
Predmet: PROJEKTOVANJE BRODA

Uputstvo za izradu projekta

Osnovna literatura

- [1] H. Schneekluth and V. Bertram, “Ship Design for Efficiency and Economy”, Butterworth-Heinemann 1998.
 - [2] D. Watson, “Practical Ship Design”, Elsevier 1998.
 - [3] M. Jovanović, “Projektovanje broda”, Saobraćajni fakultet 2002.
 - [4] CD “Baza podataka komercijalnih brodova”, diplomski rad I. Frančesko, Mašinski fakultet 2005.
 - [5] CD “Baza podataka kontejnerskih brodova”, diplomski rad S. Davidović, Mašinski fakultet 2006.
 - [6] CD “Projektovanje broda – linije i hidrostatika”, diplomski rad Z. Ćirić, Mašinski fakultet 2001.
-

PRVA APROKSIMACIJA

Jedan od mogućih postupaka za određivanje osnovnih parametara broda u početnoj fazi projektovanja sastoji se iz sledećih koraka.

1. Skica generalnog plana

Na osnovu zadatih podataka i preporučene literature skicirati generalni plan broda. Skica, u ovoj fazi, može biti izrađena i slobodnom rukom.

2. Procena deplasmana

U početnoj fazi projektovanja moguće je proceniti deplasman broda na osnovu koeficijenta dedvejta

$$\eta_{dwt} = \frac{m_{dwt}}{\Delta} \quad .$$

Masa dedvejta je

$$m_{dwt} = m_{ter} + m_{zal} + m_{pos} \approx 1.1 \cdot m_{ter} \quad .$$

Koeficijent dedvejta za male višenamenske teretne brodove je $\eta_{dwt} = 0.68 - 0.78$. Precizniji statistički podaci se mogu naći na CD-u [4].

3. Određivanje glavnih dimenzija

Postoji niz preporuka za određivanje dužine broda na osnovu poznate brzine i deplasmana, npr.

$$L = 6.59 \cdot \left(\frac{v}{v+2} \right)^2 \sqrt[3]{\nabla}, \text{ brzina } v \text{ u čvorovima, (korigovana preporuka Pozdonina),}$$

$$L = \sqrt[3]{\nabla} \cdot \left(4.58 + 0.9 \frac{v}{\sqrt{g\nabla^{1/3}}} \right), \text{ brzina } v \text{ u m/s, (korigovana preporuka Vokera),}$$

$$L = \sqrt[3]{\nabla} \cdot \left(4.59 + 0.2 \frac{v}{\sqrt{L}} \right), \text{ brzina } v \text{ u čvorovima, (korigovana preporuka Ayera).}$$

Preporuke se odnose na L_{pp} ili L_{WL} . U početnoj fazi proračuna, razliku između ovih dužina zanemarujemo.

Za širinu i visinu razmatranog tipa broda važi

$$\frac{L}{B} = 5 - 8,$$

$$\frac{B}{H} = 1.6 - 3.$$

Precizniji statistički podaci se mogu naći na CD-u [4].

Pre usvajanja, dimenzije broda treba usaglasiti sa dimenzijama skladišta, tako da skladište bude pogodno za prevoz kontejnera. Za ovo je neophodno proceniti uobičajeni odnos dimenzija skladišta i broda (odnosno visinu dvodna i praznice grotla, širinu dvoboka, dužinu kaštela itd). Pretpostaviti da brod prevozi standardne TEU dimenzija $20 \cdot 8 \cdot 8$ stopa. Predvideti i mogućnost prevoza kontejnera visine 9 stopa. Proveriti kako se usvojene dimenzije broda uklapaju u statistiku postojećih brodova [4] i [5].

Širina dvoboka, na osnovu propisa Lojd Registra, ne treba da bude manja od $0.075 \cdot B$. Voditi računa da predviđeni palubni put bude dovoljno širok. Pri izboru osnovnih dimenzija težiti da zapremina zatvorenih prostora bude što manja (tj. manja tonaža – GT). Ceo projekt, počevši od odabira dimenzija, treba izraditi tako da se dobije „dobar“ brod u skladu sa savremenim tendencijama u brodogradnji (više TEU – manje GT).

4. Procena broja i mase kontejnera

Na osnovu dimenzija skladišta i broja redova kontejnera na palubama sličnih brodova, proceniti maksimalni broj kontejnera n . Prosečna masa jednog kontejnera je

$$m_{con} = \frac{m_{ter}}{n} ,$$

i treba da iznosi 10 – 15 t.

5. Određivanje koeficijenata forme

Postoji niz preporuka za koeficijent punoće istisnuća (blok koeficijent) na osnovu poznate dužine i brzine broda. npr.

$$C_B = 1.22 - 1.89 \cdot F_n , \quad (\text{korigovana preporuka Ayera})$$

$$C_B = \frac{58}{25 \cdot \left[F_n \left(\frac{L}{B} + 20 \right) \right]^{0.6}} , \quad (\text{korigovana preporuka Schneeklutha}).$$

$$C_B = 46.6 \cdot F_n^3 - 39.1 \cdot F_n + 27.8 \cdot \sqrt{F_n} - 4.22 , \quad (\text{preporuka Jensena})$$

$$C_B = 0.7 + \frac{1}{8} \operatorname{ctg} \left[\frac{1}{4} (23 - 100 \cdot F_n) \right] , \quad (\text{preporuka Watsona}).$$

Preporuke za C_B su date sa stanovišta otpora broda. Pri usvajanju ovog koeficijenta treba imati u vidu da puniji brodovi imaju veći otpor, ali i povoljniji oblik skladišta za krcanje kontejnera. Uporediti preporučene vrednosti sa statistikom postojećih brodova.

Postoji niz preporuka za koeficijent punoće glavnog rebra na osnovu poznatog koeficijenta C_B

$$C_M = 0.9 + 0.1 \cdot C_B$$

$$C_M = \frac{1}{1 + (1 - C_B)^{3.5}}$$

$$C_M = 1.006 - \frac{0.0056}{C_B^{3.56}}$$

$$C_M = \frac{1}{1 + (1 - C_B)^{3.5}}$$

$$C_M = 1.62 \cdot C_B \pm 0.15 , \quad \text{za } F_n > 0.28$$

$$C_M = 1.014 \cdot C_B^{\sqrt[3]{2}} \pm 0.004 , \quad \text{za } F_n < 0.28, C_B < 0.8$$

Takođe, postoji niz preporuka za koeficijent punoće vodne linije

$$C_{WL} = \frac{1 + 2 \cdot C_B}{3}$$

$$C_{WL} = 0.98 \cdot \sqrt{C_B} \pm 0.06$$

$$C_{WL} = 0.72 \cdot C_p + 0.26$$

Potražiti i druge preporuke u stručnoj literaturi.

6. Određivanje gaza

Na osnovu prethodno određenog deplasmana, dimenzija i koeficijenta, gaz broda sledi iz relacije

$$\Delta = \rho \cdot c \cdot C_B \cdot L \cdot B \cdot T, \quad \text{gde je } c \text{ faktor izdanaka.}$$

Proveriti kako se proračunati gaz uklapa u statistiku postojećih brodova [4].

7. Provera slobodnog boka

Na osnovu poznate dužine, gaza i visine neophodno je proveriti da li je zadovoljen minimalni slobodni bok F_{Bmin} .

8. Određivanje težišta istisnuća

Postoji niz preporuka za položaj težišta istisnića po dužini, sa stanovišta optimalnog otpora talasa.

$$LCB = \frac{L}{100} (8.8 - 38.9 \cdot F_n),$$

Dijagram Jensena u knjizi [1], str. 36,

Dijagram u knjizi [2], str. 240.

Postoji niz približnih formula za položaj težišta istisnuća po visini.

$$VCB = T \cdot \left(\frac{5}{6} - \frac{C_B}{3 \cdot C_{WL}} \right),$$

$$VCB = T \cdot (0.9 - 0.36 \cdot C_M),$$

$$VCB = T \cdot (0.9 - 0.3 \cdot C_M - 0.1 \cdot C_B).$$

9. Provera stabiliteta

U ovoj fazi je moguće odrediti maksimalnu visinu težišta broda VCG_{max} , pri kojoj je metacentarska visina veća od minimalne.

Za određivanje metacentarskog radijusa postoji niz približnih formula

$$MF = 1.04 \cdot C_{WL}^2 \cdot \frac{B^2}{12 \cdot C_B \cdot T},$$

$$MF = \frac{3 \cdot C_{WL} - 1}{24} \cdot \frac{B^2}{C_B \cdot T},$$

$$MF = (0.096 + 0.89 \cdot C_{WL}^2) \cdot \frac{B^2}{12 \cdot C_B \cdot T} ,$$

$$MF = 0.0372 \cdot (2 \cdot C_{WL} + 1)^3 \cdot \frac{B^2}{12 \cdot C_B \cdot T} .$$

Minimalna metacentarska visina, po IMO propisima, je $MG_{min} = 0.15 \text{ m}$. Uobičajene granice za vertikalni položaj težišta broda su

$$VCG = (0.55 - 0.85) \cdot H .$$

Ukoliko se dobije $VCG_{max} < 0.55H$, izvesno je da će stabilitet broda biti ugrožen.

10. Određivanje snage motora

Na osnovu zadate brzine plovidbe i usvojenih karakteristika broda, odrediti snagu motora P_M koristeći jednu od standardnih metoda proračuna.

REZULTAT PRVE APROKSIMACIJE:

$\Delta, L, B, T, H, F_B, C_B, C_M, C_P, C_{WL}, LCB, VCB, VCG_{max}, n, m_{con}, P_M$.

DRUGA APROKSIMACIJA

Nakon što su grubo određeni osnovni parametri broda u tzv. prvoj aproksimaciji, potrebno je nastaviti sa spiralom projektovanja radi tačnijeg određivanja ovih parametara. Postupak se sastoji iz sledećih koraka.

1. Skica generalnog plana

Na osnovu rezultata prve aproksimacije skicirati generalni plan broda. Skica, u ovoj fazi, treba biti u odgovarajućoj razmeri.

2. Određivanje deplasmana broda

Ukupna masa broda može se izračunati kao zbir masenih (tradicionalno rečeno težinskih) grupa. Podela na težinske grupe može biti veoma detaljna, ali u ovoj fazi je dovoljna sledeća gruba podela

$$m_B = m_{cel} + m_{mk} + m_{opr} + m_{ter} + m_{zal} + m_{pos}$$

Prva tri člana (masa čelika, masa mašinskog kompleksa i masa opreme) čine masu praznog broda (lightship-a), dok druga tri člana (teret, zalihe i posada) čine nosivost (deadweight). Ovako definisane težinske grupe je moguće proračunati na osnovu parametara broda koji su određeni u prvoj aproksimaciji. Za ovo, u literaturi, postoji

niz približnih formula i preporuka. Ponekad je, međutim, teško utvrditi koje su konkretne mase različiti autori svrstali u pojedine grupe.

Masa čelika

Masa čelika predstavlja najveću komponentu mase praznog broda. Čine je svi metalni (čelični) delovi ugrađeni u trup i nadgrađe broda. Takođe se u ovu masu ponekad uvrštavaju i nemetalni delovi kao npr. izolacija, boja i sl. Postoji niz postupaka za približno određivanje mase čelika. Najgrublje formule daju ovu masu u funkciji deplasmana broda ili u funkciji mase praznog broda, vidi npr [1], str. 150. Za male višenamenske teretne brodove važi npr.

$$m_{cel} = (0.15 - 0.25) \cdot \Delta.$$

Nešto preciznije su formule koje daju masu čelika u funkciji osnovnih dimenzija i koeficijenata

$$m_{cel} = f(L, B, H, C_B \dots).$$

Još precizniji su postupci koji uzimaju u obzir i podatke iz generalnog plana, kao npr. dužinu nadgrađa, broj vodonepropusnih pregrada, broj paluba itd. Najprecizniji (i najobimniji) je direktni proračun proračun mase čelika sabiranjem masa svih elemenata koji se ugrađuju u brod (rebara, rebrenica, oplata...), za šta je neophodno precizno poznavanje konstrukcije broda.

U ovoj fazi projektovanja, najpogodnije je koristiti obrasce u kojima je masa čelika izražena preko osnovnih parametara broda. To su (između ostalih) i sledeće formule.

Millerova formula:

$$m_{cel} = 0.000435 \cdot (L \cdot B \cdot H)^{0.9} \cdot (0.675 + 0.5 \cdot C_B) \cdot [0.00585(L/H - 8.3)^{1.8} + 0.939].$$

Kerlenova formula:

$$m_{cel} = 0.0832 \cdot X \cdot e^{-5.7310^{-7} X}, \text{ gde je } X = \frac{1}{12} L^2 \cdot B \cdot \sqrt[3]{C_B}.$$

Formula Watsona i Galfillana:

$$m_{cel} = \frac{1}{6} \cdot C_B^{2/3} \cdot L \cdot B \cdot H^{0.72} \cdot [0.002 \cdot (L/H)^2 + 1].$$

Murray-jeva formula:

$$m_{cel} = 0.0325 \cdot L^{1.65} (B + H + 0.5 \cdot T) \cdot (0.5 \cdot C_B + 0.4).$$

Formula Harvalda i Jensena:

$$m_{cel} = \left[0.07 + 0.064 \cdot e^{-(0.5u + 0.1u^{2.45})} \right] \cdot L \cdot B \cdot H_m, \text{ gde su } u = \log\left(\frac{\Delta}{100}\right), H_m = H + \frac{\nabla_{nad}}{L \cdot B}$$

gde je ∇_{nad} ukupna zapremina nadgrađa (kaštela, kasara i palubnih kuća).

Watsonova formula:

$$m_{cel} = 0.032 \cdot E^{1.36}, \text{ gde je } E = L(B + T) + 0.85L(H - T) + 0.85 \cdot l_1 h_1 + 0.75 \cdot l_2 h_2,$$

pri čemu su l_1, h_1 dužina i visina kaštela u kasara, dok su l_2, h_2 dužina i visina palubnih kuća. Ova formula treba da sadrži i korekciju za blok koeficijent (vidi [2], str83) koju u ovoj fazi nije moguće sprovesti.

Tačnost prikazanih približnih formula je teško proceniti. Zato treba odbaciti one rezultate koji (eventualno) znatnije odstupaju, i uzeti npr. srednju verednost preostalih. Rezultat treba da bude unutar uobičajenih granica u odnosu na masu deplasmana i masu prazanog broda.

2.2. Masa mašinskog kompleksa

Glavni pogonski uređaj razmatranog broda je dizel motor čija je snaga određena u okviru prve aproksimacije. Masa savremenih dizel motora po jedinici snage je:

sporohodi motori (110 – 140 rpm)	0.035-0.045 t/kW,
srednje brzohodi linijski motori 400 – 500 rpm	0.012-0.020 t/kW,
srednje brzohodi V motori 400 -500 rpm	0.008-0.015 t/kW.

Odabrali tip motora projekta na osnovu tehničkih opisa postojećih sličnih brodova [4]. Ukoliko mašinski kompleks ima reduktor, težina reduktora po jedinici snage motora je 0.003-0.005 t/kW.

Masa motora se može odrediti (prema Watsonu [2], str. 108) i kao

$$m_{mot} = 12 \cdot \left(\frac{MCR}{rpm} \right)^{0.84},$$

gde je MCR maksimalna kontinualna snaga u kW.

U mašinski kompleks spadaju, sem glavnog motora i vratilni vod, reduktor, propeler, izduvni sistem, električni generatori, pumpe, kompresori, rezervni delovi itd. Masa ovih delova je (prema [2]) približno

$$m_{ost} = 0.69 \cdot MCR^{0.7},$$

pa je masa ukupnog mašinskog kompleksa

$$m_{mk} = m_{mot} + m_{ost}.$$

Masa mašinskog kompleksa treba da je

$$m_{mk} = (2.2 \div 3.6) \cdot m_{mot}.$$

Manje vrednosti se odnose na direktno vezane motore, a veće na motore s reduktorom.

2.3. Masa opreme i uređaja

Masa opreme i uređaja se može približno odrediti preko deplasmana broda

$$m_{opr} = (0.6 \div 0.8) \cdot \Delta^{2/3}.$$

Takođe se može odrediti preko proizvoda LBH (tzv. kubnog modula)

$$m_{opr} = (0.57 \div 0.73) \cdot (L \cdot B \cdot H)^{2/3},$$

ili preko proizvoda LB (tzv. kvadratnog modula)

$$m_{opr} = (0.2 \div 0.4) \cdot L \cdot B.$$

Za ovu masu je Katsolius predložio i sledeću približnu formulu

$$m_{opr} = 0.065 \cdot L^{1.3} \cdot B^{0.8} \cdot H^{0.3}$$

Prikazane formule, uz uobičajenu opremu broda, obuhvataju i masu brodskih sistema.

2.4. Masa zaliha

Masa zaliha obuhvata, pre svega masu pogonskog goriva. Ove masa zavisi od akcionog radijusa (autonomije broda) i potrošnje motora. Potrošnja goriva savremenih dizel motora je

$$q = (0.11 \div 0.14) \text{ kg/kWh}.$$

Prema tome, masa goriva u tonama (sa uobičajenom rezervom od 10%) je

$$m_{gor} = 1.1 \cdot q \cdot MCR \cdot 24n_{dan} / 1000,$$

gde je n_{dan} broj dana plovidbe. Uz gorivo, zalihe čini ulje za podmazivanje i sveža voda za hlađenje motora, tako da se u ovoj fazi proračuna pretpostavlja da su ukupne zalihe

$$m_{zal} = (1.1 \div 1.2) \cdot m_{gor}.$$

2.5. Masa posade

Masa posade s provijantom je, za ovaj tip brodova, mala i može se u ovoj fazi i zanemariti. Može se takođe proračunati kao

$$m_{pos} = 0.13 \cdot n_{pos} + 0.103 \cdot n_{pos} \cdot n_{dan},$$

gde je n_{pos} broj članova posade. Prvi izraz u formuli predstavlja masu članova posade s ličnim prtljagom, a drugi izraz predstavlja njihovu prosečnu dnevnu potrošnju (vode i ostalog). Pretpostavljeno je (uobičajeno) da član posade sa ličnim prtljagom ima prosečnu masu od 130 kg i da prosečno troši 100 kg vode i 3 kg ostalih namirnica dnevno.

S obzirom da je masa tereta je zadata projektnim zadatkom, deplasman broda sledi kao

$$\Delta = m_{cel} + m_{opr} + m_{mk} + m_{ter} + m_{zal} + m_{pos} + m_{rez}$$

Poslednji član u izrazu je tzv. projektantska rezerva. Projektant je uzima u ovoj fazi proračuna svestan da su formule koje primenjuje neprecizne, a da potcenjeni depasman dovodi do niza problema u kasnijim fazama projektovanja. Veličina rezerve zavisi u mnogome od iskustva projektanta. Različiti autori daju za ovu masu različite preporuke, npr. Schneekluth i Bertram [1] preporučuju 3% m_{dwt} , a Watson [2] 2% m_{lig} .

3. Provera glavnih dimenzija, broja i mase kontejnera i koeficijenata forme

Nakon što je tačnije određen depasman broda, potrebno je proveriti i eventualno korigovati tačke 3, 4 i 5 prve aproksimacije. U ovoj fazi je moguće koristiti i Schneekluthovu preporuku za dužinu koja je dobijena iz uslova minimalnih troškova rada

$$L_{pp} = 3.2 \cdot \Delta^{0.3} \cdot v^{0.3} \cdot \frac{C_B + 0.5}{(0.145/F_n) + 0.5}.$$

U okviru druge aproksimacije treba usvojiti razmak rebara. Razmak rebara u pikovima je 600 mm, a razmak rebara na ostalom delu broda uzeti u granicama od 700-800 mm. Na osnovu usvojenih razmaka rebara podesiti pregrade (skladišta, mašinskog prostora), zidove nadgrađa i sl.

4. Određivanje gaza

Na osnovu nove (tačnije) vrednosti depasmana i eventualno izmenjenih vrednosti L , B , C_B , treba proračunati gaz broda

$$T = \frac{\Delta}{\rho \cdot c \cdot C_B \cdot L \cdot B}$$

Proveriti kako se novi gaz uklapa u statistiku postojećih brodova.

5. Provera slobodnog boka

Treba proveriti minimalno nadvođe sa novim gazom.

6. Težište istisnuća

Treba proveriti da li položaj težišta istisnuća po dužini LCB i dalje zadovoljava preporuke, i izračunati nov položaj težišta istisnuća po visini VCB .

7. Određivanje težišta broda

Za razliku od prve aproksimacije, u ovoj fizi proračuna je moguće proceniti položaj težišta broda po dužini i visini. Za to treba prethodno proceniti težišta pojedinih težinskih grupa.

7.1. Težište mase čelika

Pogodno je ukupnu masu $m_{\text{čel}}$ razložiti na masu trupa i masu pojedinih komponenti nadgrađa. Mase nadgrađa (kaštela, kasara, palubnih kuća) mogu se naći npr. prema formulama Watsona ili Harvarda i Jensena datim u tački 2.1.

Položaj težišta nadgađa po dužini i visini je moguće samo grubo proceniti. Položaj težišta trupa po dužini se može uzeti na polovini rastojanja između pramčanog perpendikulara i najudaljenije tačke na krmi glavne palube (preporuka Schneeklutha). Položaj težišta trupa po visini je približno

$$VCG_{tr} = (0.55 \div 0.60) \cdot H \text{ .}$$

7.2 Težište mase mašinskog kompleksa

Težište mašinskog kompleksa je moguće samo grubo proceniti unutar predviđenog mašinskog prostora.

7.3. Težište mase opreme

Kao i težišta ostalih masa, i težište opreme je moguće samo grubo proceniti. Za položaj po visini se preporučuje

$$VCG_{opr} = (1.02 \div 1.08) H_m$$

gde je H_m visina broda korigovana nadgrađem (vidi formulu Harvarda i Jensena za mesu čelika). Težište po dužini je oko sredine broda, pri čemu njegoa neprecizna procena ne utiče bitno na konačan rezultat ove faze proračuna.

7.4. Težište mase tereta

U ovoj fazi proračuna je dovoljno razmotriti samo dva tipična slučaja opterećenja broda: brod sa punim skladištem homogenog tereta i brod pun kontejnera jednake mase.

7.5. Težište mase zaliha

Treba, na osnovu sličnih brodova, predvideti tankove goriva u dvodnu ili dvoboku i na osnovu toga proceniti položaj težišta po visini. Pogodno je u ovoj fazi ostaviti položaj težišta zaliha po dužini nedefinisan, tako da nam ostane pogodna slobodna masa čijim bi se pomeranjem moglo korigovati težište broda po dužini radi tzv. centracije broda.

7.6. Težište mase projektantske rezerve

Težište ove mase definiše projektant. Pogodno je pretpostaviti da se, po dužini, poklapa sa težištem mase broda LCG , a da je po visini nešto iznad težišta broda npr.

$$VCG_{rez} \approx 1.2 \cdot VCG \text{ .}$$

Na ovaj način uvodi se i projektantska rezerva u pogledu stabiliteta.

Konačno, nakon što su procenjena težišta svih težinskih grupa, težište broda po visini sledi iz izraza

$$VCG = \frac{m_{cel} VCG_{cel} + m_{mk} VCG_{mk} + m_{opr} VCG_{opr} + m_{ter} VCG_{ter} + m_{zal} VCG_{zal} + m_{pos} VCG_{pos} + m_{rez} VCG_{rez}}{\Delta}$$

Težište broda po dužini LCG za sada nije moguće odrediti jer je položaj jedne od masa (u ovom slučaju zaliha) svesno stavljen neodređen.

Težišta svih masa koje se javljaju u proračunu treba prikazati na skici generalnog plana broda.

8. Centracija broda

Da bi brod plivao bez trima, neophodno je da su položaj težišta istisnuća i položaj težišta broda po dužini jednaki

$$LCB = LCG.$$

Podešavanje ovih težišta naziva se centracija broda. S obzirom da je položaj težišta istisnuća već usvojen prema preporukama o minimalnom otporu, uslov će biti ispunjen ukoliko je težište zaliha po dužini

$$LCG_{zal} = \frac{\Delta \cdot LCG - m_{cel} LCG_{cel} - m_{mk} LCG_{mk} - m_{opr} LCG_{opr} - m_{ter} LCG_{ter} - m_{pos} LCG_{pos} - m_{rez} LCG}{m_{zal}}$$

Ukoliko se na ovaj način za težište zaliha dobije nerealan rezultat, potrebno je pokušati se nekom drugom “slobodnom” masom. Naime, na sličan način kao težište zaliha, mogu se položaji i nekih drugih težinskih grupa (npr. tereta, motora, palubnih kuća) ostaviti neodređeni tokom proračuna u tački 7, da bi se zatim usvojili pri centraciji broda.

Ukoliko pomeranje slobodnih masa u tehnički realnim granicama ne omogući centraciju broda, neophodno je promeniti ranije usvojeni položaj težišta istisnuća LCB . To, međutim, za posledicu ima izvesnu promenu otpora broda.

9. Provera stabiliteta

S obzirom da je položaj težišta broda po visini određen, moguće je proveriti početnu metacentarsku visinu MG . To treba uraditi za oba slučaja opterećenja broda koji su definisani u tački 7.4, odnosno za brod natovaren homogenim teretom u skladištu i za brod natovaren kontejnerima jednake mase. Zbog grube procene težišta pojedinih težinskih grupa rezultati za metacentarsku visinu su nepouzdati, ali mogu ukazati na eventualne probleme sa stabilitetom broda. Sasvim je realno da se dobije negativna metacentarska visina u slučaju kontejnera jednake mase, što se kasnije može korigovati pogodnom raspodelom kontejnera po visini (teži u niže, lakši u više redove), ili krcanjem balasta u dvodno.

10. Određivanje snage motora

Treba proračunati snagu motora sa novim deplasmanom i gazom broda.

REZULTAT DRUGE APROKSIMACIJE

Mnogi od parametara broda koji su dobijeni prvom aproksimacijom će i nakon druge aproksimacije ostati nepromenjeni. Glavni rezultat druge aproksimacije je, međutim, tačnije određen deplasman i gaz broda. Uz to, preliminarno je određeno težište broda VCG , metacentarska visina MG , kao o mase i težišta pojedinih težinskih grupa.

TREĆA APROKSIMACIJA

Prethodne dve aproksimacije se, prvenstveno, zasnivaju na statistici već izgrađenih brodova. Takvi postupci se uglavnom koriste kada projektant nema adekvatan prototip za svoj projekat. Međutim, ukoliko projektant poseduje svu potrebnu dokumentaciju o sličnom brodu (npr. radi u birou koji je projektovao slične brodove) koristiće nešto drugačiji postupak. U praksi se najčešće koriste ili postupci bazirani na statistici (kada nema podataka o prototipu), ili postupci bazirani na jednom odabranom prototipu. U ovom školskom zadatku pokušaćemo da postupke objedinimo, odnosno da pretpostavimo da je student-projektant odredio osnovne dimenzije i koeficijente forme broda L , B , H , C_B , LCB ... postupkom prve i druge aproksimacije i da nakon toga (a na osnovu dobijenih rezultata) bira odgovarajući prototip. Prototip, za koji su težinske grupe poznate, poslužiće ovde za tačnije određivanje deplasmana, gaza i težišta broda. Ovaj postupak zvaćemo Treća aproksimacija.

Iako je predloženi postupak treće aproksimacije donekle neuobičajen u brodograđevnoj praksi, student - projektant koji kroz njega prođe lako će se snaći i u nešto drugačijim pristupima koji se koriste u pojedinim projektnim biroima.

1. Izbor prototipa

Na osnovu rezultata druge aproksimacije (pre svega proračunatog deplasmana, dedveja i usvojenih dimenzija broda) bira se odgovarajući prototip. Za ovo treba koristiti CD [4], kao i priloženu TABELU. Prototip treba da je dobar brod istog tipa, koji ima što sličnije karakteristike brodu – projektu. Postupak gubi tehnički smisao ukoliko su razlike deplasmana i glavnih dimenzija projekta i prototipa veće od 10%. Važno je posedovati dobru tehničku dokumentaciju o prototipu. Treba poznavati njegove težinske grupe i položaje njihovih težišta. Takođe, treba imati pregledan generalni plan i (eventualno) linije broda, kao i što više drugih pouzdanih podataka o prototipu (motor, pomoćne mašine, oprema...). U projektnom birou su ovakvi podaci lako dostupni projektantu. U pojedinim slučajevima, kao npr. kod ovog školskog zadatka, pouzdane karakteristike prototipa mogu predstavljati veliki problem.

2. Polazni podaci

Kao što je rečeno, poći će se od glavnih dimenzija broda L , B , H koje su određene u drugoj aproksimaciji. Ove veličine se u fazi proračuna koja sledi neće menjati. Takođe će se zadržati koeficijenti forme C_B , C_M , C_{WL} , kao i položaj težišta istisnuća po dužini LCB .

3. Generalni plan

Treba skicirati generalni plan projekta, na bazi generalnog plana prototipa. Treba se držati rešenja sa prototipa, i (ukoliko je moguće) promeniti samo glavne dimenzije. Drugačije rečeno, treba “skalirati” trup prototipa množenjem sa koeficijentima razmere po dužini, visini i širini $\lambda_L = L/L_o$, $\lambda_B = B/B_o$, $\lambda_H = H/H_o$, gde su L_o , B_o , H_o glavne

dimenzije prototipa. Prethodno treba precizirati i dužina projekta L kao (npr) dužinu između perpendikulara. Visinu nadgrađa, posebno palubnih kuća ne treba menjati, da bi spratovi zadržali svoju standardnu visinu.

4. Određivanje deplasmana

Deplasman i glavne dimenzije prototipa su poznate: $\Delta_o, L_o, B_o, H_o, T_o$. Takođe su poznate i težinske grupe prototipa. Deplasman projekta Δ nije poznat, i treba ga odrediti sledećim postupcima.

Neka su težinske grupe praznog prototipa (lightship-a)

$$m_{cel}^{(o)}, m_{mk}^{(o)}, m_{opr}^{(o)}.$$

Izrazićemo ove mase kao

$$m_{cel}^{(o)} = b_{cel}^{(o)} \cdot L_o B_o H_o$$

$$m_{mk}^{(o)} = p_{mk}^{(o)} \cdot MCR_o$$

$$m_{opr}^{(o)} = b_{opr}^{(o)} \cdot (L_o B_o H_o)^{2/3},$$

i iz ovih relacija odrediti koeficijente

$$b_{cel}^{(o)}, p_{mk}^{(o)}, b_{opr}^{(o)}.$$

Izrazićemo na isti način nepoznate mase projekta

$$m_{cel} = b_{mk} \cdot LBH$$

$$m_{mk} = p_{mk} \cdot MCR$$

$$m_{opr} = b_{opr} \cdot (LBH)^{2/3}$$

i pretpostaviti da su koeficijenti u izrazima za prototip i projekat jednaki

$$b_{cel}^{(o)} = b_{cel}$$

$$p_{mk}^{(o)} = p_{mk}$$

$$b_{opr}^{(o)} = b_{opr}$$

Ovakva pretpostavka je opravdana, ukoliko je razlika brodova mala.

Masu čelika i opreme projekta m_{cel}, m_{opr} je tada lako naći. Masu mašinskog kompleksa, i pored poznate jedinične mase p_{mk} nije moguće odrediti, jer nije poznata snaga motora projekta. Iskoristićemo zato rezultat za snagu motora dobijen u drugoj aproksimaciji, i na osnovu njega i poznatog koeficijenta p_{mk} proračunati masu mašinskog kompleksa. Isti približni rezultat za snagu motora treba koristiti i pri određivanju mase zaliha goriva. Tada je deplasman projekta

$$\Delta = m_{cel} + m_{mk} + m_{opr} + m_{ter} + m_{zal} + m_{pos} + m_{rez} \quad (1)$$

Masa tereta je zadata zadatkom, a masu posade i projektantsku rezervu treba uzeti iz proračuna druge aproksimacije.

Postupak određivanja mase projekta na bazi mase prototipa najčešće se sprovodi bez prethodno urađene prve i druge aproksimacije, tako da snaga motora projekta nije poznata ni u grubom približenju. S toga je, u ovim slučajevima, neophodno koristiti nešto drugačiji pristup. Naime, moguće je pretpostavi snagu motora prototipa i projekta u obliku

$$MCR_o = \frac{\Delta_o^{2/3} \cdot v_o^3}{C_o}$$

$$MCR = \frac{\Delta^{2/3} \cdot v^3}{C}$$

i pretpostaviti, s obzirom na sličnost ovih brodova, $C = C_o$. Tada se dobija masa mašinskog kompleksa u funkciji (nepoznatog) deplasmana Δ

$$m_{mk} = p_{mk}^{(o)} \cdot \frac{v^3}{C_o} \cdot \Delta^{2/3}.$$

Masa zaliha je, na sličan način

$$m_{zal} = q \cdot \frac{v^3}{C_o} \cdot \frac{24n_{dan}}{1000} \cdot \Delta^{2/3}.$$

Smenom ovih izraza u jednačinu (1) dobija se jednačina

$$\Delta - \left(p_{mk}^{(o)} + q \cdot \frac{24n_{dan}}{1000} \right) \cdot \frac{v^3}{C_o} \cdot \Delta^{2/3} = m_{cel} + m_{opr} + m_{ter} + m_{pos} + m_{rez},$$

čijim rešavanjem sledi deplasman projekta. Naime, jedina nepoznata veličina u ovoj jednačini je deplasman Δ .

Student – projektant treba da nađe deplasman broda na oba prikazana načina. S obzirom da je teško proceniti koji je postupak precizniji, treba kao rezultat usvojiti srednju vrednost proračunatih deplasmana.

Na ovom mestu je važno napomenuti da bi u realnim uslovima projektant raspolagao sa mnogo detaljnijom rasčlanom mase prototipa od one koja je ovde primenjena, odnosno da bi jednačina (1) imala mnogo više članova. U ovom zadatku je to izostavljeno, zbog nedostatka pouzdanih podataka o prototipovima. To je jedino mesto gde ovaj školski zadatak bitnije odstupa od tehničke logike. Međutim, student – projektant koji shvati postupak, lako će se snaći i u jednačini težina sa više članova. Treba samo za svaku od težinskih grupa pravilno pretpostaviti njenu zavisnost od glavnih dimenzija ili deplasmana broda.

5. Određivanje gaza broda

Nakon što je određen deplasman, sledi (po treći put)

$$T = \frac{\Delta}{\rho \cdot c \cdot C_B \cdot L \cdot B} .$$

Ovo treba smatrati do sada najpreciznije proračunatim gazom broda. S ovim gazom treba proveriti i slobodni bok.

6. Određivanje težišta istisnuća

Za težište istisnuća po dužini LCB zadržava se vrednost usvojena u prethodnim aproksimacijama. Težište istisnuća po visini VCB izračunava se na osnovu novog gaza broda.

7. Određivanje broja i mase kontejnera, određivanje gustine rasutog tereta

Skaliranjem generalnog plana prototipa dobijaju se i dimenzije skladišta projekta. Sličnim postupkom kao u prethodnim aproksimacijama, moguće je tačnije odrediti broj kontejnera n , prosečnu masu kontejnera m_{con} , kao i gustinu homogenog tereta ρ_{ter} u skladištu broda.

8. Određivanje težišta broda

Težišta težišnih grupa praznog prototipa (čelik, mašinski kompleks, oprema) su poznata. Iz ovih podataka moguće je odrediti težišta odgovarajućih težinskih grupa projekta. Treba pretpostaviti da važi

$$LCG_i = \lambda_L \cdot LCG_{oi} , \quad VCG_i = \lambda_H \cdot VCG_{oi} ,$$

odnosno da položaji ovih težišta u odnosu na brod ostaju neizmenjeni. Ova pretpostavka važi samo ukoliko projektant nije svesno promenio položaj mašinskog prostora ili nadgrađa u generalnom planu broda.

Težište komponenti dedvejta (tereta, zaliha, posade) kao i projektantske rezerve treba proceniti na osnovu generalnog plana i preporuka iz druge aproksimacije. Pretpostaviti, kao i u prethodnim aproksimacijama, dva osnovna slučaja opterećenja: brod nakrcan homogenim teretom u skladištu i brod nakrcan maksimalnim brojem kontejnera jednake mase. Težišta svih težinskih grupa treba ucrtati u generalni plan broda.

Nakon što su određena težišta pojedinih težinskih grupa, preostaje da se proračuna težište broda - projekta po dužini (LCG) i širini (VCG).

9. Provera stabiliteta

Nakon određivanja težišta broda po visini, moguće je proveriti metacentarsku visinu broda. Postupak je isti kao i u drugoj aproksimaciji.

10. Centracija

Prikazanim postupkom došlo se do položaja težišta istisnuća LCB i do položaja težišta broda LCG . Ova dva težišta se (najverovatnije) ne poklapaju, usled čega bi

projektovani brod plivao s trimom. Potrebno je s toga, za osnovni slučaj opterećenja broda (brod sa punim skladištem homogenog tereta i 100% zaliha) obezbediti jednakost

$$LCG = LCB ,$$

odnosno izvršiti centraciju broda. Postupak je sličan onom koji je prikazan u drugoj aproksimaciji. Treba pomerati npr. težište zalihe goriva ili neke druge značajne mase u realnim granicama. Ukoliko je na taj način nemoguće izvršiti centraciju, neophodno je promeniti težište istisnuća, bez obzira na preporuke o minimalnom otporu.

REZULTAT TREĆE APROKSIMACIJE

Konačno, nakon prve, druge i treće aproksimacije, projektant raspolaže sa sledećim preliminarnim podacima o brodu – projektu:

$$\Delta, L_{pp}, B, H, T, C_B, C_M, C_P, C_{WL}, LCB, VCB, VCG, MG, MCR, n, m_{con}, \rho_{ter} .$$

Brod je centriran ($LCG = LCB$) i poznate su osnovne težinske grupe i njihova težišta. Projektant ima i grubu skicu generalnog plana.

Sledeći korak u spirali projektovanja je formiranje linija broda na bazi proračunatih podataka.

Napomena

U svim proračunima rezultate treba zaokruživati na tehnički realne veličine, a ne prepisivati nizove cifara koje daje kalkulator ili kompjuter. Pri tome treba imati u vidu da su pojedine veličine usvajane na bazi preporuka, a da je druge je bilo moguće samo približno odrediti. Tačnost do koje treba ići zavisi od veličine broda i preciznosti formula koje se koriste, pa projektant treba sam da proceni broj decimala na kome treba da se zaustavi.

Na primer za brodove dužine $100 - 150 m$, u početnim krugovima spirale projektovanja, opravdano je:

- dimenzije L, B, H , koje se usvajaju na bazi preporuka i sličnih brodova, zaokružiti na $1 dm$;
- gaz i ostale dužine koje se dobijaju proračunom na $1 cm$;
- brodske mase (težinske grupe) zaokružiti na $10 t$;
- bezdimenzione koeficijente na $3 - 4$ decimale.

Student – projektant treba da proveriti za svoj projekat koliko su ova zaokruživanja opravdana.

Gotovi seminarski, maturski, maturalni i diplomski radovi iz raznih oblasti, lektire , puškice, tutorijali, referati - specijalizovan tim za usluge visokokvalitetnog pisanja, istraživanja i obradu teksta za kompletan region Balkana.

Posetite nas na sajtovima ispod:

WWW.MATURSKIRADOVI.NET

WWW.SEMINARSKIRAD.ORG

WWW.MATURSKI.NET

WWW.MATURSKI.ORG

WWW.SEMINARSKIRAD.INFO

Dostupni smo Vam 24h 365 dana u godini.

Za gotove verzije rada obratiti se na mail:

maturskiradovi.net@gmail.com

061/ 11-00-105

Seminarski, diplomski, maturski radovi, prevodi na engleski i eseji...