

## Реализация и идентификация параметров автономного необитаемого подводного аппарата типа глайдер

*Б.В. Гуренко, А.С. Назаркин*

*Южный федеральный университет, Таганрог*

**Аннотация:** в статье рассматривается реализация и идентификация параметров автономного необитаемого подводного аппарата. Описана структура глайдера и его основных элементов конструкции. Описаны экспериментальные исследования для идентификации параметров глайдера.

**Ключевые слова:** глайдер, подводный аппарат, механизм изменения плавучести исполнительные механизмы, система управления, микроконтроллерная плата, пульт дистанционного управления.

### Введение

В настоящее время активно ведутся исследования и мониторинг водной среды, при этом все более часто применяются автоматизированные и роботизированные подводные аппараты. Одним из распространенных автономных необитаемых подводных аппаратов (АНПА) является АНПА типа глайдер, который за счет своей конструкции позволяет с меньшими энергозатратами находиться в плавании более длительное время, по сравнению с АНПА других типов [1]. Конструктивной особенностью АНПА типа глайдер является то, что его движение осуществляется за счет изменения плавучести и смещения центра тяжести аппарата.

### Назначение и функции

Разработанный глайдер предназначен для проработки вариантов исполнения АНПА. исследования движения АНПА, идентификации параметров математической модели, проверки методов управления глайдерами и разрабатываемых алгоритмов управления АНПА данного типа.

Глайдер выполняет следующие функции:

- движение в автономном режиме [2, 3, 4];
- движение в дистанционном режиме по командам оператора с пульта дистанционного управления [5].

Математическая модель и синтез системы управления глайдера приведены в статье Б.В. Гуренко «СТРУКТУРНАЯ ОРГАНИЗАЦИЯ СИСТЕМ АВТОМАТИЧЕСКОГО УПРАВЛЕНИЯ ПОДВОДНЫМИ ГЛАЙДЕРАМИ»[6].

### Разработка структуры глайдера

При разработке глайдера была выбрана следующая структура и компоновка оборудования, представленная на рис. 1.

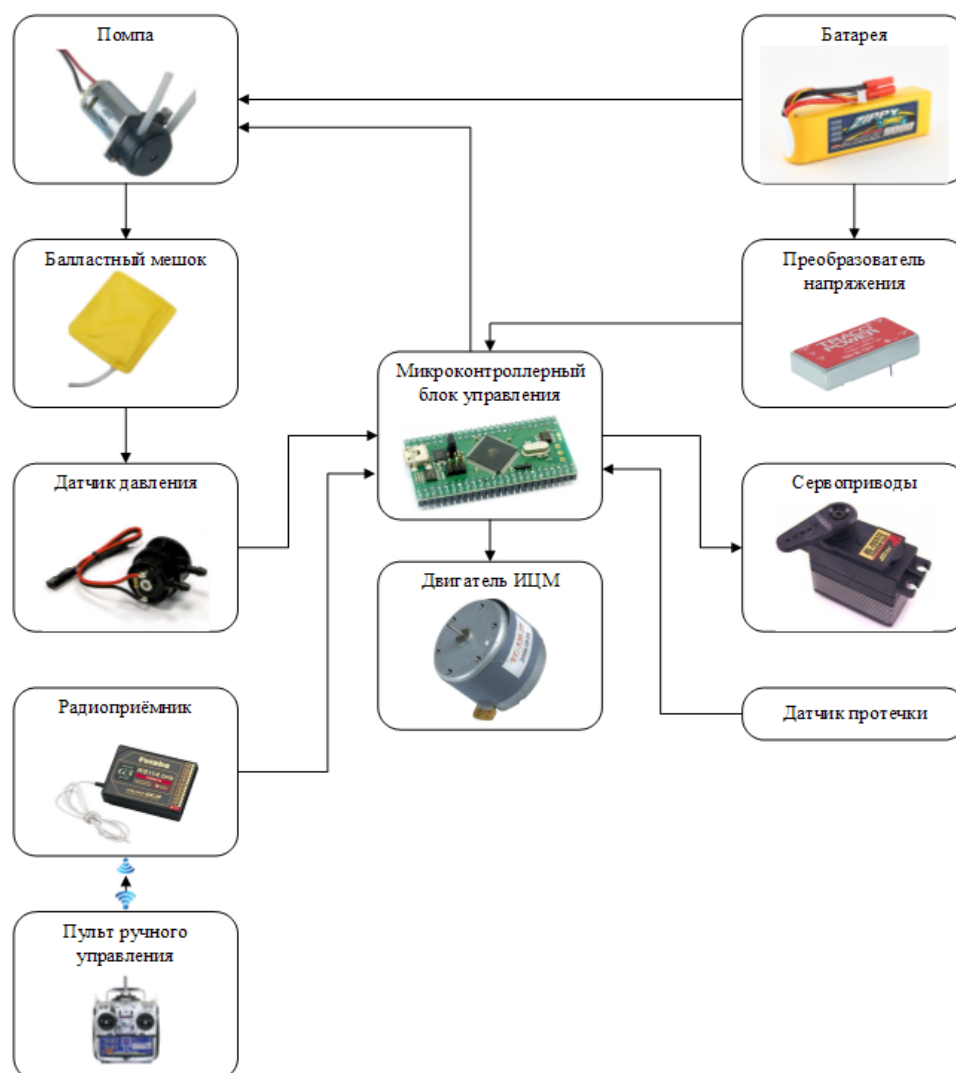


Рис. 1 – Структурная схема глайдера

Важнейшей системой подводных глайдеров является механизм изменения плавучести (МИП). Назначение МИП состоит в изменении веса или объема аппарата, что позволяет управлять плавучестью глайдера и, в зависимости от знака плавучести, обеспечивать его погружение или всплытие [7, 8]. В данной разработке МИП

представляет собой электрическую помпу, работающую в двух направлениях (закачка и выкачка) и балластный мешок объемом, достаточным для закачки необходимой массы воды. В качестве балласта выступает забортная вода, поступающая в помпу по герметичным трактам. Сигнал о наполненности балластного мешка подает откалиброванный датчик давления.

Механизм изменения центра массы аппарата устроен следующим образом: электрический двигатель вращает по часовой и против часовой стрелки винтовой вал, на котором расположена платформа с грузом (батарея питания). Таким образом происходит перемещение груза от кормы до носа глайдера, что позволяет изменять его центр массы.

Сервопривод позволяет управлять рулем направления. Радиосистема, состоящая из радиопульта и радиоприемника, предназначена для управления глайдером в дистанционном режиме. Датчик протечки сигнализирует о разгерметизации корпуса и попадании воды внутрь аппарата. Энергосистема глайдера состоит из батареи питания и преобразователя напряжения для питания низковольтной электроники. За управление системами глайдера отвечает микроконтроллерный блок управления, структура схема которого приведена на рис. 2.



Рис. 2 – Структурная схема микроконтроллерного блока управления

Основным элементом блока управления является микроконтроллер, на которые возложены следующие функции [9]:

- прием и обработка навигационной информации от средств спутниковой (при всплытии на поверхность) и инерциальной навигации;
- обработка данных от датчика давления в балластном мешке и датчика протечки;
- обработка данных от радиоприемника и выдача управляющих воздействий [10];

- управление глайдером в автоматическом режиме по синтезированному закону управления;
- управление исполнительными механизмами глайдера по средствам драйверов.

### **Реализация глайдера**

При реализации АНПА типа глайдер выбрана компоновочная схема, отвечающая следующим требованиям:

- равномерное распределение массы по длине глайдера при отсутствии балласта и центральном положении груза;
- длина соединительных проводников не должна превышать пределов, заявленных производителем оборудования;
- удобство монтажа, наладки, обслуживания и замены элементов системы.

При разработке глайдера использованы следующие элементы системы:

- корпус – радиоуправляемая подводная лодка «Neptun sb-1»;
- микроконтроллер – Atmega 2560;
- двигатель механизма изменения центра массы - коллекторный двигатель EG-530AD2B;
- помпа - Seaking 180L;
- сервопривод - HS-7955TG.

Для улучшения гидродинамических свойств аппарата изготовлены гидродинамические поверхности [11].

Внешний вид глайдера представлен на рис. 3.



Рис. 3 – Внешний вид глайдера

На рис. 4 показан аппарат, с грузом находящемся в нейтральной позиции, продольная ось глайдера параллельна поверхности воды.

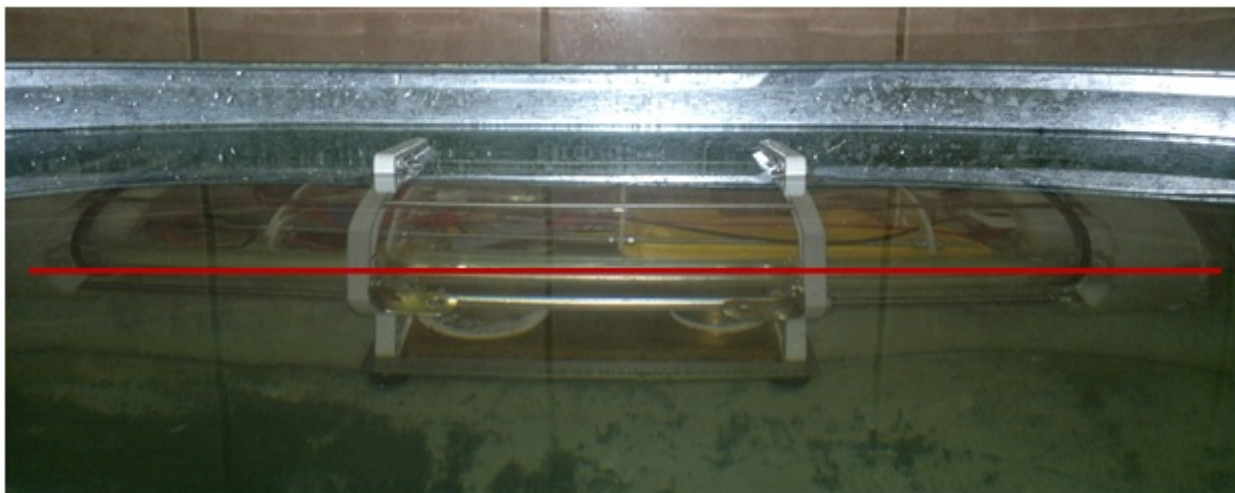


Рис. 4 – Положение глайдера в воде при нейтральной позиции груза

На рисунке 5 показан аппарат, с грузом находящемся у носа глайдера. Угол тангажа составляет  $-10^{\circ}$ . В данном положении осуществляется погружение аппарата в воду, при одновременном наборе жидкости в

балластный мешок, с последующим продвижением аппарата по направлению движения.

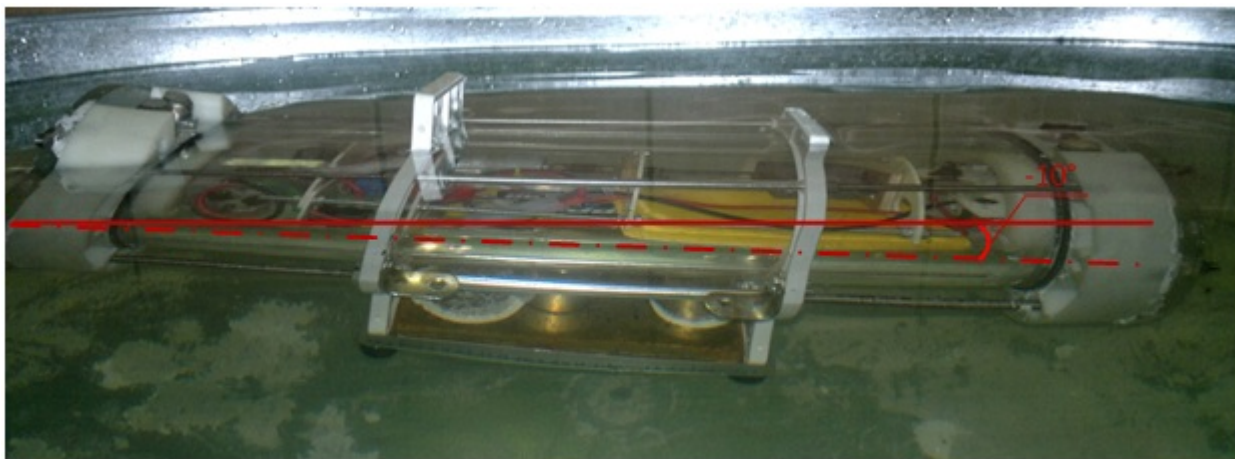


Рис. 5 – Положение глайдера с грузом, находящемся у носа

На рис. 6 показан аппарат, с грузом находящемся ближе к корме глайдера. Угол тангажа составляет  $10^\circ$ . При таком расположении груза осуществляется всплытие аппарата, при одновременном откачивании жидкости из балластного мешка, с последующим продвижением вперед по направлению движения.

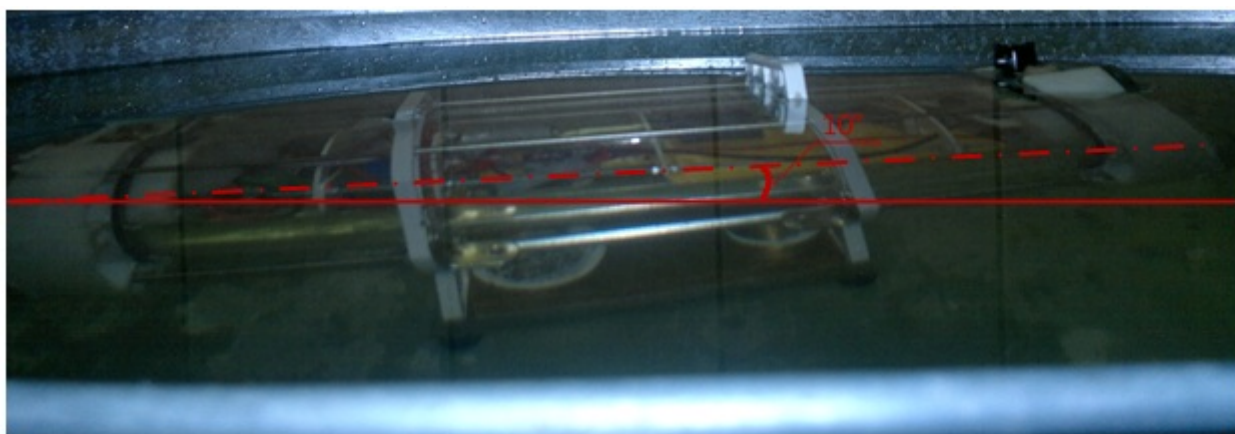


Рис. 6 – Положение глайдера с грузом, находящимся у кормы

## Результаты экспериментального исследования и идентификация параметров автономного необитаемого подводного аппарата типа глайдер

Для синтеза регулятора и настройки его коэффициентов необходимо определить зависимости работы исполнительных механизмов.

В ходе исследования работы помпы необходимо определить массовременные зависимости между временем работы водяного насоса и массой балластного мешка. Исследование проводится в режиме работы от дистанционного пульта управления.

В таблице №1 приведена зависимость массы балластного мешка от времени работы помпы, в течение которого производится закачивание жидкости.

Таблица №1

Зависимость массы балластного мешка от времени работы помпы

Время работы помпы, с	Масса балластного мешка, г
0	0
5	8,5
10	42,5
15	85
20	127,5
25	170
30	212,5

По экспериментальным данным строится график, приведённый на рис. 7, зависимости массы балластного мешка от времени работы помпы.

Линейная модель имеет вид:  $f(x) = p_1 * x + p_2$ , где коэффициенты (с 95% доверительным пределом) равны:

$$p_1 = 0.08333 (0.08333, 0.08333);$$

$$p_2 = -3.045e-15 (-8.413e-15, 2.323e-15).$$

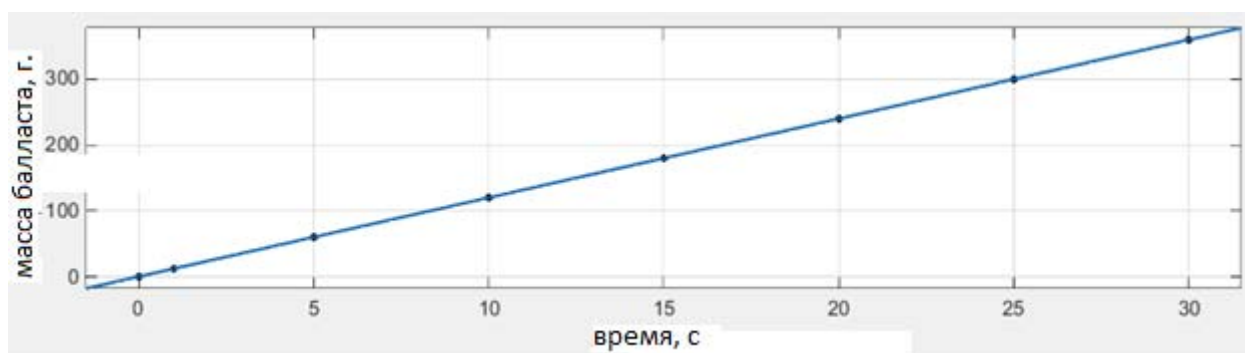


Рис. 7 – График зависимости массы балластного мешка от времени работы водяного насоса

В ходе исследования работы смещаемого центра масс необходимо выявить влияние положения груза на положение аппарата в водной среде. Исследование проводится в режиме управления от дистанционного пульта управления [12].

В таблице №2 приведена зависимость угла тангажа аппарата от положения груза смещаемого центра масс.

Таблица №2

Зависимость угла тангажа от положения смещаемого центра масс

Смещение груза по оси относительно нейтрального положения аппарата, см	Угол тангажа
-2,5	10
-2	8
-1,5	6
-1	4



-0,5	2
0	0
0,5	-2
1	-4
1,5	-6
2	-8
2,5	-10

По экспериментальным данным строится график, приведённый на рис. 8, зависимости угла тангажа глайдера от положения груза смещаемого центра масс.

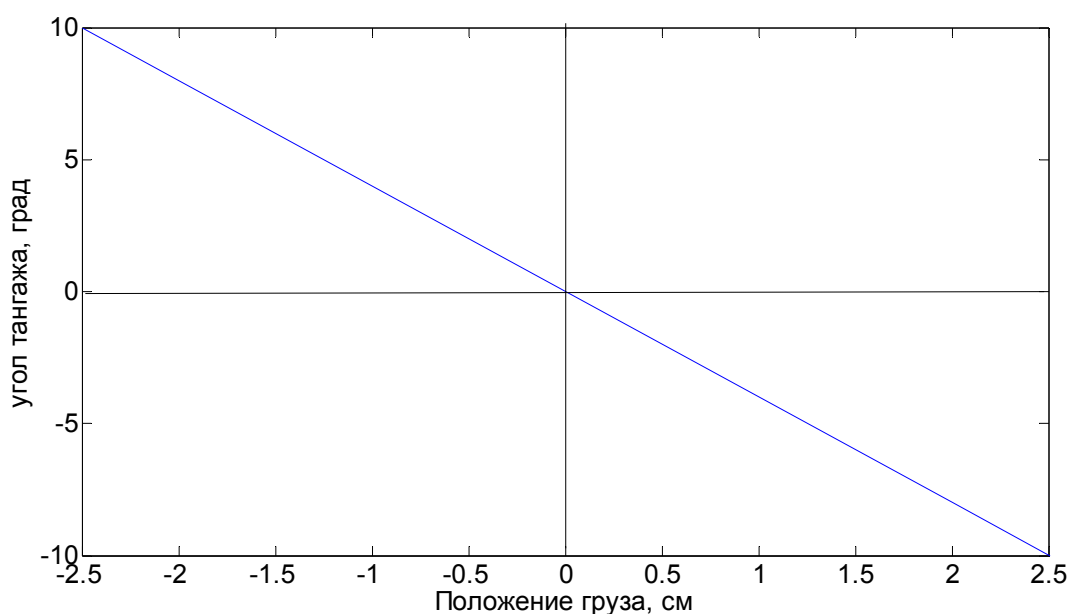


Рис. 7 – График зависимости угла тангажа глайдера от положение груза смещаемого центра масс

Линейная модель имеет вид:  $f(x) = a * (\sin(x - \pi)) + b * ((x - 10)^2) + c$ , где коэффициенты (с 95% доверительным пределом) равны:

$$a = -0.1889 (-1.261, 0.8828);$$

$$b = -0.195 (-0.2205, -0.1695);$$

$$c = 19.99 (17.35, 22.62).$$

### Заключение

В работе представлен экспериментальный образец АНПА типа глайдер, описана его компоновочная схема. Данный подводный аппарат прошел испытания с целью идентификации его параметров и выявления временных характеристик для синтеза регулятора.

### Благодарности

Работа поддержана Министерством образования и науки РФ, НИР (№ 114041540005) по государственному заданию ВУЗам и научным организациям в сфере научной деятельности.

### Литература

1. Кожемякин И.В., Рождественский К.В., Рыжов В.А., Смольников А.В., Татаренко Е.И. Подводные глайдеры: вчера, сегодня, завтра. Ч. 1 // Морской вестник. – 2013. – № 1. С. 113-117.
2. Пшихопов В.Х., Сиротенко М.Ю., Гуренко Б.В. Структурная организация систем автоматического управления подводными аппаратами для априори неформализованных сред// Информационно-измерительные и управляющие системы. 2006. № 1-3. Т. 4. С.73-79.
3. Pshikhov V.Kh., Medvedev M.Yu. Block design of robust control systems by direct Lyapunov method // IFAC World Congress, Volume # 18, Part# 1. 2011. С. 10875-10880. doi: 10.3182/20110828-6-IT-1002.00006.
4. Pshikhov V.Kh., Medvedev M.Yu. Robust control of nonlinear dynamic systems // Proceedings of 2010 IEEE Latin-American Conference on Communications (ANDERSON). 2010. С.1-7. doi: 10.1109/ANDESCON.2010.5633481.
5. Пшихопов В.Х., Гуренко Б.В., Назаркин А.С. Реализация и экспериментальное исследование микроконтроллерного блока управления исполнительными механизмами автономного надводного мини-корабля «Нептун» // Инженерный вестник Дона. 2014. №4. URL: ivdon.ru/ru/magazine/archive/N4y2014/26.

6. Гуренко Б.В. Структурная организация систем автоматического управления подводными // Известия ЮФУ. Технические науки. – 2011. – №3 (116). – С. 199-205.

7. Кожемякин И.В., Рождественский К.В., Рыжов В.А., Смольников А.В., Татаренко Е.И. Механизмы изменения плавучести, дифферента и крена подводных глайдеров // Труды Санкт-Петербургского государственного морского технического университета. – СПб.: Изд-во «Морвест», 2013. С. 147-154.

8. Кожемякин И.В., Потехин Ю.П., Рождественский К.В., Рыжов В.А., Смольников А.В., Ткаченко И.В., Фрумен А.И. Подводные глайдеры: эффект «рыбьего пузыря» // Морские интеллектуальные технологии. – 2012. – № 4 (18). – С. 3-9.

9. В.Н. Баранов. Применение контроллеров AVR: схемы, алгоритмы программы. М.: Изд-во Додэка-XXI, 2004. 288 с.

10. Александров Е.К., Грушвицкий Р.И., Купрянов М.С., Мартынов О.Е. Микропроцессорные системы. СПб.: Политехника, 2002. 935 с.

11. Пшихопов В.Х., Б.В.Гуренко Синтез и исследование авторулевого надводного мини-корабля «Нептун» // Инженерный вестник Дона. 2013. №4. URL: ivdon.ru/magazine/archive/n4y2013/.

12. Лукомский Ю.А., Чугунов В.С. Системы управления морскими подвижными объектами. Л: Судостроение, 1988. 272 с.

### References

1. Kozhemjakin I.V., Rozhdestvenskij K.V., Ryzhov V.A., Smol'nikov A.V., Tatarenko E.I. Morskoj vestnik. 2013. № 1.

2. Pshihopov V.H., Sirotenko M.Ju., Gurenko B.V. Informacionno-izmeritel'nye i upravljajushhie sistemy. 2006. № 1-3. Т. 4. P.73-79.

3. Pshikhopov V.Kh., Medvedev M.Yu. Block design of robust control systems by direct Lyapunov method. IFAC World Congress, Volume 18, Part 1. 2011. С. 10875-10880. doi: 10.3182/20110828-6-IT-1002.00006.

4. Pshikhopov V.Kh., Medvedev M.Yu. Robust control of nonlinear dynamic systems. Proceedings of 2010 IEEE Latin-American Conference on Communications (ANDERSON). 2010. С.1-7. doi: 10.1109/ANDESCON.2010.5633481.



5. Pshihopov V.H., Gurenko B.V., Nazarkin A.S. :Inženernyj vestnik Dona. 2014. №4. URL: [ivdon.ru/magazine/archive/N4y2014/26](http://ivdon.ru/magazine/archive/N4y2014/26).

6. Gurenko B.V. Izvestija JuFU. Tehnicheskie nauki. 2011. №3 (116). pp. 199-205.

7. Kozhemjakin I.V., Rozhdestvenskij K.V., Ryzhov V.A., Smol'nikov A.V., Tatarenko E.I. Trudy Sankt-Peterburgskogo gosudarstvennogo morskogo tehničeskogo universiteta. SPb.: Izd-vo «Morvest», 2013.

8. Kozhemjakin I.V., Potehin Ju.P., Rozhdestvenskij K.V., Ryzhov V.A., Smol'nikov A.V., Tkachenko I.V., Frumen A.I. Morskie intellektual'nye tehnologii. 2012. № 4 (18). P. 3-9.

9. V.N. Baranov. Primenenie kontrollerov AVR: shemy, algoritmy programmy [Application controllers AVR: schemes, algorithms programs]. M.: Izd-vo Dodjeka-XXI, 2004. 288 p.

10. Aleksandrov E.K., Grushvickij R.I., Kuprjanov M.S., Martynov O.E. Mikroprocessornye sistemy [Microprocessor Systems]. Spb.: Politehnika, 2002. 935 p.

11. Pshihopov V.H., B.V.Gurenko. :Inženernyj vestnik Dona. 2013. №4. URL: [ivdon.ru/magazine/archive/n4y2013/](http://ivdon.ru/magazine/archive/n4y2013/).

12. Lukomskij Ju.A., Chugunov V.S. Sistemy upravlenija morskimi podvizhnymi objektami [Control systems of maritime objects]. L: Sudostroenie, 1988. 272 p.