonsko kormilo zaklapa svoj deo aerokanala između razdelnice i bočnog zida kanala. Na taj način su ti delovi aerokanala pretvoreni u aerodinamičke tunele, tj. ispod svakog uzgonskog kormila imamo po jedan aerodinamički tunel. A zbog kormilarske zakretljivosti uzgonskih kormila promenljive su veličine ulaznih i izlaznih otvora tih aerotunela.

Kretanje plovilice u odnosu na vodu je isto kao i kod brze plovilice čija je izvedba data na sl. 2. Međutim, međudelovanje između plovilice i vazduha je nešto drukčije. Gotovo celokupna vazдушna masa sa prostorne putanje plovilice mora u toku kretanja plovilice da protiče kroz aerodinamički kanal: horizontalno razmicanje vazdušne mase sprečavaju bočni zidovi kanala, a izdizanje sprečavaju krilo-nosač i uzgonska kormila. Na taj način je obezbeđena maksimalna efikasnost opstrujavanja kormila; a osim toga, ovakvom konstrukcijskom izvedbom poboljšana su aerodinamička uzgonska svojstva, ali, istina, uz pogoršanje koeficijenta aerodinamičkog otpora.

SAOBRAĆAJ, 1980, br. 1

