

ПОДВОДЕН РОБОТ-ПРОЕКТИРАНЕ И КОНСТРУКТИВНИ ОСОБЕНОСТИ

проф. д-р инж. Радостин Долчинков
Бургаски свободен университет

UNDERWATER ROBOT-DESIGN AND CONSTRUCTION FEATURES

Prof. Dr. Eng. Radostin Dolchinkov
Burgas Free University

Abstract: *The underwater robot descends with a cable from the ship and can capture the seabed with an HD camera, controlled remotely from the board. In fact, it performs almost the same functions as the institute's submarine, but without a crew, which makes it safer and can practically be used indefinitely at great depths. The underwater device is multifunctional. Its main application is to capture the relief of the seabed and determine its geological and geomorphological features, monitoring of seabed habitats, the degree of pollution in the bottom layer, and various types of waste.*

Key words: *underwater robot, controlled remotely, institute's submarine, great depths.*

Един от най-привлекателните методи за изследване на морските дълбини е използването на безпилотни роботи. Опити за това са правени още от началото на XX век, но първият успешен робот за *дистанционно наблюдение на подводни обекти е бил разработен през 1953г. от френския подводен фотограф Димитри Ребиков.* Апаратът се е казвал POODLE и се е използвал основно за подводни археологически проучвания и подводна фотография.

Проектът с Робот с Дистанционно Управление /РДУ/, ще бъде подводен безпилотен апарат, управляван по кабел, който позволява операторът да работи в безопасност и комфорт, а апаратът да извършва различни дейности под вода.

Подводният робот се спуска с кабел от кораба и може да заснема морското дъно с HD камера, като се управлява дистанционно от борда. Всъщност той изпълнява почти същите функции като подводната лодка, само че без екипаж, което го прави по-безопасен и практически може да се използва за неограничено време на големи дълбочини. Подводният апарат е многофункционален. Основното му приложение е заснемане на релефа на морското дъно и определяне на неговите геоложки и геоморфоложки особености, наблюдение на местообитанията на морското дъно, степента на замърсяване в придънния слой, както и различни видове отпадъци

I. Класификация

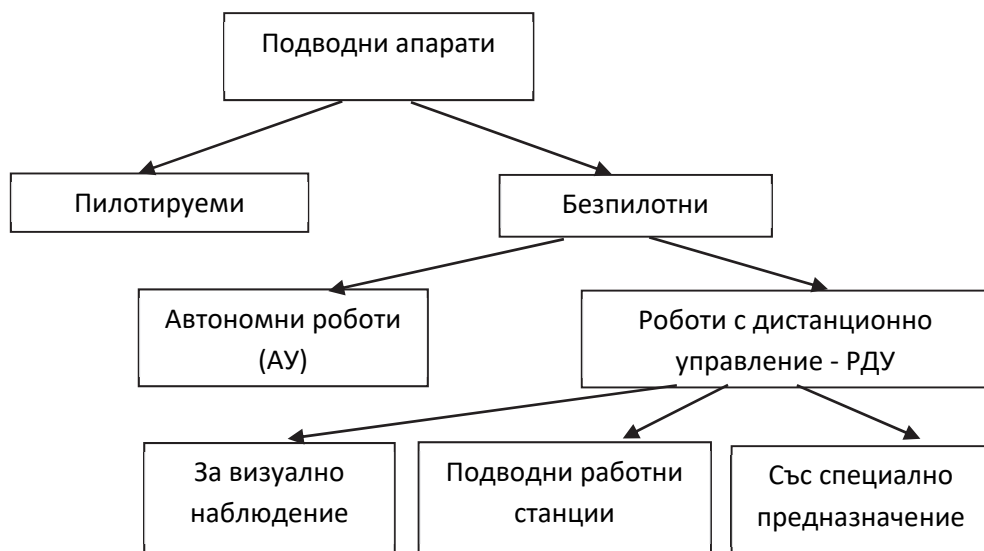
РДУ са подразделение на по-общия клас от подводни апарати

Трите основни вида РДУ са:

1. За визуално наблюдение



Използват се за инспекция и видеонаблюдение на подводни обекти. Понастоящем се счита че повече от 1000 робота са в постоянна експлоатация. Този тип РДУ са с електрическо захранване и са снабдени като минимум с една камера, чрез която се предава видеоизображение от подводни обекти към екран, намиращ се на плавателен съд спуснал робота. В някои случаи РДУ могат да се спуснат във водата и от брега на водния басейн.



Фиг. 1 Класификация на подводни апарати

Работната дълбочина не е ограничена, но обикновено затози тип РДУ тя е около 300 метра. Теглото на един такъв робот е не повече от 100 кг, което дава възможност за опериране от 1-2 човека. С поевтиняването на електронните технологии цената на тези апарати постоянно намалява и в момента тя е между \$10 000 и \$100 000.

2. Подводни работни станции

Този тип РДУ са предназначени за извършване на различни дейности, като например полагане на подводни кабели или тръбопроводи на големи дълбочини. Типични характеристики са – максимална дълбочина на работа 3000-6000 метра, тегло до 10 тона и подемна способност от около 500 кг. Счита се че в момента около 500 РДУ от този тип са в експлоатация, на обща стойност около 2 млрд долара.

3. Със специално предназначение

В много случаи се налага проектиране и изработка на РДУ за извършване на много специфични дейности, където използването на първите два типа не е приложимо.

II. Конструкция

РДУ се различават значително по своята конструкция, но всички споделят няколко основни компонента (фиг.2):



Фиг. 2. Основни компоненти на подводен робот

1. Херметически затворен обем за управляващата електроника
2. Носеща конструкция
3. Хоризонтални тръстери
4. Вертикални тръстери
5. Поплавък
6. Баласт
7. Полезен товар
8. Светлини
9. Свързващ кабел – тетер

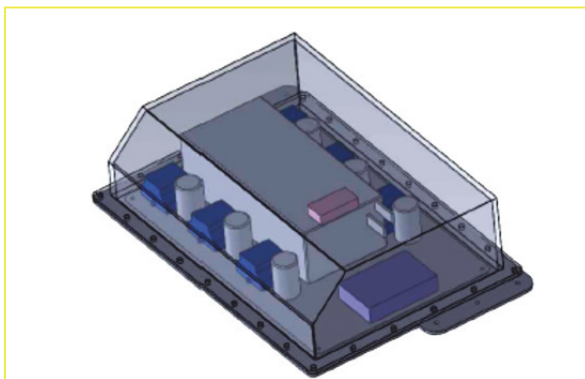
1. Херметично затвореният обем служи за предпазване на управляващата електроника от съприкосновение с морската вода. Този компонент е може би най-критичният при разработка на робота и трябва да отговаря на редица изисквания:

- Издържливост на високи налягания без да се нарушава херметичността;
- Възможност за монтаж и демонтаж с цел профилактика и ремонт на управляващата електроника;
- Малко тегло

Материалите които се използват за изработка са обикновено неръждаеми стомани или алуминиеви сплави.

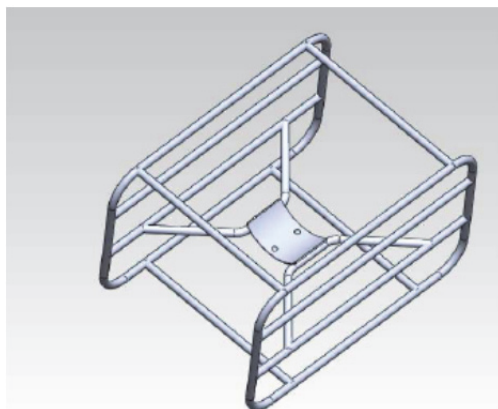


Херметичният обем трябва да бъде проектиран така, че да дава възможност управляващата електроника да се свързва чрез подходящи конектори към изпълнителните механизми и сензори извън обема (фиг. 3).



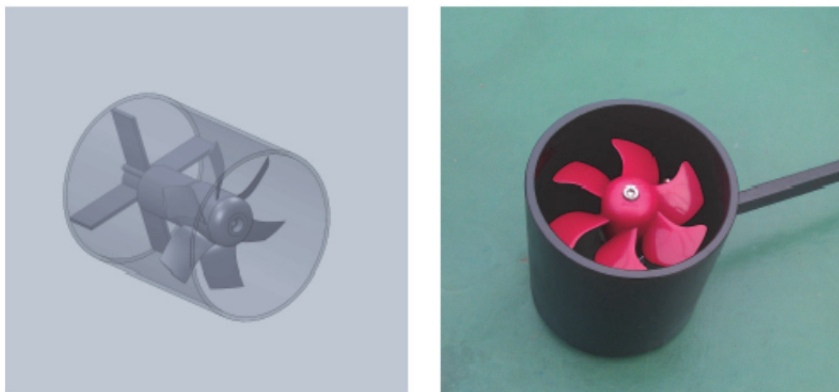
Фиг. 3. Херметичен обем с електроника.
Горният капак е показан прозрачен за по-голяма яснота

2. Носещата конструкция (фиг. 4) е скелетът, на който се закрепват всички компоненти на робота. Основните изисквания са лекота и здравина, като в много работи тази конструкция играе и защитна роля при сблъсък с подводен обект или плавателен съд от който е спуснат роботът. Използват се различни материали като неръждаема стомана, алуминиеви сплави и напоследък полимери.



Фиг. 4. Носеща конструкция от метални пръти

3. 4. Горизонталните и вертикални **тръстери** се състоят от двигатели и пропелери които дават тяга по различните оси на движение на робота. Максималният брой на тръстерите не е ограничен, но един робот има поне 2 хоризонтални и 1 вертикален тръстър за да се постигне задоволителен контрол и скорост. Двигателите обикновено са електрически и трябва да бъдат херметизирани за да се избегне съприкосновение на електрическите вериги на мотора с водата.



Фиг. 5. Проект и реализация на тръстер

5. 6. Поплавък и баласт. Служат за регулиране на статичната хидроустойчивост на робота. В най-добрият случай робота трябва да е с неутрална или леко положителна плаваемост, т.е. без корегирание на позицията с вертикалните тръстери, роботът трябва да остава в устойчиво равновесие. Баластът се изработва от стомана или олово, а поплавокът – от различни пенополимери.

7. Полезният товар са всички компоненти и устройства които извършват дейността, за която е проектиран роботът. Това са обикновено камери, механични ръце – манипулатори и сензори.

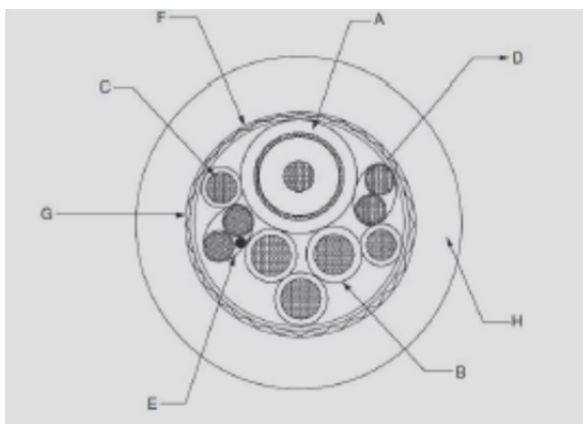
8. Светлините са задължителен компонент на всички подводни работи. Водата поглъща светлината и на дълбочина под 25 метра на практика е невъзможно да се работи без изкуствено осветление. Съвременните разработки включват халогенни крушки с директно охлаждане от околната вода и светодиодни матрици – LED Arrays – които са икономични и имат много дълъг живот (фиг. 6).



Фиг. 6. Проект и изпълнение на LED Arrays светлини за робота

9. Кабелът който свързва робота с пулта на оператора се нарича **тетер**. По този кабел се подава от пулта към робота захранване и управление, а от робота към пулта видео и данни от различните сензори, които могат да бъдат за температура, налягане, разтворени във водата газове и много други. Тетерът е също един от критичните компоненти и трябва да отговаря на много изисквания:

- неутрална плаваемост. Ако тетерът не е неутрално плаваем, той ще упражнява сила чрез теглото си върху робота и ще създава проблеми с хидростатичната устойчивост. Тъй като обикновено медта и другите проводящи метали използвани в кабела са по-тежки от водата се налага външната обвивка на кабела да е от пенополимер с висока положителна плаваемост.
- здравина. При липсата на каквата и да е видимост под водата, има голяма вероятност тетерът да се закачи в подводен обект. Също така при повреда е добре да може робота да бъде изтеглен чрез тетера. За укрепване най-често се използва оплетка от синтетични влакна, например кевлар, с които се осигурява висока устойчивост на опън.
- висока информационна пропускателна способност. Видеоизображението е с голяма информационна плътност и изисква специални кабели за предаване. Най-широко употребяваните методи са коаксиален кабел, етернет и напоследък – оптични влакна. Едно от ограниченията, които дефинират максималната работна дълбочина на робота е именно загубата на информацията, което се изразява във влошаване на качеството на видеоизображението при много дълги тетери. За етернет максималната дължина на кабела в зависимост от типа е от 100 до 500 м. С оптически кабел може да се постигне дължина до 1-2 км.
- малък диаметър. Тъй като робота практически «влачи» зад себе си тетера, той създава нежелана обратна тяга. Тази тяга е пропорционална на диаметъра на тетера и една от задачите на конструкторите е минимизирането му.
- гъвкавост. За по лесно пренасяне и по-малко влияние върху движението на робота, тетерът трябва да е достатъчно гъвкав. Гъвкавостта се дефинира като способност на кабела да се прегъне под определен радиус без да се повреди. Добре е за робота този радиус да е по-голям от 0.25 м (фиг. 7.).



Фиг. 7. Сечение на типичен тетер

- A – коаксиален кабел 75 ома
- B – силови жила за захранване на тръстерите
- C – силови жила за захранване на контролната електроника
- D, E – усукани двойки за мрежова комуникация
- F, G – защитен кожух с кевларна оплетка
- H – пенополимерна обвивка

За всички изброени досега компоненти има и общи изисквания:

- корозинна устойчивост. Водата, особено морската, е силно корозивна. Задължително е използването на материали, с гарантирана от производителя устойчивост на морска вода.
- устойчивост на високото хидростатично налягане в максималната работна дълбочина. С увеличаване на дълбочината, хидростатичното налягане се увеличава с приблизително 10 бара/1 Мра на всеки 100 м. Ако избраната работна дълбочина е 300 метра, всички компоненти на РДУ трябва да са проектирани за нормална работа при 30бара/3 Мра.

III. Проектиране на работа

Независимо от типа на работа, всеки конструктор се стреми към постигане на:

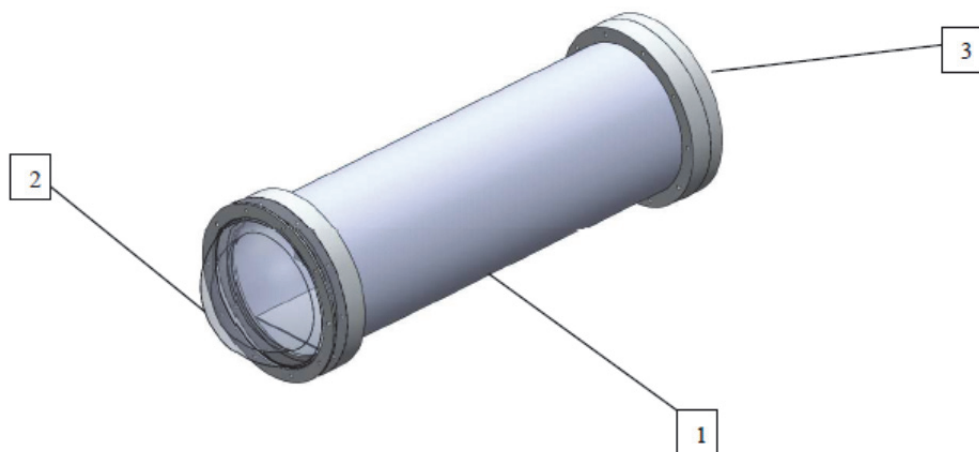
1. Максимална работна дълбочина
2. Минимално тегло (Максимално отношение тяга/тегло)
3. Минимална консумация на енергия
4. Максимална вертикална подемна сила
5. Хидростатична и хидродинамична устойчивост
6. Лесно управление
7. Ниска цена

Основните изисквания поставени пред конструкторите са:

- работна дълбочина ≤ 200 метра
- ниска цена.

Основният подход за постигане на ниска цена е използването на готови компоненти с общо предназначение. Масовото производство е много по-евтино от изработката на специфични детайли в малки количества.

1. Херметичен обем. За целта е избрана конструкция показана на фиг. 8



Фиг. 8.- 1. Цилиндър; 2. Илюминатор; 3. Капак.

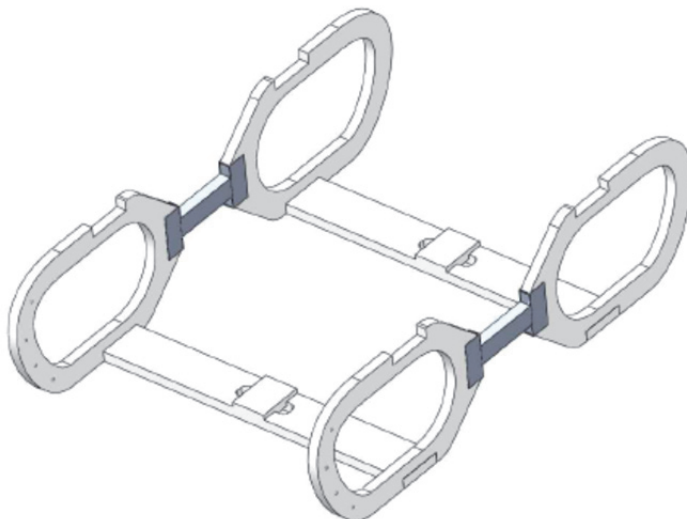


Херметичният обем трябва да издържа налягане от минимум 25 бара/2,5 Мра при нормална работа. Някои от материалите, които могат да се използват за целта са неръждаема стомана тип 316 или алуминиева сплав 6082Т6 за цилиндъра и задния капак. Илюминаторът може да се изработи от полиакрилно стъкло.



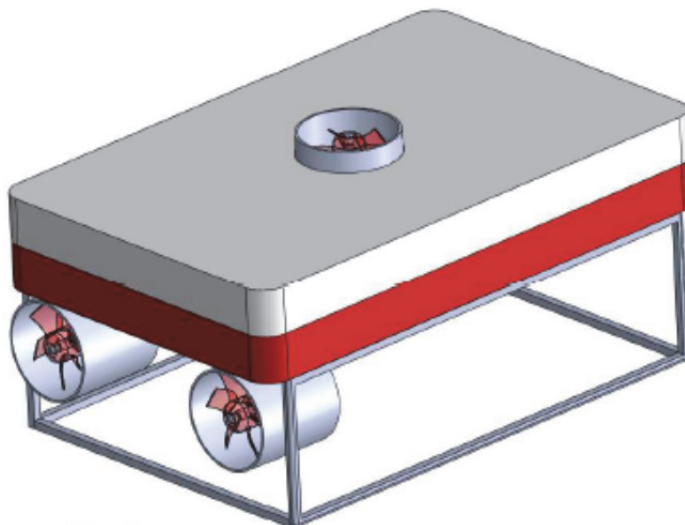
Фиг. 9. Полиакрилен илюминатор

2. Носеща конструкция. Един от материалите използван често в роботите е полипропилен. Този полимер е здрав, лек, положително плаваем и лесен за машинна обработка.



Фиг. 10. Носеща конструкция от полипропилен

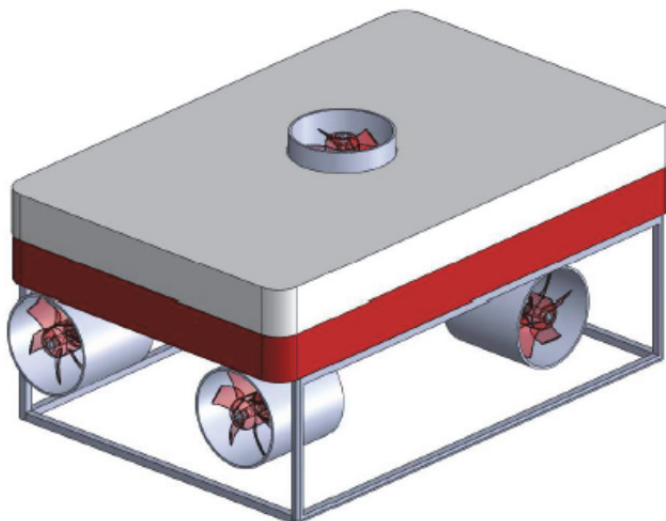
3. Тръстери. Има няколко основни тръстерни кинематични схеми. Минималният вариант, който позволява позволява управление по 3 координати е показан на фиг. 11.



Фиг. 11. РДУ с 2 паралелни хоризонтални и един вертикален тръстен

Този вариант е най-евтин, но с най-много компромиси при управлението. Практически е невъзможно робота да се движи перпендикулярно на хоризонталните тръстери. Използва се обикновено при малки роботи, където е необходима по-висока тяга/скорост по основното направление на движение.

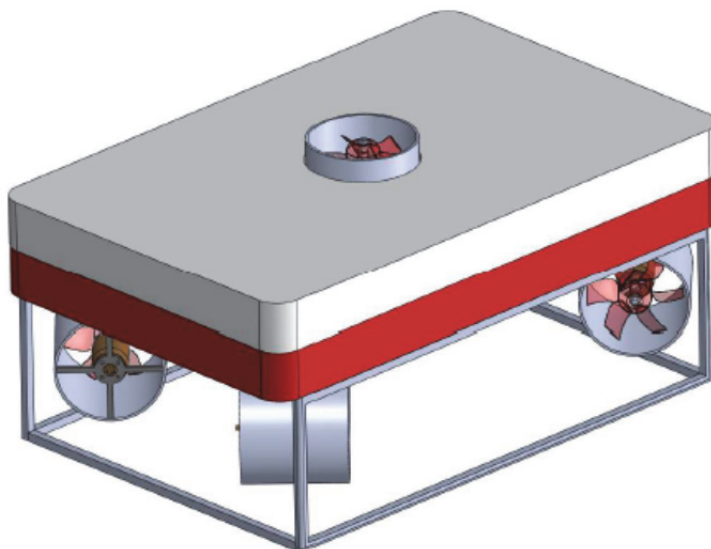
Подобрен вариант е показан на фиг. 12.



Фиг. 12. РДУ с 3 хоризонтални (2 паралелни и един перпендикулярен на движението) и 1 вертикален тръстер

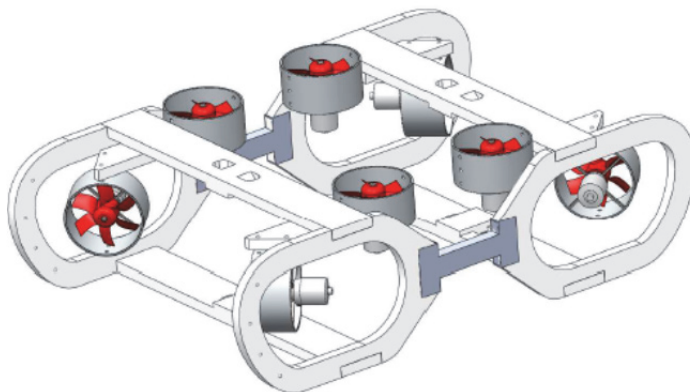
Този вариант е много популярен. Той дава по-голяма маневриност, но също има ограничения в управлението като например ротация на място или движение под ъгъл спрямо хоризонталните тръстери.

На фиг. 13 е показан вариант с векторни хоризонтални тръстери. Може би най-добрата кинематична схема. Позволява движение в произволна посока в хоризонтална равнина както и ротация. Управлението е интуитивно за оператора. Като недостатъци може да се посочат по-високата цена и тегло.



Фиг. 13. РДУ с 4 хоризонтални векторни и 1 вертикален тръстер

За проекта е избран подобрен векторен вариант с 4 хоризонтални векторни и 4 вертикални паралелни тръстера – фиг. 14.



Фиг. 14. Кинематична схема на проектирания РДУ

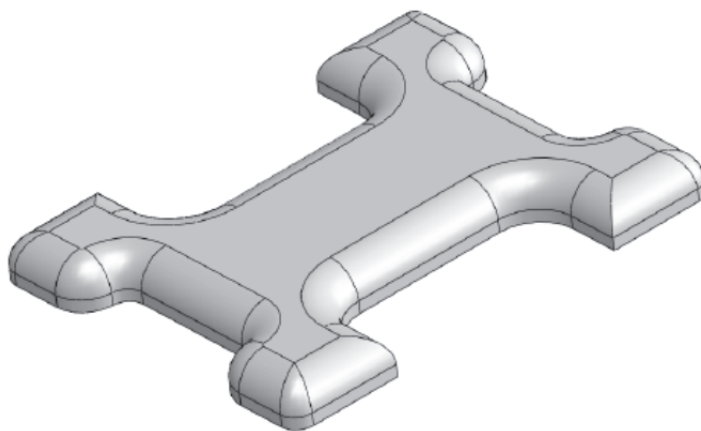
Четири вертикални тръстера дават възможност за компенсация на крен и диферент, което дава възможност за стабилизация на робота спрямо наблюдавания обект и съответно по-добро изображение. Двигателите на тръстерите са безчеткови трифаз-

ни. Използвани са двигатели с общо предназначение Turnigy Aerodrive с модификация – подмяна на лагерите с неръждаеми. Така двигателят може да работи в морска вода без да се налага херметизирането му. Пропелерът е производство на фирмата Vetus и е от тръстер за моторна лодка.



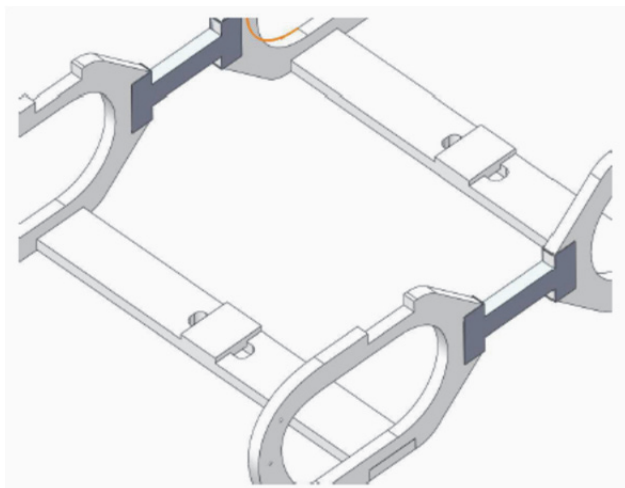
Фиг. 15. Двигател Turnigy Aerodrive и пропелер Vetus

4. Поплавък. Един от най-често използваните материали за поплавок са пенополимери. За проекта е избран Flotec™, който е издържлив на високо налягане и предпочитан материал в морската индустрия.



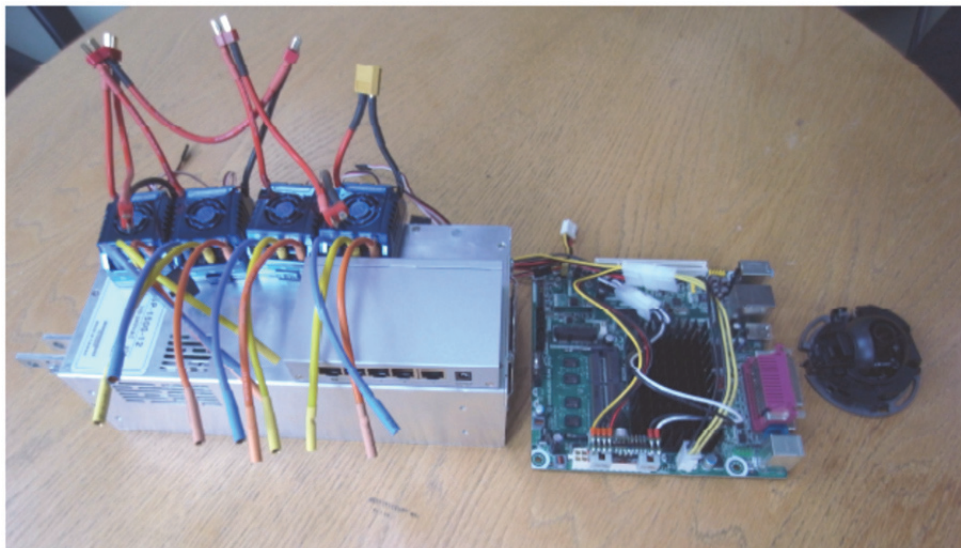
Фиг. 16. Поплавък от Flotec™

5. Баласт. Баластът в настоящият проект е избран като част от носещата конструкция – 2 паралелни шини в долната част на конструкцията – фиг. 17. Финалният материал и размери на баластните шини ще бъде избран след като се измери плаваемостта на робота.



Фиг. 17. Баластни шини като част от носещата конструкция

7. Полезен товар. Проектираният РДУ е за визуално наблюдение и предполага наличието на поне една камера за предаване на видеоизображение. Най-удачен вариант е използването на IP Network камера, защото картината се предава директно от камерата към операторския екран без да се налага междинна обработка на изображението. Като полезен товар можем да считаме и управляващата електроника на борда на робота – фиг. 18.



Фиг. 18. Полезен товар на борда на РДУ – захранващ блок, контролери за двигателите, Ethernet switch, процесорна платка и IP камера.

8. Светлини. Избраният източник на светлина е LED Array с мощност 20W. Еквивалентният източник с нажежаема жичка би бил с мощност около 250W. LED е монтиран на алуминиева положка за по-добро топлоотделяне и залят с прозрачна епоксидна смола за херметизация – фиг.19.

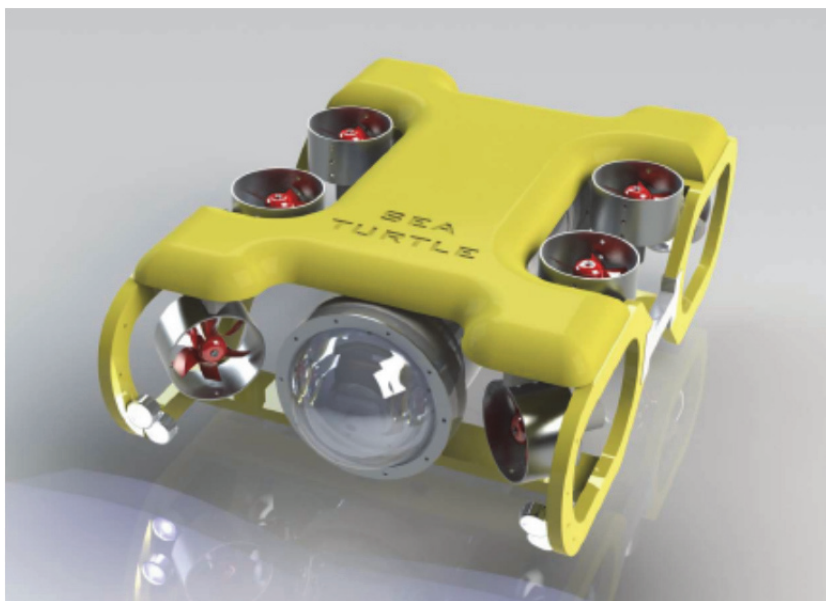


Фиг. 19. Източник на светлина – LED Array с мощност 20W

Общо 4 модула на източника са разположени от двете страни на камерата даващи тотал от 2400 лумена.

8. Тетер. За съжаление, изискването за неутрална плаваемост прави невъзможно използването на стандартен кабел за тетер. За настоящия проект тетерът е поръчково изработен.

Само два проводника са необходими за захранване на робота, за управление и за пренасяне на видеоизображението към пулта на оператора.



Фиг. 20. Окончателен проект на работа

Литература:

1. <https://metinvest.digital/page/tehnologii-4-0-kak-drony-menyayut-promyshlennost-i-spasayut-zhizni?culture=ru>
2. <https://glazamidrona.ru/news/drone/nauchnye-issledovaniya-s-pomoshchyu-podvodnykh-dronov/>
3. <https://nplus1.ru/news/2020/06/29/medusa>
4. <https://rg.ru/2019/04/27/v-kitae-sravnili-rossijskij-posejdon-i-novejsij-podvodnyj-dron-ssha.html>
5. Plamen A. Angelov, Milena Kostadinova, Dimitar Binev, „LED spectrum analyzer”, SIELA 2009, 4-6 June 2009, Burgas, ISBN 978-954-323-530-8, Том 1, стр. 25-29
6. Plamen A. Angelov, M Blagoev Momchedjиков, „Measurement and correction of the total harmonic distortion”, SIELA 2009, 4-6 June 2009, Burgas, ISBN 978-954-323-530-8, Том 1, стр. 25-29
7. Силвия Лецковска, Камен Сейменлийски, Елдар Заеров, Радослав Симионов, ПЕРСПЕКТИВНИ ТЕХНОЛОГИИ ЗА ОПОЛЗОТВОРЯВАНЕ НА МОРСКИЯ РЕСУРС, Международна научна конференция Дигитални трансформации, медии и обществено включване, БСУ, 5 юни 2020, ISBN: 978-619-7126-92-1, стр. 485-492, Печатница „ЕКС-ПРЕС” ООД – Габрово - 5 т
8. Kamen Seymenliyski, Silviya Letskovska, Eldar Zaerov, Radoslav Simionov, Stoyanka Mollova, LABORATORY SYSTEM FOR MONITORING AND FORECASTING THE PARAMETERS OF SEA WAVES, International Conference on High Technology for Sustainable Development (HiTech 2019) Sofia, Bulgaria, ISBN: 978-1-7281-4557-0, ISBN (Online): 978-1-7281-4556-3, IEEE Catalog Number: CFP19Q62-POD, Proceedings of Papers - p. 138-142,