

Brza plovilica (I deo*)

OSTOJA BRANKOVIĆ¹, fizičar, Beograd

***U ovoj prezentaciji rada „Brza plovilica“ izostavljeni su delovi pod sledećim podnaslovima: „Poseban osvrt na pitanje otpora valova“, „Neka poređenja BRZE PLOVILICE sa drugim plovilima“ i „Još jedna konstrukcijska izvedba BRZE PLOVILICE“. Ti izostavljeni delovi biće dati kao delovi sadržaja, zajedno sa još nekim sadržajima, pod naslovom „Nova rešenja problema brzine“.**

UVOD

Iako živimo u vreme velikih brzina, ipak su u vodenom saobraćaju brzine još uvek vrlo male. Zbog takozvanog »otpora valova« naročito teško je ostvariva velika brzina plovidbe po površini vode. Tako, na primer, ako bi se klasičnom brodu snaga pogona povećala, recimo, dva do tri puta, njegova bi se brzina povećala samo za 10-20%.

Dosad se smatralo da su za eliminisanje otpora valova najbolja sledeća dva načina: prvi, potpuno izdizanje trupa plovilice iz vode (lebdilice i hidrokrilci), i drugi, zaranjanje plovilice do dubine na kojoj se kretanjem plovilice ne izaziva stvaranje valova (podmornice). Ovde, pak, biće govora o jednom sasvim drukčijem rešenju problema brze plovidbe; biće govora o takvom rešenju po kome se trup plovilice, i pri malim i pri velikim brzinama, nalazi na površini vode (mada se brza plovilica o kojoj će ovde biti govora može, u određenim uslovima, kretati i kao ekranoplan, tj. i iznad površine vode). A osnova tog sasvim drukčijeg rešenja je jedno novo tehničko sredstvo, sredstvo sa takvim tehničkim svojstvima da mu najbolje odgovara naziv »uzgonsko populzor-aerotelo«.

UZGONSKO PROPULZOR-AEROTELO — TEHNIČKA OSNOVA REŠENJA PROBLEMA BRZE PLOVIDBE

Logika (ideja) ovog rešenja problem brze plovidbe po vodi je u sledećem:

Prvo. — Brza plovidba po vodi — to je, u stvari, brzo kretanje kroz fluid. Zato trup plovilice treba da ima oblik aerotela (da bi otpor sredine bio što manji).

Drugo. — Najvažniji je onaj otpor koji kretanju plovilice pruža voda. Taj se otpor, kako je poznato, sastoji

¹ Adresa autora: Ostoja Branković, fizičar, Beograd, Studentska 7/13

Članak primljen 29. 10. 1979. pod.

od otpora trenja i tzv. otpora oblika. Dalje, težina plovilice može biti kompenzirana hidrgstatičkim potiskom (statička nosivost), a može biti kompenzirana i uzgonom (dinamička nosivost). Statička nosivost jednaka je veličini hidrostaličkog potiska, tj. srazmerna je veličini udubljenja koje trup plovilice na vodi pravi. Ali, što je veće to udubljenje, to je veći i otpor oblika. Znači, da bi otpor oblika bio što manji, treba da se sa povećavanjem brzine smanjuje udubljenje koje trup na vodi pravi; tj. sa povećavanjem brzine treba nosivost plovilice da bude sve manje statička a sve više dinamička, tj. uzgonska. Dakle, trup plovilice treba da bude uzgonsko aerotelo.

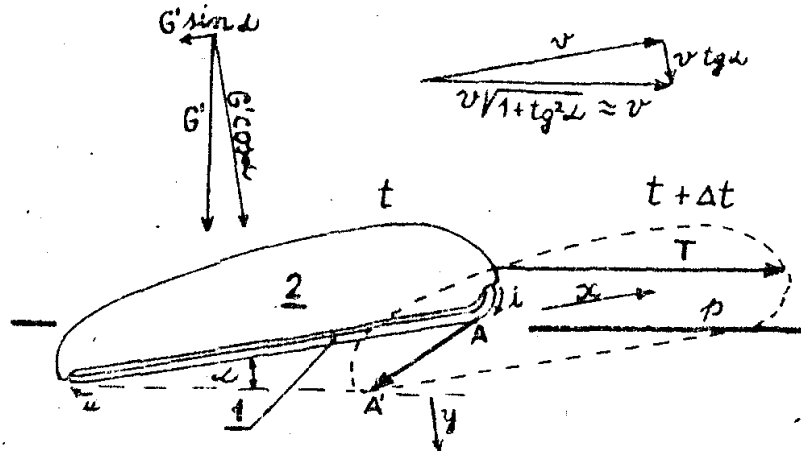
Treće. — Donja oplata trupa plovilice (uzgorskog aerotela) je oplata na kojoj se vrši uzgonsko delovanje vode. A da se na donjoj oplati, pored uzgorskog delovanja vode, ne bi vršilo kočeće trenje, donja oplata treba da bude ujedno i propulzor (oplata koja je ujedno i propulzor ovde nazivamo »propulzor-oplata«, a aerotelo koje ima i takvu oplatu nazivamo »propulzor-aerotelo«).

Četvrto. — Donja oplata trupa, kako je napred rečeno, treba da bude propulzor-oplata. A da bi otpor oblika bio što manji, uzgonsko delovanje vode na propulzor-oplatu treba da bude što veće. Znači, potrebno je da se sa povećavanjem brzine plovidbe i odgovarajućim smanjivanjem veličine udubljenja koje aerotelo (trup) na vodi pravi ne smanjuje i veličina površine okvašenog dela propulzor-oplate, jer bi se sa smanjivanjem površine okvašenog dela propulzor-oplate pogoršavali uslovi za uzgonsko delovanje vode na tu oplatu. Za zadovoljavanje ovog uslo-va za što veće uzgonsko delovanje vode na propulzor-oplatu potrebno je da propulzor-oplata bude ravna (zapravo, dovoljno je da propulzor-oplata bude skoro cela ravna, jer je neizvodljivo da bude baš cela ravna). Naime, samo ukoliko je propulzor-oplata ravna, može se postići to da se smanjivanjem udubljenja koje aerotelo (trup) na vodi pravi ne smanjuje i veličina površine okvašenog dela propulzor-oplate.

I peto. — Da bi otpor na bočnim oplatama aero-tela (trupa) bio što manji, bočne oplata treba da se protežu u pravcu kretanja aerotela, tj. bočne oplata uzgorskog propulzor-aerotela treba da budu ravne i međusobno paralelne.

Aerotelo sa napred navedenim svojstvima, tj. uzgonsko propulzor-aerotelo, prikazano je ovde na sl. 1.

Na toj slici uprošćeno je prikazan bočni izgled aerotela, i to u kretanju po vodi (površina vode predstavljena je linijom p): slika data punom linijom predstavlja aerotelo u trenutku »t«, dok ga slika data isprekidanom linijom predstavlja u Trenutku »t + Δt«.

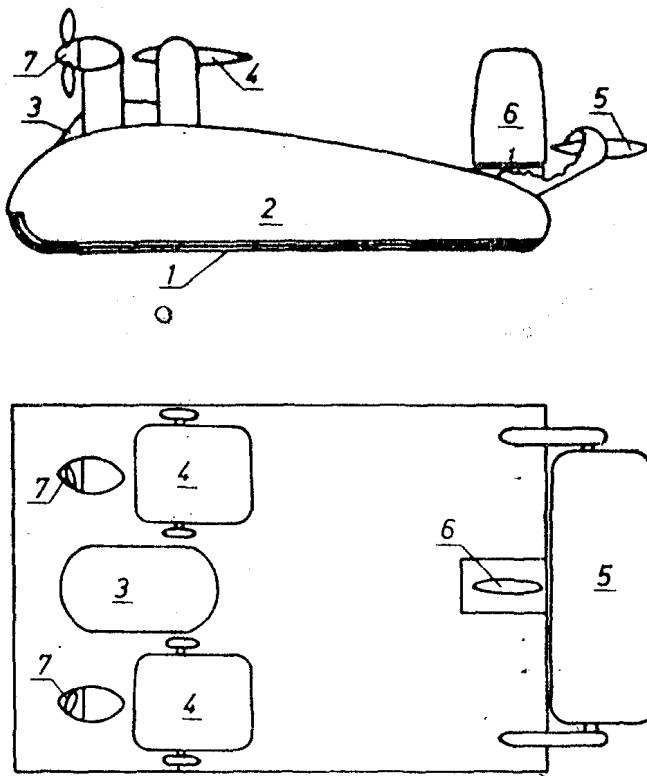


Sl 1 — Kretanje uzgonskog propulzor-aerotela po vodi je rezultanta dvaju kretanja, kretanja brzinom v u smeru x (usled dejstva propulzora) i kretanja brzinom $v \operatorname{tg} \alpha$ u smeru y (pod dejstvom težine)

Propulzor-oplata (1) je, u stvari, deo jedne široke beskrajne trake ili gusenice, toliko široke koliko iznosi razmak između bočnih oplata (2). Kako je već napred rečeno, bočne oplata (2) su ravne i međusobno paralelne; a propulzor-oplata (1) je skoro cela ravna, tj. samo na prednjem i zadnjem kraju, gde naleže na odgovarajuće cilindre svog mehanizma, ona je cilindrično zakrivljena. Gonjena odgovarajućim pogonskim mehanizmom, ili pod dejstvom spoljašnjih sila, propulzor-oplata na prednjem kraju iz aerotela »izvire« (i), a na zadnjem kraju u aerotelo »uvire« (u), tj. propulzor-oplata se u odnosu na aerotelo kreće u suprotnom smeru od smera kretanja aerotela.

Napred je opisana samo spoljašnost uzgonskog propulzor-aerotela jer je samo ona važna kada je reč o hidroaerodinamičkim svojstvima ovog aerotela. Možda bi ovde, ipak, o ovom aerotelu trebalo reći još i to da se prodiranje vode u unutrašnjost aerotela a duž rubova propulzoroplate sprečava takozvanim vazдушnim podmazivanjem.

Dakle, ovde data brza plovilica je plovilica čiji je trup uzgonsko propulzor-aerotelo. U tome je suština ovde datog rešenja problema brze plovidbe. A na sl. 2 je uprošćeno prikazana jedna konstrukcijska izvedba ovakve brze plovilice; na slici gore je njen bočni izgled, dok je na slici dole dat njen izgled u pogledu odozgo.



Sl. 2

Kako se vidi, plovilicu koja je prikazana na sl. 2 sačinjavaju dva stroja, donji stroj i gornji stroj. Uzgonsko propulzor-aerotelo kao trup plovilice je donji stroj (u koji je ugrađena još i pilotska kabina (3)). A gornji stroj plovilice sačinjavaju: kormila za zakrete oko uzdužne ose (kormila za bočne nagibe) (4), elevaciono kormilo (5) i kormilo pravca (6), kao i dva avionska propulzora (7). Plovilica, dakle, ima dve vrste propulzora: propulzor-oplatu i avionske propulzore. Ose avionskih propulzora su paralelne propulzor-oplati (odnosno, paralelne su ravnom delu propulzor-oplate). Kormila 4 i 5, osim za izvođenje navedenih zakretanja plovilice, služe još i za uvećavanje i korekciju uzgona. Sam trup plovilice može biti jednostavno ili složeno uzgonsko propulzor-aerotelo; može to, na primer, biti složeno uzgonsko propulzor-aerotelo nastalo odgovarajućim bočnim spajanjem dva (identična) jednostavna uzgonska propulzor-aerotela. Naravno, moguće su i druge konstrukcijske izvedbe ovakve brze plovilice; jedna od tih mogućih drugih izvedbi biće prikazana na kraju ovog rada.

Za način kretanja ove plovilice bitno je upravo to što je njen trup uzgonsko propulzor-aerotelo. Zato ćemo ovde kretanje plovilice razmatrati kao kretanje uzgonskog propulzor-aerotela, s tim što ćemo, tamo gde god to bude potrebno, uzimati u obzir i one efekte koji potiču od avionskih propulzora i kormila plovilice.

KRETANJE UZGONSKOG PROPULZOR-AEROTELA

Teorija kretanja uzgonskog propulzor-aerotela temelji se na dve osnovne postavke, i to: na osnovnoj postavci o prostornom položaju uzgonskog propulzor-aerotela u toku kretanja po vodi i na osnovnoj postavci o kretanju ovog aerotela uz vodenu kosinu. Sve ostalo u toj teoriji proizilazi iz ovih dveju osnovnih postavki i poznatih zakona mehanike (znači, ovde data teorija kretanja uzgonskog propulzor-aerotela ispravna je onoliko koliko su ispravne navedene osnovne postavke).

Osnovna postavka o prostornom položaju uzgonskog-propulzor-aerotela u toku kretanja po vodi: U toku kretanja plovilice po vodi, uzgonsko propulzor--aerotelo kao trup plovilice pravi na vodi takvo udubljenje da je na najvećoj dubini zadnji kraj propulzor-oplate, dok je prednji zakrivljeni deo propulzor-oplate ceo iznad površine vode, što znači da ravni deo propulzor-oplate obrazuje na vodi jednu vodenu kosinu (tj. kosu vodenu ravninu). Uzgonsko propulzor-aerotelo kao trup plovilice teži i samo da se postavi u napred opisani položaj, ali se uspostavljanje i održavanje takvog prostornog položaja aerotela potpomaže još i dejstvom kormila plovilice, a takođe i odgovarajućim rasporedom tereta u aerotelu.

Osnovna postavka o kretanju uzgonskog propulzor-aerotela uz vodenu kosinu: Ravnomerno kretanje uzgonskog propulzor-aerotela po vodi tretiramo kao kretanje uz vodenu kosinu koja translatira koso nadole u pravcu svoje normale. Pri tome uzimamo da između brzine v kojom se aerotelo kreće uz kosinu, brzine w kojom kosina translatira i ugla α koji kosina zaklapa sa horizontalnom ravni postoji veza koja se analitički predstavlja izrazom: $\operatorname{tg}\alpha = w/v$.

$$\text{Brzina plovidbe } v_p = \sqrt{v^2 + w^2} = v\sqrt{1 + \operatorname{tg}^2\alpha} .$$

Brzina v potiče od dejstva propulzora, a w od dejstva težine plovilice; time je između brzine v i ugla α uslovljena takva međuzavisnost da se sa povećavanjem brzine v ugao α smanjuje (v. sl. 1).

Za kretanje uzgonskog propulzor-aerotela po vodi od posebnog značaja je to kako se u odnosu na vodenu kosinu kreće propulzor-oplata. A propulzor-oplata u odnosu na vodenu kosinu vrši istovremeno dva uzajamno suprotna kretanja (suprotna i po smeru i po načinu vršenja). Prvo, propulzor-oplata vrši klizanje niz vodenu kosinu (kliže unazad). I drugo, stalno se vrši proces nekliznog prostiranja propulzor-oplate uz kosinu, a tim nekliznim prostiranjem propulzor-oplate uz kosinu izvršava se kretanje aerotela (slično kao što se kretanje tenka ostvaruje prostiranjem njegovih gusenica po tlu). U stvari, relativno kretanje propulzor-oplate u odnosu na samo aerotelo mora se na neki način ispoljavati i u odnosu na vodenu kosinu, a ispoljava se kao klizanje niz kosinu i kao neklizno prostiranje uz kosinu. U kojoj će se meri, pak, ispoljavati kao klizanje, a u kojoj kao neklizno prostiranje — to zavisi od dejstva spoljašnjih sila na aerotelo. Tu logičnu činjenicu da se kretanje propulzor-oplate u odnosu na aerotelo mora u celosti

ispoljavati i u odnosu na vodenu kosinu, i to kao klizanje i neklizno prostiranje, analitički iskazujemo jednačinom $v'' = v + v'$, gde nam v'' označava intenzitet brzine propulzor-oplate u odnosu na aerotelo, v — intenzitet brzine nekliznog prostiranja propulzor-oplate (tj. brzine kretanja aerotela uz kosinu), a v' — intenzitet brzine klizanja propulzor-oplate niz kosinu (jednačina $v'' = v + v'$ važi uz uslov da je $v'' \geq v$, tj. važi za onaj režim plovidbe za koji je taj uslov ispunjen, pa ovo razmatranje ograničavamo samo na taj režim plovidbe). Dalje, iz jednačine $v'' = v + v'$ izlazi da svako ono dejstvo koje, uz neku određenu brzinu v'' , umanjuje brzinu v' — uvećava brzinu v , i obratno. Prema tome, tangencijalno dejstvo vode na propulzor-oplatu, dejstvo kojim se voda protivi klizanju propulzor-oplate niz kosinu, — to je dejstvo u prilog nekliznom prostiranju propulzor-oplate uz kosinu (tj. trenje između vode i propulzor-oplate je propulziono trenje).

Iz prethodnog razmatranja o klizanju i nekliznom prostiranju propulzor-oplate treba posebno istaći sledeću činjenicu: Neklizno prostiranje propulzor-oplate predstavlja takvo kretanje kome vodena kosina ne pruža nikakav otpor, već naprotiv, vodena kosina pruža otpor klizanju i svojim protukliznim delovanjem na propulzor-oplatu potpomaže njeno neklizno prostiranje.

Glavna korist od primene propulzor-oplate je upravo u njenom nekliznom prostiranju kao načinu kretanja kome vodena kosina ne pruža nikakav otpor. Sa druge strane, propulziono trenje između propulzor-oplate i vodene kosine ne bi, verovatno, samo za sebe moglo predstavljati opravdan razlog za primenu propulzor-oplate (jer savremena tehnika, sigurno, raspolaže sa efikasnijim propulzorima). Zato, kod brze plovilice o kojoj je ovde reč, za savlađivanje otpora koji na plovilicu deluju služe posebni propulzori (avionski propulzori koji su postavljeni iznad gornje oplata trupa plovilice), tj. propulzor-oplata je kod ove plovilice primenjena u skladu sa ovde iznetom spoznajom da je glavna korist od propulzor-oplate u njenom nekliznom prostiranju, a ne u propulzionom trenju između nje i vode.

Razlika težine plovilice (G) i hidrostatičkog potiska (P) zavisi od brzine kretanja plovilice (označimo tu razliku sa G' , tj. $G - P = G'$). Naravno, sila G' jednaka je nuli kada se plovilica ne kreće. A kada se plovilica kreće, na nju deluje uzgon (U). Usled delovanja uzgona smanjena je veličina udubljenja koje trup na vodi pravi, a time je smanjena i veličina hidrostatičkog potiska, pa je sila G' veća od nule.

Sila G' se razlaže na dve komponente, na komponentu $G'\sin\alpha$ i komponentu $G'\cos\alpha$ (sl. 1). Sila $G'\sin\alpha$ deluje paralelno vodenoj kosini (tj. niz kosinu) a protiv kretanja aerotela uz vodenu kosinu, a sila $G'\cos\alpha$ deluje normalno na vodenu kosinu. Pošto je sila $G'\sin\alpha$ određena oblikom i veličinom udubljenja koje aerotelo (trup plovilice) pravi na vodi, to je sila $G'\sin\alpha$, u stvari, otpor oblika. Oba faktora ove sile (otpora oblika), i faktor G' i faktor $\sin\alpha$, zavise od brzine plovidbe. S obzirom na činjenicu da se ugao α sa povećanjem brzine plovidbe smanjuje (osnovna postavka o kretanju uzgonskog propulzor-aerotela uz vodenu kosinu), to je očito da se sa povećanjem brzine plovidbe faktor G' povećava (tj. $G' \rightarrow G$), a da se

faktor $\sin\alpha$ sa povećavanjem brzine smanjuje (tj. $\sin\alpha \rightarrow 0$). A iz ovoga je, dalje, očito da proizvod ova dva faktora, tj. otpor $G'\sin\alpha$, ima svoj maksimum negde u području manjih brzina, a da se sa povećavanjem brzine (tj. povećavanjem preko one brzine za koju otpor ima maksimalnu vrednost) ovaj otpor sve više smanjuje. Naime, otpor $G'\sin\alpha$ je jednak nuli za $v = 0$, jer je tada $P = G$ pa je $G' = 0$; a za velike brzine za koje $\alpha \rightarrow 0$, $G'\sin\alpha$ je vrlo mala veličina, jer je G' manje od konstantne vrednosti G a $\sin\alpha \rightarrow 0$; iz svega ovog sledi da se maksimalna vrednost otpora $G'\sin\alpha$ mora nalaziti negde između ovih ekstremnih brzina, tj. u oblasti brzina za koje faktor $\sin\alpha$ nije suviše mala veličina. Prema tome, ono što se zbiva sa otporom oblika ovakve plovilice je upravo suprotno onome što se sa otporom oblika (i otporom valova kao komponentom tog otpora) zbiva u kretanju klasičnih brodova.

Protiv kretanja plovilice uz vodenu kosinu deluju, pored otpora $G'\sin\alpha$, još i sledeća dva otpora: aerodinamički otpor (R') i otpor trenja na ovkašenom delu bočnih strana (R''). Prema tome, ukupni otpor (R) možemo predstaviti izrazom

$$R = R' + R'' + G'\sin\alpha \quad (1)$$

(u procenjivanju veličine otpora R'' treba imati u vidu da je $R'' \sim Sv^2$ a da se pri tom veličina S , ukupna površina okvašenih delova bočnih strana trupa, povećavanjem brzine smanjuje). Kako se sa sl. 1 vidi, za analitičko predstavljanje kretanja uzgonskog propulzor-aerotela, tj. plovilice, uzeli smo ovde takav pravougli koordinatni sistem čije su ose x i y određene prostornim položajem propulzor-oplate, i to tako da vektor \vec{v} (tj. vektor brzine kojom se uzgonsko propulzor-aerotelo kreće uz vodenu kosinu) ima smer x -ose, dok vektor \vec{w} (tj. vektor brzine kojom vodena kosina translata u pravcu svoje normale) ima smer y -ose. Prema tome, napred navedeni otpor R' je, u stvari, x -komponenta aerodinamičkog dejstva na plovilicu, a otpor R'' je x -komponenta hidrodinamičkog dejstva na bočne strane trupa. A kako, dalje, vidimo, i razlaganje statičke sile G' na komponente $G'\sin\alpha$ i $G'\cos\alpha$ predstavlja, u stvari, razlaganje u pravcima koordinatnih osa ovako izabranog sistema xy .

U ovim razmatranjima zanemarujemo kao nebitna sledeća dejstva: prvo, otpor odlepljivanja propulzor-oplate od vode a duž linije »uviranja« propulzor-oplate u aerotelo, i drugo, sva hidrodinamička dejstva na zadnji kraj aerotela (tj. trupa plovilice), kao i y -komponentu tangencijalnog hidrodinamičkog dejstva na bočne strane trupa plovilice.

Uzgon (U), tj. y -komponenta ukupnog hidrodinamičkog i aerodinamičkog dejstva na plovilicu, potiče od hidrodinamičkog nadpritiska na propulzor-oplatu i od aerodinamičkog podpritiska iznad većeg dela gornje oplata aerotela (trupa), kao i od uzgonskog delovanja vazduha na kormila plovilice. U skladu sa ovim,

možemo ukupni uzgon (U) tretirati kao zbir hidrodinamičkog uzgona (U'') i aerodinamičkog uzgona (U').

Kada se brzina plovidbe ne menja, tada su u ravnoteži sile koje na plovilicu deluju. Ovde, naravno, tu ravnotežu analitički iskazujemo pomoću dve jednačine: jednačinom ravnoteže sile koje deluju u pravcu x-ose i jednačinom ravnoteže sile koje deluju u pravcu y-ose. Kod ove brze plovilice (tj. kod obe njene ovde date izvedbe) sve pogonske sile imaju smer x-ose (sile koje se stvaraju dejstvom avionskih propulzora plovilice, kao i propulziona trenje na propulzor-oplati). Ako sa F označimo intenzitet rezultante pogonskih sila, jednačina ravnoteže sile koje deluju u pravcu x-ose, tj. jednačina ravnoteže propulzionih sila i otpora, ima oblik:

$$F=R, \quad \text{tj.} \quad F = R' + R'' + G'\sin\alpha \quad (2)$$

Dalje, sila $G\cos\alpha - U'$, tj. sila kojom plovilica pritišće vodenu kosinu, jednaka je sili $P\cos\alpha + U''$, tj. sili kojom voda pritišće propulzor-oplatu. Odavde, prilagođavanjem jednačine ranije uvedenoj veličini G' ($G' = G - P$), jednačina ravnoteže sile koje deluju u pravcu y-ose dobija na kraju oblik:

$$U'' = G\cos\alpha - U' \quad (3)$$

Jednačina (3), odnosno Njutnov zakon akcije-reakcije, iskazuje nam činjenicu da normalna komponenta hidrodinamičkog dejstva na propulzor-oplatu, tj. hidrodinamički uzgon, mora biti jednaka sili $G'\cos\alpha - U'$. Sa druge strane, pak, normalna komponenta hidrodinamičkog dejstva na propulzor-oplatu (uzgon U'') zavisi od brzine plovilice i veličine površine propulzor-oplate; u stvari, tu komponentu (uzgon U'') možemo analitički iskazati u zavisnosti od veličine propulzor-oplate i brzine $v\text{tg}\alpha$, tj. izrazom:

$$U'' = \frac{1}{2}CLB\rho v^2\text{tg}^2\alpha \quad (4)$$

gde nam C označava odgovarajući koeficijent, L i B - dužinu i širinu okvašenog dela propulzor-oplate, ρ - gustoću vode, a brzina $v\text{tg}\alpha$ predstavlja, kako je to ranije navedeno, brzinu kojom vodena kosina translira u pravcu svoje normale (dužinu i širinu okvašenog dela propulzor-oplate uzimamo, u ovom našem uprošćenom računanju, kao približne vrednosti dužine i širine plovilice, ili obratno).

Iz izraza (3) i (4) dobijamo izraz iz koga se vidi kako nagib vodene kosine, tj. ugao α , zavisi od sile kojom plovilica kosinu pritišće i brzine kojom se uz kosinu kreće (odnosno kako zavisi od sile $G'\cos\alpha - U'$ i

veličine $\frac{1}{2}CLB\rho v^2$:

$$tg^2\alpha = 2\frac{G'\cos\alpha - U'}{CLB\rho v^2} \quad (5)$$

Za lakše sagledavanje veze između veličina v i α biće nam od koristi jedna formula koja je jednostavnija od izraza (5) aproksimativna formula koju dobijamo uprošćavanjem izraza (5):

$$tg^2\bar{\alpha} = 2\frac{G - U'}{CLB\rho v^2} \quad (5')$$

Pošto je $G - U' > G'\cos\alpha - U'$, to je $\bar{\alpha} > \alpha$; tj. ugao α je uvek povoljniji (manji) od odgovarajuće aproksimativne veličine $\bar{\alpha}$ (s tim što je razlika $\bar{\alpha} - \alpha$ za velike brzine vrlo mala).

Izrazima (5) i (5') definisana je međuzavisnost koja je navedena još u osnovnoj postavci o kretanju uzgonskog propulzor-aerotela uz vodenu kosinu, tj. definisana je zavisnost ugla α od sile kojom plovilica vodenu kosinu pritišće i brzine kojom se uz kosinu kreće, samo što je sada ta definicija data preciznije i potpunije.

U stvari, izrazi (5) i (5') zajedno sa jednačinom (2) predstavljaju analitičku definiciju zakona kretanja plovilice čiji je trup uzgonsko propulzor-aerotelo.

Mogli bismo sada zaključiti da su dovoljno objašnjene zakonitosti kretanja plovilice čiji je trup uzgonsko propulzor-aerotelo. Ipak, za sticanje nešto boljeg uvida u to o kakvom rešenju se radi, biće dobro da se napred izloženoj teoriji doda još i sledeće: prvo, jedno poređenje ove plovilice sa kopnenim transporterom, drugo, jedan kratak osvrt na mogućnost da se ova plovilica kreće i iznad vode, tj. kao ekranoplan, i treće, jedan poseban osvrt na pitanje otpora valova.

POREĐENJE PLOVILICE SA KOPNENIM TRANSPORTEROM

Radi poređenja sa kopnenim transporterom (sa vozilom na točkovima ili gusenicama) ponovimo najpre ono najvažnije: Što je brzina plovilice veća - to je ugao vodene kosine (α) manji, tj. manje je udubljenje koje trup plovilice na vodi pravi.

Prema tome, sa povećavanjem brzine plovidbe vrši se kretanje plovilice sve manje *kroz vodu*, a sve više *po vodi*; tj. sa povećavanjem brzine postaje kretanje plovilice sve više slično kretanju po čvrstoj podlozi, kretanju kopnenih transportera. Ono što je pri tome zajedničko kretanju kopnenog transportera (točkaša i guseničara) i kretanju plovilice sastoji se u tome što se dejstvo težine transportera na podlogu vrši preko

propulzivnog dela transportera - kod točkaša preko točkova, kod guseničara preko gusenica, a kod plovilice preko propulzor-oplate (s tim što se kod plovilice dejstvo težine na vodu-podlogu umanjuje dejstvom aerodinamičkog uzgona). Zatim u sva tri slučaja je konstrukcija propulzivnog dela transportera prilagođena čvrstoći podloge: oslon površina točka je vrlo mala i zato je vozilo točkaš pogodno za kretanje samo po vrlo čvrstoj podlozi, oslon površina gusenica je prilično velika čime je vozilo guseničar osposobljeno i za kretanje po rastresitoj podlozi, a oslon površina propulzor-oplate je, naravno, vrlo velika jer je »čvrstoća« vode-podloge najmanja (voda, zapravo, ispoljava određenu čvrstoću samo prema brzim telima).

U prilog ovakvom tretiranju kretanja plovilice, u prilog napred izloženom poređenju kretanja plovilice sa kretanjem po čvrstoj podlozi, pozabavimo se još malo izrazom (5). Desnu stranu tog izraza (jednakosti) možemo, kako se vidi, tretirati kao omjer pritiska $(G \cos \alpha - U')/LB$ i veličine $C\rho v^2/2$ (koja, naravno, takode ima dimenziju pritiska). U tom slučaju nam se nameće kao logičan zaključak da veličina $C\rho v^2/2$ predstavlja nekakvu meru »inercijalne čvrstoće« vode kao podloge. Ovde imamo u vidu da veličina koeficijenta C zavisi od oblika i veličine površine dodira, između propulzor-oplate i vode, kao i od ostalih uslova u kojima se taj dodir vrši; od ovih činilaca, naime, zavisi kakvi se procesi u vodi vrše usled pritiska $(G \cos \alpha - U')/LB$ i eventualnog tangencijalnog dejstva propulzor-oplate (a tangencijalno dejstvo propulzor-oplate na vodu imamo ukoliko je $v'' > v$ ili, u slučaju kočenja propulzor-oplatom, $v'' < v$).

Prisutnost, faktora C u izrazu za inercijalnu čvrstoću vode je sasvim logična, jer logično je da inercijama čvrstoća vode, osim od svoje gustoće (ρ) i brzine (v) kojom se propulzor-oplata po njoj prostire, mora zavistiti i od toga kakvi se procesi u vodi vrše (tj. mora zavistiti i od onih fizičkih činilaca od kojih zavisi veličina koeficijenta C).

MOGUĆNOST DA SE OVA BRZA PLOVILICA KREĆE I KAO EKRAANOPLAN

Iz izraza (5) i (5') se vidi da se mogućnost ove brze plovilice, plovilice čiji je trup uzgonsko propulzor-aerotelo i čiji gornji stroj ima avionske propulzore i kormila, da se kreće i iznad površine vode (tj. kao ekranoplan) svodi, u stvari, na mogućnost da aerodinamički uzgon (U') bude jednak težini plovilice (G) i veći od nje. Ako su, naime, konstrukcija plovilice i njeno opterećenje (tj. težina G) takvi da je pri nekoj brzini plovidbe $U' = G$, tada je ugao α jednak nuli (plovilica se tada po površini vode kreće tako da njen trup ne pravi na vodi nikakvo udubljenje); a tada postoji mogućnost da se, daljnjim povećavanjem brzine i odgovarajućim dejstvom kormila, plovilica odlepi od površine vode i da se dalje kreće kao ekranoplan.