

KLAIPĖDOS UNIVERSITETAS

Jūrų technikos fakultetas

Laivo inžinerijos katedra

Tomas Žapnickas

Mažagabaritis plaukiojantis autonominis
aplinkos tyrimų įrenginys 1

Laivų projektavimo ir statybos studijų programos magistro
baigiamasis darbas

Klaipėda, 2012

Lydraštis

Užduotis

SANTRAUKA

Žapnickas T. Mažagabaritis plaukiojantis autonominis aplinkos tyrimu įrenginys 1. Laivu projektavimo ir statybos magistrantūros studijų programos baigiamasis darbas. Darbo vadovas dr. V. Djakov. Klaipėdos universitetas: Klaipėda, 2012. 65 p.

Raktiniai žodžiai: USV, projektavimas, bepiločiai, autonominiai plaukiojantys įrenginiai, batimetriniai matavimai, daugiakorpūsiai, katamaranas, pasipriešinimas.

Darbe analizuojami autonominio plaukiojančio įrenginio USV (Unmanned Surface Vehicle), skirto atlikti batimetrinius matavimus uostuose, priekrantėse ir kituose sekliuose vandenyse, pagal Tarptautinės hidrografijos organizacijos IHO (International Hydrographic Organization) reikalavimus, projektavimo etapai. Didelis dėmesys yra skiriamas USV autonomiškumo (galimybė kuo ilgiau operuoti be energetinių resursų papildymo) optimizacijai – išskiriami atskiri elementai įtakojantys įrenginio autonomiškumą: efektyvi energetinė sistema ir efektyvus korpuso–propulsinis kompleksas.

Autonominis savaeigis plaukiojantis įrenginys skirtas batimetriniams matavimams yra iš anksto suprogramuojamas hidrografo-operatoriaus, įvedant matuojamo rajono duomenis, tuomet įrenginys aktyvuojamas ir paleidžiamas matavimo užduoties atlikimui. USV savarankiškai vyksta į nustatytą matavimų rajoną, surenka batimetrinius duomenis ir grįžtą į pradinę ar kitą paskirties vietą. Surinkti batimetriniai duomenys perkeliama ir naudojami hidrografiniams tikslams.

Iki šiol nėra susistemintos savaeigių bepiločių plaukiojančių įrenginių projektavimo metodikos. Bepiločiai plaukiojantys savaeigiai įrenginiai dažniausiai sutinkami santykinai mažų parametrų, skirtingai nei laivai turi skirtingas laivines sistemas, pagal skirtą užduoties pobūdį šiems įrenginiams keliami specifiniai reikalavimai. Konvencinių laivų, pramoginių laivų bei jachtų projektavimą ir statybą reglamentuoja įvairūs tarptautiniai ir nacionaliniai teisės aktai ir taisyklės, net automatizuotose projektavimo programose yra įdiegiamos minėtų taisyklių reikalavimų atitikties tikrinimo sistemos.

Darbe analizuota užsienio ir Lietuvos autorių pateikta laivų projektavimo metodika ir nustatyta, kad nėra susistemintos metodikos tinkančios bepiločiams plaukiojantiems įrenginiams projektuoti, todėl darbe buvo atlikta šių įrenginio projektavimo metodikos sukūrimo galimybių analizė bei pasiūlytas bepiločių plaukiojančių įrenginių korpuso-propulsinio komplekso projektavimo algoritmas, kuris buvo įvertintas bepiločių plaukiojančių įrenginių projektavimo metodikos lyginamąja analize.

SUMMARY

Žapnickas T. Conceptual Design of Unmanned Bathymetry Survey Vehicle 1. Ship Design and Construction Master Thesis. Supervisor dr. V. Djackov. Klaipeda's University: Klaipeda, 2011. 65 p.

Keywords: USV, design, unmanned, autonomous surface vehicle, bathymetric survey, multihull, catamaran, resistance.

The analysis of steps of conceptual design of an autonomous (unmanned) surface vehicle (USV) purposed for measure and collecting bathymetric data according to IHO (International Hydrographic Organization) standards in ports, inland waters and open sea is presented in this paper. The attention in this paper focuses on optimization of USV autonomy (longer possibility to operate without renewing energetic resources) – characterising separate elements witch influence vehicle autonomy: effective energetic system and effective hull-propulsion complex.

The unmanned surface vehicle purposed for bathymetric survey is preprogrammable in advance by hydrografer-operator by loading bathymetric survey area data, then vehicle are activated and launched for operation. USV autonomously proceeds to survey area, collects bathymetric survey data and sails back to initial or other point of destination. Collected bathymetric survey data can be downloaded and used for hydrography purposes.

There is no systematic unmanned surface vehicle design methodology till these days. The unmanned surface vehicles usually are comparative small in size, unlike the conventional ships are equipped with different ship systems, and requirements for those vehicles depends by special characteristic of the main task. The design and construction of conventional ships, pleasure crafts and yachts are regulated by international and national rules and regulations, even automatic ship design software are provided with integrated regulation checking functions.

The analysis for ship design methodology of foreign and Lithuanian authors was done in this paper and lack of systematic methodology for unmanned surface vehicles design was defined, therefore the feasibility analysis of USV design methodology and algorithm of methodology for unmanned surface vehicle design was presented, which was assessed in comparable analysis of USV design methodology.

LENTELIŲ SĄRAŠAS

| | |
|---|----|
| 1 lentelė. Laivo ir USV siūlomų svorių dedamųjų koeficientų palyginimas | 26 |
| 2 lentelė. Pradiniai USV parametrai | 33 |
| 3 lentelė. USV svorių dedamųjų koeficientai | 35 |
| 4 lentelė. Španhautų plotai | 44 |
| 5 lentelė. USV plūdrumo ir pradinio stovumo skaičiavimų rezultatai | 48 |
| 6 lentelė. Apskaičiuoti USV statinio stovumo pečiai | 50 |
| 7 lentelė. USV stovumo vertinimas | 53 |
| 8 lentelė. Apskaičiuoti statinio stovumo pečiai | 53 |
| 9 lentelė. USV su daugiaspinduline matavimo įranga stovumo vertinimas | 54 |
| 10 lentelė. Koeficientų C_A ir C_{AP} skaitinės reikšmės | 56 |
| 11 lentelė. USV pasipriešinimo skaičiavimai | 57 |
| 12 lentelė. USV pasipriešinimo skaičiavimų palyginimas | 57 |
| 13 lentelė. Energijos kaupiklių poreikio skaičiavimų rezultatai | 58 |
| 14 lentelė. USV būsimosios vandentalpos skaičiavimų palyginimas | 59 |

PAVEIKSLŲ SĄRAŠAS

| | |
|--|----|
| 1 pav. Laivo projektavimo etapų eiliškumas | 16 |
| 2 pav. Bendrą USV energijos poreikį įtakojantys elementai | 20 |
| 3 pav. Daugiaspindulinės matavimo įrangos išspinduliuojamų impulsų vėduoklės įtaka matavimo greičiui | 23 |
| 4 pav. Matavimo įrangos spindulių vėduoklės padėtis korpuso atžvilgiu | 24 |
| 5 pav. USV projektavimo etapų formavimas | 30 |
| 6 pav. Španhautų rikiuotė | 44 |
| 7 pav. Midelinis španhautas | 46 |
| 8 pav. Projektuojamo USV forštevnio forma | 47 |
| 9 pav. Projektuojamo USV achterštevnio forma | 47 |
| 10 pav. Svorio ir tūrinės vandentalpos poveikis laivo diferentui | 49 |
| 11 pav. Statinio stovumo diagrama | 51 |
| 12 pav. Diagramos plotas iki 30° | 51 |
| 13 pav. Diagramos plotas nuo 30° iki 40° | 52 |
| 14 pav. Didžiausias statinio stovumo petys | 52 |
| 15 pav. USV su daugiaspinduline matavimo įranga statinio stovumo diagrama | 54 |

TURINYS

| | |
|---|-----------|
| ĮVADAS | 9 |
| 1. USV KORPUSO-PROPULSINIO KOMPLEKSO PROJEKTAVIMO AKTUALUMAS | 13 |
| 1.1 USV projektavimo tyrimų ir metodikos analizė..... | 13 |
| 1.2 USV projektavimo metodikos problemos analizė..... | 15 |
| 2. AUTONOMINIO PLAUKIOJANČIO ĮRENGINIO, SKIRTO BATIMETRINIAMS MATAVIMAMS ATLIKTI, PROJEKTAVIMO METODIKOS SUKŪRIMO GALIMYBIŲ ANALIZĖ..... | 16 |
| 2.1 Projektavimų metodikų analizė..... | 16 |
| 2.2 USV projektavimo etapų formavimas – projektavimo algoritmo sudarymas | 17 |
| 2.3 Pradinių parametrų nustatymas | 17 |
| 2.3.1 Informacija apie USV prototipus | 18 |
| 2.3.2 USV paskirtis | 18 |
| 2.3.3 Matavimo įrangos parinkimas ir jos įtaka USV parametrams..... | 18 |
| 2.3.4 USV architektūrinis tipas | 20 |
| 2.3.5 Plaukiojimo rajonas, nuotolis ir autonomiškumas..... | 21 |
| 2.3.6 USV greitis, jėgainės tipas | 22 |
| 2.4 Galimų apribojimų nustatymas ir analizė..... | 24 |
| 2.5 Busimos vandentalpos nustatymo būdų analizė | 25 |
| 2.6 Pagrindinių matmenų nustatymo būdai..... | 26 |
| 2.7 Teorinio brėžinio skaičiavimai ir sudarymas | 27 |
| 2.8 Plūdrumo ir pradinio stovumo skaičiavimai ir vertinimas | 28 |
| 2.9 Pasipriešinimas ir eigumas | 28 |
| 2.10 USV projektavimo algoritmo sudarymas | 29 |
| 3. USV PROJEKTAVIMO METODIKOS LYGINAMOJI ANALIZĖ | 31 |
| 3.1 Pradinių parametrų nustatymas, techninės užduoties ir apribojimai | 31 |
| 3.2 Svorinių lygties sudarymas | 34 |
| 3.3 USV pagrindinių matmenų bei korpuso pilnumo koeficientų nustatymas..... | 38 |
| 3.4 Projektuojamo USV teorinio brėžinio sudarymas..... | 41 |
| 3.4.1 Vandentalpos centro abscisė | 41 |
| 3.4.2 Cilindrinės dalies ilgis ir padėtis | 41 |
| 3.4.3 Španhautų rikiuotės sudarymas | 43 |
| 3.4.4 Midelinio španhautu sudarymas..... | 45 |
| 3.4.5 Forštevniai ir achteršvniai formų parinkimas | 46 |
| 3.4.6 Denio ir kilio linijų parinkimas | 47 |
| 3.5 USV teorinis brėžinys | 48 |

| | | |
|-------------------------|---|-----------|
| 3.6 | USV plūdrumo ir pradinio stovumo charakteristikų nustatymas | 48 |
| 3.7 | USV stovumo įvertinimas | 49 |
| 3.8 | USV eigumo įvertinimas | 55 |
| 3.9 | Variklio ir energetinės sistemos skaičiavimai | 58 |
| 3.10 | Gautų rezultatų palyginamoji analizė..... | 59 |
| 3.11 | Projektas „UBASUV“ | 60 |
| IŠVADOS..... | | 61 |
| LITERATŪRA | | 63 |
| PRIEDAI..... | | 65 |

IVADAS

Jūrose, priekrantėse bei vidaus vandenyse batimetrinius gylių matavimus atliekančios įstaigos dažnai susitinka su tokiomis problemomis kaip sudėtingi, mažai ištirtinėti laivybai rajonai, seklūs gyliai, nepakankamas efektyvumas laiko ir finansiniu atžvilgiu bei pavojaus rizika matavimus atliekančiam personalui. Be visų paminėtų problemų labai svarbios ir su aplinkos apsauga susijusios problemos. Viena iš dažniausiai sutinkamų alternatyvų tradiciniam užduočių atlikimui laivu, yra autonominiai bepiločiai įrenginiai - UV (*angl.* UV-Unmanned Vehicle).

Bendrai bepiločių įrenginių paklausa pasaulyje dažnai siejama su karinės pramonės vystymusi. Įvairiuose literatūros šaltiniuose šios srities pradininku laikoma būtent karinė pramonė [1],[2]. Šias technologijas labai greitai perėmė ir taip pat nemažai prisidėjo prie jų tobulinimo kita pramonės rūšis gigantė – naftos ir dujų gavyba. Tolesnė bepiločių įrenginių integracija vyksta į labai įvairias sferas, tokias kaip vandenyno dugno įvairūs tyrimai, įvairūs monitoringai, antiteroristinių užduočių vykdymas ore, vandenyje ir ant žemės, ar net kasdieninėje žmogaus buityje – robotai dulkių siurbliai ir kiti pagalbininkai. Tiek žemės, tiek oro ir taip pat jūrinėms užduotims atlikti autonominių bepiločių įrenginių poreikis pateikė įdomių iššūkių moksliniam sektoriui.

Atsiradus dideliame bepiločiais įrenginiais atliekamų užduočių spektrui, atsirado ir pačių įrenginių klasifikavimo poreikis. Iki šiolei nėra standartizuotos sistemos, aprėpiančios tiek įrenginių klasifikavimą tiek projektavimą, gamybą ir sertifikavimą. Dar šiandien įvairiose literatūros šaltiniuose galima sutikti įvairių šios srities įrenginių tipų pavadinimu. Tačiau bendra tendencija jaučiama ir plačiausiai paplitęs yra sekantis bepiločių įrenginių klasifikavimas [13]:

- bepiločiai skraidantys įrenginiai - UAV (*anglų k.* Unmanned Aerial Vehicle),
- bepiločiai antžeminiai įrenginiai - UGV (*anglų k.* Unmanned Ground Vehicle),
- bepiločiai povandeniniai įrenginiai - UUV (*anglų k.* Unmanned Underwater Vehicle), neretai sutinkamas kitas pavadinimas AUV (*anglų k.* Autonomous Underwater Vehicle),
- bepiločiai plaukiojantys įrenginiai – USV (*anglų k.* Unmanned Surface Vehicle), neretai sutinkamas kitas pavadinimas ASV (*anglų k.* Autonomous Surface Vehicle).

Taipogi čia nepaminėti bepiločiai kosminių užduočių įrenginiai, kurie šiame darbe nebus nagrinėjami.

Pastaruosius 15 metų daug dėmesio skirta nepilotuojamų povandeninių įrenginių (*angl.* - Unmanned Underwater Vehicle – *toliau naudosime* UUV) moksliniams tyrimams ir plėtrai. Kariniai poreikiai (slaptumas, nepastebimumas, “Stealth“ technologijos) ir galimybes sumažinti civilinių jūrinių tyrimų savikainą sugeneravo iš prigimties įdomius technologinius sprendimus

savaeigių autonominių įrenginių projektavime ir gamyboje [1]. Naftos ir dujų išgavimo pramonėje didelis dėmesys skiriamas povandeniniams autonominiams ir distanciniu būdu valdomiems įrenginiams, siekiant sumažinti žmogiškuosius išteklius liečiančią riziką ir tuo pačių operacijų savikainą. Tuo pačiu metu mokslinės informacijos akiratyje mažai dėmesio skiriama savaeigiams nepilotuojamiems plaukiojantiems įrenginiams. Moksliniams tikslams sukurti USV yra tik eksperimentinėse stadijose, o prekyboje naudojimui paruoštų įrenginių yra tik vienetai.

USV nėra modernus išradimas ir įvairūs realūs projektai buvo atliekami nuo Antrojo pasaulinio karo, kurio metu buvo konstruojami ir eksploatuojami įvairūs radijo valdomi plaukiojantys įrenginiai. Šios ankstyvosios USV sistemos pirmiausia buvo naudojamos kaip pabūklų ir raketų bepiločiai taikiniai. 1950-1960 m. buvo kuriama keletas distanciniu būdu valdomų minų tralavimo sistemų, taip pat yra žinoma apie to meto eksperimentines monitoringo ir puolimo sistemas. Ryškesnis šuolis USV technologijų raidoje pastebimas 1970-ųjų pabaigoje, kai dalis Europos karinio laivyno pradėjo kurti naujos kartos minų paieškos ir naikinimo sistemas (*angl.* – Mine Countermeasure System – *toliau* MCM). Šios kuriamos sistemos buvo sudarytos iš keleto radijo bangomis valdomų robotų-droidų, judančių prieš bazinį, aprūpintą įgula laivą, iš kurio vyko plaukiojančių robotų valdymas. Pagrindiniai šios sistemos privalumai, tokie kaip galimybė aptikti minas didesniu atstumu nuo bazinio laivo ir tuo pačiu sumažinant žūties riziką įgulai ir baziniam laivui, bei galimybė vienam baziniam laivui operuoti keliais plaukiojančiais robotais vienu metu, yra akivaizdūs. Visa tai leido padidinti tralavimo plotų apdorojimo greičius bei atlikti minų paiešką ir naikinimą pagal modernią minų paieškos ir nukenksminimo per atstumą koncepciją [1].

Pirmosios Vokietijos MCM sistemos „Troika“ pradėjo funkcionuoti 1980m. Danų SAV (*angl.* -Surface Auxiliary Vessels) klasės robotai pradėjo savo darbą 1991 m., tolesnis robotų tobulinimas ir papildymas vyko 1997 m. Vertinant šiuos modernius precedentes, kuriose pagrindinį vaidmenį atliko USV, nėra aišku, kodėl USV tyrimai ir plėtra neturėjo tokios svarbos kaip povandeniniai autonominiai įrenginiai [1].

Tačiau bepiločių plaukiojančių įrenginių paklausa auga kartu su energetinių resursų ir darbo jėgos kainų kilimu, didėjant automatikos lygiui bei opėjant aplinkosaugos problemoms. Bepiločių plaukiojančių įrenginių panaudojimas ypač aktualus specialiųjų užduočių atlikimui, kuriose dalyvavimas žmogui yra pavojingas, taip pat šie įrenginiai plačiai naudojami moksliniame sektoriuje siekiant didesnio darbo našumo, tyrinėjant labai seklius, batimetriškai neištirtus rajonus. Šie įrenginiai neišvengiamai bus integruoti į tarptautinę laivybos sistemą ir jų projektavimui ir statybai turės būti sukurta priežiūros ir kontrolės sistema.

Siekiant sumažinti kaštus ir efektyviai išnaudoti spec. užduotims ar ekspedicijoms skirtą laiką, bepiločius plaukiojančius įrenginius pastaruosiu metu noriai įsigyja ir sėkmingai naudoja mokslinės institucijos, komercinės mokslinės įmonės, valstybinės institucijos. Įrenginių paskirties

spektras labai įvairus, dažniausiai tai yra specialiųjų užduočių, įprastai atliekamų tradiciniais laivais, klonavimas arba dubliavimas, tačiau ne retai bepiločiai plaukiojantys įrenginiai pasirenkami dėl ribotos galimybės panaudoti tradicines priemones – laivus, arba dėl to, kad laivų panaudojimas tam tikrais atvejais yra visiškai negalimas.

USV projektuotojai ir gamintojai gali pasiūlyti standartinius specialiom užduotim skirtus gaminius su nedidelėmis modifikacijomis, tačiau dažniausiai šie įrenginiai gaminami individualiai pagal kiekvieno kliento poreikius. Dėl sąlyginai mažos pasiūlos, brangių medžiagų, juose montuojamos brangios įrangos ir dėl individualaus projektavimo bei gamybos, net standartiniai modeliai yra gan aukštos kainos.

Norint labiau įsigilinti į problemas trukdančias USV įrenginiams įsitvirtinti rinkoje, Klaipėdos Universiteto, laivo inžinerijos katedroje buvo pradėtas projektuoti ir statyti bepilotis plaukiojantis įrenginys „UBASUV“ (anglų k. - Unmanned Bathymetric Survey Vehicle, lietuvių k. – bepilotis batimerinių matavimų įrenginys) [40]. Viena projekto dalis yra: „Autonominio plaukiojančio įrenginio intelektualios navigacinės sistemos sukūrimo galimybių analizė“, kita - „Autonominio plaukiojančio įrenginio, skirto batimetriniams matavimams atlikti, sukūrimo galimybių analizė“. Šiame darbe bus atliekama projekto antra dalis, kurioje dėmesys bus skiriamas ASV konstrukcinės dalies projektavimo problemoms. Išnagrinėjus įvairius literatūros šaltinius, pastebėta, kad didelis dėmesys skiriamas autonominio valdymo sistemoms ir tuo pačių mažai paliestos liekų korpuso, įrenginio ekonomiškumo, jūrinių savybių bei energetinių sistemų problemos.

„UBASUV“ yra kuriamas hidrografinio-oceanografinio pobūdžio darbo užduočių atlikimui vidaus vandenyse, uostuose ir atvirose jūrose, didesnę dėmesį skiriant seklesniems vandenims, kur yra sudėtinga dirbti su laivais, valtimis ar AUV [41].

Įprastai batimetriniai matavimai yra atliekami laivų pagalba, kurie turi būti aprūpinti įgula, kuro, vandens, maisto ir kitomis atsargomis bei priemonėmis didinančiomis užduoties biudžetą. Pritaikant autonominius įrenginius, kurių energetiniai poreikiai yra ženkliai mažesni už laivų yra gerinami hidrografinių-oceanografinių projektų ekonominiai rodikliai ir mažinamas neigiamas poveikis aplinkai.

Taip pat „UBASUV“ gali būti naudojamas kaip papildoma ekspedicijos našumą didinanti priemonė – įrenginys dėl savo mažų gabaritų gali būti gabenamas ant laivo denio iki ekspedicijos rajono, nuvykus nuleidžiamas į vandenį ir panaudojamas kaip papildomas vienetas atliekantis batimetrinius matavimus arba kaip batimetrinių matavimų, atliekamų ekspedicijos laivu dubliuojantis vienetas (duomenų patikimumo didinimui).

Šio darbo tikslas ir uždaviniai yra skirti visapusiškai minimizuoti gyliu matavimo procedūrų savikainą paruošiant USV korpuso-propulsinio komplekso projektavimo metodiką.

Darbo tikslas ir uždaviniai

Darbo tikslas. Išanalizuoti esamą bei galimai pritaikomą USV korpuso-propulsinio komplekso projektavimo metodikas ir paruošti susistemintą metodiką kuri palengvintų USV projektavimo eigą. Paruošus metodika atlikti lyginamąją metodikos analizę ją pritaikius projekto „UBASUV“ korpuso-propulsinio komplekso skaičiavimams.

Darbo uždaviniai:

- Esamos ir galimai pritaikomos metodikos analizė;
- Autonominių plaukiojančių įrenginių projektavimo sistemos pradinio algoritmo sudarymas;
- Išsamios autonominių plaukiojančių įrenginių korpuso - propulsinės sistemos projektavimo metodikos sudarymas:
 - Lyginamoji metodikos analizė – paruoštos metodikos taikymas projektuojamo USV „UBASUV“ korpuso – propulsinio komplekso parametrų skaičiavimams.

1. USV KORPUSO-PROPULSINIO KOMPLEKSO PROJEKTAVIMO AKTUALUMAS

1.1 USV projektavimo tyrimų ir metodikos analizė

USV panaudojimo pradžia glaudžiai siejama su Antruoju pasauliniu karu bei jo padariniais. Po karo Jungtinių valstijų kariškiai ėmė eksperimentuoti su bepiločiais plaukiojančiais įrenginiais siekdami saugiai pašalinti minas ir kitą karo palikimą. Taip pat USV panaudojimas padėjo atliekant šaudymo pratybas bei renkant vandens mėginius radioaktyviuose rajonuose [4].

Po 1990 m. išsivysčius didesnes galimybes turinčiai kompiuterinei technologijai, USV projektavimas tapo pažangesnis ir tendencingai populiarėjantis. Tačiau globaliai USV vystymo programos yra vienietinės, dažnai užslaptintos karinės ar naftos pramonės [4].

Dauguma USV projektų yra tik sensorių ir autonominių valdymo sistemos platformos, kurios vėliau yra diegiamos į laivus ar tam paruoštus USV korpusus.

Iki šiol nėra susistemintos savaeigių bepiločių plaukiojančių įrenginių projektavimo metodikos. Bepiločiai savaeigiai įrenginiai dažniausiai sutinkami santykinai mažų parametrų, skirtingai nei laivai turi skirtingas laivines sistemas, pagal skirtingą užduoties pobūdį šiems įrenginiams keliami specifiniai reikalavimai. Konvencinių laivų, pramoginių laivų ir jachtų projektavimą ir statybą reglamentuoja įvairūs tarptautiniai ir nacionaliniai teisės aktai ir taisyklės, net kompiuterinėse projektavimo programose yra įdiegiamos minėtų taisyklių reikalavimų atitikties tikrinimo sistemos. Savaeigiai bepiločiai įrenginiai yra valdomi iš anksto suprogramavus arba distanciniu būdu, tiesiogiai ant įrenginio denio nedalyvaujant žmogui.

Didėjant bepiločių įrenginių paklausai atsiranda specializuotų UV leidinių. G.N. Roberst ir R.Sutton 2006 m. publikavo straipsnių rinkinį „Advances in Unmanned Marine Vehicles“ kuriame aprašomi įvairaus tipo bepiločius plaukiojančius ir povandeninius įrenginius ir su jais susijusias sistemas. S.J. Corfield ir J.M. Young gana išsamiai nagrinėja USV autonominio valdymo, specialiosios užduoties sistemas tuo metu mažai skirdami korpuso – propulsinio komplekso projektavimui. Autoriai nagrinėja USV pritaikymo galimybes kariniams tikslams panaudojant jau esamas ginkluotes integruojant kartu su infraraudonųjų spindulių sensoriais, kameromis bei kitais sekimo prietaisais [1].

Oivind Kare Kjerstad atliko DP (angl. Dynamic Positioning) sistemos taikymo bepiločiuose plaukiojančiuose įrenginiuose galimybių analizę. Ši sistema yra gan plačiai taikoma naftos platformas aptarnaujančiuose laivuose, kuri leidžia įvertinant išorinį poveikį išlaikyti laivą tam tikroje padėtyje be vairininko pagalbos. Sistema naudoja faktinius srovės ir vėjo duomenis bei turi

labai tiksliai pozicionavimo sistemas (DGPS, RTK, Laserbeam ir panašias), kurios leidžia užfiksuoti net ir labai mažus laivo judesius. Sistemos procesoriai minėtų sensorių pagalba fiksuoja poslinkius nustatytos padėties atžvilgiu, vertina išorinį vėjo ir srovės poveikį ir generuoja signalus į pagrindinius propulsorius bei į pagalbinius vairavimo mechanizmus taip išlaikydama laivą reikiamoje padėtyje. Autorius plačiai apžvelgia sistemos taikymo galimybes nedidelių gabaritų bepiločiuose įrenginiuose įvertindamas korpuso – propulsijos sąveiką, tačiau mažai skirdamas dėmesio USV korpuso – propulsijos projektavimo problemoms [4].

Autorių J. Larson, M. Bruch ir R. Halterman straipsniuose plačiai nagrinėjamos sistemų skirtų USV automatinio saugaus prasilenkimo su laivais ar kitais plaukiojančiais objektais ir kliūtimis kūrimo problemos. Eksperimentiniams bandymams jie naudoja nedideles plastikines ar pripučiamas valtis su vidaus degimo varikliais bei vansviedžio tipo varytuvais [5,6].

Minesotos universiteto projekte, kuriame buvo suprojektuotas ir pagamintas USV skirtas karpių stebėjimui, autoriai P. Tokekar, A. Studenski ir D. Bhaduria aprašydami projektą išsamiai išdėsto projektavimo techninės užduoties sudarymo eigą, išskirdami esminius elementus reikalingus pradiniam projektavimo užduoties nežinomiesiems nustatyti, tačiau darbe nėra aiškiai suformuotos projektavimo metodikos, didesnis dėmesys skirtas karpių stebėjimo sistemos kūrimui.

Gana gausiai sutinkama USV projektų aprašymų, kuriuose nagrinėjamos autonominio valdymo, objektų atpažinimo ir saugaus prasilenkimo, nuotolinio valdymo dideliais atstumais, specialiųjų užduočių ir kitų USV sistemų projektavimo problemos tuo metu mažai skiriant dėmesio konstrukciniams USV projektavimo ypatumams [8,9,10,14].

Projektuodami bepiločius plaukiojančius įrenginius, įvairių straipsnių ir projektų autoriai aprašo žemos savikainos svarbą projekte, ieškodami būdų sukurti pigesnes autonominio valdymo sistemas, panaudoti naujas technologijas USV judesių, padėties ir aplinkinių objektų aptikimui tuo metu mažai arba visai neskirdami dėmesio efektyvios korpuso – propulsinio komplekso sistemos įtakos vertinimo įrenginio savikainai ir eksploatacinei kainai [7,8,10].

Nesant susistemintos USV korpuso – propulsinio komplekso projektavimo metodikos paranku naudoti tradicinių laivų projektavimo metodiką, tačiau vertinant esminius skirtumus tarp laivų ir USV tokius kaip įgulos ir su ja susijusių konstrukcijų ir sistemų nebuvimas, specialiosios užduoties elementų ir sistemų įtaką bendrajai konstrukcijai, projektuojamai vandentalpai, stovumui ir kitiems parametrams, tradicinių laivų metodika gali būti nepakankamai patikima. Autoriaus Ашик В. В. „Laivų projektavimas“ pateikta išsami laivų projektavimo metodika, kurioje didesnis dėmesys skiriamas vienkorpusių pilnų apvadų laivų projektavimui. Kitaip nei kiti laivų projektavimo metodikos autoriai, Ашик В. В. pateikia projektuojamo laivo būsimos vandentalpos nustatymo būdą, kuris remiasi svorių lygties sudarymu ir leidžia įvertinti laivo vandentalpą

nustatant kiekvieną laivo svorių dedamąją dalį, kurioms yra priskiriami koeficientai, atitinkantis konkrečios masių grupės priklausomybę nuo vandentalpos procentinėmis dalimis.

Laivų projektavimo metodika, ypač vandentalpos ir pagrindinių gabaritinių matmenų nustatymas remiasi ilgamete laivų projektavimo praktika ir statistinių laivų prototipų duomenų analize. Autorius M. G. Parsons pateikia vandentalpos nustatymui skirtą metodiką paremta statistinių parametrų santykiais tam tikrų laivų tipams. Ši metodika yra paprastesnė nei autoriaus Ашик В. В siūlomoje, tačiau visiškai netinka į statistikos diapazoną nepatenkantiems mažų gabaritinių matmenų laivams.

1.2 USV projektavimo metodikos problemos analizė

Dažnai, dėl santykinai mažų USV gabaritinių matmenų bei dėl santykinai nežymių energetinių nuostolių, kurie gali atsirasti neteisingai įvertinus pasipriešinimą, nustatant optimalią vandentalpą, optimalią korpuso formą ir kitus USV efektyvumą įtakojančius elementus, USV projektuotojai mažai skiria korpuso – propulsinio komplekso projektavimui, tuo metu sutelkdami dėmesį į autonominio valdymo sistemos, pozicionavimo ir specialiosios užduoties sistemų kūrimą. Šiuo metu nesant vieningos USV projektavimo ir statybos metodikos, kiti konstruktoriai inžinieriai susiduria su šia problema, bandydami ją spręsti pasitelkdami mažųjų laivų bei konvencinių laivų projektavimo ir statybos nusistovėjusiais metodais bei teisiniais reglamentais, kurie nėra konkretizuoti bepiločimas plaukiojantiems įrenginiams.

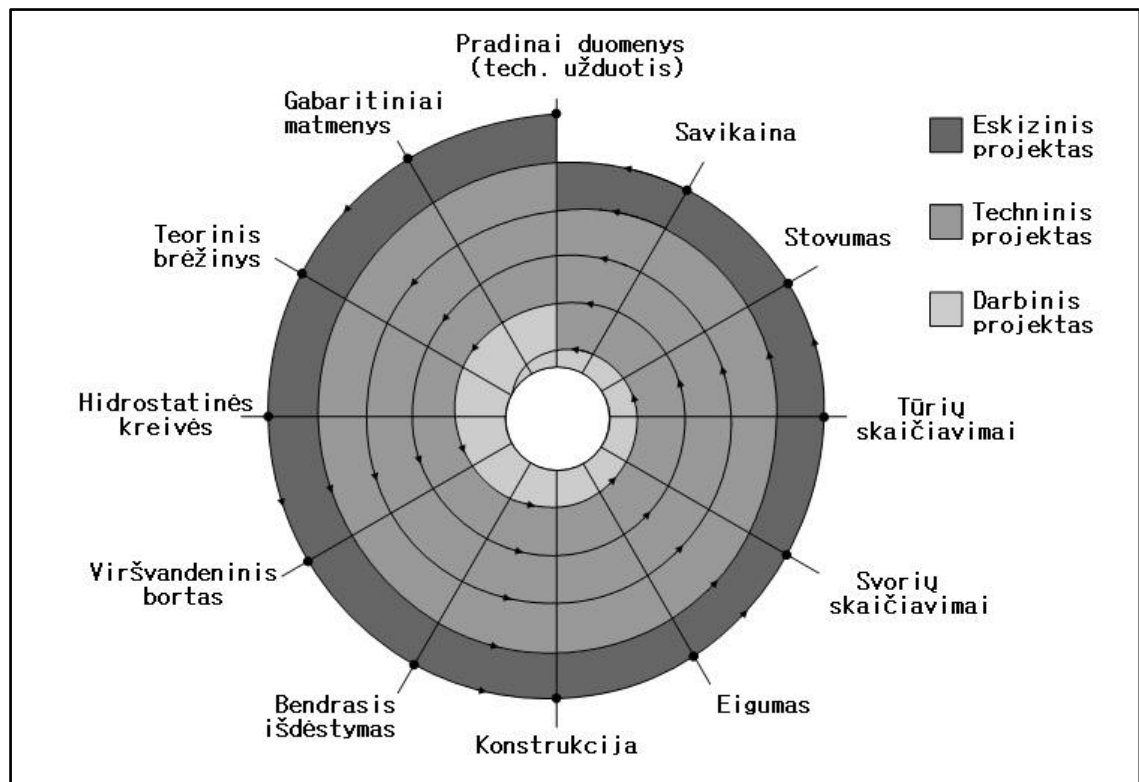
2. AUTONOMINIO PLAUKIOJANČIO ĮRENGINIO, SKIRTO BATIMETRINIAMS MATAVIMAMS ATLIKTI, PROJEKTAVIMO METODIKOS SUKŪRIMO GALIMYBIŲ ANALIZĖ

2.1 Projektavimų metodikų analizė

Laivo projektavimo uždavinio tikslas – sukurti tokius laivo brėžinius ir kitą techninę dokumentaciją, kad būsimasis laivas optimaliai tenkintu visus jam keliamus reikalavimus. Laivą projektuojant paprastai taikomas nuoseklaus priartėjimo (iteracijų) metodas (pav.1). Sudarius techninę užduotį, atliekami sekantys projektavimo etapai:

- Eskizinis projektas (Preliminary Design);
- Techninis projektas (Contract Design);
- Darbinis projektas (Detail Design).

Prieš pradėdant ruošti darbinį projektą, kurį sudaro konstrukcinė ir technologine dokumentacija, ruošiamas eskizinis projektas. Tuomet techninis projektas praeina kelis besikartojančius etapus, kurių metu ieškoma optimalių sprendimų siekiant įvykdyti užsakovo pageidavimus, reikalavimus keliamus laivams ir rasti geriausius konstrukcinius technologinius sprendimus.



1 pav. Laivo projektavimo etapų eiliškumas

Įvairiose literatūrose sutinkami įvairūs projektavimo metodai, tačiau iš esmės pagal techninės užduoties žinomuosius ir nežinomuosius juos galime suskirstyti į tris grupes [35, p.55]:

- Svorinių skaičiavimų metodas;
- Tūrinių skaičiavimų metodas;
- Galingumo skaičiavimų metodas.

Svorinių skaičiavimų metodas yra taikomas sunkiasvorius krovinius gabenantiems laivams, kurių metu pradinis projektavimo etapas yra projektuojamo laivo svorinės vandentalpos nustatymas.

Tūrinių skaičiavimų metodas naudojamas lengvų krovinių laivams bei keleiviniams laivams.

Galingumo skaičiavimo metodas taikomas vilkikų, ledlaužių ir kitų laivų, kuriems keliami tam tikri galingumo reikalavimai projektavimui.

Kadangi USV projektavimo metodika nėra susisteminta ir pakankama, ruošdami projektavimo algoritmą remsimės tradiciniams laivams taikomu projektavimo metodu – svorinių skaičiavimų metodu, kurio eigoje daugiaspindulinės matavimo įrangos svorį priimsime kaip nekintantį krovinį.

2.2 USV projektavimo etapų formavimas – projektavimo algoritmo sudarymas

Sudarant USV skirto batimetriniams matavimams išskiriame 3 esminius etapus:

- Eksploatavimo sąlygų analizė - techninės užduoties sudarymas;
- Pradinių parametrų nustatymas;
- Nežinomųjų parametrų nustatymas - projektinių skaičiavimų etapas.

2.3 Pradinių parametrų nustatymas

Pradinių parametrų nustatymas tradicinių laivų projektavime yra glaudžiai susijęs su technine užduotimi, kurioje yra numatomi pradiniai reikalavimai projektuojamam-statomam laivui bei išdėstomi kiti užsakovo pageidavimai. Techninėje užduotyje, priklausomai nuo laivo tipo, išdėstoma pradinė informacija, nusakanti tokius laivo parametrus kaip laivo keliamoji galia – dedveitas, tūrinė talpa, pageidaujamas greitis, plaukiojimo rajonas, statybą prižiūrinti klasifikacinė bendrovė ir panašiai.

Dauguma laivų projektavimo įmonių turi standartines techninės užduoties struktūras, dažnai panašias į reglamentuojamas laivų projektavimo ir statybos metodikoje. Dėl nepakankamos

bepiločių plaukiojančių įrenginių projektavimo patirties ir metodikos, dažnai USV projektuotojai ir gamintojai ruošdami techninės užduoties remiasi tradicinių laivų projektavimo patirtimi.

Toliau išnagrinėsime ir nustatysime pradinis projektuojamo USV parametrus, kuriuos pateiksime remiantis techninės užduoties sudarymu.

2.3.1 Informacija apie USV prototipus

Kaip minėta anksčiau, laivų projektavimas iš esmės yra paremtas ilgamete laivų projektavimo praktika. Laivų prototipų duomenys nuolat yra renkami, apdorojami, analizuojami ir pateikiami arba koreguojami įvairūs projektavimo metodiniai sprendimai. USV projektavimo ir statybos praktika nėra gausi, tad išsamios statistinės informacijos apie USV prototipus nėra.

2.3.2 USV paskirtis

Kaip minėta anksčiau, USV pritaikymo galimybės yra gan didelės, tačiau apibendrintai galima būtų išskirti dvi jų panaudojimo sritis:

- Kariniai tikslai;
- Moksliniai tyrinėjimai.

Moksliniam vandenų tyrinėjimui šie įrengimai yra naudojami labai plačiai:

- Jūrų ir vidaus vandenų dugno gylių batimetriniai matavimai;
- Vandens mėginių ir kitų parametrų gavimas;
- Oro, vandens paviršiaus ir vandens įvairiame gylyje įvairių parametrų monitoringas;
- Oro sąlygų monitoringas.

Kadangi USV paskirtis kaip ir laivų tipai turi didžiausią įtaką projektavimo eigai, tolesniame darbe apsiribojame USV tipu, skirtu dugno gylių batimetriniams matavimams.

2.3.3 Matavimo įrangos parinkimas ir jos įtaka USV parametrams

Matavimo įrangos tipas ar net tikslus modelis gali būti nustatytas užsakovo techninėje užduotyje ir tokiu būdu projektuotojui palengvinama USV projektavimo užduotis. Tačiau dažnai užsakovas nustato tik pagrindinius USV specialiosios (šiuo atveju gylių batimetriniai matavimai) užduoties parametrus ir matavimo įrangą teka parinkti projektuotojui.

Matavimo įrangos parinkimas yra vienas iš svarbiausių USV projektavimo uždavinio žinomųjų, kuris šiame darbe bus prilyginamas nekintančiam eksploatacijos metu USV krovinio svoriui. Tai pirmasis atramos taškas formuojant būsimos USV vandentalpos uždavinį. Taip pat

matavimo įrangos parinkimas atsineša kitus labai svarbius duomenis, iš esmės įtakojančius USV projektą – tai energijos sąnaudos, gabaritiniai matmenys ir vėduoklės išspinduliavimo dažnis. Apie pastarąjį parametą plačiau kalbėsime vėlesniuose skyriuose.

Daugiaspindulinė matavimo įranga susideda iš garso signalo siųstuvo (*angl.* – transmitter), imtuvo (*angl.* – receiver) bei matavimo įrangos valdymo bloko. Siųstuvas ir imtuvas dažnai yra sumontuotas kaip vienas vienetas, nors tai yra atskiros įrenginio dalys. Neatsiejimai šie komponentai yra montuojami, kad būtų išvengta papildomų derinimų tarp siųstuvo ir imtuvo po įrangos montavimo. Techniškai įmanomas šių dalių atskiras montavimas, tačiau montuojant turi būti laikomasi gamintojo nustatytų montavimo atstumų bei kampų. Įrangos valdymo blokas yra atskira matavimo įrenginio dalis, kuri gali būti montuojama atskirai nuo imtuvo siųstuvo komplekso ir yra sujungiama duomenų perdavimo kabeliais. Kaip minėta, imtuvas ir siųstuvas yra montuojami kartu, ant standaus rėmo, skirto įrangos tvirtinimui ant gylių matavimus atliekančio laivo ar kito įrenginio. Taip pat šiame rėme dažnai gamintojas numato papildomas, tokias kaip garso profilio matavimo, judesių sensoriaus ar kitos įrangos, montavimo vietas. Tad projektuojant USV visu pirmą naudojamės matavimo įrangos gabaritinius matmenimis ir tvirtinimo ypatumais.

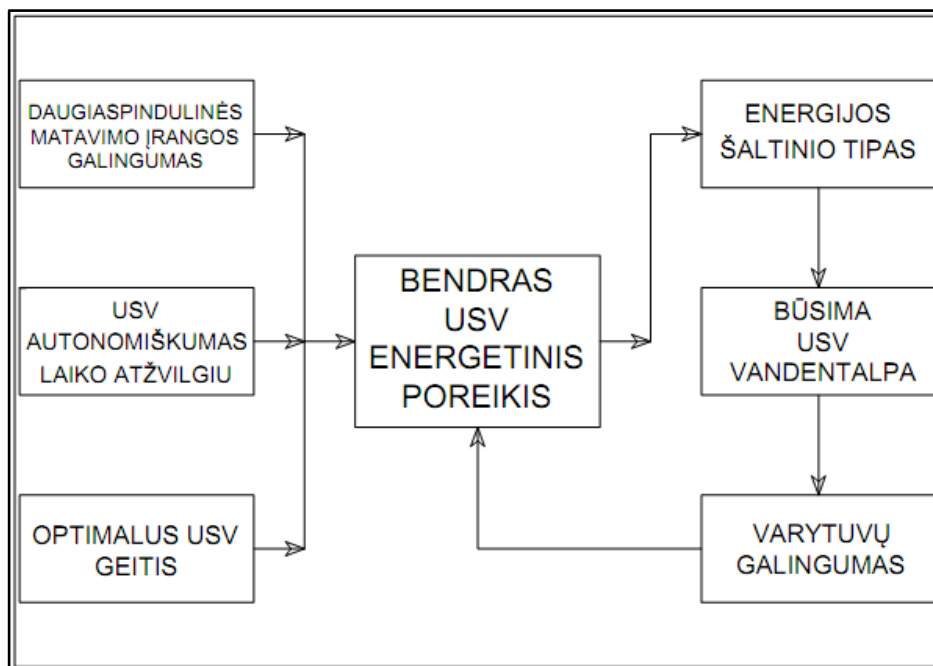
Projektuojamo USV parametrai labai priklauso nuo jame montuojamo gylių matavimo įrenginio gabaritų, konstrukcinių ypatumų bei techninių parametrų. Įvairūs gamintojai šiuo metu pateikia įvairiausių formų, gabaritinių matmenų ir svorių daugiaspindulinę gylių matavimo įrangą. Su kiekvienu naujai išleistu modeliu, daugiaspindulinės gylių matavimo įrangos gamintojai, siekdami patenkinti klientų pageidavimus, kartu su gylių tikslumo bei rezoliucijos gerinimu, stengiasi sumažinti įrangos gabaritinius matmenis, svorį bei elektros sąnaudas. Renkantis daugiaspindulinę gylių matavimo įrangą visu pirmą dėmesys yra kreipiamas į techninius parametrus: gylių matavimo diapazonas, vėduoklės plotis bei matavimo tikslumas.

Projektuojant USV, be minėtų techninių parametrų, labai svarbu atkreipti dėmesį į planuojamos montuoti daugiaspindulinės įrangos gabaritinius matmenis, svorį ir elektros energijos sąnaudas.

Matavimo įranga yra pagrindinis krovins, arba tiksliau nekintanti USV konstrukcinė dalis, kurios svoris tiesiogiai įtakoja projektuojamo USV būsimą vandentalpą. Būsima USV vandentalpa įtakos matavimų kokybę, t. y. didinant USV vandentalpą ir grimzlę galima gerinti dinaminį stovumą ir to pasėkoje bus įmanoma atlikti matavimus blogesnėse oro sąlygose išvengiant nepageidaujamų išilginio ir skersinio supimus.

Daugiaspindulinės matavimo įrangos elektros energijos poreikis, taip pat turi tiesioginę įtaką busimam USV vandentalpai. Kaip minėta anksčiau, USV autonomiškumas laiko atžvilgiu tiesiogiai proporcingas energetinių resursų atsargoms, tuo pačiu būsimam USV vandentalpai. Iš šių priklausomybių matome, kad mažindami daugiaspindulinės gylių matavimo įrangos svorį, galime

didinti USV autonomiškumą laiko atžvilgiu arba mažinti būsimą USV vandentalpą. Visi esminiai faktoriai įtakoiantys bendrą USV energetinį poreikį vienai matavimo užduočiai pateikti 2 paveiksle:



2 pav. Bendrą USV energijos poreikį įtakojančios elementai

Paveiksle 2 kairėje pusėje pateikti faktoriai yra energetinio poreikio lygties žinomieji, t. y. tie duomenys, kuriuos užsakovas ir USV projektuojas aptaria techninėje užduotyje, o dešinėje – nežinomieji, kurie nustatomi projektavimo stadijoje. Žinoma, šie projektuojamo USV parametrai taip pat gali būti nustatyti techninėje užduotyje, atsižvelgiant į specifinius užsakovo reikalavimus atitinkamai paliekant kairiąją paveikslėlio 2 pusę nežinomaisiais. Savo darbe nagrinėsiu pirmąjį variantą, t. y. žinant daugiaspindulinės gylių matavimo įrangos galingumą, reikiamą autonomiškumą laiko atžvilgiu bei optimalų greitį (pagal matavimo įrangos tech. parametrus) ieškosiu būdų įvertinti projektuojamo USV svorinę vandentalpą ir nustatyti reikiamą propulsinio komplekso galingumą.

2.3.4 USV architektūrinis tipas

Pasirenkant architektūrinį tipą reikalinga žinoti USV plaukiojimo sąlygas, norimą greitį bei kitus architektūrinį tipą įtakojančius faktorius. Jei įrenginys yra skirtas dirbti jūrų priekrantėje ir vidaus vandenyse, reikalinga užtikrinti pakankamą stovumą esant bangavimui, bei pakankamai nedidelę grimzlę darbui sekliuose vandenyse. Visiškai kitaip renkamas korpuso tipas ir jo parametrai projektuojant USV skirtą dirbti atvirose jūrose bei atšiauriose sąlygose.

Gylių matavimo prietaisai dažnai yra gaminami grubių, neaptakių formų, kadangi daugumoje jie projektuojami montavimui į tradicinių laivų korpusus, įleidžiant juos į iš anksto paruoštas išpjovas ir taip juos paslepiant bei paliekant tik minimalius atsikišusius paviršius, reikalingus signalo išsiuntimui ir priėmimui. Montuojant tokią įrangą į USV reikalinga numatyti aptakiklius, kurie atliks ne tik pasipriešinimo mažinimą, bet ir saugiai nukreips pasitaikiusius tinklus žemyn po gylių matavimo įrenginiu. Pasirenkant vienkorpusį USV korpuso tipą, šios problemos sprendimas galimas gylių matavimo prietaisą montuojant tiesiai į USV korpusą, kaip į tradicinius laivus, tačiau, kaip minėta anksčiau, norint aptarnauti matavimo prietaisą yra būtinas USV iškėlimas, bei prarandamas geresnis pradinis stovumas.

2.3.5 Plaukiojimo rajonas, nuotolis ir autonomiškumas

USV skirtu operuoti vidaus vandenys bei jūrų priekrantėse, plaukiojimo nuotolis nuo paleisties taško (dažniausiai ir sugrįžimo taškas) pasirenkamas kaip matomumo zona, kurią gali matyti žmogus, stovėdamas vandens paviršiaus lygyje. Dažniausiai šis atstumas atitinka ir VHF įrangos veikimo diapazoną, kas leidžia operatoriui priimti ir nusiųsti valdymo bei kontrolės (USV monitoringo) komandas radijo ryšio pagalba. Plaukiojimo nuotolis stipriai padidėtų, jei USV monitoringo-valdymo ryšys būtų pasirinktas palydovinis ar HF/MF, t. y. turinti mažesnius arba visai neturintis atstumo apribojimų. Tačiau plaukiojimo nuotolis tiesiogiai įtakoja USV autonomiškumą laiko atžvilgiu bei reikalauja didesnių energetinių resursų.

Taip pat analogiškai plaukiojimo nuotolį galima būtų vertinti numatant didžiausią galimą USV autonomiškumą laiko atžvilgiu ir optimalų įrenginio greitį, reikalingą perėjimui į darbo rajoną. Jeigu priimti, kad perėjimui galime skirti daugiausiai pusę viso ekspedicijai skirto laiko, plaukiojimo rajoną galima vertinti sekančiai:

$$R = \frac{t}{2} \cdot v_{opt}$$

čia R – plaukiojimo nuotolis, jm;

t – visas ekspedicijai skirtas laikas, h;

v_{opt} – optimalus USV greitis, mazg.

USV vandentalpa tiesiogiai priklauso nuo planuojamo autonomiškumo laiko atžvilgiu. Įrenginio autonomiškumas laiko atžvilgiu yra vienas pagrindinių dydžių įtakančių tolesnę projektavimo eigą ir galutinius įrenginio parametrus. Didinant autonomiškumą reikalingą didinti ir energetinių resursų atsargas, kas didina USV gabaritus ir vandentalpą.

2.3.6 USV greitis, jėgainės tipas

USV greitis. Nustatant projektuojamo USV optimalų greitį, būtina išskirti kelis gylių matavimams būdingus greičio režimus:

- greitis gylių matavimo metu,
- greitis reikalingas nuvykti ir sugrįžti iš matavimų rajono.

Apytikriai USV gylių matavimų greitis yra nustatomas pagal naudojamos gylių matavimo įrangos specifikacijose nurodytus leidžiamus greičius esant tam tikriems gyliams. Norint tiksliau nustatyti projekcinį greitį, reikalinga žinoti sekančius parametrus: daugiaspindulinio echoloto matavimų impulsų dažnį (vėduoklės išspinduliavimo dažnumą), preliminarius duomenis apie matavimų rajone esantį vidutinį gylį ir vieno impulso spinduliuojamo signalo skersmenį.

USV gylių matavimų metu didžiausią greitį riboja gylių matavimo įrenginio techninės galimybės, t. y. garsinių signalų - matavimo impulsų (*angl.* – *ping*) darbinis dažnis. Tiek IHO reikalavimuose tam tikruose matavimo rajonuose [20], tiek dažnai gylių matavimo projektu užsakovo reikalavimuose yra nurodomas „pilnas matuojamo dugno padengimas“, reiškiantis gylių matavimą be tarpų tarp matavimo taškų, o dažnai 50% perdengimu išilgine matavimo linijų kryptimi (pav. 3). Gylių matavimo prietaisai naudoja echosignalų principą – t. y. išsiunčiamas garsinis signalas ir yra laukiamas jo grįžimas (signalas išsiuntimas ir priėmimas toliau – *matavimo impulsas*). Daugiaspindulinė gylių matavimo įranga vienu metu išspinduliuoja didelį kiekį šių impulsų (dažnai vadinamų spindulys), kuris sudaro impulsų vėduoklę (pav. 3). Vėduoklę gali sudaryti iki kelių šimtų tokių impulsų, priklausomai nuo matavimo įrangos techninių galimybių. Kadangi yra žinomas signalo sklidimo vandenyje greitis, atstumas kurį jis turi nukeliauti du kartus (nukeliauti iki kliūtis ir sugrįžti – atlikti vieną matavimų impulsą) ir yra mums reikalingas gylis:

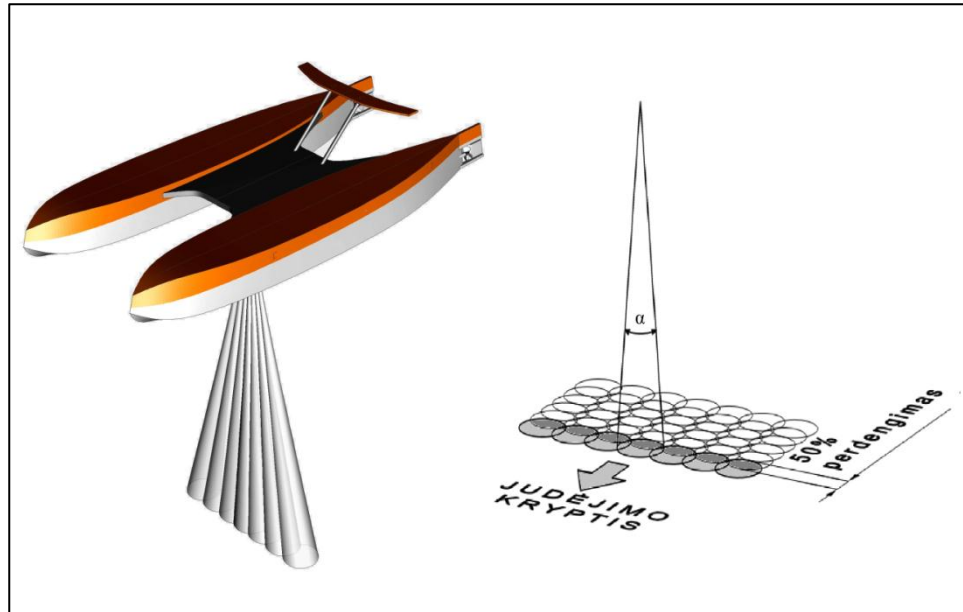
$$h = \frac{t \cdot v}{2},$$

čia h – gylis, m;

t – matavimo impulso laikas (per kurį garso signalas buvo išspinduliuotas, nukeliavo iki kliūtis ar dugno, atsispindėjo ir grįžo į imtuvą), s;

v – signalo sklidimo greitis vandenyje, m/s.

Išspinduliuotas garso signalas pasiekdamas dugną ar kliūtį padengia tam tikro skersmens plotelį. Šiuolaikiniuose daugiaspinduliniuose echolotuose galima reguliuoti išspinduliuojamų signalų plotelių skersmenis ir tarpus tarp išspinduliuojamų signalų nedidelėse ribose, tokiu būdu atliekamas skersinio matavimo linijoms signalo plotelių persidengimo reguliavimas.



3 pav. Daugiaspindulinės matavimo įrangos išspinduliuojamų impulsų vėduoklės įtaka matavimo greičiui

Tokiu būdu žinant garso sklidimo greitį vandenyje, matavimo prietaiso garso signalų impulsų dažnumą, išspinduliuojamo signalo plotelį ir jo priklausomybę nuo gylis galima nustatyti optimalų matavimų greitį reikalingą „pilnam perdengimui“ (pav. 3). Kaip minėta, šis greitis labai priklauso nuo matuojamame rajone vyraujančio gylis, ir jis tuo didesnis kuo gyliai mažesni (tačiau dideliais greičiais mažai ištirtose akvatorijose yra pavojinga plaukioti). Taip pat svarbu paminėti, kad matavimų impulsų dažnis taip pat priklauso nuo pasirinkto vėduoklės pločio. Įvertinant tai, kad matuojant bus atliekamas 50% išilginis (matavimo linijos krypties) perdengimas, didžiausias matavimų greitis yra randamas sekančiai [23]:

$$v_{mat} = n \cdot h_{vid} \cdot \tan\left(\frac{\alpha}{2}\right),$$

čia n – matavimų impulsų dažnis, 1/s;

h_{vid} – vidutinis gylis matavimo rajone (gaunamas pagal senesnius matavimus arba atlikus preliminarinius matavimus), m;

α – spinduliuojamo signalo skersmuo, laipsniais;

v_{mat} – matavimų greitis, m/s.

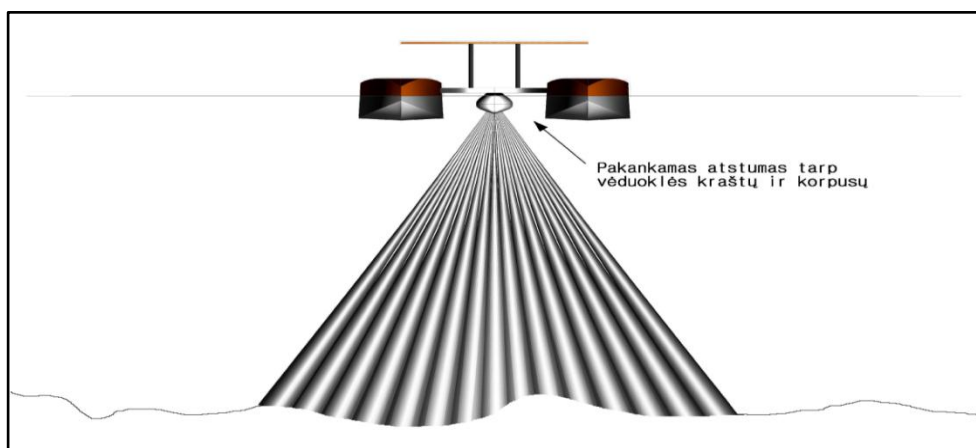
Greitis reikalingas USV nuvykti į matavimų rajoną ir grįžti iš jo ypatingų apribojimų neturi - pasirenkant didesnę greitį tikimasi trumpesnės bendros matavimo operacijos trukmės, tačiau viršijus USV optimalų greitį ženkliai didėja energijos sąnaudos vienam kelio vienetui, tad greičio didinimas neigiamai įtakoja USV autonomiškumą laiko atžvilgiu. Atliekant optimalaus greičio skaičiavimus reikalinga įvertinti USV pasipriešinimą ir apskaičiuoti reikalingą jėgainės galingumą.

USV jėgainės tipas. Techniškai, USV jėgainės tipas galimas bet koks prieinamas, tradiciniams laivams skirtas jėgainės tipas. Jėgainės tipą įtakoja du esminiai faktoriai – tai plaukiojimo rajonui galiojantys apribojimai ir įsigijimo bei eksploatacijos kaina. Pasirenkant jėgainės tipą reikalinga gerai išsianalizuoti plaukiojimo rajonus ir juose galiojančius apribojimus, pavyzdžiui Lietuvos Respublikoje bei kitos valstybėse kai kuriuose vidaus vandens telkiniuose yra visiškai uždrausti laivai ir kiti plaukiojantys objektai su vidaus degimo varikliais.

2.4 Galimų apribojimų nustatymas ir analizė

Tradicinių laivų matmenų apribojimai yra susiję su plaukiojimo rajonais bei uostų terminalų charakteristikom. Laivo grimzlė turi būti nedidesnė kaip mažiausias vieno iš uostų ekvatorijos ar krantinės gylis (įvertinant klirensą), kuris pasitaiko laivo plaukimo maršrute, laivo didžiausią ilgį dažnai riboja krantinių galinčių priimti ilgis, laivo plotį riboja kanalų bei šliuzų plotis, laivo aukštį virš vandens – praėjimai po tiltais. Projektuojant USV būtina taip pat atsižvelgti į tradiciniams laivams būdingus apribojimus, nors kai kurie dėl mažesnių USV gabaritinių matmenų gali atrodyti nereikšmingi.

Kaip minėta anksčiau, vienas iš dažnai keliamų tikslų projektuojamam USV yra galimybė atlikti matavimus sekliuose gyliuose, tad projektinė grimzlė turėtų būti kiek galima mažesnė. Tačiau daugiaspindulinei įrangai būtina visą matavimų laiką išlikti panardintai vandenyje. Daugiaspindulinės įrangos išspinduliuojama vėduoklė yra nukreipta žemyn ir priklausomai nuo įrangos techninių galimybių tam tikru kampu į šonus statmenai plaukimo kryptčiai. Priklausomai nuo šios išspinduliuojamos vėduoklės pločio, matavimo įrenginys turi būti paniręs tiek, kad tolimiausiai nuo diametralios plokštumos esantys spinduliai neturi kliudyti iš šonų esančių katamarano korpusų (pav. 4).



4 pav. Matavimo įrangos spindulių vėduoklės padėtis korpuso atžvilgiu

Batimetrijai skirto USV ilgio apribojimai mažai priklauso nuo krantinių ilgio - kadangi šis USV yra pakankamai mažų gabaritinių matmenų, o ilgio apribojimai yra susiję su USV transportavimu, t.y. gabenimu į ir iš matavimo vietos. Projektuojant USV turi būti numatytas transportavimo būdas ir gabenimo technika. Vienas iš USV pranašumų prieš konvencinius laivus yra USV mobilumas – t. y. galimybė nesudėtingai jį transportuoti iš vieno vandens telkinio į kitą neribotais atstumais. Todėl projektuojant USV turi būti įvertinamas numatomas transportavimo būdas – autotransporto priekaba nedideliems atstumams, konteinerinis pervežimas didesniais atstumais ar panašiai.

2.5 Busimos vandentalpos nustatymo būdų analizė

Kaip minėta anksčiau, laivų projektavimo praktika remiasi ilgametės laivų projektavimo patirties rezultatais – statistinių duomenų rinkimu bei jų apdorojimu ir metodikos ruošimu. Laivų būsimos vandentalpos nustatymo metodai taip pat yra paremti statistinių duomenų analize. Daugelio užsienio projektuotojų metodika remiasi dedveito ir vandentalpos statistinių santykių panaudojimu būsimai vandentalpai nustatyti. Šie metodai yra labai priimtini ir pakankamai paprasti, tačiau tinka tik tam tikrų laivų, dažnai populiariausių tipams. USV būsimos vandentalpos nustatymui šie metodai nėra tinkami dėl per mažos USV projektavimo statistikos duomenų bazės bei metodikos nebuvimo.

Šiame darbe siūloma autoriaus Ашик В. В. pateikta metodika, kuri remiasi svorių lygties sudarymu:

$$\Delta = \sum_{i=0}^{i=18} P_i, \quad [31, p. 53]$$

čia P_i - laivo svorių dedamosios dalys.

$$P_i = \Delta \cdot p_i,$$

čia p_i - koeficientas, atitinkantis konkrečios masių grupės priklausomybę nuo vandentalpos procentais [31,p.23].

Ši metodika taip pat yra skirta kroviniams, keleiviniams ir specialiosios paskirties laivams, tačiau leidžia kiekvieną projektuojamo USV svorių dedamąją dalį peržiūrėti atskirai. Atsižvelgdami į esminius USV konstrukcinius ypatumus siūlome išskirti sekančias USV svorių dedamąsias dalis:

1 lentelė. Laivo ir USV siūlomų svorių dedamųjų koeficientų palyginimas

| | Laivo svorių dedamųjų dalių koeficientai | USV svorių dedamųjų dalių koeficientai |
|----------|---|---|
| p_{01} | laivo korpusas | USV korpusas |
| p_{02} | bendralaiviniai įrenginiai | bendralaiviniai įrenginiai |
| p_{03} | bendralaivinės sistemos | bendralaivinės sistemos |
| p_{04} | laivo jėgainė | USV jėgainė |
| p_{05} | elektros įranga | elektros įranga |
| p_{06} | ginkluotė | |
| p_{07} | laivavedybos įranga | laivavedybos įranga |
| p_{08} | technologinė įranga | |
| p_{09} | atsarginės dalys | |
| p_{10} | pastovus balastas | pastovus balastas |
| p_{11} | vandalpos atsarga | vandalpos atsarga |
| p_{12} | skysčių likučiai | |
| p_{13} | patalpų įranga | |
| p_{14} | įgula, įgulos daiktai, provizija | |
| p_{15} | gabunami kroviniai | gylių matavimo įranga |
| p_{16} | kuro ir vandens atsargos | kuro arba kito energijos šaltinio kaupikliai |
| p_{17} | kintančios skysčių atsargos | |
| p_{18} | skystas balastas | |

2.6 Pagrindinių matmenų nustatymo būdai

Nustatant pagrindinius laivo parametrus įvairios metodikos yra ribojamos tam tikrų laivų tipais arba gabaritinių matmenų diapazonais. USV ilgio L nustatymui siūlome naudoti Posdiunino formulę kuri išreikšta per greičio ir vandentalpos priklausomybę:

$$L = c \left(\frac{v}{v+2} \right)^2 \cdot \Delta^{\frac{1}{3}}, \quad [34, p.,11-6]$$

Plotis įtakoja busimo USV stovumą, eigumą, valdomumą, vidinių skyrių išdėstymą ir būsimąją grimzlę. Pločio nustatymo etape paranku naudotis Autorius Watson D.G.M. siūlomu pločio nustatymo būdu, kuris yra paremtas L/B santykiais tam tikro greitaiegiškumo laivams.

Vandalpos pilnumo koeficiento δ nustatymui naudosime Watson and Gilfillan [34] pasiūlytą būdą, kuris priklauso nuo USV greitaiegiškumo ir yra išreiškiamas pagal Frūdo skaičių:

$$\delta = 0.7 + 0.125 \tan^{-1}((23 - 100Fr)/4), \quad [34, p.,11-11]$$

Tuomet grimzlė nustatoma iš sekančios formulės:

$$\nabla = \delta L B d .$$

Įvairioje laivų projektavimo literatūroje yra sutinkami įvairūs viršvandeninio borto skaičiavimo būdai, kurie visi remiasi IMO reikalavimais dėl minimalaus viršvandeninio borto [36, p.108]. Šie minimalaus viršvandeninį borto reikalavimai yra skirti užtikrinti laivo stovumą prie didelių kreno kampų, kai galimas vandens patekimas pro konstrukcines laivo ertmes. Minėti reikalavimai USV projektavime nėra nei privalomi nei tam tikrais atvejais reikalingi. Projektuojant USV be vidaus degimo variklio galima visiškai atsisakyti atvirų konstrukcinių ertmių, o korpuso skyrių dangčius projektuoti sandariai uždaromus. Projektuojant USV su vidaus degimo varikliu galima pasirinkti užbortinio vandens kombinuotą aušinimo-išmetimo sistemą, kuriai reikalingos tik minimalios konstrukcinės ertmės orui į variklių skyrius patekti.

Išilginio pilnumo, midelinio špangauto pilnumo koeficiento skaičiavimui pasirenkame autoriaus J. Čerkos nagrinėtą išilginio pilnumo koeficiento skaičiavimo metodiką [29], kuri remiasi greitaeigiškumo rodikliais.

2.7 Teorinio brėžinio skaičiavimai ir sudarymas

Teorinis brėžinys pateikia visą informaciją apie projektuojamo USV korpuso formą, įvertinant laivo jūrines savybes (plūdrumas, eigumas ir t.t.). Sudarant USV teorinį brėžinį galima nustatyti USV jūrinių savybių charakteristikas (vaterlinijos plotą, tūrinę vandentalpą, vandentalpos centro koordinatas, pilnumo koeficientus ir t.t.).

Sudarant teorinį brėžinį šiuolaikiniam projektuotojui paranku naudoti automatizuotas projektavimo programas, kurios sutaupo daug brangaus projektuotojo laiko ir leidžia atlikti aibę pakartotinių pakeitimų ir skaičiavimų siekiant optimalaus rezultato. Tačiau paranku atlikti pradinius teorinio brėžinio skaičiavimus kurie leidžia numatyti įvairius USV parametrus kurie įtakos įvairias USV jūrines savybes. Autoriaus Ашик В. В. pateiktoje metodika sudaryta iš sekančių teorinio brėžinio skaičiavimo etapų:

- Vandentalpos centro abscisės nustatymas;
- Cilindrinės dalies ilgio ir padėties nustatymas;
- Španhautų rikiuotės sudarymas;
- Midelinio špangauto sudarymas;
- Forštevnio ir achterštevnio parinkimas;
- Denio ir kilio linijų parinkimas.

2.8 Plūdrumo ir pradinio stovumo skaičiavimai ir vertinimas

Plūdrumo ir pradinio stovumo skaičiavimo metodika yra gana vieninga visiems laivams ir kitiems plaukiojantiems objektams. Atlikus teorinio brėžinio skaičiavimus ir sudarius teorinį brėžinį yra gaunami formos stovumo pečiai kurių pagalba yra apskaičiuojami statinio stovumo pečiai:

$$l_{\Theta} = y_c \cos \Theta + (z_c - z_{c0}) \sin \Theta - a \sin \Theta, \quad [29, p.38]$$

čia l_{Θ} - statinio stovumo petys, m;

y_c, z_c - pasvirusio laivo vandentalpos centro koordinatės, m;

z_{c0} - nepasvirusio laivo vandentalpos centro aplikatė, m;

Θ - kreno kampas, laipsniais;

a – vertikalus atstumas tarp nepasvirusio laivo svorio centro G ir vandentalpos svorio entro z_{c0} , m.

Aukščiau minėtos formulės pirma dalis yra formos stovumo pečių formulė -
 $l_f = y_c \cos \Theta + (z_c - z_{c0}) \sin \Theta$.

Tačiau stovumo vertinimas yra skirtingas įvairių tipų laivams bei plaukiojimo rajonui. Reikalavimus stovumui reglamentuoja IMO „International Code on Intact stability” taisyklės [36] ir klasifikacinių bendrovių reikalavimai kurie negali būti mažesni nei minėtos taisyklės. USV yra plaukiojantis inžinerinis įrenginys, kuris skiriasi nuo tradicinių laivų įgulos ir jai skirtų laivinių sistemų nebuvimu bei santykinai mažesniais gabaritiniais matmenimis. Stovumo reikalavimai tokiems įrenginiams šiai diena nėra keliami, tad šioje projektavimo metodikoje siūlome įvertinti projektuojamo USV stovumą pagal artimiausią laivo tipą.

2.9 Pasipriešinimas ir eigumas

Eigumas – tai laivo, ar kito plaukiojančio įrenginio savybė išvystyti reikiamą greitį tam eikvojant kuo mažiau galios. Eigumo skaičiavimo tikslas – nustatyti vandens pasipriešinimą USV judėjimui. Vandens pasipriešinimas apskaičiuojamas naudojantis apytikriais metodais, kurie skirstomi į tris grupes:

- viso pasipriešinimo skaičiavimas;
- likusio pasipriešinimo skaičiavimas;
- pasipriešinimo skaičiavimas pagal prototipo duomenis.

Visas pasipriešinimas laivo judėjimui apskaičiuojamas sekančiai:

$$R = (C_{FO} + C_R + C_A + C_{AP}) \frac{\rho v^2}{2} \Omega, \quad [28.p.,106]$$

čia C_{FO} – techniškai lygios plokštės trinties pasipriešinimo koeficientas,

C_R – likusio pasipriešinimo koeficientas,

C_A – koeficientas, įvertinantis laivo korpuso šiurkštumą,

C_{AP} – išsikišusių dalių pasipriešinimo koeficientas,

v – laivo greitis m/s,

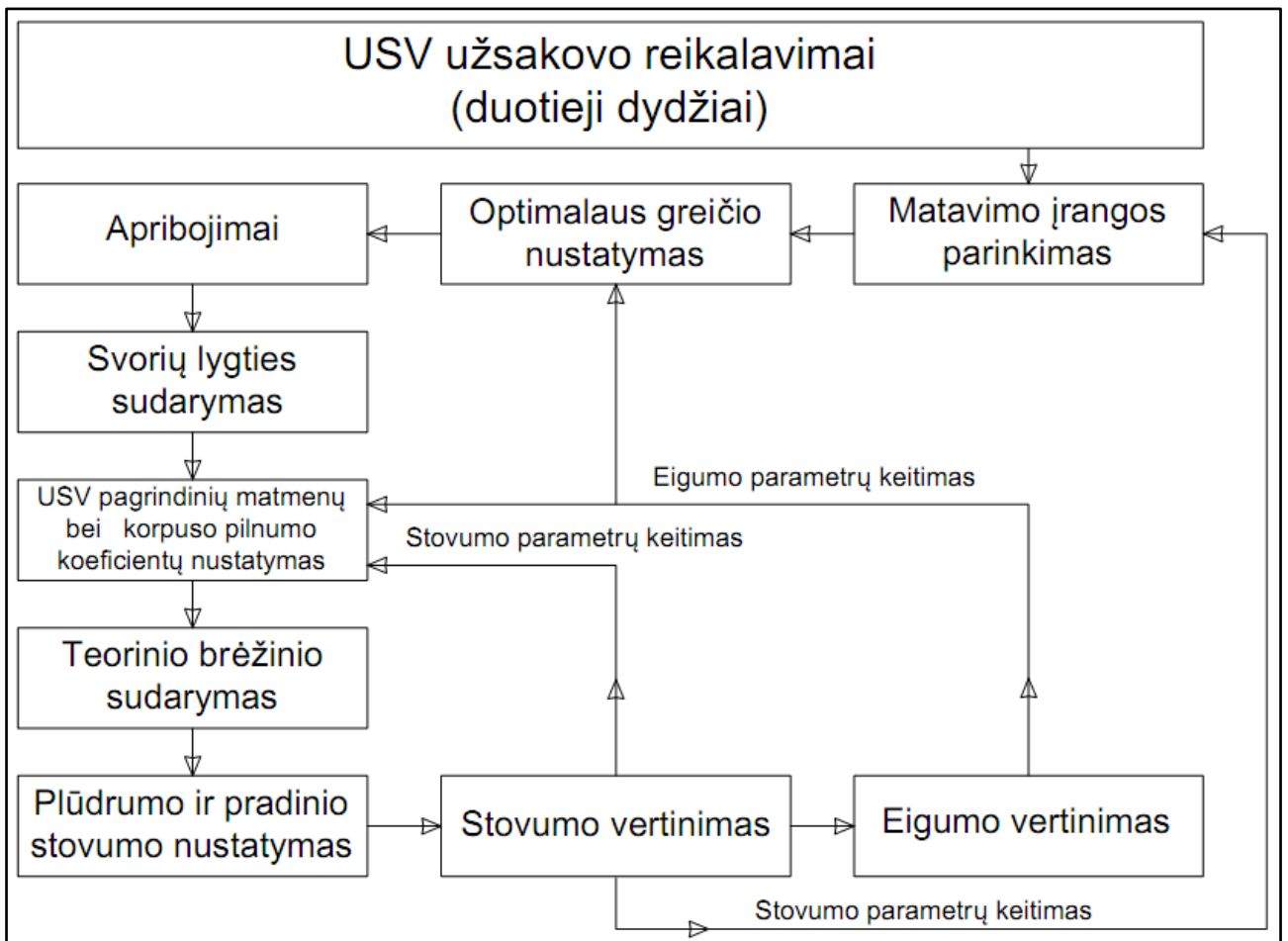
Ω – laivo suvilgyto paviršiaus plotas, m^2 .

Iš formulės matome, vienas iš koeficientų įtakojančių visą pasipriešinimą yra išsikišusių dalių pasipriešinimo koeficientas, kuris tradiciniuose laivuose yra santykinai mažas. Kaip minėta anksčiau, daugiaspindulinės įrangos gamintojai pateikia įvairių formų ir gabaritų gylių matavimo įrangą. Dalis pasiūlos yra skirta montuoti į laivo korpusą ar korpusus ir matavimo įrangos aptakumas yra pasiekiamas įleidžiant ją į iš anksto paruoštas įlaidas korpuse. Montuojant tokią įrangą į USV reikalinga numatyti aptakiklius formos pasipriešinimo sumažinimui bei apsaugai nuo paviršinių žvejybos tinklų.

2.10 USV projektavimo algoritmo sudarymas

Išanalizavus USV skirto batimetriniams gylių matavimams ir esamą korpuso-propulsinio komplekso metodiką siūlome sekančią projektavimo etapų struktūrą – projektavimo algoritmą (pav.5).

Sekančiame skyriuje atliekame paruoštos USV projektavimo metodikos lyginamąją analizę, kurios metu atliksime projekto „UBASUV“ parametrų skaičiavimus pagal paruoštą metodiką ir įvertinsime paruoštos metodikos patikimumą.



5 pav. USV projektavimo etapų formavimas

3. USV PROJEKTAVIMO METODIKOS LYGINAMOJI ANALIZĖ

3.1 Pradinių parametų nustatymas, techninės užduoties ir apribojimai

Nusistatome pradinis duomenis, kurie techninėje užduotyje yra užsakovo pageidavimų inžinerinė išraiška:

USV paskirtis – batimetriniai gylių matavimai;

USV plaukiojimo rajonas – vidaus vandenys ir jūrų priekrantės;

Vidutinis darbinis gylis – 10 m;

Matavimo įranga – daugiaspindulinė gylių matavimo įranga atitinkanti IHO SP-44 [20] reikalavimus,

Matavimo įrangos matavimo gylių diapazonas – nuo 0.5 m iki 100 m;

Apribojimai:

- Transportavimo ilgis – iki 2.5 m;
- Transportavimo plotis – iki 1.8 m;
- Transportavimo aukštis – iki 1.5 m;
- USV autonomiškumas – ne mažiau kaip 8 h.

Matavimo įrangos parinkimas. Mūsų projektuojamo įrenginio pagrindinė paskirtis yra atlikti batimetrinius matavimus jūrų priekrantėse ir ypač sekliuose vandenyse, tad šiuo atveju reikalinga kuo mažesnė USV grimzlė. Taip pat, vienas iš dažnai užsakovo keliamų reikalavimų yra pakankamai lengvas ir paprastas įrenginio aptarnavimas, o tiksliau nesudėtingas įrenginio transportavimas tarp vandens telkinių bei USV saugojimo vietos. Tad įvertinus šiuos faktorius dėmesys, pasirenkant matavimo įrangą, turi būti koncentruotas į mažesnį įrangos svorį.

Peržiūrėję šiuo metu siūlomas daugiaspindulinės matavimo įrangos pasiūlą, renkamės kompanijos „GeoAcoustics“ gaminį „Geoswath Plus“ Compact versiją (pav. 6). Šios daugiaspindulinės matavimo įrangos techniniai duomenys pateikti priede 1. Pasirinkimą lėmė sąlyginai mažas įrangos svoris (3.8 kg siūstuvai-įmtuvai ir 36.2 kg valdymo ir duomenų surinkimo blokas), nedideli konstrukciniai gabaritiniai matmenys ir nedidelis elektros energijos poreikis (40 W). Taip pat pasirinkimo sprendimą įtakojo aptaki imtuvo-siūstuvo, įlieto į vieną bloką, forma.

Kaip ir tradicinių laivų projektavimo uždavinyje taip ir projektuojant USV vienas iš svarbiausių duotųjų dydžių yra krovinio svoris, kuris USV projektavimo atveju yra specialiosios užduoties įrangos svoris.



6 pav. "Gepthath Plus" compact versijos daugiaspindulinio echoloto siūstuvai-imituvai

Optimalaus greičio parinkimas. Nustatome optimalų greitį, kuris įtakos propulsinio komplekso galingumą ir taip pat būsimą vandentalpą, bei USV autonomiškumą. Nustatant optimalų greitį naudojames daugiaspindulinės įrangos techniniais parametrais:

$$v_{mat} = n \cdot h_{vid} \cdot \tan\left(\frac{\alpha}{2}\right) = 30 \cdot 10 \cdot \tan\left(\frac{0.75^\circ}{2}\right) = 1.96 \frac{m}{s}$$

čia n – matavimų impulsų dažnis, $n=30 \frac{1}{s}$;

h_{vid} – vidutinis gylis matavimo rajone, $h_{vid}=10$ m (kadangi projektuojamo USV paskirtis vidaus vandenys bei jūrų priekrantės,), m;

α – spinduliuojamo signalo kampas, $\alpha= 0.75^\circ$;

v_{mat} – matavimų greitis, m/s.

Kaip minėta anksčiau, projektuojant gylių matavimams skirtą USV, reikalinga įvertinti 2 projektinius greičius: greitį skirtą gylių matavimams ir greitį skirtą perėjimams į ir iš matavimo rajono. Greitį, skirtą USV perėjimams ne matavimo režime pradinėje projektavimo stadijoje priimame nežymiai didesnę nei greitį, skirtą gylių matavimams - $v_{pro} = v_{mat} = 1.96 \frac{m}{s} \approx 2.06 \frac{m}{s} = 4 \text{ mazg}$.

2 lentelėje tiksliname pradinis USV projektavimo parametrus:

2 lentelė. Pradiniai USV parametrai

| | |
|--|---|
| USV paskirtis | batimetriniai gylių matavimai |
| USV plaukiojimo rajonas | vidaus vandenys ir jūrų priekrantės |
| Vidutinis darbinis gylis | 10 m |
| Matavimo įranga | daugiaspindulinė gylių matavimo įranga atitinkanti IHO SP-44 reikalavimus „Geoswath Plus“ Compact |
| Matavimo įrangos matavimo gylių diapazonas | nuo 0.5 m iki 100 m |
| Matavimo įrangos bendras svoris | 40 kg |
| Projektinis greitis | 4 mazgai |
| Apribojimai: | |
| transportavimo ilgis | iki 2.5 m |
| transportavimo plotis | iki 1.8 m |
| transportavimo aukštis | iki 1.5 m |
| autonomiškumas | ne mažiau kaip 8 h. |

Projektuojamo USV architektūrinis tipas. Siekiant užtikrinti geresnį stovumą vienkorpusia laivai ar kiti plaukiojantys įrenginiai projektuojami su didesne santykinę grimzle arba didesniu korpuso pločiu. Norėdami projektuojamam įrenginiui numatyti mažesnę grimzlę renkamės korpuso pločio didinimą. Tačiau didinant plotį mažėja L/B santykis, kuris neigiamai įtakoja greitį, todėl turime įvertinti daugiakorpusio korpuso variantą.

Santykinai didesnis daugiakorpusio plaukiojančio įrenginio denio plotas už to paties ilgio vienkorpusio, leidžia patogiau išdėstyti matavimo ar kitokią užduoties įrangą, nemontuojant jos į korpusus ir tokiu būdu paliekant projektuotojams galimybę korpusuose suplanuoti didesnę dali įrangos, kurios sudėtis mažai kinta įrenginio eksploatacijos metu (propulsinė, energetinė, valdymo sistemos komponentai). Gylių matavimo įrangos išdėstymas būtų atliekamas ją montuojant tarp korpusų, ant korpusų jungiančios konstrukcijos. Šis montavimo būdas prireikus lengvai leis prieiti prie įrangos apžiūrai, remontui ar išmontavimui. Pasirinkus vieno korpuso tipą, prieiga prie matavimų įrangos būtų galima tik ištraukus USV iš vandens ir atidarius korpuso angų dangčius.

Daugiakorpusia laivai ir kiti daugiakorpusia plaukiojantys įrenginiai pasižymi geresniu pradiniu ir avariniu stovumu. Pažeidus vieną iš korpusų, likęs (ę) neužtvindytas (i) korpusas (ai) užtikrins pakankamą avarinį plūdrumą, o tai pat kiekvieno korpuso skirstymas į nelaidžius skyrius dar padidina plūdrumo atsargą avarijos metu [17].

Planuojant USV korpuso elementų formas bei vidaus skyrių išdėstymą, taipogi reikalinga atkreipti dėmesį į užduoties pobūdį ir sąlygas tikėtinas plaukiojimo rajone. Atliekant matavimus priekrantėse ir ypačingai vidaus vandenyse, dažnai sutinkama kliūtis yra paviršiniai žvejų tinklai, kurie patekę į sraigta ar kitaip užsikabinę už išsikišusių dalių, gali sustabdyti ar net apgadinti USV. Todėl projektuojant USV, kurie atliks užduotis aktyvios žvejybos rajonuose, patartina korpusuose

numatyti kuo mažiau atsikišusių dalių, sraigto-vairavimo mechanizmą projektuoti su apsaugomis ar kitaip apsaugotą nuo patekimo į paviršinius žvejų tinklus.

Šiame darbe projektuojamo įrenginio paskirtis yra batimetriniai gylių matavimai jūrų priekrantėse ir vidaus vandenyse ir atlikus aukščiau minėtą vertinimą yra pasirenkamas dvikorpusio t. y. katamarano korpuso tipas. Trimarano korpuso variantas yra atmetamas, dėl didesnio sudėtingumo sumontuoti gylių matavimo įrangą nei katamarano tipo korpuse.

Norėdami turėti trumpesnes veleno linijas, renkamės variklių skyrių išdėstymą laivugalinėse korpusų dalyse. Likusiose korpusų dalyse bus išdėstomi: energetinė, duomenų surinkimo, ir autonominio valdymo sistemų komponentai. Pradiniame etape planuojamos po 3 nelaidžius skyrius kiekvienam korpusui. Varytuvo tipas – sraigčiai, kiekviename korpuse išdėstyti laivugalyje, vairavimo mechanizmas – dvi vairo plunksnos išdėstytos už sraigtų.

Kilio linija tiesi, laivugalyje pereinanti į apatinę sraigto ir vairo plunksnos apsaugą.

Gylių matavimo įrenginys bus montuojamas USV vidurinėje dalyje, ant korpusus jungiančius platformos. Gylių matavimų įrenginiui apsaugoti nuo tinklų ir sumažinti galimą pasipriešinimą bus numatomas gylių matavimo įrenginio aptakiklis.

Korpusuose ties kiekvienų nelaidžiu skyriumi bus įrengtos aptarnavimo angos, variklių, energetiniam ir valdymo skyriui aptarnauti.

Plaukiojimo rajonas ir autonomiškumas. Projektuojamas USV yra skirtas atlikti gylių matavimus jūrų priekrantėse bei vidaus vandenyse. Pagal užsakovo pageidavimus nustatomas 8 valandų USV autonomiškumas.

Jėgainės tipas. Projektuojamame įrenginyje numatomas jėgainės tipas – 2 elektros varikliai, sumontuoti po vieną į kiekvieną korpusą, kurie velenais pbus sujungti su fiksuoto žingsnio sraigtais. Elektros varikliai pasirenkami dėl kelių priežasčių: draugiškas jėgainės tipas supančiai aplinkai, lengvai pritaikomi įvairūs energijos šaltiniai kurie generuoja arba kaupia elektros energiją ir patogus bei paprastas prijungimas prie valdymo sistemos.

3.2 Svorių lygties sudarymas

Šio skyriaus tikslas yra nustatyti busimojo USV svorinę vandentalpą. Tuo tikslu sudaroma laivo svorių lygtis. Sudarysime svorių lygtį naudojantis autoriaus Ашик В. В. pateikta metodika:

$$\Delta = \sum_{i=01}^{i=18} P_i, \quad [31, p. 53]$$

čia P_i - laivo svorių dedamosios dalys.

$$P_i = \Delta \cdot p_i,$$

čia p_i - koeficientas, atitinkantis konkrečios masių grupės priklausomybę nuo vandentalpos procentais [31,p.23].

Kaip matome, iš 3 lentelės, USV svorių dedamosios dalys iš esmės skiriasi nuo tradicinių laivų tik įgulai skirtų priemonių, atsargų ir patalpų svorių dedamosiomis dalimis. Tradiciniuose laivuose propulsinis kompleksas dažniausiai yra pasirenkamas dyzelinis, mūsų projektuojamame USV planuojami elektros varikliai ir energijos kaupikliai – akumulatoriai. Pradinėje projektavimo stadijoje priimame, kad dyzelinio propulsinio komplekso su kuro atsargomis numatytam autonomiškumui pasiekti, svorių dedamoji dalis yra lygi elektros variklių su akumulatoriais numatytam autonomiškumui pasiekti. Tad USV svorių lygtį sudarome remdamiesi aukščiau minėta metodika.

3 lentelė. USV svorių dedamųjų koeficientai

| | USV svorių dedamųjų dalių koeficientai |
|------------------|---|
| $p_{01} = 30\%$ | USV korpusas |
| $p_{02} = 1\%$ | bendralaiviniai įrenginiai |
| $p_{03} = 1\%$ | bendralaivinės sistemos |
| $p_{04} = 0.275$ | energetinė sistema |
| $p_{05} = 1.5\%$ | elektros įranga |
| p_{06} | - |
| $p_{07} = 1\%$ | laivavedybos įranga |
| p_{08} | - |
| p_{09} | - |
| $p_{10} = 0\%$ | pastovus balastas |
| $p_{11} = 0\%$ | vandentalpos atsarga |
| p_{12} | - |
| p_{13} | - |
| p_{14} | - |
| p_{15} | gylių matavimo įranga |
| p_{16} | elektros energijos kaupikliai |
| p_{17} | - |
| p_{18} | - |

Laivo korpuso svorio dedamoji dalis kinta šiose ribose - nuo 17.1 iki 54.2 procentų priklausomai nuo laivo tipo. Didelį vandentalpos pilnumo koeficientą turintys laivai, tokie kaip birių krovinių laivai bei tanklaiviai pasižymi mažesne korpuso svorio dedamąją dalimi, t.y. šių laivų

kroviny s užimà didžiausią busimos vandentalpos dalį. Specializuotiems laivams, tokiems kaip konteinervežiai, refrežeratoriniai laivai ar vilkikai, būdinga didesnė korpuso svorio dedamoji dalis. Vertindami tai, kad yra pasirinktas katamarano tipo korpusas, kurio konstrukcija yra žymiai sudėtingesnė nei vienkorpusio, pradinėje stadijoje renkamės didesnę korpuso svorio dedamąją dalį – $p_{01} = 30\%$.

Bendralaivines sistemas ir bendralaivuinius įrenginius apjungiamo ir renkamės mažiausias metodikoje siūlomas reikšmes - $p_{02} = 1\%$, $p_{03} = 1\%$. Tokį sprendimą priimame vertindami tai, kad USV kitaip nei tradiciniuose laivuose nėra numatomos nei švartavimo, nei inkaravimosi, nei gelbėjimosi ar panaši įranga bei sistemos, būdingos tradiciniams laivams. Mūsų atveju į bendralaivinius įrenginius įeina vairinė ir specialiosios paskirties, t.y. matavimo įrangos tvirtinimo svoriu dedamosios dalys. Bendralaivinėms sistemoms priskiriame pagalbinę-avarinę sistemą, skirtą USV paieškai palengvinti, praradus valdymą ar įvykus kitiems gedimams.

Energetinės sistemos svorio dedamoji dalis autoriaus Ашик В. В. pateiktoje metodikoje yra pateikta dyzeliniams varikliams. Kaip minėta ankščiau, pradinėje projektavimo stadijoje priimame, kad dyzelinio propulsinio komplekso su kuro atsargomis numatytam autonomiškumui pasiekti, svorių dedamoji dalis yra lygi elektros variklių su akumuliatoriais numatytam autonomiškumui pasiekti.

Laivo jėgainės svoris priklauso nuo laivo jėgainės galios:

$$P_{04} = f \cdot (P_s) = p_{04} \cdot P_s,$$

čia $p_{04} = 0.275 \text{ kN/kW}$ (greitasūkiams dyzeliams $p_{04} = 0.20 \div 0.35 \text{ kN/kW}$), jėgainės galingumo priklausomybė nuo vandentalpos yra mažėjanti didėjant laivo vandentalpai. Šiuo atveju projektuojamam USV renkamės vidutinę p_{04} reikšmę.

P_s - jėgainės galingumas kW.

Jėgainės galingumas priklauso nuo vandentalpos:

$$P_s = f(\Delta),$$

čia P_s – variklio galia, kW.

$$P_s = \frac{\nabla^m \cdot v^n}{C} = \frac{\nabla^{0.5} \cdot v^{2.5}}{C}, \quad [31, \text{ p. } 203]$$

čia v – laivo greitis, $v = 4$ mazgai arba 2.06 m/s ,

$C = 5.17$ – admiraliteto koeficientas (jei, v pateikiamas m/s),

$C = 27.2$ – admiraliteto koeficientas (jei, v pateikiamas mazgais),

∇ – tūrinė vandentalpa (m^3) iš čia $\nabla = \Delta / \rho g$,

g - laisvo kritimo pagreitis, m/s^2 .

Tada jėgainės galingumas:

$$P_s = \frac{\nabla^{0.5} \cdot v^{2.5}}{C} = \frac{(\Delta / \rho g)^{0.5} \cdot 2.06^{2.5}}{5.17},$$

ir jėgainės svoris:

$$P_{04} = f \cdot (P_s) = p_{04} \frac{(\Delta / \rho g)^{0.5} \cdot 2.06^{2.5}}{5.17} = 0.275 \frac{(\Delta / 1.025 \cdot 9.81)^{0.5} \cdot 2.06^{2.5}}{5.17} = 0.1019 \Delta^{0.5}.$$

Elektros įrangai įvairių laivų tipams autorius Ашик В. В. skiria nuo 0.1 iki 5% koeficiento p_{05} reikšmes. Elektros laidų, jungčių, jungiklių ir autonominio valdymo procesorių svoriams pasirenkame sekančią reikšmę $p_{05} = 1.5\%$.

USV padėties (GPS), judesių ir kompasos sensorius įvardijame kaip navigacinę įrangą ir nustatome sekančią koeficiento p_{07} reikšmę - 1%.

Kuro ir vandens atsargų svoris, kuris yra prilyginamas elektros energijos kaupiklių svoriui, taip pat priklauso nuo keleto faktorių:

$$P_{16} = k_t k_m p_t r \frac{\Delta^m \cdot v^{n-1}}{C}, \quad [31, p. 52]$$

čia k_t - tepalo ir vandens poreikis mechanizmams, kurio projektuojamame USV nenumatome ir priimame $k_t = 1$;

k_m - jūrinių atsargų koeficientas, kurio projektuojamame USV nenumatome ir priimame $k_m = 1$;

p_t - santykinės kuro sąnaudos dyzeliniams varikliams $kg/kW \cdot h$, kurios nusako kuro atsargų svorį reikalinga tam tikram energijos kiekiui ($kW \cdot h$) pagaminti, projektuojamo USV numatoma energetinė sistema yra sudaryta iš elektros variklių ir elektros energijos kaupiklių. Pasirenkamas elektros energijos kaupiklio tipas yra ličio jonų tipo akumulatoriai, kurių energetinis tankis yra apie $0.25 kW \cdot h/kg$ [33]. Tada santykinės kuro sąnaudos, o tiksliau santykinis energijos kaupiklių svoris yra $p_t = 1/0.25 = 4kg/kW \cdot h$, arba $0.03924 kN/kW \cdot h$;

$r = t \cdot v = 32 jm$ - plaukiojimo nuotolis (autonomiškumas). $t = 8$ – eigos laikas (h),

$v = 4$ – laivo greitis (mazgais).

Tada energijos kaupiklių svoris:

$$P_{16} = k_t k_m P_t r \frac{\Delta^m \cdot v^{n-1}}{C} = 1 \cdot 1 \cdot 0.03924 \cdot 32 \frac{\Delta^{0.5} \cdot 2.06^{1.5}}{5.17} = 0.7169 \Delta^{0.5} .$$

Laivo krovinio svoris:

$$P_{15} = 0.04t .$$

Toliau skaičiuojame laivo vandentalpą :

$$\Delta = 0.3\Delta + 0.02\Delta + 0.1019\Delta^{0.5} + 0.015\Delta + 0.01\Delta + +0.7169\Delta^{0.5} + (0.04 \cdot 9.81);$$

$$0.345\Delta + 0.8188\Delta^{0.5} + 0.3924 = \Delta;$$

$$0.655\Delta - 0.8188\Delta^{0.5} - 0.3924 = 0.$$

Išsprendus lygtį gauname sekančią vandentalpą :

$$M = 2.62 \text{ kN},$$

$$\Delta = 0.267t.$$

3.3 USV pagrindinių matmenų bei korpuso pilnumo koeficientų nustatymas

Nustatydami USV pagrindinius matmenis bei korpuso pilnumo koeficientus skaičiavimus atliekame vienam katamarano korpusui.

USV ilgio L nustatymui naudojame Posdiunino formulę:

$$L = c \left(\frac{v}{v+2} \right)^2 \cdot \Delta^{\frac{1}{3}}, \quad [34, \text{p.}, 11-6]$$

čia $c = 7.4$ – koeficientas priklausantis nuo sraigtų skaičiaus ir greičio.

Vienasraigčiams laivams, kurių greitis yra iki 18.5 mazg., $c = 7.1 \div 7.4$,

v - laivo greitis mazgais,

Δ – svorinė vandentalpa, t .

$$L = c \left(\frac{v}{v+2} \right)^2 \cdot \Delta^{\frac{1}{3}} = 7.4 \left(\frac{4}{4+2} \right)^2 \cdot \sqrt[3]{0.267} = 2.12 \text{ m} .$$

Knygos „Practical Ship Design“ autorius Watson D.G.M. siūlo greitaeigiems laivams $L/B = 6.25$. Projektuojamam laivui parenkame didesnę L/B reikšmę, motyvuodami santykinio ir likusio pasipriešinimo sumažėjimu, kas teigiamai įtakoja laivo ekonomiško rodiklius.

Tada apskaičiuojame USV vieno korpuso plotį:

$$B_K = \frac{L}{6.25} = \frac{2.1}{6.25} = 0.336 \text{ m} .$$

Grimzlę nustatome pagal sekančią formulę:

$$\nabla = \delta LBd,$$

čia δ - vandentalpos pilnumo koeficientas, kurį surandame pagal Watson and Gilfillan [34] pasiūlytą būdą:

$$\delta = 0.7 + 0.125 \tan^{-1}((23 - 100Fr)/4), \quad [34, p.,11-11]$$

čia Fr – Frūdo skaičius, kuris nustatomas sekančiai:

$$Fr = \frac{v}{\sqrt{g \cdot L}} = \frac{2.058}{\sqrt{9.81 \cdot 2.1}} = 0.45.$$

Tada apskaičiuojame vandentalpos pilnumo koeficientą:

$$\delta = 0.7 + 0.125 \tan^{-1}((23 - 100 \cdot Fr)/4),$$

$$\delta = 0.7 + 0.125 \tan^{-1}((23 - 100 \cdot 0.45)/4) = 0.5288$$

Apskaičiuojame busimąją grimzlę, kurią skaičiuojant vienam korpusui skiriame puse vandentalpos:

$$d = \frac{\nabla}{\delta LB} = \frac{0.267/2/1.025}{0.5288 \cdot 2.1 \cdot 0.336} = 0.22.$$

Borto aukštis susideda iš grimzlės ir viršvandeninio borto aukščio:

$$D = d + F.$$

Projektuojant USV be vidaus degimo variklio galima visiškai atsisakyti atvirų konstrukcinių ertmių, o korpuso skyrių dangčius projektuoti sandariai uždaromus. Tad tolesniame projektavimo etape priimame:

$$F = \frac{1}{3} D = \frac{1}{3} (d + F) = \frac{1}{2} d = \frac{1}{2} 0.22 = 0.11m;$$

$$D = d + F = 0.33m.$$

Išilginio pilnumo koeficiento skaičiavimui pasirenkame autoriaus J. Čerkos siūloma išilginio pilnumo koeficiento skaičiavimo metodika [29]:

$$\varphi = 0.367 \cdot Fr + 0.465,$$

$$\varphi = 0.367 \cdot Fr + 0.465 = 0.367 \cdot 0.45 + 0.465 = 0.6307.$$

. Midelinio španhauto pilnumo koeficientas, laivams kurių δ yra mažesnis nei 0.55 yra nustatomas sekančiu būdu:

$$\beta = \frac{1}{1 + (1 - \delta)^{3.5}}, \quad [6, p.28]$$

$$\beta = \frac{1}{1 + (1 - \delta)^{3.5}} = \frac{1}{1 + (1 - 0.5288)^{3.5}} = 0.9330.$$

Kadangi išilginio pilnumo koeficientas yra išreiškiamas vandentalpos pilnumo koeficiento ir midelinio španhauto koeficiento santykiu $\varphi = \frac{\delta}{\beta}$, perskaičiuojame midelinio španhauto koeficientą:

$$\beta = \frac{\delta}{\varphi} = \frac{0.5288}{0.6307} = 0.8384.$$

Vaterlinijos pilnumo koeficientą randame sekančiu būdu:

$$\alpha = (1 + 2\delta) / 3, \quad [34, p.11-16]$$

$$\alpha = (1 + 2 \cdot 0.5288) / 3 = 0.8745.$$

Vertikalaus pilnumo koeficientas:

$$\chi = \frac{\delta}{\alpha} = \frac{0.5288}{0.8745} = 0.6046.$$

Šiame USV projektavimo etape buvo nustatyti šie USV duomenys:

| | | | |
|----------|------------|-----------|-----------|
| Δ | = 0.267 t, | D | = 0.33 m, |
| DWT | = 0.04 t, | δ | = 0.5288, |
| L | = 2.12 m, | β | = 0.9330, |
| B_K | = 0.34 m, | α | = 0.8745, |
| d | = 0.22 m, | φ | = 0.6307, |
| F | = 0.11 m, | χ | = 0.6046. |

3.4 Projektuojamo USV teorinio brėžinio sudarymas

3.4.1 Vandentalpos centro abscisė

Vandentalpos centro padėtis laivo ilgio atžvilgiu yra vertinama santykiui x_c/L . Esant vandentalpos centrui į laivapriekį nuo midelio, laivagalio apvadai daromi siauresni ir sumažėja sūkurių susidarymas laivagalyje. Kadangi lėtaeigių laivų likęs pasipriešinimas pagrindinai priklauso nuo sūkurių susidarymo laivagalyje, tai šiems laivams tikslinga, kad vandentalpos centras būtų į laivapriekį nuo midelio. Greitaeigių laivų laivapriekis turi būti siauresnis, kad laivinės bangos būtų mažesnės. Šių laivų vandentalpos centras bus į laivagalį nuo midelio. Šiaip dažnai būna pageidautina C paslinkti į laivagalį nuo midelio, nors pasipriešinimas gali nežymiai ir padidėti, bet bus patogesni laivagaliniai skyriai. Be to šiuo atveju mažiau kris laivo greitis esant bangavimui.

Skaičiuodami vandentalpos centro abscisę naudojames autoriaus Ашик В. В. pateikta metodika ir kadangi mūsų projektuojamo USV vandentalpos pilnumo koeficientas yra mažesnis nei 0.65 [31, p. 224], x_c skaičiuojame sekančiai:

$$\frac{x_c}{L} = -0.011 \left[\sin \left(\frac{\pi}{2} \cdot \frac{0.65 - \delta}{0.15} \right) \pm 1.0 \right]. \quad [31, p. 224]$$

Iš pateiktos formulės matome, kad galimas x_c koregavimas tam tikrose ribose. Laikydami šio projektuojamo USV greitį kaip prioritetą ir siekdami mažinti bangų pasipriešinimą tolesnį skaičiavimus atliekame sekančiai:

$$\frac{x_c}{L} = -0.011 \left[\sin \left(\frac{\pi}{2} \cdot \frac{0.65 - 0.5288}{0.15} \right) + 1.0 \right] = -0.0215,$$

$$x_c = L \cdot (-0.0215) = 2.12 \cdot (-0.0215) = -0.046m.$$

3.4.2 Cilindrinės dalies ilgis ir padėtis

Cilindrinėje dalyje laivo skerspjūvių formos ir dydžiai nekinta. Ši dalis būna laivo vidurinėje dalyje.

Dėl paprastesnės USV statybos technologijos bei galimybės patogiau išdėstyti vidinius tūrius akumulatoriams bei įrangai būtina įvertinti galimybę projektuojamam laivo korpuse numatyti cilindrinę dalį.

Dažniausiai cilindrinė dalis L_{cil} yra būdinga lėtaeigiams ($Fr \leq 0.24 \div 0.25$), pilniems ($\delta \geq 0,65$) laivams, tačiau remdamiesi autoriaus Ашик В. В. pateikta metodika apskaičiuosime L_{cil} mūsų projektuojamam USV.

Nustatant cilindrinės dalies ilgį ir padėtį laive ar kitame projektuojamame plaukiojančiame įrenginyje reikia atsižvelgti į tai, kad nepadidėtų formos pasipriešinimas dėl nepakankamo laivagalio kampo užaštrinimo. Autoriaus Ашик В. В. siūlo naudoti *Bekerio* kriterijų $k \geq 4.1$, kuris įvertina formos pasipriešinimo padidėjimo sąlygas [31, p. 229].

Naudodami minėtą kriterijų apskaičiuojame santykinį laivagalio ilgį:

$$l_g = \frac{k}{\frac{1}{\varphi^2} \cdot l^{\frac{3}{2}}} = \frac{4.1}{0.6307^2 \cdot 4.18^{\frac{3}{2}}} = 0.6036, \quad [31, p. 230]$$

čia k - Bekerio kriterijus (priimame $k = 4.1$),
 - išilginio pilnumo koeficientas,

$$l - \text{santykinis laivo (šiuo atveju USV) ilgis} - l = \frac{L}{\sqrt[3]{\nabla}} = \frac{2.12}{\sqrt[3]{0.26/2}} = 4.18 .$$

Tada apskaičiuojama laivagalio ilgį:

$$L_{1g} = l_g \cdot L = 0.6036 \cdot 2.12 = 1.28m .$$

Pagal Vageningeno baseino rekomendacijas santykinis laivapriekio ilgio skaičiavimai yra pateikiami dviem būdais: kai $Fr = 0.15 \div 0.22$ ir kai $Fr = 0.22 \div 0.25$. Kadangi projektuojamo USV $Fr = 0.45$, santykinio laivapriekio ilgio skaičiavimui renkamės antrąjį variantą:

$$l_p = 4.2Fr - 0.525 = 4.2 \cdot 0.45 - 0.525 = 1.365 . \quad [31, p. 233]$$

Tuomet laivapriekio ilgis bus:

$$L_{1p} = 1.365 \cdot 2.12 = 2.89m .$$

Cilindrinės dalies ilgį apskaičiuosime iš viso USV ilgio atėmę laivapriekio ir laivagalio ilgį:

$$L_{cil} = L_{\perp\perp} - L_{1p} - L_{1g} = 2.12 - 1.365 - 1.28 = -2.05m .$$

Remiantis šių skaičiavimų rezultatais priimame, kad mūsų projektuojamas USV cilindrinės dalies neturės.

3.4.3 Španhautų rikiuotės sudarymas

Apskaičiuojame midelinio španhauto plotą:

$$\omega = \beta \cdot B \cdot d = 0.9330 \cdot 0.34 \cdot 0.22 = 0.0698 m^2 .$$

Toliau randame španhautų rikiuotės viršutinę kraštinę:

$$\nabla = \int_{-l_g}^{l_p} \omega dx = \frac{\overline{EF} + \overline{SN}}{2} \omega ,$$

čia l_p – laivapriekis;

l_g – laivagalis;

dx – atstumas tarp španhautų;

\overline{EF} – španhautų rikiuotės apatinė kraštinė, atitinkanti laivo ilgį;

\overline{SN} – španhautų rikiuotės viršutinė kraštinė.

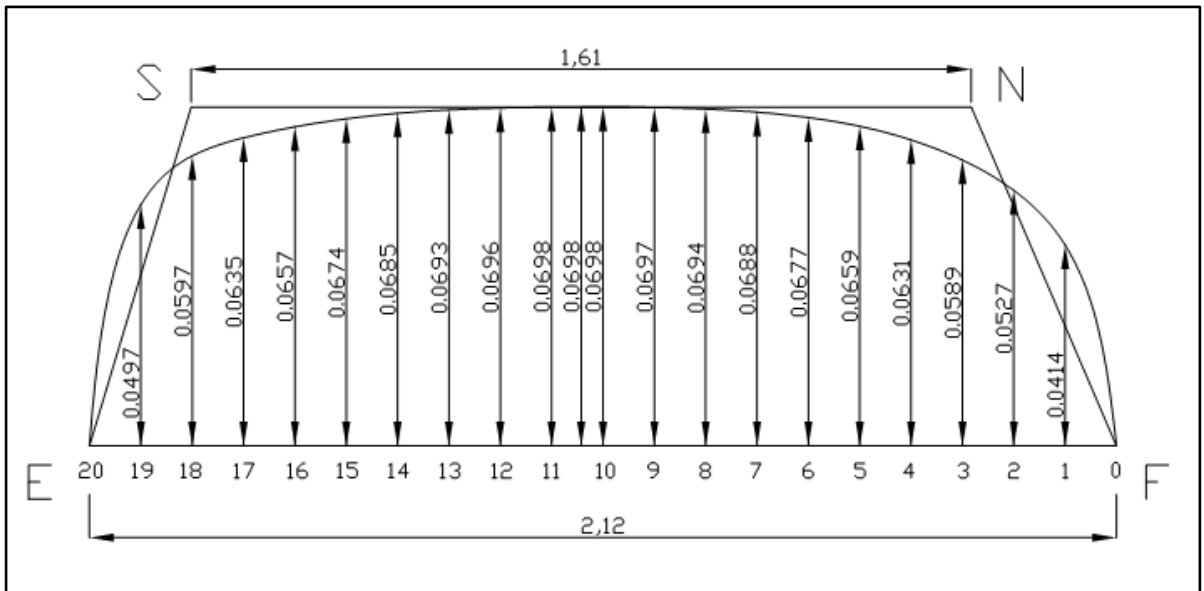
$$\overline{SN} = \frac{2\nabla}{\omega} - \overline{EF} = \frac{2 \cdot 0.260 / 2}{0.0698} - 2.12 = 1.61 m .$$

Brėžiame kreivę, kurios plotas lygus trapecijos plotui, o tuo pačiu ir USV vieno korpuso tūrinei vandentalpai $\nabla = 0.130 m^3$. Španhautų rikiuotės forma turi didelę įtaką vandens pasipriešinimui USV judėjimui. Laivagaliuose španhautų rikiuotės forma gali būti tiesi, įgaubta ir labai įgaubta.

Nustatysime kiekvieno španhauto plotą pagal kreivę. Teorinę špaciją apskaičiuosime pagal formulę:

$$\delta L = \frac{L}{20} = \frac{2.12}{20} = 0.106 m ;$$

Į gautą trapeciją braižome kreivę ir sudarome španhautų rikiuotę (6 pav.):



6 pav. Španhautų rikiuotė

Nustatę kiekvieno španhautą plotą pagal kreivę, rezultatus pateikiame lentelėje 4:

4 lentelė. Španhautų plotai

| Španhautu numeris | Španhautu plotas | Španhautu numeris | Španhautu plotas |
|-------------------|------------------|-------------------|------------------|
| ω_0 | 0.0000 | ω_{11} | 0.0698 |
| ω_1 | 0.0414 | ω_{12} | 0.0696 |
| ω_2 | 0.0527 | ω_{13} | 0.0693 |
| ω_3 | 0.0589 | ω_{14} | 0.0685 |
| ω_4 | 0.0631 | ω_{15} | 0.0674 |
| ω_5 | 0.0659 | ω_{16} | 0.0657 |
| ω_6 | 0.0677 | ω_{17} | 0.0635 |
| ω_7 | 0.0688 | ω_{18} | 0.0598 |
| ω_8 | 0.0694 | ω_{19} | 0.0497 |
| ω_9 | 0.0697 | ω_{20} | 0.0000 |
| ω_{10} | 0.0698 | | |

Nustatome španhautų rikiuotės charakteristikas ir palyginame su ankščiau gautais duomenimis.

Surandame tūrinę vandentalpą iš španhautų rikiuotės kreivės :

$$\nabla = \left(\sum_{i=0}^{20} \omega_i - \frac{\omega_0 + \dots + \omega_{20}}{2} \right) \delta L ,$$

$$\nabla = \left(\begin{array}{l} 0.0000 + 0.0414 + 0.0527 + 0.0589 + 0.0631 + 0.0659 + \\ + 0.0677 + 0.0688 + 0.0694 + 0.0697 + 0.0698 + 0.0698 + \\ + 0.0696 + 0.0693 + 0.0685 + 0.0674 + 0.0657 + 0.0635 + \\ + 0.0598 + 0.0497 + 0.0000 \end{array} \right) \cdot 0.106 = 0.1283 m^3 .$$

Gautas rezultatas nuo numatyto $\nabla = 1.30 m^3$ skiriasi:

$$\delta \nabla = \frac{0.1302 - 0.1283}{0.1302} \cdot 100 = 1.44\% .$$

Surandame španhautų rikiuotės vandentalpos centro abscisę:

$$x_c = \frac{(\delta L)^2}{\nabla} \left[\begin{array}{l} (\omega_0 - \omega_{20}) \cdot 10 + (\omega_1 - \omega_{19}) \cdot 9 + (\omega_2 - \omega_{18}) \cdot 8 + (\omega_3 - \omega_{17}) \cdot 7 + \\ + (\omega_4 - \omega_{16}) \cdot 6 + (\omega_5 - \omega_{15}) \cdot 5 + (\omega_6 - \omega_{14}) \cdot 4 + (\omega_7 - \omega_{13}) \cdot 3 + \\ + (\omega_8 - \omega_{12}) \cdot 2 + (\omega_9 - \omega_{11}) \cdot 1 - (\omega_0 - \omega_{20}) \cdot 5 \end{array} \right],$$

$$x_c = \frac{(0.106)^2}{0.1283} [(0.00 - 0.00) \cdot 10 + (0.0414 - 0.0497) \cdot 9 + (0.0527 - 0.0598) \cdot 8 + (0.0589 - 0.0635) \cdot 7 + \\ + (0.0631 - 0.0657) \cdot 6 + (0.0659 - 0.0674) \cdot 5 + (0.0677 - 0.0685) \cdot 4 + (0.0688 - 0.0693) \cdot 3 + \\ (0.0694 - 0.0696) \cdot 2 + (0.0697 - 0.0698) \cdot 1 - (0.00 - 0.00) \cdot 5] = -0.01681 m.$$

Gautas rezultatas nuo apskaičiuoto $x_c = -0.046 m$ skiriasi:

$$\delta x_c = \frac{-0.046 - (-0.01681)}{-0.046} \cdot 100\% = 63.5\% .$$

Išilginio pilnumo koeficientas:

$$\varphi = \frac{\nabla}{L \omega_{10}} = \frac{0.1283}{2.12 \cdot 0.0698} = 0.8672 ;$$

$$\delta \varphi = \frac{0.6307 - 0.8672}{0.6307} \cdot 100\% = 37.5\%$$

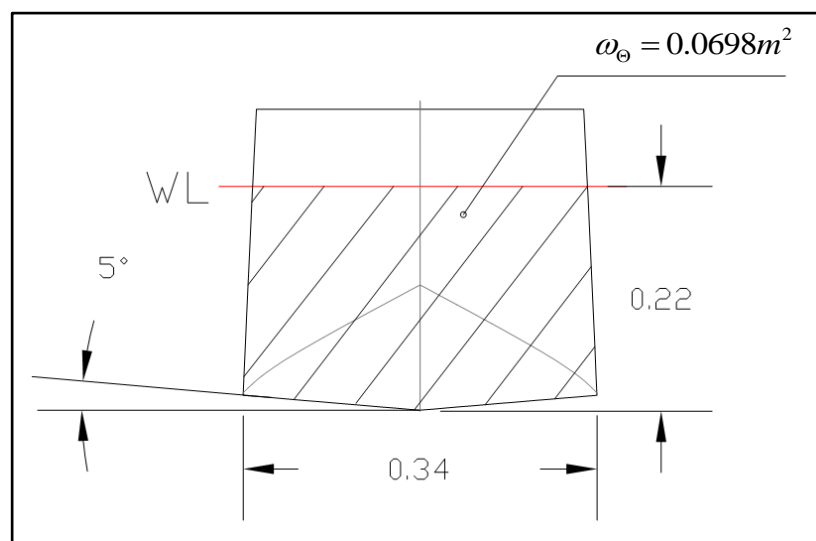
Gautas rezultatas nuo numatyto $\varphi = 0.6307$ didesnis 37.5 %.

3.4.4 Midelinio španhautu sudarymas

Ankstesniuose skaičiavimuose gautus duomenis naudojame midelinio španhautu sudarymui:

- midelinio španhauto plotas $\omega_{\Theta} = 0.0698m^2$;
- midelšpanhauto pilnumo koeficientas $\beta = 0.9330$;
- USV grimzlė $d = 0.22m$;
- USV vieno korpuso plotis $B_K = 0.34m$.

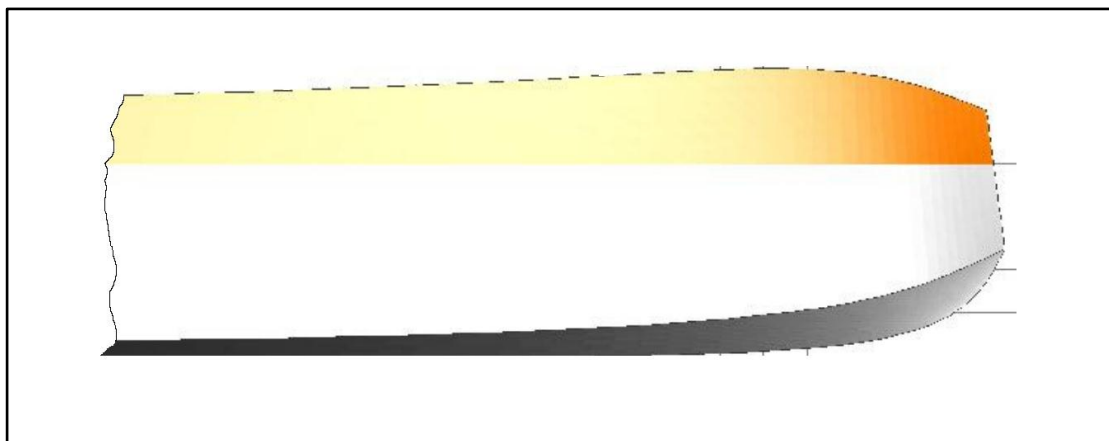
Norėdami vidurinėje USV dalyje išdėstyti tūrines talpas akumulatoriams bei elektroninei įrangai bei optimaliai išnaudoti USV tūrį, pasirenkame aštrių briaunų (*angl.*-hard chined) formos midelinio španhauto formą. Taipogi ši midelinio španhauto forma leidžia pasirinkti lengvesnį USV statybos būdą. Kiliškumas, t. y. dugno pakilimas nuo kilio link borto numatomas nežymus – apie 5° .



7 pav. Midelinis španhautas

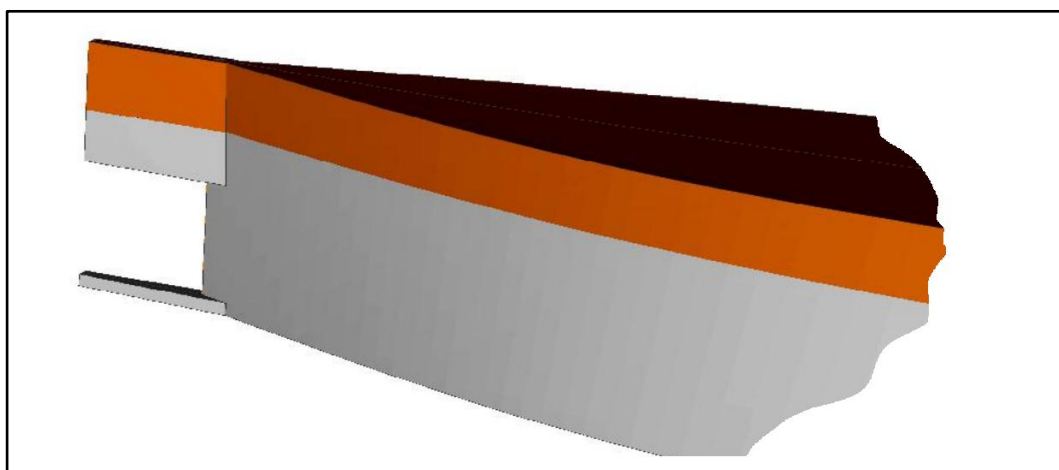
3.4.5 Forštevnio ir achteršvnio formų parinkimas

Dėl sudėtingos konstrukcijos ir nedidelės įtakos santykinai mažam korpusui atsisakome bulbos formos laivapriekio. Laivapriekio forma pasirenkame į priekį siaurėjančią, siekdami mažesnio laivapriekinių bangų susidarymo. Forštevnią pasirenkame beveik tiesų, nežymiai pasvirusį į galą. Laivapriekio denio liniją pasirenkame truputį pakilusią ir toliau link midelio žemėjančią, tokiu būdu sutekdami didesni uždarą tūrį laivapriekinėje dalyje kurio padidintas plūdrumas lengviau leis laivapriekiui išnerti iš užliejusios banagos. Pasirinkto forštevnio eskizas pateiktas paveiksle 8:



8 pav. Projektuojamo USV forštevnia forma

Achterštevenio forma renkamės siaurėjančio tipo, kilio linija pratęsdami laivagalio link – kuri atliks vairo balerio papildomo tvirtinimo iš apačios funkciją bei apsaugos sraigą nuo patekimo į tinklus. Dalis viršutinės laivagalio dalies bus panirusi po vandeniu, tad jos forma taip pat siaurėjanti; joje bus išdėstytas vairo plunksnos pasukimo mechanizmas (pav. 9):



9 pav. Projektuojamo USV achterštevnia forma

3.4.6 Denio ir kilio linijų parinkimas

Laivo balniškumas leidžia tolygiau paskirstyti „laivo viršvandeninį bortą“ [39, p.16], t. y. laivo sandarūs tūriai, užtikrinantys laivo plūdrumą, nėra sukonzentruoti ties laivo vidurinę dalimi ir yra dalinai perkelti į laivo galus, kas sumažina laivo išilgines apkrovas. Projektuodami USV numatome nedidelį balniškumą.

Kilio linija pasirenkame tiesią, į laivapriekį pakylančią.

Laivo apvadų forma – V formos.

3.5 USV teorinis brėžinys

Pagal 3.3 skyriuje atliktus skaičiavimus braižome laivo teorinį brėžinį. Teorinį brėžinį braižome „DelftShip“ ir „AutoCad“ programų pagalba. Brėžinys pateikiamas priede Nr.2.

3.6 USV plūdrumo ir pradinio stovumo charakteristikų nustatymas

USV plūdrumo ir pradinio stovumo charakteristikų nustatymą atliekame automatizuota laivų projektavimo programa „DelftShip“. Skaičiavimų rezultatus pateikiame lentelėje 5 ir priede 4.

5 lentelė. USV plūdrumo ir pradinio stovumo skaičiavimų rezultatai

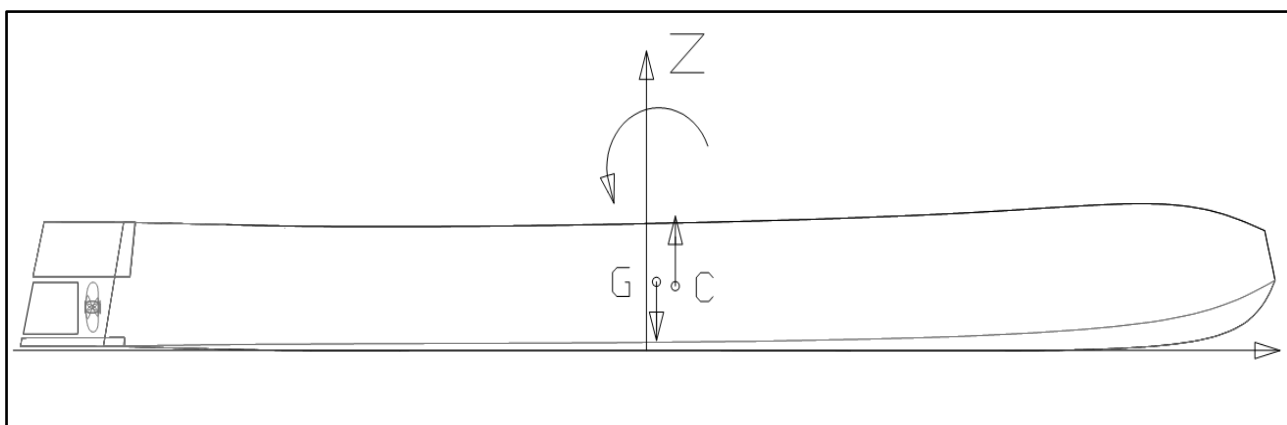
| Plūdrumo ir pradinio stovumo charakteristikos | Formulė arba šaltinis | Dimensija | Skaitinė reikšmė |
|---|---|-----------|------------------|
| 1. Grimzlė iki konstrukcinės vaterlinijos, d | Pradiniai skaičiavimai | m | 0.220 |
| 2. Vandentalpa: tūrinė, ∇ | Progr. "DelftShip" skaič. | m^3 | 0.244 |
| masinė, M | $\rho \nabla$ | t | 0.251 |
| svorinė, Δ | $\rho g \nabla$ | kN | 2.462 |
| 3. Vaterlinijos plotas, S | Progr. "DelftShip" skaič. | m^2 | 1.112 |
| 4. Vaterlinijos centro abscisė, x_f | Progr. "DelftShip" skaič. | m | 0.110 |
| 5. Tūrinės vandentalpos centro: abscisė, x_c | Progr. "DelftShip" skaič. | m | 0.086 |
| aplikatė, z_c | Progr. "DelftShip" skaič. | m | 0.114 |
| 6. Metacentrinis spindulys: skersinis, r | Progr. "DelftShip" skaič. | m | 0.759 |
| išilginis, R | Progr. "DelftShip" skaič. | m | 1.313 |
| 7. Laivo svorio centro: abscisė, x_g | $b_g L_{\perp\perp}$ | m | 0.064 |
| aplikatė, z_g | $a_g D$ | m | 0.169 |
| 8. Metacentrinis aukštis: skersinis, h | $r - z_g + z_c$ | m | 0.704 |
| išilginis, H | $R - z_g + z_c$ | m | 1.258 |
| 9. Grimzlės pokytis: laivapriekyje, δd_{1p} | $(L_{\perp\perp}/2 - x_f)(x_g - x_c)/H$ | m | -0.018 |
| laivagalyje, δd_{1g} | $(L_{\perp\perp}/2 + x_f)(x_g - x_c)/H$ | m | -0.022 |
| 10. Grimzlė: laivapriekyje, d_{1p} | $d \pm \delta d_{1p}$ | m | 0.202 |
| laivagalyje, δd_{1g} | $d \pm \delta d_{1g}$ | m | 0.242 |
| 11. Laivo diferentas, δd_{ψ} | $ \delta d_{1p} + \delta d_{1g} $ | laipsn. | 0.040 |
| 12. 1° krenuojantis momentas, m_{1° | $Dh/57,3$ | kN·m | 0.0032 |
| 13. 1 cm diferentuojantis momentas, M_{1cm} | $DH/100L_{\perp\perp}$ | kN | 0.0075 |
| 14. Kroviny, keičiantis grimzlę 1 cm, P_{1cm} | $\rho g S/1000$ | t | 0.0112 |

Koeficientų a_g ir b_g reikšmės parenkame iš 1.7 lentelės [29, psl. 31] priklausomai nuo laivo tipo, mūsų atveju renkamės laivo tipą, kuris nėra krovinis – buksyrai, ledlaužiai:

$$a_g = 0.65 \div 0.70, \text{ priimame } a_g = 0.65,$$

$$b_g = -0.05 \div 0.03, \text{ priimame } b_g = -0.02$$

Paveikslėlyje 10 pateikiamas eskizas, kuriame pagal gautas reikšmes išdėsčius svorio ir tūrinės vandentalpos abscises, matome kaip jėgų $\rho g \nabla$ ir Δ dvejetas diferentuoja USV. Gauname diferentą į laivagalį. Pagal Jūrų registro taisyklės pradinis metacentrinis aukštis turi būti teigiamas, t. y. $h > 0$. Apskaičiavę, gavome $h = 0.704m$, tad pradinis stovumas užtikrintas.



10 pav. Svorio ir tūrinės vandentalpos poveikis laivo diferentui

3.7 USV stovumo įvertinimas

Norėdami įvertinti USV galimybę atlaikyti vėjo ir bangų poveikį turime atlikti USV stovumo vertinimą. Konvenciniams laivams stovumo vertinimas atliekamas vadovaujantis IMO „International Code on Intact stability“ taisyklėmis arba atitinkamos klasifikacinės bendrovės taisyklėmis, kurių reikalavimai negali būti mažesni nei IMO keliami stovumo reikalavimai. IMO „International Code on Intact stability“ taisyklės yra skirtos kroviniams ir keleiviniams laivams nuo 24 m ilgio. Projektuojamo USV ilgis yra mažesnis, tad stovumo vertinimas pagal „International Code on Intact stability“ taisyklės gali būti nepakankamai objektyvus. Atlikdami stovumo vertinimą vadovausimės Anglijos „Maritime and Coastguard Agency“ pateiktomis taisyklėmis [37, p.40], kurios skirtos daugiakorpusiems laivams. Apskaičiuosime statinio stovumo pečius bei nubraižysime statinio stovumo diagramą ir pagal ją įvertinsime laivo stovumą.

Pagal „Maritime and Coastguard Agency“ taisyklės laivo stovumas turi tenkinti sekančius reikalavimus:

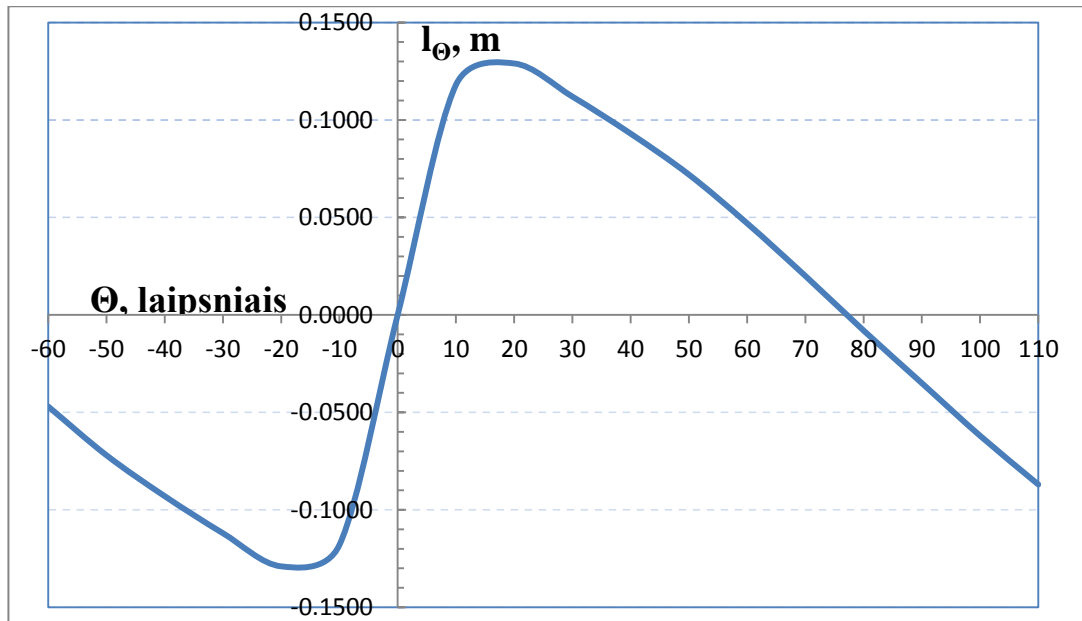
1. Diagramos plotas esantis iki kreno kampo $\Theta = 30^\circ$ negali būti mažesnis nei $0.055 \text{ m} \cdot \text{rad}$.
2. Diagramos plotas esantis nuo kreno kampo $\Theta = 30^\circ$ iki $\Theta = 40^\circ$ arba iki užpylimo kampo (imamas tas kuris yra mažesnis) negali būti mažesnis nei $0.03 \text{ m} \cdot \text{rad}$.
3. Didžiausias diagramos statinio stovumo petys turi būti lygus 0.2 m arba didesnis.
4. Diagramos maksimumas turi būti ties kreno kampu $\Theta = 20^\circ$ arba ties didesniu.
5. Pradinis skersinis metacentrinis aukštis (GM_0) turi būti ne mažesnis nei 0.15 m .

Pradiniame etape atliekame USV stovumo skaičiavimus be matavimo įrangos, sekančiame su matavimo įranga. Pagal sudaryto teorinio brėžinio duomenis automatinio projektavimo programos „DelftShip“ pagalba atliekame stovumo skaičiavimus ir gautus statinio stovumo pečius l_Θ pateikiame lentelėje 6:

6 lentelė. Apskaičiuoti USV statinio stovumo pečiai

| Θ , laipsniais | l_Θ , m |
|-----------------------|----------------|
| 0 | 0 |
| 10 | 0.025 |
| 20 | 0.062 |
| 30 | 0.088 |
| 40 | 0.084 |
| 50 | 0.079 |
| 60 | 0.068 |
| 70 | 0.056 |
| 80 | 0.042 |
| 90 | 0.025 |

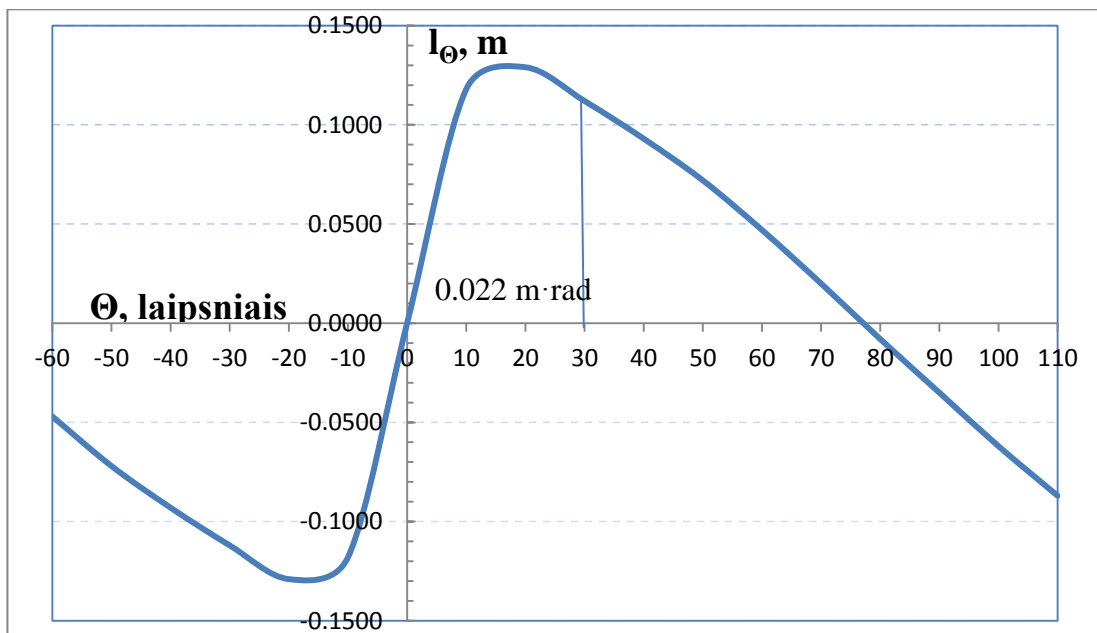
Pagal gautus duomenis braižome statinio stovumo diagramą:



11 pav. Statinio stovumo diagrama

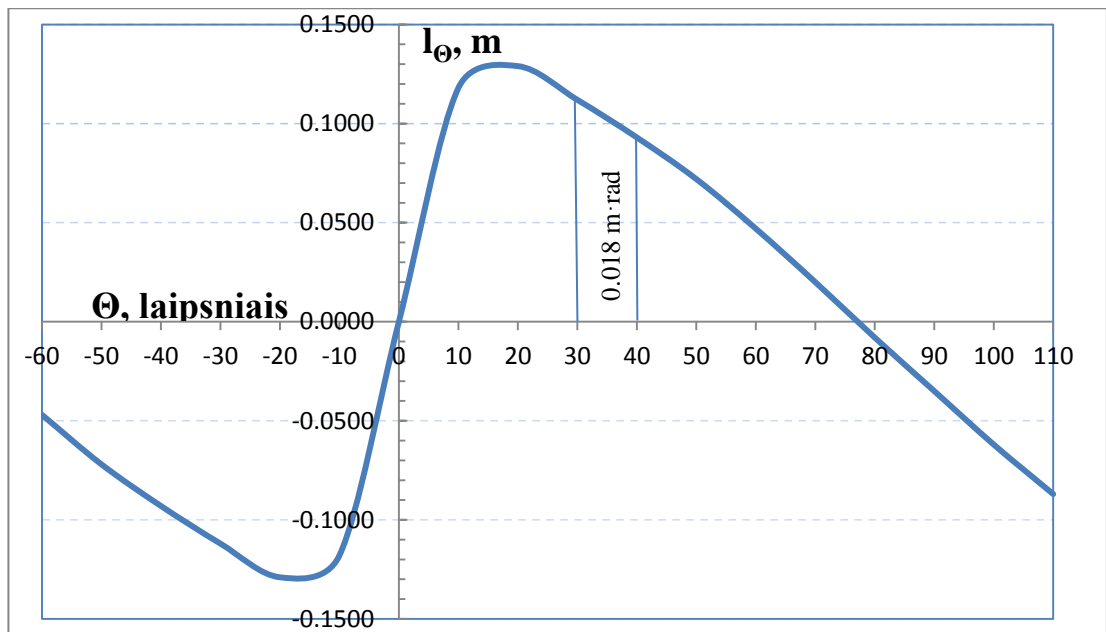
Naudodami gautus rezultatus atliekame laivo stovumo įvertinimą pagal International Code on Intact stability:

1. Randame diagramos plotą esantį iki kreno kampo $\Theta = 30^\circ$:



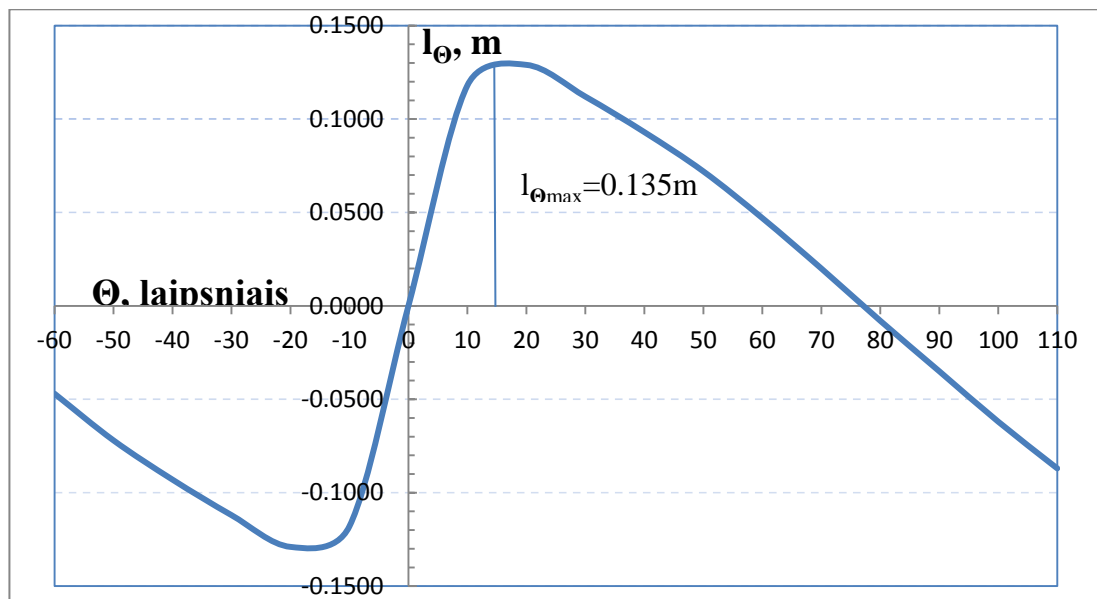
12 pav. Diagramos plotas iki 30°

2. Randame diagramos plotą esantį nuo kreno kampo $\Theta = 30^\circ$ iki $\Theta = 40^\circ$ arba iki užpylimo kampo (skaitome, kad užpylimo kampas nėra aktualus, nes denis projektuojamas visiškai sandarus):



13 pav. Diagramos plotas nuo 30° iki 40°

3. Randame diagramos statinio stovumo petį l_{\max} :



14 pav. Didžiausias statinio stovumo petys

4. Diagramos maksimumas yra ties kreno kampu $\Theta = 15.1^\circ$.
5. Pradinis skersinis metacentrinis aukštis yra $h=0.696$ m.

Atliekame USV stovumo vertinimą pagal „Maritime and Coastguard Agency” taisyklių reikalavimus daugiakorpusiems laivams 7 lentelėje:

7 lentelė. USV stovumo vertinimas

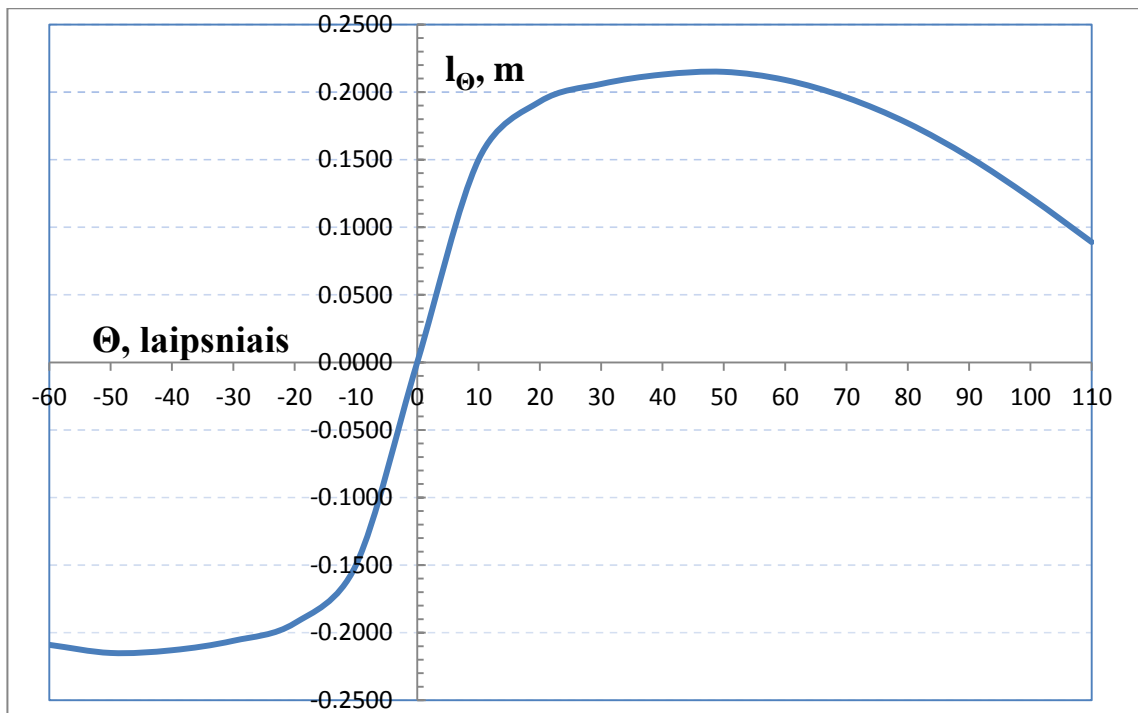
| Nr. | Kriterijus | Skaitinė reikšmė | | Išvada |
|-----|---|--------------------|--------------|-----------|
| | | Reikiama | Apskaičiuota | |
| 1 | Statinio stovumo diagramos plotas iki kreno kampo 30°, m·rad. | ≥ 0.055 m·rad | 0.022 m·rad | Netenkina |
| 2 | Statinio stovumo diagramos plotas tarp kreno kampų 30° ir 40°, m·rad. | ≥ 0.030 m·rad | 0.018 m·rad | Netenkina |
| 3 | Didžiausias stovumo diagramos petys, m | ≥ 0.20 m | 0.135 m | Netenkina |
| 4 | Krenas esant statinio stovumo diagramos maksimumui, laipsniais | $\geq 20^\circ$ | 15.1° | Netenkina |
| 5 | Pradinis metacentrinis aukštis, m | $h \geq 0.15$ m | $h = 1.36$ m | Tenkina |

Kaip matome gauti rezultatai tik dalinai tenkina „Maritime and Coastguard Agency” taisyklių daugiakorpusiams laivams reikalavimus. Šie skaičiavimai buvo atlikti neįvertinant matavimo įrangos poveikio svorio centro padėčiai. Tai pat projektuojamo USV svorio centro aplikatė, z_g buvo gauta apytikriu būdu pagal konvenciniams krovininiams laivams skirtas rekomendacijas. Projektuojamo USV konstrukcija leidžia didžiuosius svorius, tokius kaip akumulatoriai bei elektros varikliai, išdėstyti pakankamai žemai, kuo arčiau USV kilių linijų.

Programos „DelftShip“ pagalba atliksime pakartotinus stovumo skaičiavimus įvertindami daugiaspindulinės matavimo įrangos svorį ir padėti USV konstrukcijos atžvilgiu bei priimsime, kad akumuliatorių bei variklių išdėstymas USV svorio centro aplikatę z_g leis išdėstyti 5 cm virš kilio linijos. Skaičiavimų rezultatus pateikiame 8 lentelėje bei 15 paveiksle:

8 lentelė. Apskaičiuoti statinio stovumo pečiai

| Θ , laipsniais | l_Θ , m |
|-----------------------|----------------|
| 0 | 0 |
| 10 | 0.15 |
| 20 | 0.193 |
| 30 | 0.206 |
| 40 | 0.213 |
| 50 | 0.215 |
| 60 | 0.209 |
| 70 | 0.196 |
| 80 | 0.177 |
| 90 | 0.152 |



15 pav. USV su daugiaspinduline matavimo įranga statinio stovumo diagrama

Devintoje lentelėje pateiktas stovumo vertinimas:

9 lentelė. USV su daugiaspinduline matavimo įranga stovumo vertinimas

| Nr. | Kriterijus | Skaitinė reikšmė | | Išvada |
|-----|---|------------------|--------------|---------|
| | | Reikiama | Apskaičiuota | |
| 1 | Statinio stovumo diagramos plotas iki kreno kampo 30°, m•rad. | ≥0.055 m•rad | 0.0797 m•rad | Tenkina |
| 2 | Statinio stovumo diagramos plotas tarp kreno kampų 30° ir 40°, m•rad. | ≥0.030 m•rad | 0.0367 m•rad | Tenkina |
| 3 | Didžiausias stovumo diagramos petys, m | ≥0.20 m | 0.215 m | Tenkina |
| 4 | Krenas esant statinio stovumo diagramos maksimumui, laipsniai | ≥20° | 41.7° | Tenkina |
| 5 | Pradinis metacentrinis aukštis, m | h≥0.15 m | h=0.883 m | Tenkina |

Programos „DelftShip“ stovumo vertinimo ataskaitos pateikiama priede Nr. 4.

3.8 USV eigumo įvertinimas

Eigumas – tai laivo savybė išvystyti reikiamą greitį tam eikvojant kuo mažiau galios. Eigumo skaičiavimo tikslas – nustatyti vandens pasipriešinimą laivo judėjimui. Vandens pasipriešinimas apskaičiuojamas naudojantis apytikriais metodais, kurie skirstomi į tris grupes:

- viso pasipriešinimo skaičiavimas;
- likusio pasipriešinimo skaičiavimas;
- pasipriešinimo skaičiavimas pagal prototipo duomenis.

Pradinėje stadijoje projektuojamo USV pasipriešinimo skaičiavimui naudosime vienkorpusiems laivams skirtas pasipriešinimo skaičiavimo metodikas, naudodami katamarano vieno korpuso duomenis. Atlikę skaičiavimus bendrą pasipriešinimą vertinsime kaip dviejų vienodų korpusų pasipriešinimų sumą. Šioje stadijoje nevertinsime bangų susidariusių tarp korpusų poveikio sumariniam pasipriešinimui.

Visas pasipriešinimas vieno USV korpuso judėjimui apskaičiuojamas sekančiais:

$$R = (C_{FO} + C_R + C_A + C_{AP}) \frac{\rho v^2}{2} \Omega, \quad [29, p.106]$$

čia C_{FO} – techniškai lygios plokštės trinties pasipriešinimo koeficientas;

C_R – likusio pasipriešinimo koeficientas;

C_A – koeficientas, įvertinantis laivo korpuso šiurkštumą;

C_{AP} – išsikišusių dalių pasipriešinimo koeficientas;

v – laivo greitis m/s;

Ω – laivo suvilgyto paviršiaus plotas, m^2 .

Pirmiausiai apskaičiuosime suvilgyto paviršiaus plotą Ω . Laivų, kuriems būdingas vidutinis vandentalpos pilnumo koeficientas, suvilgyto paviršiaus plotas apskaičiuojamas pagal Semenkos formulę [29, psl.107]:

$$\Omega = Ld \left(2 + 1.37(\delta - 0.274) \frac{B}{d} \right),$$

$$\Omega = 2.279 \cdot 0.220 \left(2 + 1.37(0.729 - 0.274) \frac{0.340}{0.220} \right) = 1.486 m^2.$$

Programos „DelftShip“ pagalba nustatytas vieno korpuso suvilgyto paviršiaus plotas yra $\Omega = 1.552 m^2$. Kadangi skaitome, kad programos „DelftShip“ pagalba gauta reikšmė yra tikslesnė, toliau naudojame pastarąją.

Koeficientų C_A ir C_{AP} skaitinės reikšmės priklauso nuo laivo ilgio, apytikrės reikšmės pateiktos 10 lentelėje. Atskiros skaitinės reikšmės gaunamos interpoliacijos būdu.

10 lentelė. Koeficientų C_A ir C_{AP} skaitinės reikšmės

| Laivo ilgis L, m | $C_A \cdot 10^3$ | $C_{AP} \cdot 10^3$ |
|------------------|------------------|---------------------|
| 50-150 | 0.35 | 0.15 |
| 150-210 | 0.20 | 0.10 |
| 210-250 | 0.10 | 0.05 |
| 250-300 | 0.00 | 0.05 |

Pasirenkame mažiausiam laivui skirtas koeficientų C_A ir C_{AP} skaitinės reikšmės:

$$C_A \cdot 10^3 = 0.35, C_{AP} \cdot 10^3 = 0.15. \quad [29, p.107]$$

Skaičiuojant likusio pasipriešinimo koeficientą, reikia atsižvelgti į tai, kokiai laivų serijai priklauso nagrinėjamas laivas. Įvertinus sekančias laivo charakteristikas:

$$\frac{L}{B} = \frac{2.279}{0.34} = 6.70, \frac{B}{d} = \frac{0.34}{0.22} = 1.55, \frac{L}{\sqrt[3]{\nabla}} = \frac{2.279}{\sqrt[3]{1.22}} = 2.13, \delta = 0.729 \text{ ir } \varphi = 0.783,$$

nustatome, kad projektuojamo USV vienas korpusas yra artimas greitaeigių ir vidutinio greitaeigiškumo laivų serijai [29, p.108]. Šios serijos laivų likusio pasipriešinimo koeficientas yra randamas:

$$C_R = C_R(\delta) \cdot k_{L/B} \cdot k_{B/d}, \quad [29, p. 108]$$

čia $C_R(\delta)$ – likusio pasipriešinimo koeficiento priklausomybė nuo laivo vandentalpos pilnumo koeficiento, $C_R(\delta) \approx 1.55 \cdot 10^{-3}$ [38, p.146];

$$k_{L/B} = \frac{C_R(L/B = \dots)}{C_R(L/B = 5.64)} - \text{santykio } L/B \text{ įtakos likusiam pasipriešinimui koeficientas;}$$

$$k_{L/B} = \frac{C_R(L/B = \dots)}{C_R(L/B = 5.64)} = \frac{1.55 \cdot 10^3}{1.9 \cdot 10^3} = 0.816;$$

$k_{B/d}$ - santykio B/d įtakos likusiam pasipriešinimui koeficientas, $k_{B/d} \approx 1.08$ [38, p.146].

Tada:

$$C_R = C_R(\delta) \cdot k_{L/B} \cdot k_{B/d} = 1.55 \cdot 10^{-3} \cdot 0.816 \cdot 1.08 = 1.37 \cdot 10^{-3}.$$

Visi skaičiavimo rezultatai pateikiami 11 lentelėje.

Šios lentelėje variklio galia P_s , kW apskaičiuojama sekančiai [29, p.110]:

$$P_s = \frac{P_E}{\eta_D},$$

čia P_E – buksyravimo galia, kW,

η_D – propulsinio komplekso naudingumo koeficientas, kurį priimame $\eta_D = 0,60$.

11 lentelė. USV pasipriešinimo skaičiavimai

| Dydis | Dimensija | Skaitinės reikšmės |
|---|------------|--------------------|
| 1. v_s | <i>knt</i> | 4 |
| 2. $v = 0,5144v_s$ | <i>m/s</i> | 2.06 |
| 3. $Re = vL/\nu$, kai $t = 10^\circ C$, $\nu = 1,35383 \cdot 10^{-6} m^2/s$ | - | 3.46E+06 |
| 4. $C_{FO} \cdot 10^{-3} = \frac{0,455}{(\lg Re)^{2,58}}$ | - | 1.55 |
| 5. $Fr = v/\sqrt{gL}$ | - | 3.58 |
| 6. $C_R(\delta) \cdot 10^{-3}$ | - | 0.44 |
| 7. $k_{L/B}$ | - | 0.816 |
| 8. $k_{B/d}$ | - | 1.08 |
| 9. $C_R = C_R(\delta) \cdot k_{L/B} \cdot k_{B/d}$ | - | 1.370 |
| 10. $C = C_{FO} + C_R + C_A + C_{AP}$ | - | 5.450 |
| 11. $R = Cv^2\Omega\rho/2$ | kN | 0.018 |
| 12. $P_E = Rv$ | kW | 0.038 |
| 13. $P_s = P_E/\eta_D$ | kW | 0.063 |

Palyginimui atliekame analogiškus skaičiavimus automatinės projektavimo programos „Maxsurf/Hullspeed“ pagalba. Skaičiavimams pasirenkame „Holtrop“ (greitaeigiems jūriniais laivams) ir „Fung“ (nedideliems laivams) metodus. Rezultatus palyginame 12 lentelėje:

12 lentelė. USV pasipriešinimo skaičiavimų palyginimas

| Charakteristika | Apskaičiuota | Holtrop | Fung |
|-----------------|-------------------------|---------|------|
| R, kN | $0.018 \cdot 2 = 0.036$ | 0.06 | 0.06 |
| P_s , kW | $0.063 \cdot 2 = 0.126$ | 0.21 | 0.19 |

Rinkdamiesi variklius naudosisimės „Holtrop“ metodu gautais rezultatais.

3.9 Variklio ir energetinės sistemos skaičiavimai

Projektuojamas USV atliks gilių matavimus jūrų priekrantėse ir vidaus vandenyse. Daugelis šalių, o taip ir Lietuva dalyje vidaus vandenų draudžia naudoti vidaus degimo variklius. Įvertindami tai bei norėdami kuo mažiau neigiamai įtakoti aplinką, kaip pagrindinius varytuvus renkames elektros variklius su fiksuoto žingsnio sraigtais. Ankstesniame skyriuje įvertinome projektuojamo USV pasipriešinimą ir apskaičiavome reikiamą bendrą propulsinį galingumą norimam 4 mazgu greičiui pasiekti - $P_S = 0.21 \text{ kW}$ (pagal „Holtrop“ skaičiavimo metoda).

Vertinant bendrą USV energetinį poreikį išskiriame pagrindinius energijos vartotojus:

- Daugiaspindulinė matavimo įranga, $P_{mat} = 0.04 \text{ kW}$;
- Propulsinis galingumas, $P_S = 0.21 \text{ kW}$;
- Navigacinė įranga, $P_{nav} = 0.05 \text{ kW}$;
- Autonominio valdymo mikroprocesorius, $P_{PC} = 0.05 \text{ kW}$;
- Galingumo atsarga – 15 %.

Tada bendras galingumas:

$$P = P_{mat} + P_S + P_{nav} + P_{PC} + 15\% = 0.04 + 0.21 + 0.05 + 0.05 + 15\% = 0.403 \text{ kW}$$

Žinodami bendrą projektuojamo USV galingumą bei planuojamą USV autonomiškumą laiko atžvilgiu, galime apskaičiuoti energijos kaupiklių (akumuliatorių) poreikį. Bendras projektuojamo USV energijos suvartojimas per 8 veikimo valandas pilnu 4 mazgu greičiu - $P \cdot t = 0.403 \cdot 8 = 3.22 \text{ kWh}$.

13 lentelė. Energijos kaupiklių poreikio skaičiavimų rezultatai

| Akumuliatorių tipas | PB | LI-ION | LI-PO | LI-FE |
|---|-------|--------|-------|-------|
| Numatomas bendras USV galingumas, (kW) | 0.403 | 0.403 | 0.403 | 0.403 |
| USV autonomiškumas laiko atžvilgiu, (h) | 8 | 8 | 8 | 8 |
| Didžiausias energetinis tankis (Wh/kg) | 40 | 250 | 200 | 110 |
| Vidutinis energetinis tankis (Wh/kg) | 35 | 100 | 130 | 100 |
| Numatoma akumuliatorių talpa (Wh) | 3224 | 3224 | 3224 | 3224 |
| Bendras akumuliatorių svoris (kg) | 92 | 32 | 25 | 32 |
| Bendras akumuliatorių svoris (t) | 0.092 | 0.032 | 0.025 | 0.032 |

Iš skaičiavimų pateiktą 13 lentelėje matome, kad ličio (LI-ION, LI-PO, LI-FE) akumuliatoriai yra žymiai lengvesni lyginant su švininiais (PB) akumuliatoriais, tačiau jų rinkos kaina yra ženkliai didesnė.

3.10 Gautų rezultatų palyginamoji analizė

Eigumo skaičiavimo rezultatus galima patikrinti tik realiuose bandymuose arba specialiuose bandymų baseinuose ar hidrolatakuose.

Žinodami energijos kaupiklių svorį galime palyginti busimos vandentalpos skaičiavimo rezultatus, kurie pateikti 14 lentelėje:

14 lentelė. USV būsimosios vandentalpos skaičiavimų palyginimas

| Eil. Nr. | USV svorių dedamųjų dalių koeficientai | Proc. dalis | Tonos |
|----------|--|----------------|--------|
| 1 | p ₀₁ USV korpusas | 0.3 | 0.0753 |
| 2 | p ₀₂ Bendralaiviniai įrenginiai | 0.01 | 0.0025 |
| 3 | p ₀₃ Bendralaivinės sistemos | 0.01 | 0.0025 |
| 4 | p ₀₄ Energetinė sistema | Apskaičiuota | 0.0256 |
| 5 | p ₀₅ Elektros įranga | 0.015 | 0.0038 |
| 6 | p ₀₆ - | - | 0.0000 |
| 7 | p ₀₇ Laivavedybos įranga | 0.01 | 0.0025 |
| 8 | p ₀₈ - | - | 0.0000 |
| 9 | p ₀₉ - | - | 0.0000 |
| 10 | p ₁₀ Pastovus balastas | 0 | 0.0000 |
| 11 | p ₁₁ Vandentalpos atsarga | 0 | 0.0000 |
| 12 | p ₁₂ - | - | 0.0000 |
| 13 | p ₁₃ - | - | 0.0000 |
| 14 | p ₁₄ - | - | 0.0000 |
| 15 | p ₁₅ Gylių matavimo įranga | Tech. Užduotis | 0.0400 |
| 16 | p ₁₆ Elektros energijos kaupikliai | Apskaičiuota | 0.0320 |
| 17 | p ₁₇ - | - | 0.0000 |
| 18 | p ₁₈ - | - | 0.0000 |
| 19 | USV svorių dedamųjų dalių suma | | 0.1842 |
| 20 | Teoriniu brėžiniu patikslinta masinė vandentalpa | | 0.2510 |
| 21 | Skirtumas (20-19) | | 0.0668 |
| 22 | Skirtumas, % | | -26.63 |

Atlikus palyginamosios analizės skaičiavimus gauname 26.63% mažesnę vandentalpą. Šiuo atveju, naudojant siūloma metodiką reikėtų atlikti pakartotinus skaičiavimus perskirstant

projektuojamo USV svorių dalių koeficientus. Siekiant patobulinti šią metodiką taip pat būtų paranku nuolatos rinkti projektuojamų USV statistinius duomenis ir pritaikyti juos svorių dedamųjų dalių koeficientų tikslinimui.

3.11 Projektas „UBASUV“

Norint labiau įsigilinti į problemas susijusias su USV projektavimu ir statyba, Klaipėdos Universiteto, laivo inžinerijos katedroje buvo pradėtas projektuoti ir statyti bepilotis plaukiojantis įrenginys „UBASUV“. „UBASUV“ yra kuriamas hidrografinio-okeonografinio pobūdžio darbo užduočių atlikimui vidaus vandenyse, uostuose ir atvirose jūrose, didesnę dėmesį skiriant seklesniems vandenims, kur yra sudėtinga dirbti su laivais, valtimis ar AUV. Taip pat „UBASUV“ gali būti naudojamas kaip papildoma ekspedicijos našumą didinanti priemonė – įrenginys dėl savo mažų gabaritų gali būti gabenamas ant laivo denio iki ekspedicijos rajono, nuvykus nuleidžiamas į vandenį ir panaudojamas kaip papildomas vienetas atliekantis batimetrinius matavimus arba kaip batimetrinių matavimų, atliekamų ekspedicijos laivu dubliuojantis vienetas (duomenų patikimumo didinimui).

Projektas yra dviejų etapų: 1) korpuso-propulsinio komplekso projektavimas bei gamyba ir 2) valdymo sistemos kūrimas. Šio USV pagrindiniai parametrai ir teorinis brėžinys yra paremtas šio darbo 3 dalies skaičiavimais. Šiuo metu yra atlikta korpuso gamyba (priedas 5) ir pradėti elektros variklių, akumuliatorių ir valdymo sistemos montavimo darbai. Atlikus visus montavimo darbus, UBASUV bus bandomas įvairiuose vandens telkiniuose. Atlikus bandymus bus vertinamas darbe pateiktos metodikos eigumo skaičiavimo patikimumas. Priede 6 pateikti su projektu susiję starisniai.

IŠVADOS

Dėl nepakankamos USV projektavimo metodikos, projektuotojai dažnai pasirenka jau esamų mažų laivų korpusus ar valtis ir montuoja į jas specialiosios užduoties įrangą bei autonominio valdymo sistemas, tokiu būdu mažai arba visiškai neskirdami dėmesio optimalaus USV korpuso – propulsinio komplekso projektavimui kuris nemažai įtakoja būsimo USV jūrines savybes, eigumą ir eksploatacinį ekonomiškumą.

Analizuojant tradicinių laivų projektavimo metodiką, pastebėta, kad pagrindinių parametru ir pilnumo koeficientų nustatymui naudojama metodika yra dažnai konkretizuota tam tikrų tipų ir gabaritinių matmenų laivams. Tokia metodika būtų labai paranki USV projektavimui, tačiau jos ruošimui reikalinga didelė USV prototipų duomenų bazė. Taip pat dažnai sutinkama mažiau konkretizuota minėtų parametru metodika, kuri remiasi korpuso greitaeigiškumo parametrais, kurie nustatomi Frūdo skaičiumi. Šios metodikos panaudojimas USV projektavime buvo analizuojama šiame darbe.

Nagrinėjant būsimos vandentalpos nustatymo metodiką, nustatyta, kad įvairių autorių siūloma dedveito ir vandentalpos santykiu paremta metodika nėra tinkama USV būsimos vandentalpos nustatymui dėl nepakankamų statistinių USV projektavimo duomenų, tad šiame darbe buvo nagrinėjama autoriaus Ашик В. В. pateikta metodika, kuri paremta svorių lygties sudarymu. Naudojant šią metodiką dėmesys atkreiptas į esminius skirtumus, tokius kaip svorių dedamųjų dalių skirtumai dėl įgulos ir jai skirtų sistemų nebuvimo bepiločiuose plaukiojančiuose įrenginiuose ir elektrinės propulsijos svorių dedamosios skaičiavimų taikymas vietoj įprastos tradiciniams laivams vidaus degimo variklio (ių) svorių dedamosios dalies skaičiavimų. Projektavimo metodikos lyginamojoje analizėje kuro atsargų svorio dedamoji dalis priimta kaip elektros kaupiklių svorio dedamoji dalis.

Laivų eigumo skaičiavimo metodikos yra paremtos teorinio brėžinio skaičiavimų duomenimis ir yra skirtos įvairaus tipo laivams. Darbe nagrinėjama autoriaus J. Čerkos aprašyta įvairaus tipo laivų eigumo parametru skaičiavimo metodika kuri vėliau palyginama Holtrop ir Fungo skaičiavimo metodais. Dėl sąlyginiai nedidelių gabaritinių matmenų atliekant USV korpuso – propulsinio komplekso projektavimo eigumo skaičiavimus paranku naudoti bandymo baseinus ir hidrolatakus nekeičiant bandomo USV mastelio.

Dėl neegzistuojančių stovumo reikalavimų mažų gabaritinių matmenų bepiločiams plaukiojantiems įrenginiams, darbe siūloma įvertinti pradinį metacentrinį aukštį ir atlikti preliminarius stovumo vertinimus remiantis mažiems laivams ar pramoginėms jachtoms skirtais stovumo reikalavimais.

Kaip ir tradicinių laivų projektavime, projektuojant bepiločius plaukiojančius įrenginius būtina naudoti iteracijos metodą – atlikti pakartotinius skaičiavimus siekiant optimalių projektuojamo USV parametrų.

LITERATŪRA

1. Roberts G. N., Sutton R. 2006. *Advances in Unmanned Marine Vehicles*.
2. Girdhar Y., Dudek G. 2008. *ONSUM: A System for Generating Online Navigation Summaries*.
3. Benjamin M. 2006. *Navigation of Unmanned Marine Vehicles in Accordance with the Rules of the Road*. Center of Ocean Engineering , MIT Cambridge.
4. Kjerstad Ø. K. 2009. *Dynamic Positioning Concepts for Unmanned Surface Vehicles*. Norwegian University of Science and Technology.
5. Larson J. 2006. *Advances in Autonomous Obstacle Avoidance for Unmanned Surface Vehicles*. Space and Naval Warfare Systems Center, San Diego.
6. Larson J. 2006. *Autonomous Navigation and Obstacle Avoidance for Unmanned Surface Vehicles*. Space and Naval Warfare Systems Center, San Diego.
7. Tokekar P., Bhadauria D. 2010. *A Robotic System for Monitoring Carp in Minnesota Lakes*. University of Minnesota.
8. Bruch M. H., Gilbreath G.A., Muelhauser J.W., Lum J.Q. 2008. *Accurate waypoint navigation using non-differential GPS*. Space and Naval Warfare Systems Center, San Diego.
9. Doitsidis L., Nelson A. L. 2005. *Experimental Validation of a MATLAB Based Control Architecture for Multiple Robot Outdoor Navigation*. Mediterranean Conference on Control and Automation Limassol, Cyprus.
10. Almeida C., Franco T. 2009. *Radar Based Collision detection developments on USV ROAZ II*. Autonomous Systems Laboratory, Porto, Portugal.
11. Curcio J., Leonard J. 2005. *SCOUT — A Low Cost Autonomous Surface Platform for Research in Cooperative Autonomy*. Department of Mechanical Engineering Massachusetts Institute of Technology, Cambridge, MA.
12. Bertram V. 2008. *Unmanned Surface Vehicles – A Survey*. ENSIETA, Brest, France.
13. US Department of The Navy. 2007. *The Navy Unmanned Surface Vehicle (USV) Master Plan*.
14. Almeida C., Franco.A. 2009. *Manoeuvre Based Mission Control System for Autonomous Surface Vehicle*. Autonomous Systems Laboratory, Porto, Portugal.
15. Almeida C., Franco.A. 2009. *Autonomous Bathymetry for Risk Assessment with ROAZ Robotic Surface Vehicle*. Autonomous Systems Laboratory, Porto, Portugal.
16. *Complementary Rules of Germanischer Lloyd for Double Hull Oil Tankers*.
17. Dubrovsky V., Matveev K. 2005. *New Types of Sea-Going Multi-Hull Ships with Superior Comfort Level and Safety*. California.
18. Dubrovsky V. 2009. *On Small-Size Motor Yachts with Round-Bilge Hulls*. Brodograndia.
19. Faltisen O. M. 2005. *Hydrodynamics of High-Speed Marine Vehicles*. Cambridge, New York.

20. International Hydrographic Organization. 2008. IHO standards for hydrographic surveys N 44. IHB.
21. Beck E., Kirkwood W., Caress D. 2008. A Small Waterplane Area Twin Hull Autonomous Platform for Shallow Water Mapping. Monterey Bay Aquarium Research Institute , Santa Clara University.
22. Mahacek P. 2005. Dynamic Analysis of a SWATH Vessel. Monterey Bay Aquarium Research Institute , Santa Clara University.
23. USACE. 2004. Acoustic Multibeam Surveys Systems for Deep-draft Navigation Projects. NOAA.
24. Swa G. 2010. A Study Of Prediction in Seabed Mapping. University of Wales Institute, Cardiff.
25. IMCA. 2006. Guidelines for The Use of Multibeam Echosounders for Offshore Surveys. IMCA.
26. International Hydrographic Organization. 2005. Manual of Hydrography M-13. IHB.
27. Cartwright D. S. 2003. Multibeam Bathymetric Surveys in the Fraser River Delta. Brunswick.
28. Muļjowidodo K., Nugroho S. A., Prayogo N. 2011. Design and analysis of laminar hull SWATH based unmanned surface vehicle. Geo-Marine Science.
29. Čerka J. 1997. Laivo teorija. Praktinis laivo jūrinių savybių nustatymas. Klaipėda: Klaipėdos universiteto leidykla.
30. Jalberter J., Baker J. 2003. Solar powered autonomous underwater vehicle development. Falmouth.
31. Ашик В. В. 1985. Проектирование судов. “Судостроение”.
32. Danielson C., Daly B., Montgomery J., Stern A. 2006. Displacement Hull Catamaran. Florida.
33. Wagner L. 2007. Overview of energy storage methods. Mora Associates.
34. Parsons M. G. 2004. Ship Design and Construction.
35. Watson D. G. M. 1998. Practical Ship Design. ELSEVIER SCIENCE.
36. IMO. 2008. International Code on Intact stability. London.
37. Maritime and Coastal Agency. 1998. The Large Commercial Yacht Code (LY2) MSN 1792 (M). MCA.
38. Čerka J. 2005. Laivo eigumas. Klaipėda: Klaipėdos universiteto leidykla.
39. Schneekluth H., Bertram V. 1998. Ship Design for Efficiency and Economy. Elsevier.
40. Narušis E., Žapnickas T., Dyachkov V. 2012. Autonominio plaukiojančio įrenginio valdymo sistemos sukūrimo galimybių analizė. Technologijos mokslo darbai vakarų Lietuvoje VIII. Klaipėda.
41. Dyachkov V., Žapnickas T., Narušis E. 2011. Conceptual Design of Unmanned Bathymetry Survey Vehicle. Transports means. Kaunas.

PRIEDAI