

Реализация и экспериментальное исследование авторулевого автономного надводного мини-корабля «Нептун»

Б.В. Гуренко

Введение

На основе разработанной ранее математической модели автономного надводного мини-корабля «Нептун»[1] и алгоритмов управления[2] в статье предлагается структура автопилота надводного мини-корабля «Нептун», реализация на бортовом вычислителе. Приводятся результаты экспериментов.

Математическая модель

Математическая модель надводного мини-корабля «Нептун», в соответствии с соответствиями с результатами, полученными в [1], имеет следующий вид:

$$\begin{pmatrix} \dot{x}_g \\ \dot{z}_g \\ \dot{\varphi} \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} \cos \varphi & \sin \varphi & 0 \\ -\sin \varphi & \cos \varphi & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{pmatrix} \begin{pmatrix} V_x \\ V_z \\ \omega_y \end{pmatrix} \quad (1)$$

$$\begin{aligned} m \frac{dV_x}{dt} &= F_x^u + R_x^A + R_x^\Gamma + F_e \\ J_y \frac{d\omega_y}{dt} &= M_y^u + M_y^A + M_y^\Gamma + M_e \end{aligned} \quad (2)$$

где m – масса судна; V_x - продольная скорости судна; $R_x^A, R_x^\Gamma, M_y^A, M_y^\Gamma$ – гидро- и аэродинамические силы и моменты создаваемые ими; J_y – момент инерции относительно оси Y ; ω_y – угловая скорость относительно оси Y ; F_x^u, M_y^u – управляющая сила и момент, создаваемые двигателем и рулевой колонкой; \dot{x}_g, \dot{z}_g – скорость изменение координат положения центра тяжести корабля в неподвижной системе координат; $\dot{\varphi}$ – скорость изменения угла ориентации в неподвижной системе координат.

На основе методики описанной в [3,4,5] для модели (1,2) в [2], был разработан следующий автопилот:

$$F_u = -M\Psi_u - F_d - \hat{F}_g \quad (3)$$

где $\Psi_u = \begin{bmatrix} -T_3^{-1}\Psi_{ck} \\ -(T_1T_2)^{-1}[(T_1+T_2)\dot{\Psi}_{mp} + \Psi_{mp}] \end{bmatrix}$; T_1, T_2, T_3 - постоянные времени; \hat{F}_g -

оценка возмущающих сил., $\Psi_{mp} = \varphi - \varphi_3 = 0$
 $\Psi_{ck} = V_x - V_3 = 0$

Для оценки внешних возмущений в [2] был синтезирован следующий наблюдатель:

$$\begin{aligned} \dot{z} &= -Lz - LMX - L(F_u + F_d) \\ \hat{F}_g &= z + LMX \end{aligned} \quad (4)$$

где $L = L = \begin{pmatrix} l_1 & 0 \\ 0 & l_2 \end{pmatrix}$ - коэффициенты наблюдателя

Разработка структурной схемы системы управления

При разработке системы управления необходимо выделить ее основные блоки. Для объединения блоков в цепочку разрабатывается структурная схема.

В структурной схеме системы управления автоматизированным надводным кораблем, представленной на рис., миссия – это набор траекторий движения корабля и координат точек позиционирования. Автопилот формирует управляющие воздействия на основе координат точки позиционирования или траектории движения. Блок оценивания осуществляет оценивание внешних не измеряемых сил и моментов. Блок обработки навигационных данных комплексирует навигационные данные от БИНС и спутниковой навигационной системы GPS/ГЛОНАСС.

Микроконтроллерный блок управления исполнительными механизмами (МКБУ ИМ) преобразует управляющие воздействия автопилота в сигналы управления исполнительными механизмами.

Исполнительные механизмы представляют собой два привода гребных винтов и сервопривод управления рулем поворота.

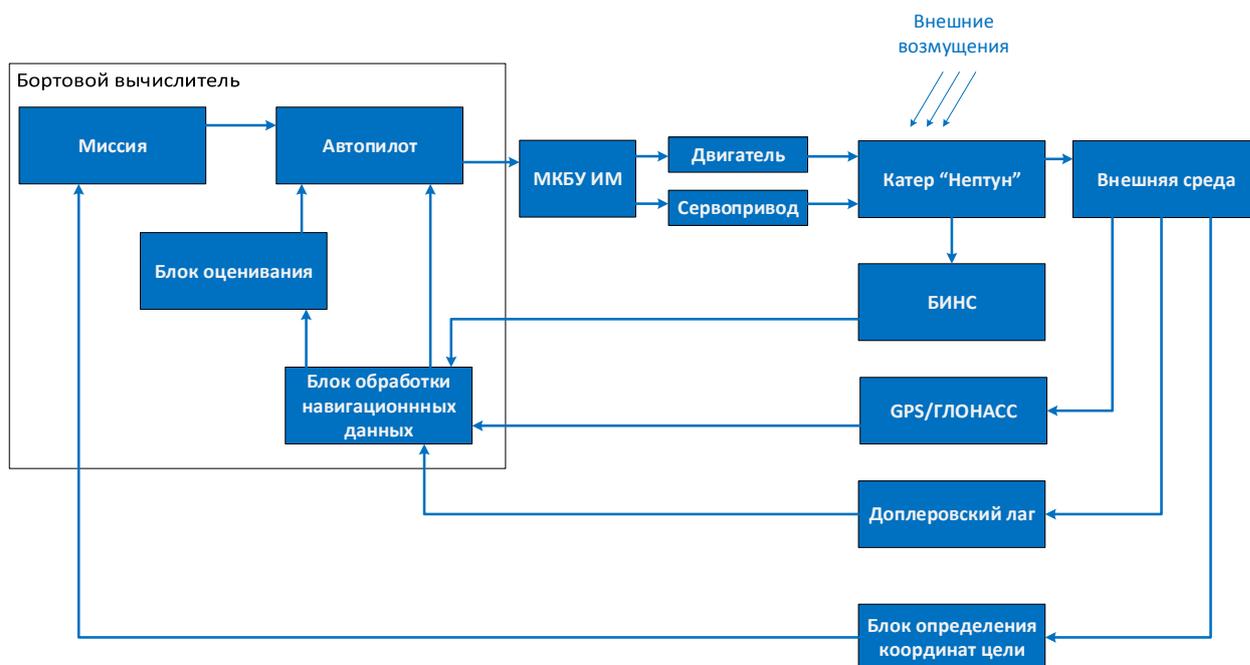


Рис. 1 – Структурная схема автопилота надводным мини-кораблём «Нептун»

Интегрированная навигационная система по приемнику GPS/Глонасс и датчикам инерциальной навигации позволяет определять положение корабля в глобальной системе координат, а так же углы ориентации судна, такие как крен, тангаж и рысканье. Доплеровский лаг определяет составляющие продольной и поперечной скорости движения судна относительно дна.

Программно-аппаратная реализация автопилота

Оборудование, которое использовалось для реализации структуры мини-корабля, показанной на рис. 1, приведено в таблице 1.

Таблица 1

Оборудование системы управления автономного мини-корабля

Оборудование	Модель
Бортовой компьютер	Intel Atom N270 (1.6 GHz, 512 kB L2 cache, FSB 533 MHz)
МКБУ ИМ	AVR-CRUMB2560, ATmega2560
Доплеровский лаг	RD instruments ExplorerDVL
БИНС, GPS/ГЛОНАСС	Companav 2
ГАНС УКБ	Evo Logic S2C R 48/78 USBL Acoustic Modem

Внешний вид автономного мини-корабля приведен на рис. 2 и рис. 3.



Рис. 2. –Внешний вид автономного мини-корабля



Рис. 3. –Допплеровский лаг скорости, установленный на днище мини-корабля

Алгоритмы автопилота и наблюдателя были реализованы на операционной системе реального времени QNX .

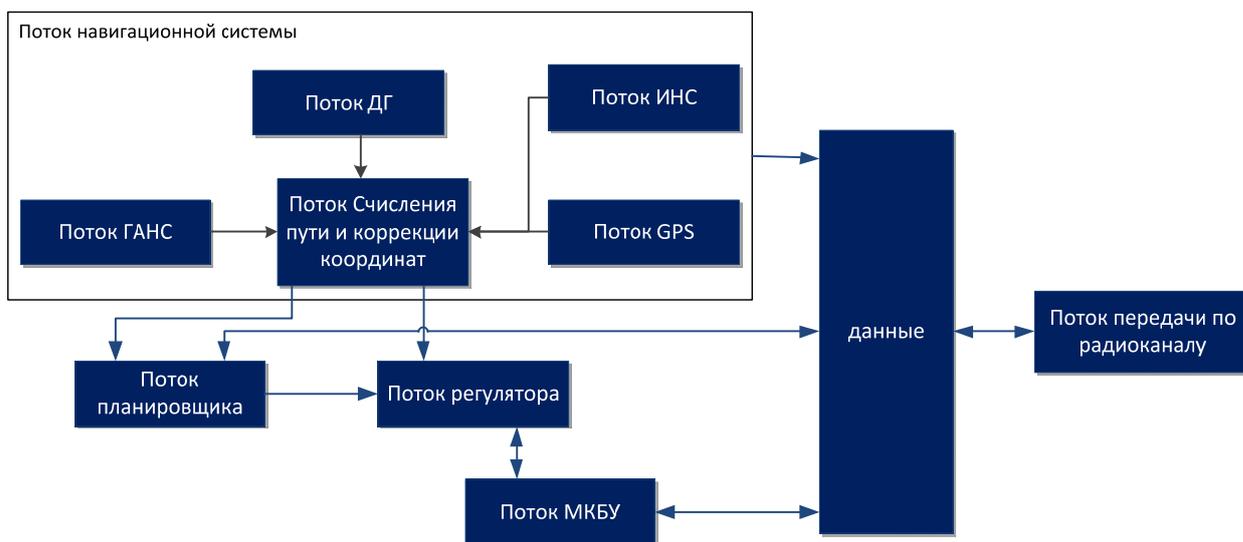


Рис. 4. — Схема организации модулей бортовой программы управления

При разработке архитектуры ПО большое внимание уделялось модульности системы и минимизации связей между модулями. Это позволило вести независимую разработку и отладку модулей, унифицировать обмен данными в системе, повысить ее предсказуемость и отказоустойчивость.

Схему организации бортовой программы управления можно представить в обобщенном виде, как показано на рис. 4.

Результаты экспериментального исследования системы управления автономным мини-кораблем

При экспериментальном исследовании разработанного авторулевого, мини-корабль должен был переместиться из точки $(x = 5; z = 0)$ в точку $(x = -4; z = -10)$. Результаты эксперимента приведены на рисунках 5 - 9.

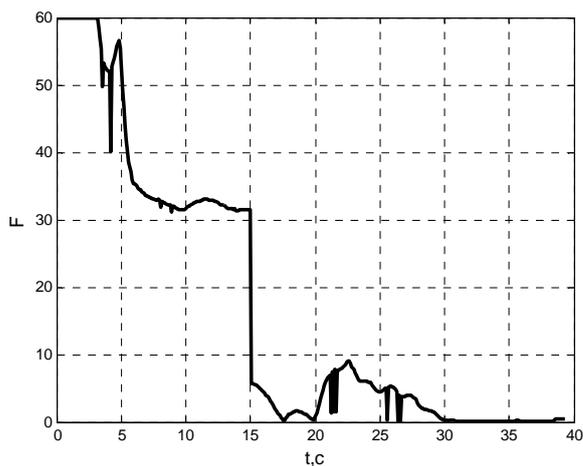


Рис. 5. – Изменение управляющей сил F_T

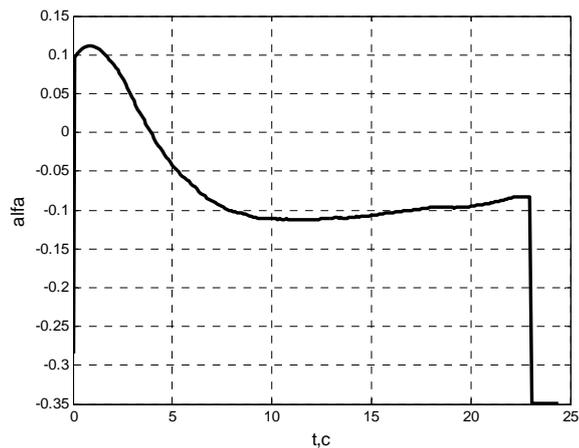


Рис. 6.– Изменение угла направления
силы тяги α

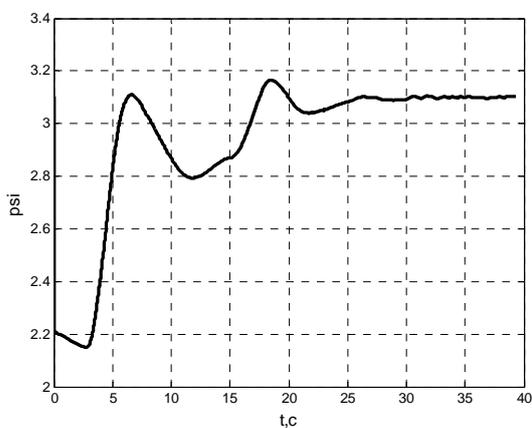


Рис. 7. – Изменение угла ориентации
мини-корабля

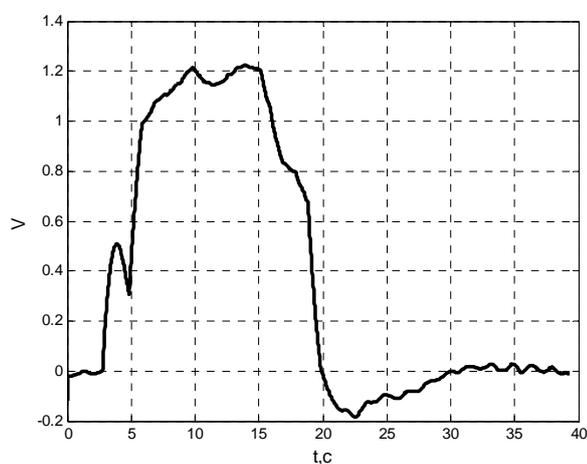


Рис. 8. – Изменение скорости движения
мини-корабля

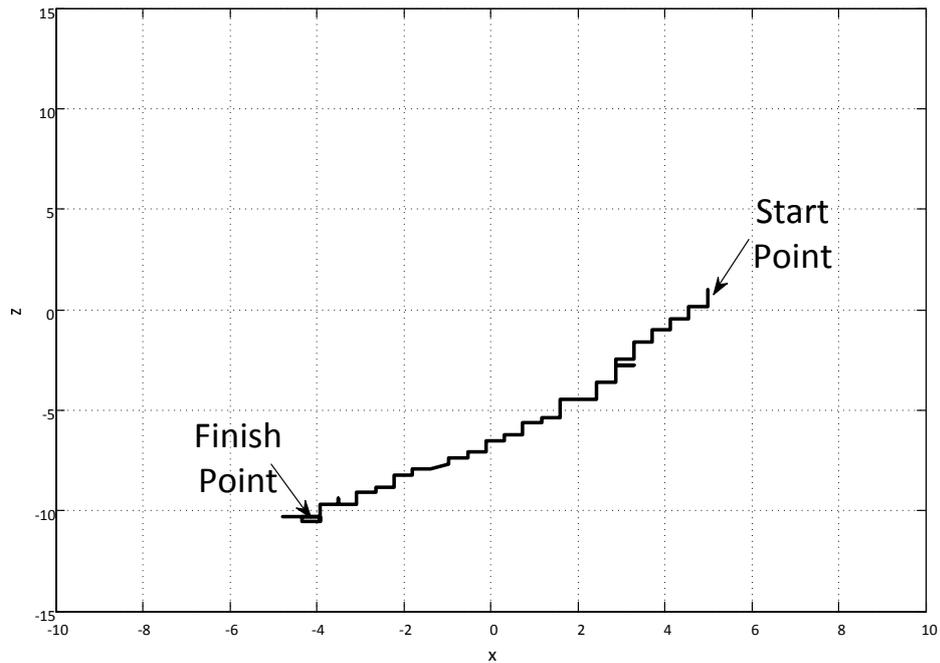


Рис.9.– Траектория движения мини-корабля из точки (0,5) в точку (-4,-10)

Во втором эксперименте, мини-корабль должен был выйти на заданный курс ($\varphi = 1.3 \text{ rad}$) при заданной скорости движения ($V = 1.6 \text{ м/с}$). График изменения курса и скорости мини-корабля при его выход на заданную скорость с заданной ориентацией показаны на рисунках 10 и 11.

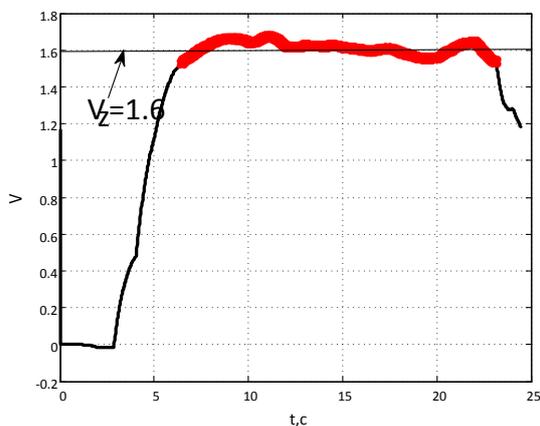


Рис. 11.–Изменение скорости движения мини-корабля

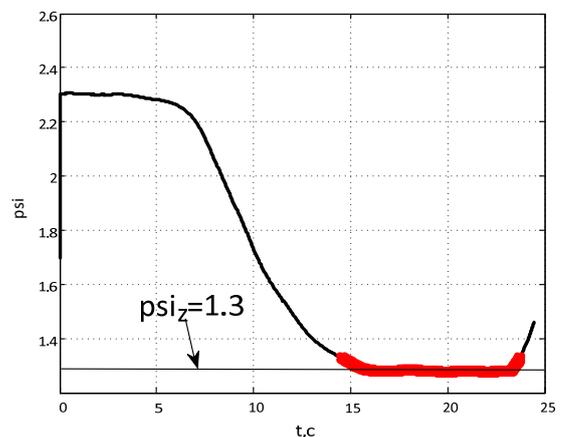


Рис. 10. – Изменение курса мини-корабля

Заключение

В работе разработан авторулевой автономного необитаемого надводного мини-корабля «Нептун». Полученные результаты

экспериментального исследования подтверждают работоспособность разработанной системы, а так же эффективность и корректность предложенных алгоритмов [2].

Работа выполнена при поддержке внутреннего гранта ЮФУ 213.01-24/2013-109 и гранта РФФИ №13-08-00 249-а.

Литература:

1. Пшихопов В.Х., Б.В.Гуренко Разработка и исследование математической модели автономного надводного мини-корабля «Нептун» [Электронный ресурс] // "Инженерный вестник Дона", 2013, №4. – Режим доступа: <http://www.ivdon.ru/magazine/archive/n4y2013/> (доступ свободный) – Загл. с экрана. – Яз. рус.

2. Пшихопов В.Х., Б.В.Гуренко Синтез и исследование авторулевого надводного мини-корабля «Нептун» [Электронный ресурс] // "Инженерный вестник Дона", 2013, №4. – Режим доступа: <http://www.ivdon.ru/magazine/archive/n4y2013/> (доступ свободный) – Загл. с экрана. – Яз. рус.

3. Пшихопов, В.Х. Позиционно-траекторное управление подвижными объектами[Текст]:Монография/В.Х. Пшихопов – Таганрог: Изд-во ТТИ ЮФУ, 2009. –183 с.

4. Пшихопов В.Х., Медведев М.Ю. Структурный синтез автопилотов подвижных объектов с оцениванием возмущений [Текст]// Информационно-измерительные и управляющие системы. – 2006. – № 1. – С. 103-109.

5. Пшихопов В.Х. Аттракторы и репеллеры в конструировании систем управления подвижными объектами[Текст] // Известия ТРТУ. – 2006. – № 3 (58). – С. 49-57.

6. Пшихопов В.Х., Сиротенко М.Ю., Гуренко Б.В. Структурная организация систем автоматического управления подводными аппаратами для априори неформализованных сред[Текст]// Информационно-измерительные и управляющие системы. Интеллектуальные и адаптивные роботы. – М.: Изд-во Радиотехника, 2006. – № 1-3. – Т. 4. – С.73-79.

7. Пшихопов В.Х., Суконкин С.Я., Нагучев Д.Ш., Стракович В.В., Медведев М.Ю., Гуренко Б.В., Костюков В.А., Волощенко Ю.П. Автономный подводный аппарат «СКАТ» для решения задач поиска и обнаружения затонувших объектов [Текст] // Известия ЮФУ. Технические науки. – 2010. – № (104). – С. 153-163.

8. Medvedev M. Y., Pshikhovov V.Kh., Robust control of nonlinear dynamic systems [Text] // Proc. of 2010 IEEE Latin-American Conference on Communications. September 14 – 17, 2010, Bogota, Colombia. ISBN: 978-1-4244-7172-0.

9. Pshikhovov V.Kh., Medvedev M.Yu., Gaiduk A.R., Gurenko B.V. Control System Design for Autonomous Underwater Vehicle [Text]

10. Pshikhovov V., Medvedev M., Kostjukov V., Fedorenko R., Gurenko B., Krukhmalev V. Airship autopilot design [Text] // Proceedings of SAE AeroTech Congress&Exhibition. October 18-21, 2011.

11. Pshikhovov V.Kh., Medvedev M.Yu., Gurenko B.V. Homing Autopilot Design for Autonomous Underwater Vehicle [Text]

12. Федоренко Р.В. Алгоритмы автопилота посадки роботизированного дирижабля [Электронный ресурс] // "Инженерный вестник Дона", 2011, №1. – Режим доступа: <http://www.ivdon.ru/magazine/archive/n1y2011/371> (доступ свободный) – Загл. с экрана. – Яз. рус.