УДК 629.12

DEVELOPMENT OF THE MEASUREMENT SYSTEM OF DYNAMIC CHARACTERISTICS FOR THE ISLAND-CLASS PATROL BOAT

РОЗРОБКА СИСТЕМИ ВИМІРЮВАННЯ ДИНАМІЧНИХ ХАРАКТЕРИСТИК ДЛЯ ПАТРУЛЬНОГО КАТЕРУ КЛАСУ «ISLAND»

Andrii M. Voitasyk
andrii.voitasyk@nuos.edu.ua
ORCID: 0000-0002-9409-6108

Andriy S. Sirivchuk
sirivchuka@gmail.com
ORCID: 0000-0003-2927-2600

Dmitry V. Kostenko
dmi.kostenko@gmail.com
ORCID: 0000-0003-2251-6932

А.М. Войтасик,
ст. викладач

А.С. Сірівчук,
ст. викладач

Д.В. Костенко,
канд. техн. наук, доцент

Admiral Makarov National University of Shipbuilding, Mykolaiv
Національний університет кораблебудування імені адмірала Макарова, м. Миколаїв

Abstract

Purpose. Development of the structure and principles of the measurement system of dynamic characteristics of movement, proposed taking into account technical capabilities the «Island»-class patrol boats. *Method.* The correct operation of the measurement system of dynamic characteristics of a marine moving object is ensured by the use of median filters to filter the sensors from noise, Madgwick filters to eliminate problems of accuracy of data processing from sensors, Adams method to determine acceleration by integrating linear velocities of a marine object. *Results.* Based on the use of three-axis sensors such as accelerometer, magnetometer, gyroscope and GPS-receiver, placed in a single structural module, the developed system is able to measure the basic dynamic parameters of the marine moving object on which the sensor module is installed, for further selection and design various hinged equipment. *Scientific novelty.* Obtaining the necessary navigation information for the measurement system of dynamic characteristics, in relation to the current technical parameters of the marine moving object, it is proposed to implement using a single sensor module. The module includes three-axis sensors in the form of circuit devices that are able to perform the functions of an accelerometer, magnetometer, gyroscope and GPS-receiver of the satellite signal. For information exchange of data between executive sensors and the measurement system of dynamic characteristics the structure of software implementation of data processing constructed in the MATLAB Simulink software environment which uses the author's protocol of transfer in the UDP format is offered. *Practical importance.* Developed of the measurement system of dynamic characteristics of the marine mobile object is prepared for joint research with the Central Scientific Research Institute of Armament and Military Equipment of the Armed Forces of Ukraine research field naval tests based on the Island-class patrol boat. The proposed development is competitive in comparison with existing models of similar systems presented on the world commodity market. Its main differences are the features of the circuit implementation, the form of information representation by means of the software environment MATLAB Simulink and lower cost of production of the current sample.

Keywords: patrol boat, hinged equipment, measurement system of dynamic characteristics, sensor module.

Анотація.

Мета. Розробка структури та принципів роботи системи вимірювання динамічних параметрів руху, які запропоновані з урахуванням технічних можливостей патрульних катерів класу «Island». *Методика.* Коректна робота системи вимірювання динамічних характеристик морського рухомого об'єкта забезпечується застосуванням медіанних фільтрів для фільтрації показників датчиків від шуму, фільтрів Маджвіка для усування проблем точності обробки даних від датчиків, методу Адамса для визначення прискорень за допомогою інтегрування лінійних швидкостей руху морського об'єкта. *Результати.* На базі використання трьохосьових датчиків типу акселерометра, магнітометра, гіроскопа та GPS-приймача, розміщених в єдиному конструктивному модулі, розроблена система здатна забезпечити вимірювання основних динамічних параметрів морського рухомого об'єкта, на якому встановлений модуль датчиків, з метою подальшого вибору та проектування для нього різноманітного начіпного обладнання. *Наукова новизна.* Отримання необхідної навігаційної інформації для системи вимірювання динамічних характеристик, стосовно поточних технічних параметрів морського рухомого об'єкта, запропоновано реалізовувати з застосуванням єдиного модуля датчиків. До складу модуля входять трьохосьові датчики у вигляді схемотехнічних пристроїв, які здатні виконувати функції акселерометра, магнітометра, гіроскопа та GPS-приймача супутникового сигналу. Для інформаційного обміну даними між виконавчими датчиками та системою вимірювання динамічних характеристик запропоновано структуру програмної реалізації обробки даних, побудованої у програмному середовищі MATLAB Simulink, яка використовує авторський протокол передачі у форматі UDP. *Практична значимість.* Розроблена система вимірювання динамічних характеристик морського рухомого об'єкта підготовлена до проведення спільних з Центральним науково-дослідним інститутом озброєння та військової техніки Збройних Сил України дослідницьких натурних морських випробувань на базі патрульного катера класу «Island». Запропонована розробка є конкурентоспроможною в порівнянні з існуючими зразками подібних систем представлених на світовому товарному ринку. Основними її відмінностями є особливості схемотехнічної реалізації, форма інформаційного представлення засобами програмного середовища MATLAB Simulink та менша собівартість виробництва діючого зразка.

Ключові слова: патрульний катер, начіпне обладнання, система вимірювання динамічних характеристик, модуль з датчиків.

REFERENCES

[1] Panchyshyn, V. (2020) Armija INFORM. VMS Ukrai'ny planujut' modernizuvaty ta pereozbroi'ty katery klasu «Ajlend». URL: https://armyinform.com.ua/2020/11/vms-ukrayiny-planuyut-modernizuvaty-ta-pereoz broyity-katery-klasu-ajlend/

[2] Morskaja Tehnika. Produkcija kompanii Anschutz. URL: https://marinetec.com/ru/servisnoe-obslughivanie/spektr-obsluzhivaemogo-oborudov aniya/servis-vspomogatelnogo-sudovogo-oborudovaniya/98-kontent-russkij-yazyk/m orskoe-napravlenie/sudovaya-radioelektronika/477-rls-girokompasy-avtorulevye-rayt heon-anschutz

[3] MARINSAT. Sperry Marine MK37 VT Gyrocompass. URL: https://www. marinsat.com/en/product/mk37-vt

[4] Zamorsky, A. (2020). Girokompas z neprjamym keruvannjam dlja nazemnyh ruhomyh ob'jektiv. Visnyk Kyi'vs'kogo politehnichnogo instytutu. Serija Pryladobuduvannja, (59(1), 5–23. URL: https://doi.org/10.20535/1970.59(1).2020. 210165

[5] OPTOLINK. Besplatformennye inercial'nye navigacionnye sistemy. URL: http://www.optolink.ru/ru/products/strapdown_inertial_navigation_ systems

[6] NauticEXPO. Girokompas dlja sudna SC-130. URL: https://www.nautic expo.ru/prod/furuno/product-21522-224515.html

[7] Sputnikovyj kompas KGC-222. Otlichitel'nye osobennosti. URL: https://marinetec.com/ru/catalogue/product/view/40/353

[8] Gruppa kompanij «Svjaz' i Radiosvjaz'». Sudovoj kombinirovannyj priemoindikator Farvater PK-21026. URL: https://cirspb.ru/equipment-and-service/satcomp/farvaterpk2106compsat/

[9] Gyro Compass & GPS Compass Sitex. URL: https://www.wmjmarine.com /navigation-tool-electronic-compass.html

[10] Habr. MEMS- akselerometry i giroskopy – razbiraemsja v specifikacii. URL: https://habr.com/ru/post/431566

[11] Sebastian, O.H. (2010) Madgwick An efficient orientation filter for inertial and inertial/magnetic sensor arrays. URL: http://x-io.co.uk/res/doc/ madgwick_internal_report.pdf.

ПОСТАНОВКА ПРОБЛЕМИ

Враховуючі загрози, що виникли в Азово-Чорноморському регіоні, Військово-Морським Силам (ВМС) Збройних Сил України необхідно збільшити свій бойовий потенціал як за рахунок збільшення корабельно-катерного складу, так і оновлення його озброєння. Збільшення корабельно-катерного складу передбачає отримання п'яти патрульних катерів типу «*Island*» [1]. Наразі ухвалено рішення щодо проведення заходів з технічної модернізації та переозброєння даних патрульних катерів.

Однак, сьогодні виникає питання технічних можливостей щодо встановлення на катері додаткових засобів озброєння та ефективного його використання. Для цього необхідно провести аналіз динамічних характеристик руху катера та точки встановлення додаткового озброєння. Тому набуває актуальності задача вимірювання параметрів кутового положення, поступальної та кутової швидкості, лінійного та кутового прискорень в точці кріплення озброєння. За допомогою GPS-інформації та інформації про погодні умови на борту катера зберігаються данні, що будуть закладені в основу технічного завдання для оновлення озброєння даних катерів.

АНАЛІЗ ОСТАННІХ ДОСЛІДЖЕНЬ І ПУБЛІКАЦІЙ

Наразі, для визначення показників курсу морського катера застосовують гірокомпаси. Найчастіше це гірокомпаси таких відомих виробників, як наприклад, «*Anschutz*» та «*Sperry Marine*», які застосовують в своїй конструкції маятниковий вантаж [2, 3].

Безплатформні системи орієнтації використовують лазерні, або волокнисто-оптичні гіроскопи [4]. Вони мають мікроконтролерне керування та здатні визначати: курс, крен, диферент, швидкість відносно 3-х осей катера та кутові швидкості повороту. У даному сегменті морського приладобудування достатньо відомі вироби серії «БІНС-500» [5]. Подібні вироби більш надійні та механічно прості в порівнянні зі звичайними гірокомпасами.

Для підвищення надійності визначення курсу використовують супутникові компаси, наприклад «*Furuno*», або «*Koden*», які здатні також надавати інформацію стосовно поточного положення (*GPS* координат) та швидкостей руху катера. У таких варіантах застосовують декілька антенних приймачів [6, 7].

Серед існуючих зразків є і прийомні індикатори глобальної навігаційної супутникової системи, наприклад «РК-2106», які мають в своєму функціоналі можливості визначення положення та швидкостей руху катера [8].

Аналогом запропонованої в статті розробки є більш зручний клас виробів, які в повній мірі можуть з високою точністю забезпечити вимірювання крену, диференту, курсу, поступальної швидкості, лінійних прискорень, кутових швидкостей та запис траєкторії руху катера, застосовуючи технологію *GPS*. Серед світових виробників, схожих за технічними параметрами, представлено лише зразки вартістю понад 600 $, серед яких найбільш відомими є пристрої виробництва компанії «*Sitex*» [9].

ВІДОКРЕМЛЕННЯ НЕВИРІШЕНИХ РАНІШЕ ЧАСТИН ЗАГАЛЬНОЇ ПРОБЛЕМИ

Вказані засоби визначення параметрів мають невелику частоту оновлення сигналу (10-30 Гц), що є достатнім для навігації катера, але не дає змогу оцінити параметри, що впливають на обладнання, з більшою частотою (наприклад, вібрації на конструкції кріплення). Також, дане обладнання працює за стандартизованими протоколом *NMEA*, що не дає можливості отримання інформації безпосередньо від системи датчиків.

МЕТА ДОСЛІДЖЕННЯ — розробка структури та принципів роботи системи вимірювання динамічних параметрів руху, які запропоновані з урахуванням технічних можливостей патрульних катерів класу «*Island*».

ОБ'ЄКТ ТА ПРЕДМЕТ ДОСЛІДЖЕННЯ

В якості ***об'єкта дослідження*** обрано структуру і склад системи вимірювання, яка складається з системи датчиків вимірювання та персонального комп'ютера як засобу обробки та зберігання інформації.

Предмет дослідження — принципи роботи системи вимірювання динамічних характеристик катера, на базі персонального комп'ютера з використанням програмного пакету *MATLAB Simulink*.

ОСНОВНИЙ МАТЕРІАЛ

Вимірювання динамічних характеристик реалізується застосуванням модуля з датчиками, до яких відноситься акселерометр, магнітометр та гіроскоп, додатково система обладнана *GPS*, що дає змогу не тільки виконувати прив'язку до координат, а й до часу проведення експерименту.

Модуль з датчиками (рис. 1) має клас захисту IP67, що дозволяє його використовувати навіть при хвилюванні моря 3-5 балів, з можливістю потрапляння хвиль на палубу катера.

Рис. 1. Зовнішній вигляд модуля датчиків

Модуль включає в себе *GPS*-приймач, блок датчика руху та систему опитування датчиків. Блок датчика руху включає в себе 3-осьовий гіроскоп, 3-осьовий акселерометр, 3-осьовий компас на базі датчиків Холла, які розташовані на одній мікросхемі, що виключає необхідність корекції показників датчиків, викликаних можливістю неспіввісного їх встановлення. Система опитування датчиків забезпечує отримання даних про положення катера та формування пакету даних за протоколом *UDP*. Технічні характеристики всього модуля представлені в таблиці 1.

Для обробки даних від блока датчиків використовується персональний комп'ютер з програмним забезпеченням *MATLAB Simulink* (рис. 2). Використання даного програмного продукту забезпечує високу гнучкість в обробці інформації, застосування високопродуктивних алгоритмів інтегрування та диференціювання, відображення параметрів в режимі реального часу та їх зберігання для подальшої обробки.

Блок *Packet Input* є стандартним блоком середовища Simulink та відповідає за отримання інформації за протоколом *UDP*. Підсистема *Packet Parser* відповідає за перетворення отриманого набору байт в числові значення виміряних параметрів, а *Normalization* приводить отриманні дані до фізичних величин, з урахуванням фільтру (рис. 2).

При використанні реальних датчиків виникає необхідність корекції та фільтрації їх показників і налаштування внутрішніх параметрів датчиків [10]. Фільтрація показників датчиків від шуму виконується медіанним фільтром:

$$y_k = med(x_{k-n}, x_{k-n+1}, \ldots, x_{k+n-1}, x_{k+n}),$$

де y — поточна точка вимірювальної величини, k — номер поточної точки вимірювання, n — половина кількості точок медіанного фільтру, x — показники датчика. Використання медіанного фільтру обумовлене більшою швидкістю передачі сигналу від датчиків ніж проходження фізичних переміщень.

Визначення кутового положення розраховується в блоці *Madgwick* по однойменному алгоритму [11]. При використанні магнітометра систему слід встановлювати, на відстані від магнітотвердих матеріалів, оскільки вони викривляють показники магнітометра. В такому разі початкове визначення курсу визначається по даним *GPS*.

Для визначення лінійних прискорень використовується функція *accelerationCalc*, а лінійна швидкість визначається за допомогою інтегрування отриманого прискорення методом Адамса, який обирається в налаштуваннях *MATLAB Simulink*.

Таблиця 1. Технічні характеристики модуля датчиків

№	Найменування параметра	Значення
1.	Вимірювальні параметри	GPS 3-осьовий гіроскоп: ± 1000 °/c, 3-осьовий акселерометр: ± 8g 3-остовий компас на базі датчиків Холла: ± 4800 мкТл
2.	Протокол передачі даних	UDP (авторський)
3.	Частота опитування даних, Гц	100
4.	Напруга постійного живлення, В	12
5.	Клас захисту	IP67
6.	Габаритні розміри, мм	Ø120x290
7.	Маса, кг	2,21

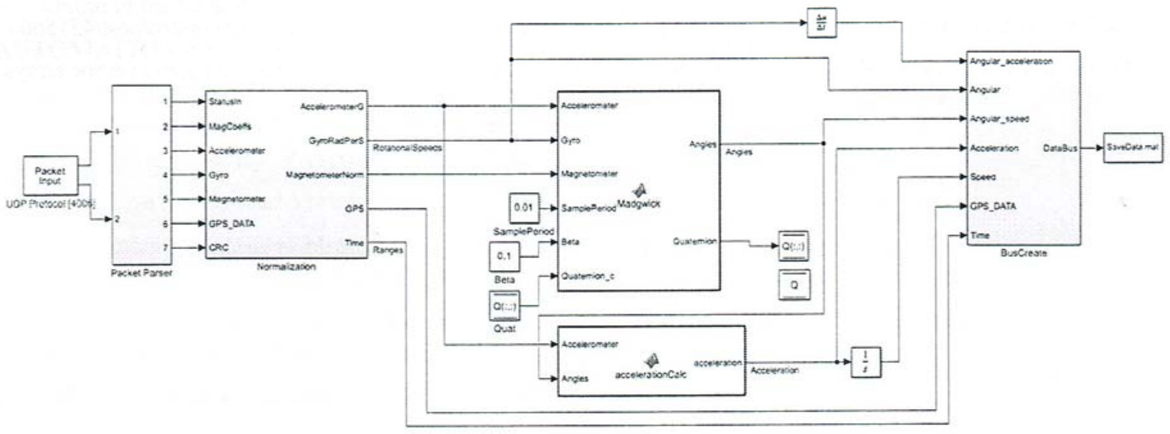

Рис. 2. Программа обробки даних

Підсистема *BusCreate* створює єдиний масив даних для запису в файл для подальшої обробки отриманої інформації.

ОБГОВОРЕННЯ ОТРИМАНИХ РЕЗУЛЬТАТІВ

Розроблена система базується на використанні трьохосьових датчиків, до яких відносяться акселерометр, магнітометр, гіроскоп та *GPS*-приймач, розміщених в єдиному конструктивному модулі, здатному забезпечити вимірювання основних динамічних параметрів морського рухомого об'єкта, на якому він встановлений, з метою подальшого вибору та проектування для нього начіпного обладнання.

ВИСНОВКИ. 1. Розроблена система вимірювання динамічних характеристик морського рухомого об'єкта підготовлена до проведення спільних з Центральним науково-дослідним інститутом озброєння та військової техніки Збройних Сил України дослідницьких натурних морських випробувань на базі патрульного катера класу «Island».

2. Запропонована розробка є конкурентоспроможною в порівнянні з існуючими зразками подібних систем, представлених на світовому товарному ринку. Основними її відмінностями є особливості схемотехнічної реалізації, форма інформаційного представлення засобами програмного середовища *MATLAB Simulink* та менша собівартість виробництва діючого зразка.

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

[1] **Панчишин, В.** (2020) Армія INFORM. ВМС України планують модернізувати та переозброїти катери класу «Island». URL: https://armyinform.com.ua/2020/11/vms-ukrayiny-planuyut-modernizuvaty-ta-pereoz broyity-katery-klasu-ajlend/

[2] Морская Техника. Продукция компании Anschutz. URL: https://marinetec.com/ru/servisnoe-obslughivanie/spektr-obsluzhivaemogo-oborudov aniya/servis-vspomogatelnogo-sudovogo-oborudovaniya/98-kontent-russkij-yazyk/m orskoe-napravlenie/sudovaya-radioelektronika/477-rls-girokompasy-avtorulevye-rayt heon-anschutz

[3] MARINSAT. Sperry Marine MK37 VT Gyrocompass. URL: https://www. marinsat.com/en/product/mk37-vt

[4] **Zamorsky, A.** (2020). Гірокомпас з непрямим керуванням для наземних рухомих об'єктів. Вісник Київського політехнічного інституту. Серія Приладобудування, (59(1), 5–23. URL: https://doi. org/10.20535/1970.59(1).2020. 210165

[5] OPTOLINK. Бесплатформенные инерциальные навигационные системы. URL: http://www.optolink.ru/ru/products/strapdown_inertial_navigation_ systems

[6] NauticEXPO. Гирокомпас для катера SC-130. URL: https://www.nautic expo.ru/prod/furuno/product-21522-224515.html

[7] Спутниковый компас KGC-222. Отличительные особенности. URL: https://marinetec.com/ru/catalogue/product/view/40/353

[8] Группа компаний «Связь и Радиосвязь». Судовой комбинированный приемоиндикатор Фарватер РК-21026. URL: https://cirspb.ru/equipment-and-service/satcomp/farvaterpk2106compsat/

[9] Gyro Compass & GPS Compass Sitex. URL: https://www.wmjmarine.com /navigation-tool-electronic-compass.html

[10] MEMS-акселерометры и гироскопы – разбираемся в спецификации. URL: https://habr.com/ru/post/431566

[11] **Sebastian, O.H.** (2010) Madgwick An efficient orientation filter for inertial and inertial/magnetic sensor arrays. URL: http://x-io.co.uk/res/doc/ madgwick_internal_report.pdf.