

Dubina spuštanja je često velika pa bubanj vitla mora biti dimenzioniran tako da može namatati i do 10 000 m žice. Vitlo ima poseban indikator koji pokazuje dužinu odmotane žice. Hidrografsko vitlo je obično smješteno na povišenom dijelu broda, da ga ne zalijevaju valovi. Kabelskim vitlom se spuštaju električni mjerni instrumenti obješeni o izolirani kabel preko koga dostavljaju na brod rezultate mjerenja. Bubanj vitla je posebne konstrukcije koja omogućava da se na brodu registriju mjerni podaci i za vrijeme dok se bubanj okreće. Teška vitla služe za tegljenje ribarskih mreža i za spuštanje i dizanje bušila i grabila kojima se skupljaju uzorci podmorskog tla i taloga. Vitlo za ribarske mreže je jednako vitlu na kočaru, a smješteno je, kao i na ribarskom brodu, ili na krmi ili ispred nadgrađa na palubi. Snaga i veličina vitla ovise o predviđenoj veličini ribarskih mreža i o dubini potezanja mreža (v. Ribarski brod u ovom članku). Postoje i kombinirana vitla s izmjenljivim bubnjevima koja služe za više različitih namjena. Kombinirano vitlo na malom istraživačkom brodu zamjenjuje nekoliko specijalnih vitala.

Moderna vitla na istraživačkim brodovima većinom imaju elektro-hidraulički pogon. Hidraulička vitla su vrlo pouzdana i tiha pri radu, lako se njima upravlja, relativno malih su dimenzija i težine, jednostavno se održavaju, pa najbolje odgovaraju za specifične uvjete rada na istraživačkom brodu.

Za većinu istraživačkih brodova od velike je važnosti da u svakom momentu mogu što tačnije odrediti položaj na moru i ploviti vrlo precizno po predviđenom kursu. Zato njihova navigacijska oprema često uključuje najmodernije elektronske uređaje (Loran, Decca, Shoran, Radar), automatske pilote itd., što je iznad standardne navigacijske opreme drugih tipova brodova iste veličine.

Osnovni podaci za nekoliko modernih istraživačkih brodova prikazani su u tablici 1.

LIT.: J. O. Traung, N. Fujinami, Research vessel design, Roma 1961.

LEDOLOMAC

Ledolomac je specijalan brod koji u zaleđenim vodama, razbijajući i krčeći led, otvara vodeni put ostalim brodovima, oslobađa brodove opkoljene ledom, po potrebi tegli kroz ledena polja brodove koji ne mogu ići vlastitom snagom, snabdijeva u polarnim krajevima polarne stanice i služi kao baza ekspedicijâ koje istražuju polarne krajeve.

Ledolomci su se pojavili relativno kasno, tek kad je parni pogon brodova bio usavršen. Prvi ledolomac »Eisbrecher I« izgrađen je 1871 u Hamburgu, a bio je određen za razbijanje leda i održavanje plovidbe zimi između Hamburga i Cuxhavena. U isto vrijeme je i u Rusiji bio izgrađen manji ledolomac za održavanje zimske plovidbe u Kronštatskoj luci.

Oko 1890 gradi se u Engleskoj nekoliko većih ledolomaca za Rusiju, a u prvoj dekadi XX st. Kanada nabavlja i gradi prve ledolomce za rad na rijeci Sv. Lovrijenca, gdje je uslijed nagomilavanja leda dolazilo do velikih prolijetnih poplava i dugotrajnog zastoja vodnog saobraćaja. Već u to vrijeme na neke ledolomce se stavlja i pramčani propeler, jer se je opazilo da rad tog propelera oslobađa pramac od slomljenog leda i ledene kaše koja se nagomilava na pramcu i ponekad potpuno zaustavi kretanje broda.

Nakon Prvog svjetskog rata gradi se sve više ledolomaca, a njihova se konstrukcija usavršava. God. 1926 sagrađen je u Finskoj prvi ledolomac s bočnim nagibnim tankovima, (Jäärkahn), 1932 u Švedskoj se gradi prvi ledolomac sa dizel-električkim pogonom (Ymer), 1947 dovršen je u Kanadi prvi ledolomac sa dva pramčana propelera (Abgeweit), a 1959 SSSR dovršava prvi ledolomac na nuklearni pogon (Lenin).

Povećani interes za Arktik i Antarktik je u najnovije vrijeme doveo do gradnje velikih i snažnih ledolomaca, naročito u SSSR i Sjevernoj Americi. Može se očekivati da će se u budućnosti, s obzirom na ekonomsku, naučnu i stratešku važnost polarnih krajeva, nastaviti gradnja sve većih i sve snažnijih ledolomaca, to više što se povećavaju i dimenzije teretnih brodova koje ledolomci sprovedu kroz zaleđene oblasti.

Osnovni zahtjev koji se postavlja ledolomcu je visoka operativnost i potpuna pouzdanost u radu, dok su ekonomičnost konstrukcije i pogona broda od drugostepene važnosti. Ledolomac redovito mora da vrši više funkcija, od kojih je najvažnija razbijanje leda na površini vode i stvaranje vodenih putova. Postoje tri načina kojima ledolomac probija plovni put kroz ledeno polje, ovisna o obliku leda: kroz plutajuće komade leda i kroz sniježnu, ledenu kašu brod krči put ploveći konstantnom brzinom; homogeni čvrsti led male debljine razbija, također ploveći konstantnom brzinom; homogeni čvrsti led velike debljine brod ne lomi vozeći konstantnom brzinom, već ga razbija zaletima na debelu ledenu koru.

Osim za razbijanje leda, ledolomac treba da bude sposoban i za ove dopunske službe: za postavljanje i zamjenu plutača i ostalih plovnih navigacijskih oznaka; za transport zaliha i osoblja; za pružanje medicinske pomoći i sudjelovanje u naučno-istraživačkim ekspedicijama; za oslobađanje brodova zarobljenih le-

dom; za spasavanje i tegljenje brodova. Ovi su zadaci dijelom proturječni, pa zato svaki projekt ledolomca predstavlja izvjesno kompromisno rješenje.

Da bi zadovoljio pod svim uvjetima rada, svaki ledolomac mora imati određene osnovne karakteristike, po kojim se i razlikuje od ostalih trgovačkih brodova. Konstrukcija trupa mora biti naročito čvrsta, da bi brod mogao bez opasnosti od oštećenja da razbija led i da plovi kroz razbijene ledene sante. Oblik trupa broda, a naročito oblik pramca i krme, mora biti prilagođen plovidbi kroz led i razbijanju leda. Pogonski stroj mora biti vrlo snažan, da bi ledolomac mogao savladavati ledene zapreke, osloboditi se iz leda i tegliti ostale brodove, a pored toga mora biti vrlo elastičan u radu i dorastao teškim uvjetima rada, velikim promjenama opterećenja, čestim preokretima smjera vrtnje propelera, udarima i potresima. Propeleri ledolomaca nisu projektirani za optimalni stepen djelovanja, već je težište bačeno na njihovu čvrstoću i što veću otpornost prema oštećenju. Neki ledolomci imaju i pramčane propelere.

Ledolomac mora imati izvrsna manevarska svojstva jer često prolazi kroz uske kanale i treba izvoditi složene manevre pri pružanju pomoći brodovima opkoljenim ledom i pri razbijanju naročito čvrstih ledenih blokova.

Ledolomac ima specijalnu opremu kao što su: veliki pramčani i krmeni trim-tankovi, bočni balastni tankovi, platforme i hangari za helikoptere, veliki čamci za prebacivanje materijala na obalu, priručne radionice za obavljanje opravki, specijalna vitla za tegljenje brodova itd.

Brzina ledolomca u mirnoj, nezaleđenoj vodi nije od primarnog značenja. Ipak, velika snaga pogonskog stroja omogućava velike brzine slobodne vožnje, koje inače nisu ekonomične. Ekonomična brzina krstarenja manjih ledolomaca je ~ 11 čv, a većih ~ 13 čv. Mogućnost da ledolomac razvije brzinu i znatno veću od ekonomične vrlo dobro dolazi kad brod zaletom razbija led, jer snaga udara o led, a time i sposobnost razbijanja leda, ovisi o brzini broda.

Za ledolomce ne postoje propisi klasifikacionih društava o dimenzioniranju elemenata broskog trupa, niti se na njih primjenjuje Konvencija o nadvodu.

Projektiranje ledolomca

Projekt ledolomca ovisi o području na kojem će brod da djeluje, jer postoje velike razlike u konfiguraciji vodenih putova, stanju leda i namjeni za koju je brod prvenstveno građen.

Mali lučki ledolomci su u stvari jednaki lučkim tegljačima, samo što imaju skošen pramac, oplatu na pramcu dvostruko deblju nego obični tegljači, a razmak pramčanih rebara smanjen na 25·30 cm. Oceanski i polarni ledolomci imaju poseban oblik trupa broda i specijalnu opremu, a moraju imati osiguran smještaj ne samo za redovnu posadu nego također za pilote i mehaničare helikoptera, medicinsko osoblje, naučne radnike itd.

Veličina ledolomaca je ograničena zahtjevima manevarabilnosti i potrebom da se održi određeni odnos između snage pogonskog stroja i istisnine broda. U slučaju klasičnog načina pogona maksimalna dužina ledolomca je ~ 100 m. Svako daljnje povećanje dužine ledolomca zahtijeva, zbog povećanja težine trupa, vrlo velike snage pogonskog stroja i suviše velik prostor za smještaj stroja i goriva. Primjena nuklearnog pogona otklonila je nužnost ograničavanja dimenzija ledolomca, jer otpadaju bunkeri goriva, a povećanje pogonske snage prostor potreban za strojaricu bitno se ne povećava.

Glavne dimenzije i oblik trupa ledolomca. Ne postoji nikakvo pravilo za određivanje dužine ledolomca, već se dužina kompromisno određuje prema tipu ledolomca i ostalim parametrima brodske forme. Od ledolomaca se zahtijeva u prvom redu izvrsna manevarabilnost, što se postiže malom dužinom a velikom širinom broda. S druge strane, povećanje dužine broda povećava teorijsku sposobnost lomljenja leda i osigurava dobru stabilnost kursa, što je važno za ledolomce koji sprovedu konvoje.

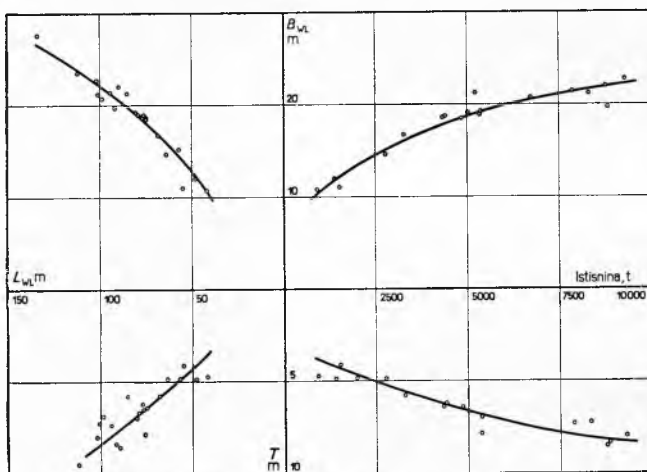
Dosadašnja iskustva pokazuju da je omjer između dužine i širine uspješnih ledolomaca približno ovaj: ledolomci od ~ 2000 t istisnine: $L/B \approx 3,75$; ledolomci od 10 000 t istisnine: $L/B \approx 4,5$; ledolomci preko 10 000 t istisnine: $L/B \approx 5$.

Širina broda je za ledolomce važniji parametar od dužine, pa se obično prema odabranoj širini određuje dužina broda. Širina

ledolomca se odabire tako da bude malo veća od širine najvećeg broda koji se namjerava pomoću tog ledolomca sprovesti kroz ledeno polje. U homogenom ledenom polju vodeni put što ga otvara ledolomac obično ima širinu jednaku širini ledolomca na plovnoj vodnoj liniji.

Gaz ledolomca treba da bude što veći, da bi propeler bio što dublje uronjen i time bolje zaštićen od razbijenog leda koji pliva iza krme broda. Po pravilu, trebalo bi da manji ledolomci određeni za rad u zdrobljenom ledu na rijekama i u lukama imaju omjer širine i gaza $B/T \approx 3$, a veliki polarni ledolomci $B/T \approx 2,5$. Ovi omjeri ne smiju biti veći, jer bi to značilo smanjenje gaza broda, a svako smanjenje gaza ledolomca smanjuje moć lomljenja leda i smanjuje promjer propelera, koji je i inače zbog drugih razloga često već manji od optimalnog. Ograničenje gaza ledolomca je opravdano jedino ako je brod određen za rad u vodama male dubine. Da bi propeler bio dovoljno uronjen, potrebno je da omjer između gaza broda i promjera propelera manjih riječnih ledolomaca iznosi $T/D \approx 1,4$, a velikih ledolomaca $T/D \approx 2$.

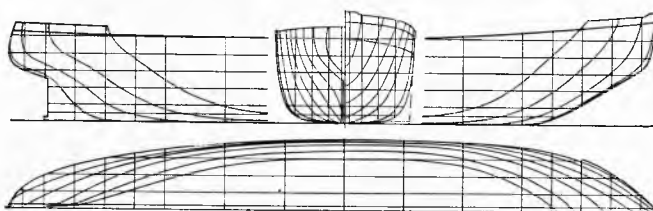
Na sl. 1 prikazane su prosječne vrijednosti odnosa između glavnih dimenzija i istisnine modernih ledolomaca.



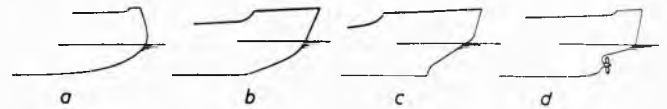
Sl. 1. Odnos glavnih dimenzija i istisnine izgrađenih ledolomaca

Ledolomac ima obao oblik trupa bez ravnih ploha i paralelnog srednjaka. Takav oblik trupa je potreban da bi se smanjilo trenje između oplata i leda i da bi se brod lakše oslobodio kad ga opkoli led. Zato je za ledolomce karakteristično oblo glavno rebro, a često se i širina broda iznad plovne vodne linije počinje smanjivati, tj. bokovi broda imaju iznad vode nagib prema sredini broda. Kružni oblik rebra omogućava da se brod nadigne na led kad ga led bočno stisne i olakšava da se brod bočno zaljulja i tako razbije led oko bokova broda.

Zbog oblog i finog glavnog rebra ledolomci imaju nizak koeficijent glavnog rebra β . On se kreće od 0,75 do 0,85. Koeficijent istisnine δ kreće se u vrlo širokim granicama: od 0,47 do 0,62. Evropski ledolomci imaju niže koeficijente istisnine ($\delta = 0,47 \dots 0,52$) jer im je oštrije pramac. Američki ledolomci, a naročito kanadski, imaju obično vrlo pune pramce kašikastog oblika, pa je zbog toga i koeficijent istisnine veći ($\delta = 0,50 \dots 0,62$). Koeficijent vodne linije a ledolomca je od 0,7 do 0,8. Položaj težišta istisnine ima za ledolomce znatno manji značaj nego za normalne trgovačke brodove, pa se težište istisnine može pomicati u prilično širokim granicama, već kako to zahtijeva raspored težina



Sl. 2. Linije kanadskog ledolomca 'D'Iberville'



Sl. 3. Različni oblici pramca ledolomca. a) stariji oblik pramca (danas još samo na malim riječnim ledolomcima), b) pramac bez stepenice, c) pramac sa stepenicom, d) pramac sa stepenicom i pramčanim vijkom

na brodu. Ipak izvjesnu prednost pruža smještaj težišta istisnine ispred sredine broda, jer se time olakšava komadima leda potisnutim na pramcu ispod broda da isplivaju na površinu negdje iza sredine broda i ne uđu u propelere.

Karakteristične linije trupa velikog modernog ledolomca prikazane su na sl. 2.

Ledolomac ima poseban oblik pramca, prilagođen razbijanju leda i plovidbi u ledu (sl. 3). Ledolomac lomi led tako da se pramcem propne i nasjedne na ledenu koru, koja se pod težinom i pritiskom broda lomi i puca. Pored toga ledolomac pramcem i direktno siječe led. Radi lomljenja i rezanja leda pramac mora biti izbačen, skošen, s kosim vertikalama. Nagib konture pramca evropskih ledolomaca iznosi $\sim 25^\circ$, a američkih $30 \dots 33^\circ$. Nešto veći nagib pramca je povoljniji jer se brod lakše penje i silazi s leda, a u vožnji gura ispred sebe manje nagomilanog slomljenog leda. Pojedini ledolomci nemaju na čitavom podvodnom dijelu skošenu pramčanu statvu, već nešto iznad kobilice pramac prelazi u vertikalnu stepenicu koja sprečava da se brod suviše popne na led, a koja ujedno i siječe led. Na ledolomcima s pramčanim propelerom propeler je smješten u toj stepenici. Prelaz iz skošenog pramca u vertikalnu stepenicu mora biti zaobljen radi ublaživanja udarca o led. Gornji dio pramčane statve je također okomit, jer bi potpuno kosi nadvodni dio pramca bio suviše visok i smetao vidiku s komandnog mosta. Pramčana rebra ne smiju biti suviše izbačena i skošena, jer bi trenje s ledom bilo povećano. Polovina pramčanog kuta na plovnoj vodnoj liniji obično je $18 \dots 25^\circ$.

Ledolomci imaju široku krmu; ona im je potrebna za zaštitu propelera i za rezervnu istisninu, koja smanjuje krmeni trim kad se brod pramcem popne na led. Prilikom manevriranja u ledenom polju ledolomac često mora voziti krmom, pa postoji opasnost da ledeni blokovi oštete kormilo. Zato se na krmu direktno iza kormila nalazi snažan rog koji štiti kormilo u vožnji krmom. Da bi se stepen propulzije i manevrabilnost ledolomca u vožnji krmom poboljšali, podvodni krmeni dio mora biti zaoštren, sa dugim, blagim prelazom u srednji dio trupa.

Otpor i propulzija ledolomca. Oblik trupa ledolomca tako je projektiran da najbolje odgovara uvjetima rada u ledenom polju, a ne tako da je najpovoljniji za otpor u plovidbi kroz nezaleđenu vodu. Za vrijeme plovidbe kroz led otpor ledolomca se mijenja ovisno o stanju i uvjetima leda. Kroz čvrsto ledeno polje ledolomac se kreće tako da se zaleti, pramcem udari o led i izdigne na led (sl. 4), uslijed čega mu se povećava otpor i smanji brzina. Pod težinom broda led se slomi u nekoj udaljenosti ispred pramca i pramac padne u vodu, otpor broda se smanji a brzina povećava, pa brod ponovo pramcem nalijeće na led. Čitav proces se periodski ponavlja, a otpor i brzina broda se stalno mijenjaju unutar granica koje ovise o debljini i čvrstoći leda. Ako je debljina leda takva da ga ledolomac može lomiti ploveći konstantnom brzinom, otpor ledolomca se može približno odrediti pomoću empirijske formule:

$$R = (C_1 + C_2 V^2) e B,$$

gdje je R (kp) otpor ledolomca koji plovi konstantnom brzinom kroz homogenu ledeno polje, C_1 konstanta oblika trupa broda, čija vrijednost za normalne forme ledolomca iznosi $\sim 0,23$; C_2 konstanta inercijskih sila, za normalne forme ledolomca iznosi $\sim 0,0135$; V brzina broda (u čvorovima); e debljina leda koji ledolomac lomi a B širina broda (oboje u metrima).

Snaga pogonskog stroja ledolomca ne određuje se prema otporu broda već prema njegovoj istisnini. Današnja je praksa da veliki ledolomci imaju omjer snage pogonskog stroja i istisnine oko $2 \dots 2,5$ KS/tona istisnine. Ovako visoki omjer snage pogonskog stroja i istisnine osigurava ledolomcu potrebnu rezervu snage za plovidbu kroz debeli ledeni pokrov i omogućava da brod u kratkom vremenu razvije veliku brzinu, pa tako povećava kinetičku

energiju i moć razbijanja leda, što je važno kad zaletom razbija ledene blokove.

Mali lučki ledolomci imaju jedan propeler, a veći ledolomci dva ili više njih. Ledolomci određeni za rad u mekanom mladom ledu na rijekama, jezerima i priobalnom pojasu imaju i pramčani propeler. Pramčani propeler pomaže da se pramac oslobodi od nagomilane ledene kaše, jer služi kao svrdlo za rasturanje zdrobljenog leda, ali povećava otpor broda i vrlo često kavitira i povlači zrak sa površine vode. U vožnji naprijed pramčani propeler ne doprinosi gotovo ništa brzini broda, ali mu može povećati manevrabilnost. Zato ga treba projektirati tako da se u vožnji naprijed slobodno okreće, ne pružajući nikakav otpor, a u vožnji krmom da daje poriv i time pomaže krmenim propelerima, koji u vožnji krmom često imaju vrlo nizak stepen djelovanja. Arktički i oceanski ledolomci imaju propelere samo na krmi, jer bi se pramčani propeler u debelim tvrdim ledenim blokovima odmah ošteti.

Propeleri ledolomaca imaju nizak stepen djelovanja zbog brojnih ograničenja koja onemogućavaju usvajanje najpovoljnijih karakteristika propelera, kao i zbog vrlo promjenljivih uvjeta rada propelera.

Propeleri ledolomaca se projektiraju za neke kompromisne uvjete, slično kao propeleri tegljača, tj. tako da zadovoljavaju uvjete slobodne vožnje maksimalnom brzinom i uvjete plovidbe kroz led nekom malom brzinom. Propeleri malih lučkih ledolomaca obično se projektiraju za brzinu od 6 čv, a propeleri velikih ledolomaca za brzinu od 8-12 čv. Promjer propelera je vrlo često manji od optimalnog jer je ograničen zahtjevom da vrh krila propelera bude najmanje 1,5-2 m ispod površine vode, da ne bi zapinjao o komade leda koji plivaju po krmi broda. Nadalje, raspored vrha krila propelera i oplata broda mora biti bar 0,5 m radi slobodnog prolaza slomljenog leda između propelera i oplata. Vrlo je važno da propeleri u vožnji krmom imaju relativno dobar stepen djelovanja. To se postiže plosnatim oblikom krila, sa gotovo simetričnim profilom poprečnog presjeka. Radi veće čvrstoće i otpornosti protiv oštećenja, krila propelera su debela; omjer krilne debljine za krmenne propelere iznosi $s_1/D = 0,06-0,07$, a za pramčane propelere $s_1/D = 0,07-0,08$ što je za 30-50% više nego za propelere normalnih trgovačkih brodova. Da bi se smanjila oštećenja i pretjerano habanje rubova krila, omjer krilnih površina A_g/A_o treba da je manji od 0,60. Zbog velike debljine krila, ograničenog omjera krilnih površina i velikih promjena režima rada, propeleri ledolomca redovito kavitiraju, što još više umanjuje njihov stepen djelovanja. Iako se propeleri ledolomca izgrađuju od legiranog ili nerđajućeg čelika, ili od specijalne bronce velike čvrstoće, i mada imaju masivna i vrlo debela krila, ipak se često oštećuju. Zato se ti propeleri ne izrađuju u jednom komadu, već imaju demontabilna krila učvršćena vijcima za glavinu, tako da se oštećena krila mogu zamijeniti rezervnim.

O komponentama propulzije ledolomca postoje samo vrlo oskudni podaci. Izvršena ispitivanja modela — dosad malobrojna — pokazala su da u slobodnoj vožnji ledolomci dugi od 55 do 85 m, sa dva krmena propelera, imaju koeficijent sustrujanja od 0,14 do 0,18, a koeficijent smanjenog poriva $\sim 0,27$. U slučaju da imaju i pramčani propeler, koeficijent smanjenog poriva pramčanog propelera je $\sim 0,6$, a kod istog opterećenja pramčanog i krmenih propelera, koeficijent sustrujanja na pramcu iznosi $\sim 0,23$ a na krmenim propelerima $\sim 0,09$.

Stabilitet i nadvođe ledolomca. Zbog velike širine, ledolomci imaju vrlo velik stabilitet. Metacentarska visina ledolomca iznosi od 2 do 3 m, pa su oni zato u plovidbi na valovima neugodni i

vrlo žestoko se ljuljaju. To ljuljanje često dovodi do bočnih nagiba od 25°, a dešava se da bočni nagib bude čak i do 50°. Pored velike metacentarske visine, ovako žestokom ljuljanju pogoduje obao oblik broskog trupa i odsustvo ljuljnih kobilica. (Ledolomci ne mogu imati ljuljne kobilice jer bi se one oštetile i otrgnule za vrijeme vožnje kroz led.) U najnovije vrijeme učinjen je uspješan pokušaj da se ljuljanje ledolomca priguši pomoću aktivnih perajica koje se za vrijeme vožnje kroz led uvuku u trup broda.

Ako se pri projektiranju ledolomaca ne obraća posebna pažnja stabilitetu, već je njihov veliki stabilitet rezultat osnovnih parametara broda uvjetovanih ostalim faktorima, to ne znači da ledolomcu velik stabilitet nije potreban. Na ledolomcima često dolazi do zaleđivanja nadvodnog dijela broda i skupljanja mase leda na nadgrađu i jarbolima, čime se podiže težište broda i smanjuje metacentarska visina, pa bi uslijed toga bila ugrožena sigurnost broda kad ne bi postojala velika rezerva metacentarske visine.

Konvencija o nadvođu se ne odnosi na ledolomce. Radi rezerve istisnine i povećanja sigurnosti broda ledolomci imaju znatno više nadvođe nego što propisuje Konvencija o nadvođu trgovačkih brodova. Nadvođe ledolomca mora biti bar toliko visoko da pri bočnom nagibu od 25° paluba još ne dođe pod vodu. Na malim ledolomcima vrlo visoko nadvođe na pramcu, povezano s velikim skokom palube, smeta vidiku sa mosta i otežava hodanje po zamrznutoj palubi. Zato se preporuča na ovakvim brodovima predvidjeti pramac s kaštelom takve visine da ne ometa slobodan vidik s komandnog mosta. Na velikim ledolomcima skok palube je minimalan, a nadvođe po čitavoj dužini broda dovoljno veliko da na pramcu ne treba posebnog povišenja. Nadvođe na krmi mora da bude dovoljno veliko da krma ne dođe pod vodu kad se brod pramcem propne na led. Pri tom treba računati s uzdužnim nagibom broda od 3-5°.

Mogućnost da led ošteti ili probije oplatu ledolomca traži da se brodu osigura dovoljna nepotonljivost. Za male ledolomce se zahtijeva da brod može ploviti s bar jednim potpuno naplavljenim prostorom, a za veće sa dva ili više naplavljenih prostora.

Bočni tankovi i trim-tankovi. Ledolomci imaju velike trim-tankove na pramcu i na krmi i posebne bočne tankove na sredini broda. Krmeni i pramčani trim-tankovi služe za to da se brodu za vrijeme razbijanja leda daje najpovoljniji trim. Kad se brod pramcem propne i nasuče na čvrsti led, punjenjem pramčanog



Sl. 4. Ledolomac u momentu naleta na debeli led

trim-tankova oteža se pramčani dio broda pa se led uslijed povećanog pritiska pramca pod njim slomi; ako je led suviše čvrst, punjenjem krmenog i pražnjenjem pramčanog trim-tankova pramac se olakša pa se brod može odsukati s leda. Kapacitet trim-tankova iznosi 3-7% istisnine broda.

Bočni tankovi služe za to da se brod nagne bočno ili da se zaljulja kad ga opkoli i uklješti led, pa da se tako oslobodi iz leda. Kapacitet bočnih tankova je 5...10% od ukupne istisnine broda, a prebacivanjem vode iz tankova na jednom boku u tankove na drugom boku postižu se bočni nagibi od 5...8°.

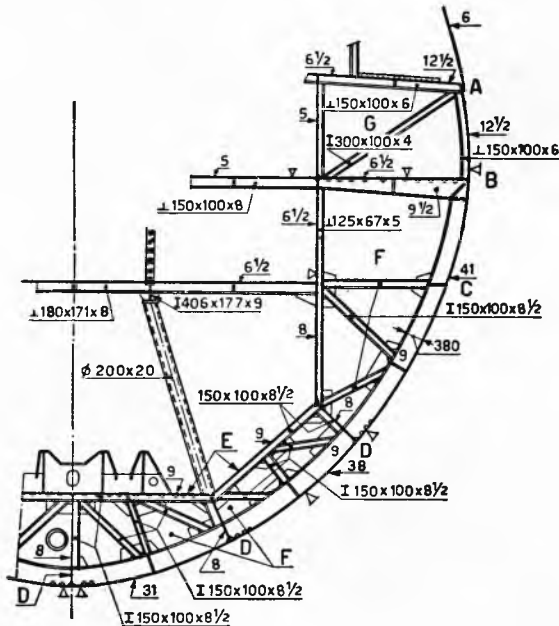
Konstrukcija trupa ledolomca

Konstruktivni elementi trupa ledolomca ne izrađuju se prema propisima klasifikacionih društava. Ledolomci imaju elemente trupa (rebra, sponje, oplatu, koljena, pregrade, itd.) znatno jače nego je to propisima klasifikacionih društava predviđeno za trgovačke brodove koji plove kroz led. Zbog toga je i uzdužna čvrstoća ledolomca dva do tri puta veća nego običnih trgovačkih brodova. U Evropi se računa čvrstoća ledolomca za ova opterećenja:

Pramac: oplata 1000 Mp/m², rebra 800 Mp/m²; svako četvrto rebro okvirno. Krma: oplata 750 Mp/m², rebra 600 Mp/m²; svako četvrto rebro okvirno. Sredina broda: oplata 500 Mp/m², rebra 400 Mp/m²; svako šesto rebro okvirno.

Ledolomci imaju oplatu oko tri puta deblju a razmak rebara oko dva puta manji nego što propisuju klasifikaciona društva za trgovačke brodove koji plove u ledu. Veliki ledolomci imaju debljinu oplata na pramcu ~ 55 mm, na sredini broda ~ 40 mm, a na krmi ~ 45 mm. Razmak rebara je obično 400 mm. Manji razmak rebara je moguć samo u zakivanoj konstrukciji trupa kakva se još ponekad primjenjuje za male lučke ledolomce.

Moderni ledolomci se grade s teškim okvirnim rebrima, između kojih su lakša poprečna rebra. Tipična konstrukcija glavnog rebra ledolomca prikazana je na sl. 5. Pramac ledolomca je posebno pojačan gusto postavljenim horizontalnim bočnim povezama (sl. 6). Sve pregrade u ledolomcu moraju biti deblje od 4,5 mm. Kad se je prešlo na potpuno zavarenu konstrukciju trupa broda, prestali su se graditi ledolomci s unutarnjom oplatom.

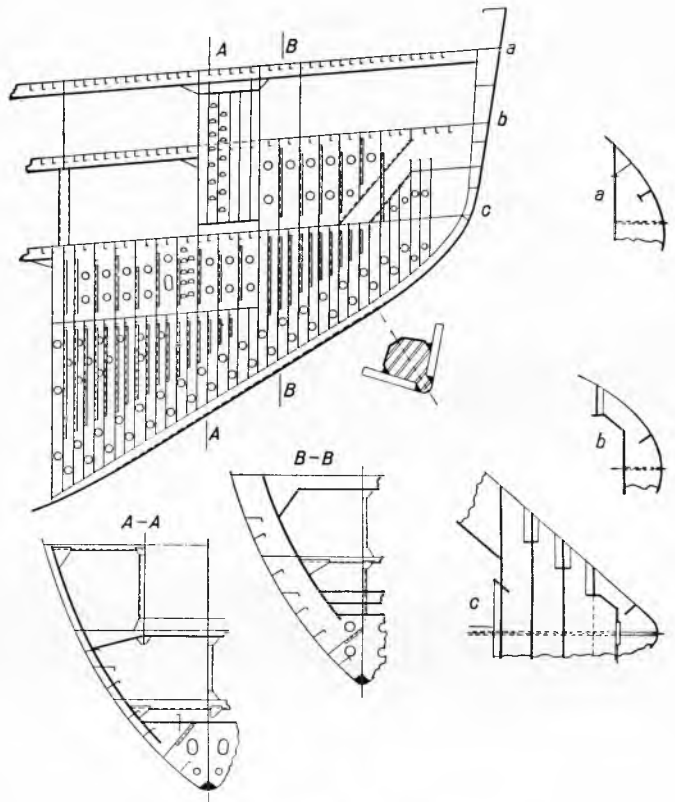


Sl. 5. Konstrukcija glavnog rebra ledolomca obalne straže USA

Danas veći ledolomci imaju potpuno zavarenu konstrukciju. Zavarivanje se pokazalo za ledolomce znatno povoljnijim od zakivanja jer se postiže veća otpornost konstrukcije prema oštećenjima od leda i manja težina trupa. Na zakivanim ledolomcima trebalo je svake godine mijenjati po nekoliko hiljada zakovica, a oštećenja spojeva limova bila su česta. Varilačke radove na trupu ledolomca treba izvesti vrlo kvalitetno, prema standardima koji su propisani za zavarivanje pritisnih tankova.

Kao konstruktivni materijal za trup ledolomca upotrebljava se čelik vlačne čvrstoće 44...50 kp/mm², granice popuštanja 26 kp/mm² i izduženja 25% (probni štap od 200 mm).

Pogonski uređaj ledolomca. Pogonski stroj ledolomca je izložen stalnim i velikim promjenama režima rada, velikim period-

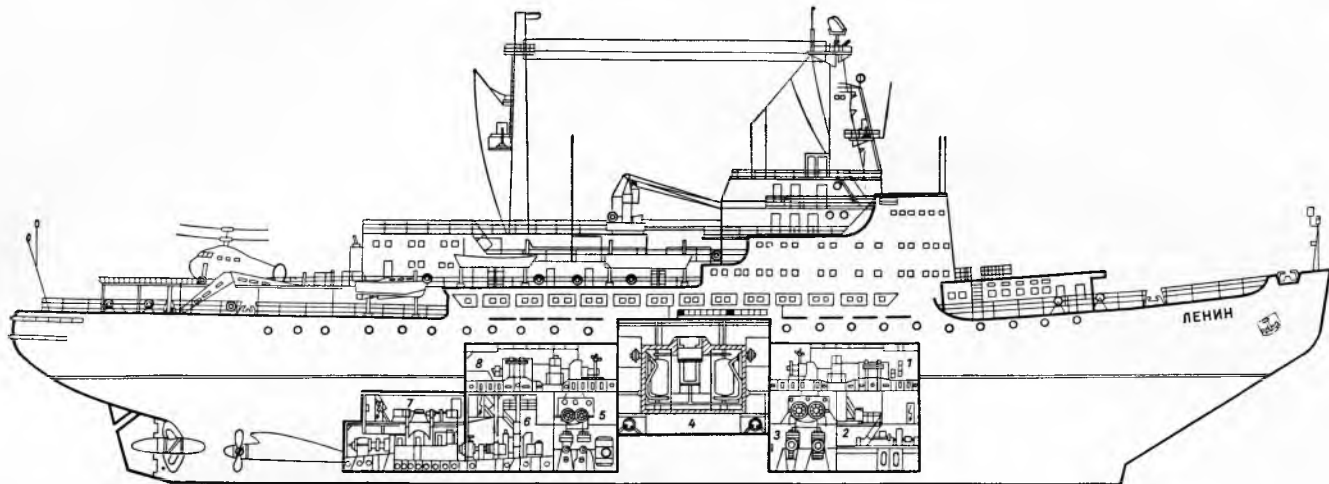


Sl. 6. Konstrukcija pramca ledolomca

skim opterećenjima, vanjskim potresima prilikom udara broda o led, čestim i brzim manevrima koji mijenjaju smjer okretanja propelera. Stroj mora biti kadar da u vrlo kratkom roku podigne snagu do maksimuma i da daje punu snagu pri promjenljivom broju okretaja propelera. Unatoč tako teškim uvjetima rada stroj mora biti potpuno pouzdan, jer u područjima gdje operira ledolomac ne postoji mogućnost izvođenja većih popravaka na stroju. To ujedno znači da stroj mora biti jednostavne konstrukcije, kako bi posada broda mogla i znala eventualne kvarove sama otkloniti. Vrlo je važno da specifični potrošak goriva bude što niži. Ledolomci imaju veliki akcijski radijus, od 10 000 do 25 000 morskih milja, bez



Sl. 7. Sovjetski ledolomac s nuklearnim pogonom »Lenin«



Sl. 8. Sovjetski ledolomac s nuklearnim pogonom »Lenin«. 1 prednji turbogeneratorski prostor, 2 prednja elektrogrupa, 3 prednji prostor za pomoćne strojeve, 4 nuklearni reaktor, 5 stražnji prostor za pomoćne strojeve, 6 pogonski elektromotori bočnih vijaka, 7 pogonski elektromotor srednjeg vijka, 8 stražnji turbogeneratorski prostor

možnosti snabdijevanja gorivom za vrijeme plovidbe, a pogonski stroj je, s obzirom na veličinu i istisninu broda, vrlo snažan, pa je što manji specifični potrošak goriva od odsudne važnosti.

Osnovnom zahtjevu o elastičnosti rada, otpornosti prema teškim uvjetima rada i promjeni opterećenja udovoljavaju stapni parni stroj, dizel-električni pogon i nuklearni reaktor s turbo-električkim pogonom.

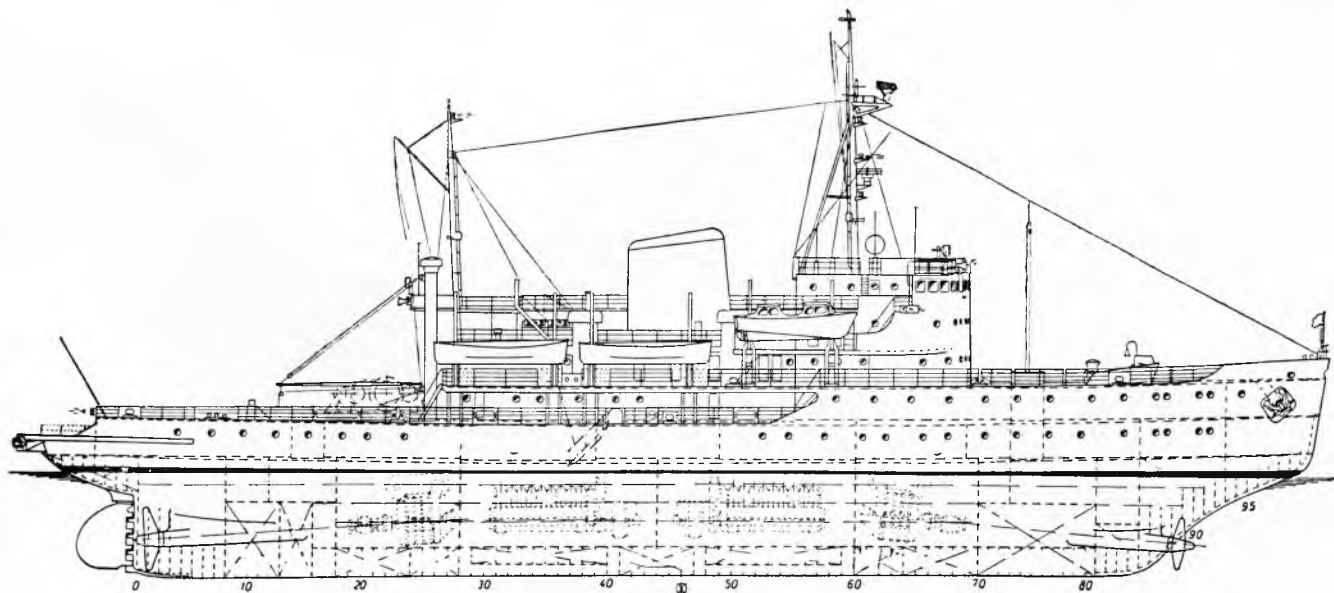
Do 1932 ledolomci su imali pogon isključivo stapnim parnim strojem. Stapni parni stroj je jeftin, pouzdan u pogonu, jednostavan i robusan, pa su kvarovi rijetki i lako se otklone, rukovanje njime ne zahtijeva naročito kvalificirano osoblje. U kombinaciji sa škotskim brodskim kotlom s prisilnom promajom, parni stroj može u kratkom roku razviti snagu. Škotski kotao sa svojim velikim kapacitetom vode u mogućnosti je da održava jednolik pritisak pare i kad brod za vrijeme rada u ledu naizmjenično treba velike i male količine pare. Promjena smjera okretanja propelera jednostavna je i brza, a ako led iznenada uklješti i zaustavi propeler, to ne predstavlja opasnost za stroj ako su osovinski vod i ostali dijelovi izrađeni dovoljno čvrsto. Grijanje strojarne i prostorija je jednostavno, jer stalno ima na raspolaganju dovoljno pare.

Dizel-električni pogon je u uspoređenju sa stapnim parnim strojem skuplji i kompliciraniji, ali je elastičniji u radu, zahtijeva manje prostora, lakši je, ima niži specifični potrošak goriva i treba manje osoblja. Manevriranje propelerima i usklađivanje momenta i

broja okretaja propelera je jednostavno, a može se vršiti direktno sa komandnog mosta. Brzina kojom ledolomac mora izvoditi manevre i prekratati smisao okretanja propelera zahtijeva da se strojem može upravljati s mosta. Pored toga dizel-električni pogon omogućava jednostavnu raspodjelu energije između krmenih i pramčanih propelera. Primjenom većeg broja dizel-generatora postiže se puna ekonomičnost pogona, jer se u rad uključuje samo onoliko broj generatora koliko je momentalno potrebno.

U novije vrijeme većina ledolomaca se gradi s dizel-električkim pogonom, jer su prednosti koje takav način pogona pruža, a naročito nizak potrošak goriva, veće nego nedostaci koje ima u uspoređenju sa stapnim parnim strojem. Ledolomac sa dizel-električkim pogonom ima dva puta veći akcijski radijus nego ledolomac s parnim pogonom iste snage a s kotlovima na naftu, odnosno tri puta veći akcijski radijus nego ledolomac s kotlovima na ugljen.

Danas se najozbiljnije razmatra primjena nuklearnog reaktora za pogon velikih ledolomaca, a u SSSR je već izgrađen nuklearni ledolomac »Lenin« (sl. 7 i 8). Pogon nuklearnim reaktorom omogućava ledolomcu gotovo neograničen akcijski radijus, težina i volumen nuklearnog reaktora bez teškoće se smjeste u veliki polarni ledolomac, vrlo čvrst trup ledolomca pruža sigurnost od havarija i dobru zaštitu reaktoru, ledolomac rijetko pristaje u velikim lukama pa je opasnost od kontaminacije luke minimalna, a kako za ledolomce i inače ne postoji neka stroga ekonomska



Sl. 9. Švedski ledolomac za Baltičko more »Odens«, izgrađen 1957

računica, visoki troškovi nuklearnog reaktora nisu toliko bitni. U sadašnjoj fazi razvoja nuklearnog pogona brodova ledolomci su stvarno najprikladniji tip broda za njegovu primjenu, a čak i u ekonomskom pogledu na ledolomcima ta vrst pogona može naći izvjesno opravdanje.

Strojarnica ledolomaca mora biti toplinski izolirana da se smanje gubici topline za vrijeme plovidbe u polarnim krajevima.

Ledolomci imaju znatno jači osovinski vod nego to propisuju klasifikaciona društva. Osovina mora izdržati, bez prevelikog napreznja, nagle udarce koji nastaju kad propeler zapne o led pa se zaustavi, a pogonski stroj je i dalje pod snagom. Odrivni ležaj je Mitchellova tipa od ljevenog čelika, a ne od ljevenog željeza kao na običnim trgovačkim brodovima. Na modernim ledolomcima je statvena brtva izlaza osovina od slojastog sintetičkog materijala, a ne od drveta.

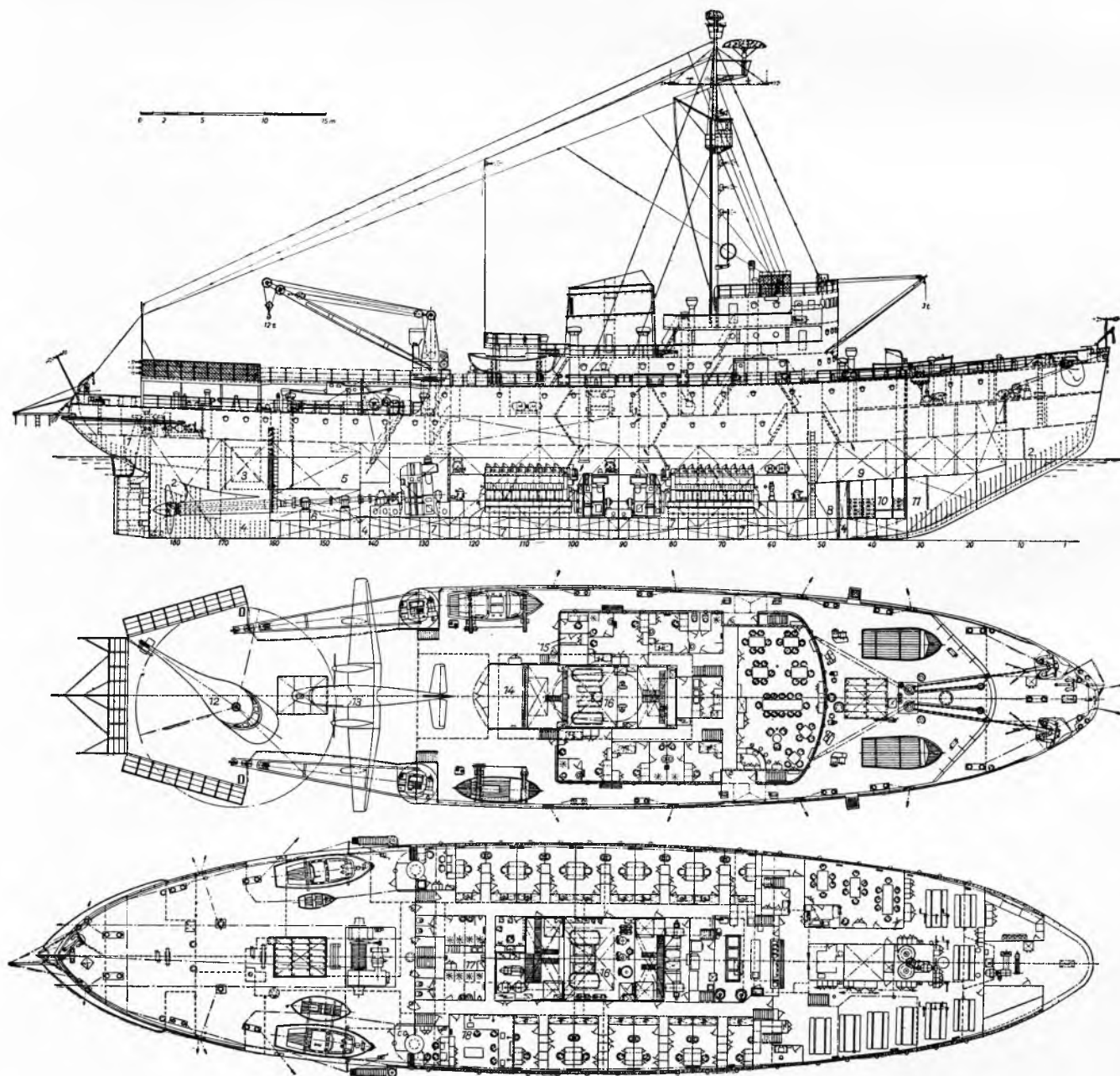
Raspored prostorija, oprema i pomoćni uređaji ledolomca. Raspored prostorija na ledolomcima je sličan kao na trgovačkim brodovima. Strojarnica se redovito nalazi u sredini broda, ispred i iza strojarnice su skladišta i pomoćne radionice, a na bokovima uz strojarnicu su veliki bočni nagibni tankovi. Prostorije posade su u nadgrađu i ispod zaštitne ili glavne palube. Osim

kabina za redovnu posadu broda veliki polarni ledolomci redovno imaju i kabine za smještaj osoblja istraživačkih ekipa i ekspedicija. Da bi se mogla smjestiti brojna posada i ostalo osoblje, takvi ledolomci često imaju vrlo velike zajedničke kabine za mornare, a samo su oficiri i rukovodeće osoblje istraživačkih ekipa smješteni u jedno-ili dvokrevetnim kabinama. Ledolomci za polarna istraživanja imaju i jedan ili više laboratorija koji se obično nalaze na glavnoj palubi. (Za veličinu i opremu tih laboratorija v. Brodovi za naučna istraživanja u ovom članku).

Tipičan izgled i raspored prostorija jednog manjeg i jednog većeg ledolomca vidi se iz generalnog plana ledolomca za Baltičko more, sl. 9, i generalnog plana velikog ledolomca za istraživanja Antarktiku, sl. 10.

Pored standardne opreme i pomoćnih uređaja koje ima kao i trgovački brod, ledolomac ima i specijalnu opremu koja mu je neophodna za uspješno obavljanje operacija u zaleđenim vodama.

Ledolomac ima dvije zasebne, neovisne pumpne instalacije za pramčani i krmeni trim-tank i za bočne tankove. Kapacitet tih pumpi je velik jer one moraju u kratkom vremenu prebaciti veliku količinu vode iz jednog tanka u drugi. Pumpni sistem trim-tankova mora u roku od 6-20 minuta prebaciti vodu iz pramča-



Sl. 10. Generalni plan argentinskog ledolomca za Antarktiku «General San Martín», izgrađenog 1954. 1 krmeni pik, 2 trim-tank, 3 tank avionskog benzina, 4 koferdam, 5 krmeno skladište, 6 pitka voda, 7 dizel-gorivo, 8 dubinomjer, 9 pramčano skladište, 10 spremište eksploziva, 11 voda za pranje, 12 helikopter, 13 avion, 14 spremište balona, 15 oružarna, 16 pomoćni kotlovi, 17 fotolaboratorij, 18 oceanografski laboratorij

Tablica 1
TEHNIČKE KARAKTERISTIKE NEKIH MODERNIH LEDOLOMACA

Ime broda	D'Iberville	Thule	Glacier	General San Martín	Oden	Lenin	Moskva	Perkun
Zemlja	Kanada	Švedska	USA	Argentina	Švedska	SSSR	SSSR	Poljska
Godina gradnje	1953	1953	1955	1954	1957	1959	1960	1962
Područje djelovanja	Arktik	Baltik	Antarktiki	Antarktiki	Baltik	Arktik	Arktik	Baltik
Glavne dimenzije:								
duljina preko svega L_{OA} , m	94,50	62,30	94,50	84,70	83,22	134,00	124,00	56,70
duljina na vodnoj liniji L_{WL} , m	92,00	57,00	88,40	76,95	79,71	112,50	112,50	52,50
širina na vodnoj liniji B_{WL} , m	19,66	15,20	22,00	18,60	19,04	27,60	23,50	13,55
gaz T , m	8,38	4,85	7,85	6,50	6,69	9,20	10,50	4,95
bočna visina H , m	12,20	8,23	11,60	9,85...7,50	9,50	16,10	13,50	7,32
Koeficijenti forme trupa broda:								
koeficijent istisnine δ	0,58	0,46	0,51		0,483	0,49	0,54	0,492
koeficijent vodne linije α			0,80		0,706	0,80	—	0,727
koeficijent glavnog rebra β	0,84	0,81			0,817		—	0,83
prizmatički koeficijent φ	0,69	0,57			0,592		—	0,593
Istisnina Δ , tona	8840	1970	8420	4910	5020	16000	15100	1760
Nagib pramčane statve	30°	23°	30°		23°		25°	33°
Polovina pramčanog kuta vodne linije		26°	22°		25°		—	—
Pogon broda:								
Tip glavnog pogonskog stroja	parni stroj	dizel-elektro	dizel-elektro	dizel-elektro	dizel-elektro	nuklearni reaktor, turbo-elektro-pogon	dizel-elektro	dizel-elektro
Normalna snaga pogonskog stroja, KS	10800	4800		7500	10200		—	—
Maksimalna snaga pogonskog stroja, KS	15200	6000	24000	8100	12000	39 200	22 000	3 300
Broj propelera na krmu	2	2	2	2	2	3	3	2
Broj okretaja krmenih propelera, min ⁻¹	145	145	120/175	138	120	185/205	110/150	142/215
Broj propelera na pramcu	—	1	—	—	2	—	—	—
Broj okretaja pramčanih propelera, min ⁻¹	—	180	—	—	160	—	—	—
Normalna brzina broda, čv	15	15	18	—	16	—	—	—
Maksimalna brzina broda, čv				16	17	18	18	14
Akcijski radijus	12000 NM		3 do 4 mjeseca plovitbe			1 godina plovidbe		4000 NM

nog u krmeni tank ili obratno, a pumpe bočnih tankova moraju za 45...90 sekundi prebaciti balast s jednog boka broda na drugi.

Ledolomac ima kormilo veće nego obični trgovački brodovi. Površina kormila iznosi 2...2,5% uronjenog lateralnog plana ledolomca. Kad brod vozi krmom, kormilo često udara o led; da se pri tom ne bi oštetilo, konstrukcija mu je vrlo robustna, a osovina 25...30% deblja nego što to propisuju klasifikaciona društva za obične brodove. Zbog veličine kormila i brzine manevara, kormilarski stroj je također vrlo snažan. Od kormilarskog stroja se zahtijeva da u roku od 15 sekundi prebaci kormilo od 35° desno na 35° lijevo, i to za vrijeme vožnje broda punom brzinom naprijed. Na starijim ledolomcima s parnim pogonom kormilarski stroj je također bio parni; danas su kormilarski strojevi ledolomaca većinom na elektro-hidraulički pogon. Radi sigurnosti, elektro-hidraulički kormilarski stroj ima dva servomotora, od kojih jedan služi kao rezerva.

Prilikom operiranja i manevriranja u ledenom polju ledolomac se često mora služiti sidrom. Pomoću sidra i sidrenog vitla ledolomac se ponekad izvlači iz ledenog obruča. Stoga je i sidreno vitlo snažnije nego na normalnim brodovima, a ima i veću brzinu dizanja sidra. Dok je na trgovačkim brodovima brzina dizanja sidra ~ 7,5 m/min, na ledolomcima je 10,5...12,5 m/min.

Ledolomac ima vrlo snažno vitlo da bi mogao tegliti i spasavati brodove. Vučno vitlo je s automatskim regulatorom koji podešava rad vitla tako da sila u vučnom užetu ne poraste iznad ili ne padne ispod neke granice.

Na prednjem jarbolu ledolomci imaju osmatračnicu u kojoj se za vrijeme plovidbe u vodama sa ledenim santama nalazi stalna straža. Osmatračnica treba da je dovoljno prostrana, zagrijana i smještena što više.

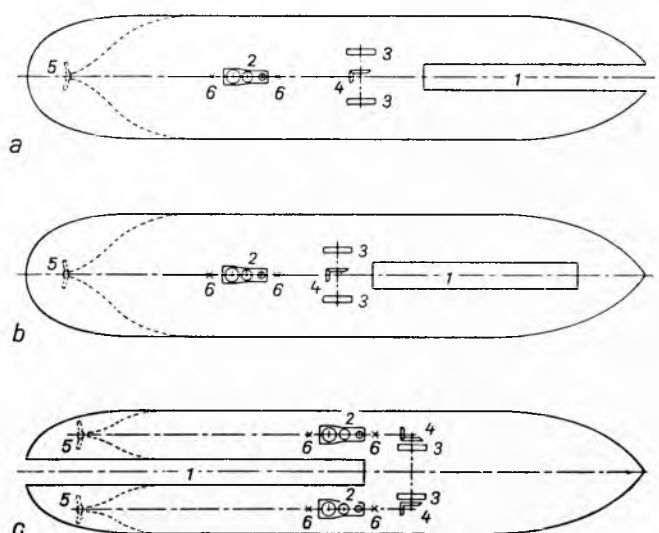
Za izviđanje leda veliki moderni polarni ledolomci nose po dva helikoptera. Platforma i hangari za helikoptere nalaze se na krmu. Veliki ledolomci nose i specijalne čamce za iskrcavanje, duge ~ 10 m, a teške (kad su natovareni) do 15 tona. Brod ima najmanje dva takva čamca, pomoću kojih prebacuje materijal i opskrbu na obale nepristupačne brodu. Čamci za iskrcavanje nemaju sohe već se dižu i spuštaju u vodu pomoću posebne samarice, koja ujedno služi i za dizanje ostalih tereta na brod. Zahvaljujući velikoj širini ledolomca, na palubi ima dovoljno prostora za smještaj helikoptera i čamaca za iskrcavanje.

Glavne karakteristike nekih novijih ledolomaca prikazane su u tablici 1.

LIT.: H. F. Johnson, Development of icebreaking vessels for the U. S. Coast Guard, Trans. SNAME, 54 (1946). — O. Krappinger, Eisbrecher und ihr Entwurf, Hansa, 94, 675 (1957). — I. W. Winogradov, Der Eisbrecher, Schiff und Hafen, 9, 54, 202 (1958). — A. Watson, The design and building of icebreakers, Trans. IME, 72 (1959). — J. G. German, Design and construction of icebreakers, Trans. SNAME, 67 (1959). — L. W. Ferris, The proportions and form of icebreakers, Trans. SNAME, 67 (1959). — S. W. Lank i O. H. Oakley, Application of nuclear power to icebreakers, Trans. SNAME, 67 (1959). — C. Landtman, Technische Gesichtspunkte über moderne grosse Eisbrecher, Schiff und Hafen, 13, 1165 (1961).

PLOVNI BAGERI ILI JARUŽALA

Plovni bager ili jaružalo je specijalan tip broda određen za iskop materijala ispod površine vode prilikom podvodnih građevinskih radova ili prilikom produbljanja i čišćenja riječnih korita, kanala i luka, ili radi dobivanja riječnog šljunka kao građevinskog



Sl. 1. Tipovi plovnih bagera vedričara. a bager s rascijepljenim pramcem, b bager sa zatvorenim pramčanim bunarom, c bager s rascijepljenom krmom; 1 bunar za vedrični vijenac, 2 pogonski stroj, 3 remenica za pogon vedričnog vijenca, 4 zupčani prijenos, 5 brodski vijak, 6 spojka