

АВТОМАТИЗАЦІЯ І КОМП'ЮТЕРНО-ІНТЕГРОВАНІ КОМПЛЕКСИ

УДК 681.5

DOI 10.31471/1993-9981-2024-2(53)-53-59

ІНФОРМАЦІЙНА МОДЕЛЬ ПРИРОДООХОРОННОГО БЕЗЕКІПАЖНОГО НАДВОДНОГО СУДНА ЯК ОБ'ЄКТА АВТОМАТИЗАЦІЇ

Б. М. Гордєєв, Ж. Ю. Буруніна, І. П. Сабуцький

*Національний університет кораблебудування імені адмірала Макарова,
проспект Центральний 3, м. Миколаїв, 54029, Україна;*

e-mail: bvs050803@ukr.net, b.gordeev@amiko.ua, sabutskyi1994@gmail.com

У статті запропоновано науково-методологічне підґрунтя для розробки ефективних систем автоматичного керування природоохоронним безекіпажним надводним судном. Теоретичну основу утворює множина інформаційних моделей такого судна як об'єкта його автоматизації для основних режимів експлуатації. Аналіз режимів роботи природоохоронного судна показав, що його інформаційну модель можна представити у вигляді трьох основних складових: субмоделі внутрішніх інформаційних потоків, що функціонують на судні між складовими його обладнання, субмоделі зовнішніх інформаційних потоків, що описують канали обміну інформацією між судном і береговим центром керування, та субмоделі фізичних полів різної природи, які породжуються надводним судном та його корисним вантажем. Інформаційну субмодель внутрішніх інформаційних потоків запропоновано створювати у складі інформаційних потоків від датчиків, що вимірюють гідрофізичні та гідрохімічні характеристики морського середовища, інформаційних потоків від навігаційних датчиків судна, що вимірюють параметри його руху як об'єкта автоматичного керування, інформаційних потоків системи керування основною енергетичною установкою судна та його рушійно-рульовою установкою, інформаційних потоків від датчиків діагностичної системи судна, які дають змогу контролювати її технічний стан та прогнозувати тривалість морської місії. Інформаційну субмодель зовнішніх інформаційних потоків пропонується створювати у складі інформаційних потоків від сенсорів виконавчих механізмів і систем судна та його корисного вантажу, а також від сенсорів систем контролю та діагностики судна та корисного вантажу, інформаційних потоків, які утворюють сигнали дистанційного ручного чи автоматизованого керування судном, а також інформаційних потоків від системи документування процесу та результатів роботи. Інформаційну субмодель фізичних полів різної природи, які породжує судно та його корисний вантаж, пропонується створювати у складі інформаційних потоків акустичних та гідроакустичних шумів механізмів судна та корисного вантажу, теплових та електромагнітних випромінювань судна, випромінювань його гідроакустичної апаратури. Отримана множина моделей може бути використана при розробці алгоритмічного та програмного забезпечення природоохоронного безекіпажного надводного судна як об'єкта автоматизації.

Ключові слова: безекіпажне надводне судно, автоматичне керування, інформаційна модель, інформаційний потік, природоохоронна місія.

The article proposes a scientific and methodological basis for the development of effective automatic control systems for an environmental unmanned surface vessel. The theoretical basis is formed by a set of information models of such a vessel as an object of its automation for the main operating modes. Analysis of the operating modes of an environmental vessel showed that its information model can be represented in the form of three main components: submodels of internal information flows that operate on the vessel between the components of its equipment, submodels of external information flows that describe the channels of information exchange between the vessel and the shore control center, and submodels of physical fields of various natures that are generated by the surface vessel and its payload. It is proposed to create an information submodel of internal information flows as a part of information flows from sensors measuring hydrophysical and hydrochemical characteristics of the marine environment, information flows from navigation sensors of the vessel measuring parameters of its movement as an object of automatic control, information flows of the control system of the main power plant of the vessel and its propulsion and steering system, information flows from sensors of the vessel diagnostic system, which allow to monitor its technical condition and predict the duration of the sea mission. It is proposed to create an information

submodel of external information flows as a part of information flows from sensors of actuators and systems of the vessel and its payload and from sensors of control and diagnostic systems of the vessel and payload, information flows that form signals of remote manual or automated control of the vessel, as well as information flows from the system of documenting the process and results of work. It is proposed to create an information submodel of physical fields of various natures generated by the vessel and its payload as part of information flows of acoustic and hydroacoustic noises of the vessel's mechanisms and payload, thermal and electromagnetic radiation of the vessel, and radiation of its hydroacoustic equipment. The resulting set of models can be used in the development of algorithmic and software support for an environmental unmanned surface vessel as an automation object.

Keywords: unmanned surface vessel, automatic control, information model, information flow, environmental mission.

Вступ

Безекіпажні надводні судна (БНС, в англomовній літературі – Unmanned Surface Vessels, USV) є ефективним технічним засобом для дослідження океану [1-3]. За їх допомогою на цей час виконуються операції зі збору та передачі просторової інформації про морське середовище.

Досвід застосування засобів морської робототехніки у наукових і транспортних морських місіях свідчить, що до переваг застосування БНС порівняно з традиційними (пілотованими) технічними засобами вивчення океану відносяться [4-5]:

- виключення ризику для життя і здоров'я дослідників океану;
- можливість виконувати тривалі морські місії у найвіддаленіших акваторіях та у складних погодних умовах;
- низькі витрати на технічне обслуговування БНС у міжрейсовий період.

Сучасні властивості БНС як засобів морської робототехніки стали можливими завдяки широкому застосуванню у складі обладнання БНС компактних і дешевих систем зв'язку, навігації та контролю, сенсорів гідрофізичних і гідрохімічних характеристик морського середовища.

Разом з тим, практична експлуатація надводних і підводних засобів робототехніки вказує на низку проблем у їх технічних можливостях, серед яких зазначаються проблеми в системах інформаційного забезпечення – каналах інформаційного обміну і зв'язку, автоматичного керування тощо [6, 7].

БНС – це морський робот, який працює повністю автономно та має зв'язок

з береговим центром керування (БЦК). Важливою складовою робіт по вдосконаленню систем автоматичного керування такими роботами є розробка їх інформаційних моделей, оскільки вони утворюють теоретичне підґрунтя для аналізу особливостей функціонування морських роботів та синтезу високоефективних систем автоматичного керування ними.

Це обумовлює актуальність пропонованої статті.

Теоретичне обґрунтування

Синтез високоефективних систем керування БНС ґрунтується на чіткому уявленні про режими його роботи, про джерела та споживачів інформації в цих режимах, про канали інформаційного обміну та особливості впливу зовнішнього середовища, у якому функціонує БНС. Науково-методологічною основою такого синтезу є інформаційна модель судна, яка, згідно із загальновідомими технічними уявленнями, являє собою систему сигналів, що характеризує динаміку об'єкта керування та описує його інформаційні потоки, стан самої системи керування та умови зовнішнього середовища [8].

Аналіз науково-технічної літератури за напрямком «інформаційні моделі суден» свідчить, що їх розробка та використання спостерігається у наступних основних напрямках:

- при плануванні, проектуванні та виконанні суднобудівних проектів у цілому [9];
- при плануванні сценаріїв промислового використання суден [10, 11];
- при розробках систем інформаційної безпеки транспортних суден [12];

– при модернізації суден з метою покращення їх автономних навігаційних функцій, таких як контроль курсу, слідування шляху та уникнення зіткнень [13].

Так, у роботі [9] показано, що інформаційне моделювання суден змінює спосіб планування, проектування та виконання суднобудівних проектів. Використовуючи цифрові моделі для візуалізації та симуляції суден, що будуються, досягається більша ефективність та точність будівельних робіт. Однак питання аналізу інформаційних потоків при керуванні судном роботі не розглядаються.

У статтях [10, 11] розглядаються питання аналізу інформаційних потоків при, відповідно, керуванні логістичними процесами транспортного ланцюга «залізничний контейнер – судно» та керуванні процесами інформаційного обміну всередині групи рибпромислових суден. Однак описані моделі не враховують особливості автоматичного керування суднами, які виконують природоохоронні місії.

Стаття [12] присвячена розробці та впровадженню прототипової моделі-дефініції «Інформаційна безпека судна», що призначена для поліпшення інформаційної безпеки судноплавства. Проте питання створення комплексної моделі функціонування судна автор не розглядає.

Досить близькою до створення повнофункціональної інформаційної моделі судна є стаття [13], у якій автор описує інформаційну модель процесу модернізації морської яхти, включаючи механічну модернізацію, перепроєктування апаратного забезпечення, розгортання програмного забезпечення та функціональне тестування. Модернізація системи керування передбачає забезпечення автономних навігаційних функцій, таких як контроль курсу, слідування шляху та уникнення зіткнень. Однак питання інформаційного

моделювання повного переліку режимів роботи яхти та особливості інформаційного забезпечення роботи з корисним вантажем і процесами зв'язку з береговим центром керування автор не досліджує.

Таким чином, відомості про інформаційні моделі як суден загального призначення, так і природоохоронних суден у сучасній науково-технічній літературі відсутні.

Тому метою роботи є розробка множини інформаційних моделей природоохоронного безекіпажного надводного судна як об'єкта його автоматизації для основних режимів його експлуатації.

Інформаційну модель БНС будемо створювати методом аналізу його внутрішніх і зовнішніх інформаційних потоків для повного набору режимів його роботи. Для аналізу особливостей режимів роботи БНС використаємо метод узагальнення і класифікації.

Безекіпажне надводне судно природоохоронного призначення є носієм корисного вантажу – вимірювальних приладів та приладів для відбору проб води і повітря у заданих точках акваторій, які досліджуються. Інформаційне забезпечення функціонування БНС має виконувати наступні дві основні функції:

– ручне дистанційне, автоматизоване дистанційне та автоматичне керування виконавчими механізмами БНС в усіх режимах його роботи (інформаційне забезпечення процесів керування, які протікають всередині БНС);

– комунікацію (зв'язок за допомогою радіотелеметрії) між БНС та БЦК, звідки реалізується загальне керування морською місією судна і де виконується обробка отриманої інформації про морське середовище.

Особливістю першої функції БНС є необхідність формувати інформаційні масиви як для, власне, виконавчих механізмів БНС з метою їх належного функціонування та використання БНС за

призначенням, так і для БЦК з метою повного контролю операторами БНС його технічного стану на протязі усієї місії.

До особливостей другої функції БНС слід віднести:

- можливість передачі до БЦК контрольної інформації про технічний стан виконавчих механізмів БНС та його корисного вантажу, про зовнішню гідрологічну, кліматичну та навігаційну обстановку на протязі місії (телеметрична інформація);

- можливість прийому команд (сигналів керування) від БЦК для виконавчих механізмів БНС та корисного вантажу при ручному дистанційному та автоматизованому дистанційному керуванні ними в усіх режимах роботи судна.

Виходячи з наведених загальних вимог до інформаційного забезпечення БНС, розглянемо основні принципи побудови його інформаційної моделі як дистанційно вручну та автоматично керованого засобу морської робототехніки.

Згідно з загальновідомими технічними уявленнями, термін «інформаційна модель» означає систему сигналів, які свідчать про динаміку об'єкта керування, та описує його інформаційні потоки, стан самої системи керування та умови зовнішнього середовища [8].

Таким чином, у нашому випадку під інформаційною моделлю БНС IM_{USV} будемо розуміти:

- внутрішні інформаційні потоки $I_I = \{I_{IS-USV}; I_{IS-P}; I_{IS-CDS-USV}; I_{IS-CDS-P}; I_{IC-USV}; I_{IC-P}\}$, які мають місце всередині БНС і забезпечують функціонування безекіпажного надводного судна та його корисного вантажу;

- інформація I_{IS-USV} від сенсорів виконавчих механізмів самого безекіпажного надводного судна;

- інформація I_{IS-P} від сенсорів корисного вантажу БНС – науково-дослідного обладнання, призначеного для дослідження водного та повітряного середовища;

- інформація $I_{IS-CDS-USV}$ та $I_{IS-CDS-P}$ від сенсорів систем контролю та діагностики БНС та його корисного вантажу (Control and Diagnostic Systems, CDS);

- сигнали керування I_{IC-USV} виконавчими механізмами БНС;

- сигнали керування I_{IC-P} корисним вантажем БНС;

- зовнішні інформаційні потоки $I_E = \{I_{E-T}; I_{E-C}; I_{E-D}\}$, які характерні для каналів обміну інформацією між системою комунікації (зв'язку) БНС та пристроями БЦК;

- телеметрична інформація I_{E-T} від сенсорів усіх механізмів і систем БНС та його корисного вантажу, а також від сенсорів систем контролю та діагностики БНС та його корисного вантажу;

- сигнали I_{E-C} дистанційного ручного чи автоматизованого керування БНС в усіх режимах його функціонування за призначенням;

- інформація I_{E-D} від системи документування процесу та результатів роботи БНС.

Крім вказаних двох видів інформаційних потоків, специфіка застосування БНС вимагає урахування ще одного виду його зовнішніх інформаційних потоків I_F – інформації про фізичні поля різної природи, які генеруються (випромінюються) судном та його корисним вантажем та негативно впливають на природне середовище.

У загальному вигляді, до множини таких потоків інформації необхідно віднести:

- акустичні I_{F-AN} та гідроакустичні I_{F-HN} шуми механізмів БНС та корисного вантажу;

- теплові I_{F-T} та електромагнітні I_{F-EM} випромінювання БНС, а також випромінювання його гідроакустичної апаратури I_{F-HA} .

Вказані інформаційні потоки утворюються під час функціонування БНС та його корисного вантажу і мають бути контрольованими через загрози негативного впливу на морське середовище під час виконання морської місії.



Рисунок 1 - Інформаційна модель безпечного надводного судна IM_{USV}

Тоді, у загальному вигляді, інформаційну модель БНС IM_{USV} можна представити у вигляді трьох основних складових – субмоделей (індексні позначення інформаційних субмоделей співпадають з індексними позначеннями інформаційних потоків):

$$IM_{USV} = \{IM_I; IM_E; IM_F\} = \\ = \{IM_{IS-USV}; IM_{IS-P}; IM_{IS-CDS-USV}; IM_{IS-CDS-P}; \\ IM_{IC-USV}; IM_{IC-P}; IM_{E-T}; IM_{E-C}; IM_{E-D}; \\ IM_{F-AN}; IM_{F-HN}; IM_{F-T}; IM_{F-EM}; IM_{F-HA}\},$$

де IM_I – інформаційна субмодель внутрішніх потоків інформації БНС, які циркулюють між обладнанням всередині судна;

IM_E – інформаційна субмодель зовнішніх інформаційних потоків БНС, характерних для каналів обміну інформацією між БНС та пристроями БЦК;

IM_F – інформаційна субмодель фізичних полів різної природи, які породжуються БНС та його корисним вантажем і негативно впливають на навколишнє середовище.

Таким чином, внутрішні I_I та зовнішні I_E інформаційні потоки БНС, а також інформаційні потоки I_F його фізичних полів належать до важливих складових при формуванні інформаційної моделі БНС.

Узагальнена структура інформаційної моделі БНС наведена на рис. 1.

Розглянемо особливості розробки інформаційних моделей БНС для наступних основних експлуатаційних режимів R_{BHC} :

– підготовка до місії в умовах берегового базування (тестовий режим R_{Test1});

– перехід у задану точку акваторії для виконання заданої природоохоронної місії (режим R_{Trip1});

– виконання місії надводних досліджень водного середовища (морська операція SO_{SR} , режим R_{SR});

– виконання місії підводних досліджень водного середовища (морська операція SO_{UR} , режим R_{UR});

– перехід у задану точку акваторії після виконання заданої місії (режим R_{Trip2});

– обробка результатів виконання заданої природоохоронної місії в умовах берегового базування (режим R_{PR});

– діагностика обладнання БНС та його корисного вантажу в умовах берегового базування (тестовий режим R_{Test2}).

Тобто, для кожного експлуатаційного режиму множини R_{USV} (2) завдання розробки інформаційних моделей БНС може бути представлене наступною множиною «режимних» інформаційних моделей (3), які відображають особливості інформаційних потоків для кожного режиму функціонування БНС:

$$R_{USV} = \{R_{Test1}; R_{Trip1}; R_{SR}; R_{UR}; R_{Trip2}; \\ R_{PR}; R_{Test2}\}, \quad (2)$$

$$IM_{USV} = \{IM_{Test1}; IM_{Trip1}; IM_{SR}; IM_{UR}; \\ IM_{Trip2}; IM_{PR}; IM_{Test2}\}. \quad (3)$$

Очевидно, що завдання розробки інформаційної моделі БНС необхідно розглядати комплексно, тобто, з урахуванням множин (2)-(3).

Запишемо повну множину IM_{USV} інформаційних моделей БНС як носія корисного вантажу для дослідження водного середовища у вигляді матриці розміром $[3 \times 7]$:

$$IM_{USV} =$$

Режим Суб- моделі	R_{Test}	R_{Trip1}	R_{SR}	R_{UR}	R_{Trip2}	R_{PR}	R_{Test2}
IM_I	IM_{I-Test}	$IM_{I-Trip1}$	IM_{I-SR}	IM_{I-UR}	$IM_{I-Trip2}$	IM_{I-PR}	$IM_{I-Test2}$
IM_E	IM_{E-Test}	$IM_{E-Trip1}$	IM_{E-SR}	IM_{E-UR}	$IM_{E-Trip2}$	IM_{E-PR}	$IM_{E-Test2}$
IM_F	IM_{F-Test}	$IM_{F-Trip1}$	IM_{F-SR}	IM_{F-UR}	$IM_{F-Trip2}$	IM_{F-PR}	$IM_{F-Test2}$

Очевидно, що кожен елемент матриці IM_{USV} – це підмножина інформаційних моделей, яка згідно (1) містить шість, три і п'ять інформаційних моделей відповідно для першого, другого і третього рядків матриці.

Таким чином, множина IM_{USV} утворює перелік прикладних робіт зі створення базових («режимних») інформаційних моделей БНС як об'єкта автоматизації та носія корисного вантажу для дослідження водного середовища.

У цілому, отримані результати утворюють теоретичне підґрунтя для аналізу особливостей функціонування та синтезу вдосконалених інформаційних систем морських роботів такого типу.

Зауважимо, що структурно більшість інформаційних моделей матричної множини IM_{USV} для всіх семи основних режимів роботи є однотипними, оскільки типовий БНС має скінчений перелік сенсорів і виконавчих механізмів, які постійно задіяні при практичній реалізації цих п'яти режимів роботи судна.

Проте, тільки синтез та наступний порівняльний аналіз базових моделей вказаної множини з позицій інформаційної складності дасть змогу отримати найбільш повну інформаційну модель БНС як носія корисного вантажу для дослідження водного середовища.

Таким чином, за своїми властивостями інформаційна модель безекіпажного надводного судна – це джерело відомостей про істотні для розгляду даного об'єкту

робототехніки параметри та змінні величини, які характеризують зв'язки між цими параметрами і змінними у процесі функціонування БНС та які дають змогу виконувати подальше проектування ефективних систем керування судном.

Отримана множина інформаційних моделей БНС описує основні інформаційні властивості БНС як джерела просторової інформації та як джерела і споживача керуючої інформації, яка забезпечує автоматичне функціонування морського робота такого типу. Отриманий перелік (множина) інформаційних моделей може бути використаний при розробці спеціального алгоритмічного та програмного забезпечення безекіпажних надводних катерів, які призначені для виконання природоохоронних місій.

Висновки

Розглянуто призначення та основні режими роботи природоохоронного безекіпажного надводного судна як засобу морської робототехніки, що виконує приладове дослідження водного середовища й функціонує в ручному, автоматизованому та повністю автоматичному режимах.

Запропоновано множину інформаційних моделей безекіпажного надводного судна у складі моделей внутрішніх і зовнішніх інформаційних потоків, що утворює теоретичну основу розробки інформаційного забезпечення систем автоматичного керування надводними засобами робототехніки.

Список використаних джерел / References

1. Manley J. E. Unmanned surface vehicles, 15 years of development. *OCEANS 2008*, Quebec City, QC, Canada. 2008. P. 1-4. DOI: [10.1109/OCEANS.2008.5152052](https://doi.org/10.1109/OCEANS.2008.5152052)
2. Dobref V., Popa I., Popov P., Scurtu I. C. Unmanned Surface Vessel for Marine Data Acquisition. *IOP Conference Series Earth and Environmental Science*. June 2018.

Vol. 172. 012034. DOI: [10.1088/1755-1315/172/1/012034](https://doi.org/10.1088/1755-1315/172/1/012034)

3. Sotelo-Torres F., Alvarez L.V., Roberts R.C. An Unmanned Surface Vehicle (USV): Development of an Autonomous Boat with a Sensor Integration System for Bathymetric Surveys. *Sensors*. 2023. Vol. 23 4420. DOI: [10.3390/s23094420](https://doi.org/10.3390/s23094420)

4. Othman E. H. A Review on Current Design of Unmanned Surface Vehicles (USVs). *Journal of Advanced Review on Scientific Research*. 2015. Vol. 16. No.1. P. 12-17.

5. Blintsov V., Aloba L. T. Control automation of maritime unmanned complex with a group of autonomous underwater vehicles. *EUREKA: Physics and Engineering*. 2019. No.4. P. 54-62. DOI: [10.21303/2461-4262.2019.00940](https://doi.org/10.21303/2461-4262.2019.00940)

6. Blintsov V., Maidaniuk P., Sirivchuk A. Improvement of Technical Supply of Projects of Robotized Monitoring of Underwater Conditions in Shallow Water Areas. *EUREKA: Physics and Engineering*. 2019. No.3. P. 41-49.

7. Zhixiang Liu, Youmin Zhang, Xiang Yu, Xiang Yu. Unmanned surface vehicles: An overview of developments and challenges. *Annual Reviews in Control*. 2016. Vol. 41. P. 71-93. DOI: [10.1016/j.arcontrol.2016.04.018](https://doi.org/10.1016/j.arcontrol.2016.04.018)

8. Information model. https://uk.wikipedia.org/wiki/інформаційна_модель [in Ukrainian]

9. 5 Ways Ship Information Modeling (SIM) is Revolutionizing Shipbuilding Projects. <https://naval-architect.io/ship-information-modeling-sim/>

10. Elbert R., Walter F. Information flow along the maritime transport chain – a simulation based approach to determine impacts of estimated time of arrival messages on the capacity utilization. *Proceedings of the Winter Simulation Conference*, Savannah, GA, USA. 2014. P. 1795-1806. DOI: [10.1109/WSC.2014.7020028](https://doi.org/10.1109/WSC.2014.7020028)

11. Little L.R., Kuikka S., Punt A.E., Pantus F., Davies C.R., Mapstone B.D. Information flow among fishing vessels modelled using a Bayesian network. *Environmental Modelling & Software*. 2004. Vol. 19. Iss. 1. P. 27-34. DOI: [10.1016/S1364-8152\(03\)00100-2](https://doi.org/10.1016/S1364-8152(03)00100-2)

12. Vilsky G. Model-definition "Information security of a ship". *Ukrainian Scientific Journal of Information Security*. 2018. Vol. 24. No 3. P. 217-220. DOI: [10.18372/2225-5036.24.13432](https://doi.org/10.18372/2225-5036.24.13432) [in Ukrainian]

13. You X., Ma F., Liu J., Wang, X., Yan X. Retrofit an 11-meter yacht for autonomous navigation. *Proceedings of the International Ship Control Systems Symposium (iSCSS)*. 2020. 11126. DOI: [10.24868/issn.2631-8741.2020.012](https://doi.org/10.24868/issn.2631-8741.2020.012)

INFORMATION MODEL OF AN UNMANNED SURFACE VESSEL AS AN OBJECT OF AUTOMATION

B. M. Gordieiev, Zh. Yu. Burunina, I. P. Sabutskyi

Admiral Makarov National Shipbuilding University,
3 Centralnyi Avenue, Mykolaiv, 54029, Ukraine;
e-mail: bvs050803@ukr.net, b.gordeev@amiko.ua,
sabutskyi1994@gmail.com