

DOI 10.15589/jnn20170307
УДК 629
Б69

MODERN TASKS OF AUTOMATION CONTROL FOR THE AUTONOMOUS UNINHABITED UNDERWATER VEHICLE WITH A RADIO BEACON

СУЧАСНІ ЗАВДАННЯ АВТОМАТИЗАЦІЇ КЕРУВАННЯ АВТОНОМНИМ НЕНАСЕЛЕНИМ ПІДВОДНИМ АПАРАТОМ З РАДІОБУЄМ

Volodymyr S. Blintsov
volodymyr.blintsov@nuos.edu.ua
ORCID: 0000-0002-3912-2174

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

В. С. Блінцов,
д-р техн. наук, проф.

А. С. Сірівчук,
канд. техн. наук

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

Abstract. Coverage of the underwater situation is an important task in the system of control of coastal water areas. As an effective means of detecting and identifying objects, it is recommended to use autonomous uninhabited underwater vehicles with a radio beacon, as they have a number of advantages over conventional autonomous and tethered underwater vehicles. The publication considers a class of problems solved with the help of autonomous uninhabited underwater vehicles with a radio beacon. Possible operational modes of these devices and special features of their control are distinguished. The complexity of automatic control of movement of such devices is conditioned with the presence of a low-inertia radio beacon and a tether. Therefore, the tether's impact on the device has a constantly changing nature. A generalized structure of the automatic control system of an autonomous uninhabited underwater vehicle with a radio beacon is proposed. The system is organized by a hierarchical principle, which simplifies the process of synthesizing the laws governing the executive mechanisms of the device.

Keywords: remotely operated underwater vehicle; automatic control system; shallow water area; underwater situation.

Анотація. Виділено клас завдань, які вирішуються за допомогою автономних ненаселених підводних апаратів з радіобуєм, окреслено можливі режими роботи даних засобів і особливості керування ними. Запропоновано узагальнену структуру системи автоматичного керування автономним ненаселеним підводним апаратом з радіобуєм.

Ключові слова: телекерований підводний апарат; система автоматичного керування; мілководна акваторія; підводна обстановка.

Аннотация. Выделен класс задач, которые решаются с помощью автономных необитаемых подводных аппаратов с радиобуем. Определены возможные режимы работы данных средств и особенности управления ими. Предложена обобщенная структура системы автоматического управления автономным необитаемым подводным аппаратом с радиобуем.

Ключевые слова: телеуправляемый подводный аппарат; система автоматического управления; мелководная акватория; подводная обстановка.

REFERENCES

- [1] Wadoo S., Kachroo P. *Autonomous Underwater Vehicles. Modeling, Control Design, and Simulation*. S. Wadoo. CRC Press, New York, 2011. 157 p.
- [2] Seto M. L. *Marine Robot Autonomy*. Springer Science+Business Media, New York, 2013. 389 p.
- [3] Blintsov O. V. *Kontseptsiia robotyzovanoho monitorynhu pidvodnoho seredovyshcha na osnovi zastosuvannya pryv'iaznykh pidvodnykh aparativ* [The formation of the concept of robotic monitoring of an underwater environment based on the use of remotely operated vehicles]. *Vostochno-Yevropeyskiy zhurnal peredovykh tekhnologiy — Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*, Kharkiv, 2014, no. 6/3 (72), pp. 16–21.
- [4] Blintsov O. V., Hrytsaienko M. H. *Telekrovani pidvodni aparaty na sluzhbi morehospodarskoi diialnosti Mykolaivshchyny* [Remotely operated underwater vehicles serving the maritime economic activity of the Mykolaiv

- Region]. *Sudnobuduvannia i morska infrastruktura — Shipbuilding and Marine Infrastructure*, Mykolaiv, 2014, no. 1, pp. 28–33.
- [5] Blintsov V. S., Voitasyk A. M. *Pidvodna robotyzovana tekhnolohiia ustanovky korysnoho vantazhu na morske dno* [Underwater robotic technology for installing a payload onto the seafloor]. *Pidvodni tekhnolohii. Mizhnarodnyi naukovo-vyrobnychi zhurnal — International Scientific and Production Journal “Underwater Technologies”*, Kyiv, 2016, no. 4, pp. 50–59.
- [6] Ageev M. D. *Avtonomnye podvodnye roboty. Sistemy i tekhnologi* [Autonomous underwater robots. Systems and technologies]. Moscow, Nauka Publ., 2005. 398 p.
- [7] Ryzhkov S. S., Blintsov V. S., Yehorov H. V., Zhukov Yu. D., Kvasnytskyi V. F., Koshkin K. V., Krivtsun I. V., Niekrasov V. O., Sevriukov V. V., Solonichenko Yu. V. *Stvorennia universalnykh transportnykh suden i zasobiv okeanotekhniki* [Development of universal transport vessels and means of ocean engineering]. Mykolaiv, NUK Publ., 2011. 340 p.
- [8] The Navy Unmanned Surface Vehicle (USV). Master Plan. U.S. Department of the Navy, 2007. 122 p.
- [9] Radio Buoy. Available at: <http://www.idrobotica.com/radio-buoy.php>.
- [10] Button R. W., Kamp J., Curtin T. B., Dryden J. Survey of Missions for Unmanned Undersea Vehicles. RAND Corporation, 2009. 223 p.
- [11] Blintsov S. V. *Teoretychni osnovy avtomatychnoho keruvannia avtonomnymy pidvodnymy aparatamy* [Theoretical foundations of automatic control of autonomous underwater vehicles]. Mykolaiv, NUK Publ., 2014. 242 p.
- [12] Christ R. D., Wernli R, L. *The Rov Manual: A User Guide for Remotely Operated Vehicles*. Butterworth-Heinemann, 2007. 308 p.
- [13] Blintsov O. V., Nadtochii V. A. *Avtomatyzatsiia keruvannia odnolankovymy samokhidnymy pryv'iaznymy pidvodnymy systemamy. Navchalnyi posibnyk* [Automation of control of self-propelled tethered underwater systems]. Mykolaiv, NUK Publ., 2014. 102 p.
- [14] Kostenko V. V., Lvov O. Yu., Mokeeva I. G. *Rasshirenie funktsionalnykh vozmozhnostey ANPA pri rabote na melkovode* [Extension of the functional capabilities of an AUV at operation in shallow water]. *5-ya Vserossiyskaya nauchno-tekhnicheskaya konferentsiya «Tekhnicheskie problemy osvoeniya Mirovogo okeana»* [Proceedings of the 5th All-Russian Scientific and Technical Conference «Technical Problems of Development of the World Ocean»], 2013, pp. 49–55. Available at: <http://www.imtp.febras.ru/images/stories/konf/tpomo-5-30-sent-jabrja-4-oktjabrja-2013/pdf/sekcija1.pdf>.

ПОСТАНОВКА ПРОБЛЕМИ

Підводні роботи на мілководних акваторіях на цей час є одним з видів морської діяльності, що активно розвивається [1–3]. Це зумовлено розширенням робіт як у територіальному морі України (наукові дослідження та обстеження морських транспортних шляхів на Чорному й Азовському морях, відкритих якриних стоянок, морських стаціонарних платформ і підводних трубопроводів), так і у внутрішніх водах держави (обстеження річкових суднохідних фарватерів, причалів морських і річкових портів тощо) [4, 5].

Зазвичай для вказаних робіт застосовуються два основні види засобів підводної робототехніки:

– автономні ненаселені підводні апарати (АПА), які в автоматичному режимі виконують підводну місію, а інформація про її результати надходить після завершення місії й повернення АПА на судно-базу чи до берегового поста керування [6];

– прив'язні (неавтономні) підводні апарати (ППА), які забезпечують виконання підводної місії в реальному часі під контролем і керуванням людини-оператора, однак мають обмежену площу робочої зони внаслідок кабель-троса керування [7].

Основними підводними місіями засобів підводної робототехніки на мілководді є пошук та обстеження затонувлих предметів, інспекція гідротехнічних споруд, природоохоронні й наукові завдання тощо.

Передовий досвід провідних морських країн світу (США, Італія, Франція) свідчить, що для мілководних акваторій (глибиною до 50 м) доцільно використовувати АПА з буксированими радіобуями (АПА-РБ) [8, 9]. Такий підводний апарат не має недоліків «класичних» АПА (неможливість реалізації режиму «on-line») і недоліків «класичних» ППА (обмежений радіус робочої зони й необхідність постійного залучення надводного судна забезпечення). До того ж АПА-РБ має значно меншу собівартість за рахунок малої робочої глибини й можливості оперативного ручного керування підводними місіями і передачі інформації в режимі реального часу.

У роботі для виконання підводних місій на мілководді в інтересах українських організацій пропонується застосовувати АПА-РБ з динамічно змінюваною в процесі експлуатації довжиною кабель-буксира (КБ). Пропонований архітектурно-конструктивний тип підводного апарата містить зовнішнє начіпне обладнання буксирований радіобуй (РБ), який

розташований у верхній кормовій частині АПА та має змогу автоматично відстиківуватися від нього, рухатися поверхнею моря в буксирному режимі для забезпечення двостороннього зв'язку з береговим (БПК) або судновим (СПК) постом керування, а також автоматично пристиковуватися до АПА після завершення місії. Керувану зміну довжини КБ для вказаних режимів забезпечує автоматична лебідка КБ, яка розташована на АПА.

Структуру та склад обладнання АПА-РБ наведено на рис. 1.

Автоматизація руху для даного типу підводних апаратів ускладнюється у зв'язку з наявністю гнучкого кабельного зв'язку (кабель-буксира) між підводним апаратом і радіобуєм, на який діють вітро-хвильові та гідродинамічні збурення.

Це робить актуальним прикладне наукове завдання вдосконалення системи автоматичного керування (САК) АПА-РБ шляхом компенсації силових збурень від КБ, що має підвищити якість відео- та гідроакустичної інформації АПА, а також шляхом мінімізації гідродинамічного опору від КБ, що має знизити енерговитрати на переміщення системи «АПА-КБ-РБ» і підвищити її автономність.

АНАЛІЗ ОСТАННІХ ДОСЛІДЖЕНЬ І ПУБЛІКАЦІЙ

Автоматизація руху підводних апаратів є важливим завданням на сьогодні. На цей час активно роз-

виваються САК АПА, оскільки вони керуються бортовим комп'ютером [10, 11]. Основним завданням автоматичних систем керування ППА є компенсація впливу кабель-троса [12, 13].

Що ж стосується дослідження роботи АПА з радіобуєм, то варто відзначити статтю [14], у якій виконано попередній аналіз впливу КБ і радіобуя на АПА конкретного типу.

У загальнотеоретичному аспекті наукове завдання створення АПА-РБ й розробки САК ним на цей час є невирішеним.

МЕТА РОБОТИ — аналіз АПА-РБ як об'єкта керування, визначення основних режимів його роботи для пошукових підводних місій і розробка узагальненої структури САК для цих режимів.

ВИКЛАД ОСНОВНОГО МАТЕРІАЛУ

Виходячи з необхідності автоматичного виконання основних підводних місій АПА-РБ — пошуку, обстеження та інспекції підводних об'єктів — пропонується такий перелік його основних робочих режимів R , які підлягають автоматизації:

– режими лінійного $R_{пл}$ чи траєкторного $R_{пт}$ руху АПА-РБ поверхнею із заданою надводною швидкістю $v_{зн}$ і надводним курсом $\varphi_{зн}$ з метою виходу в точку занурення (РБ не випущено і він знаходиться на АПА);

– режим R_3 занурення АПА на задану глибину H із заданою швидкістю $v_{з3}$ і курсом $\varphi_{з3}$ з одночасним

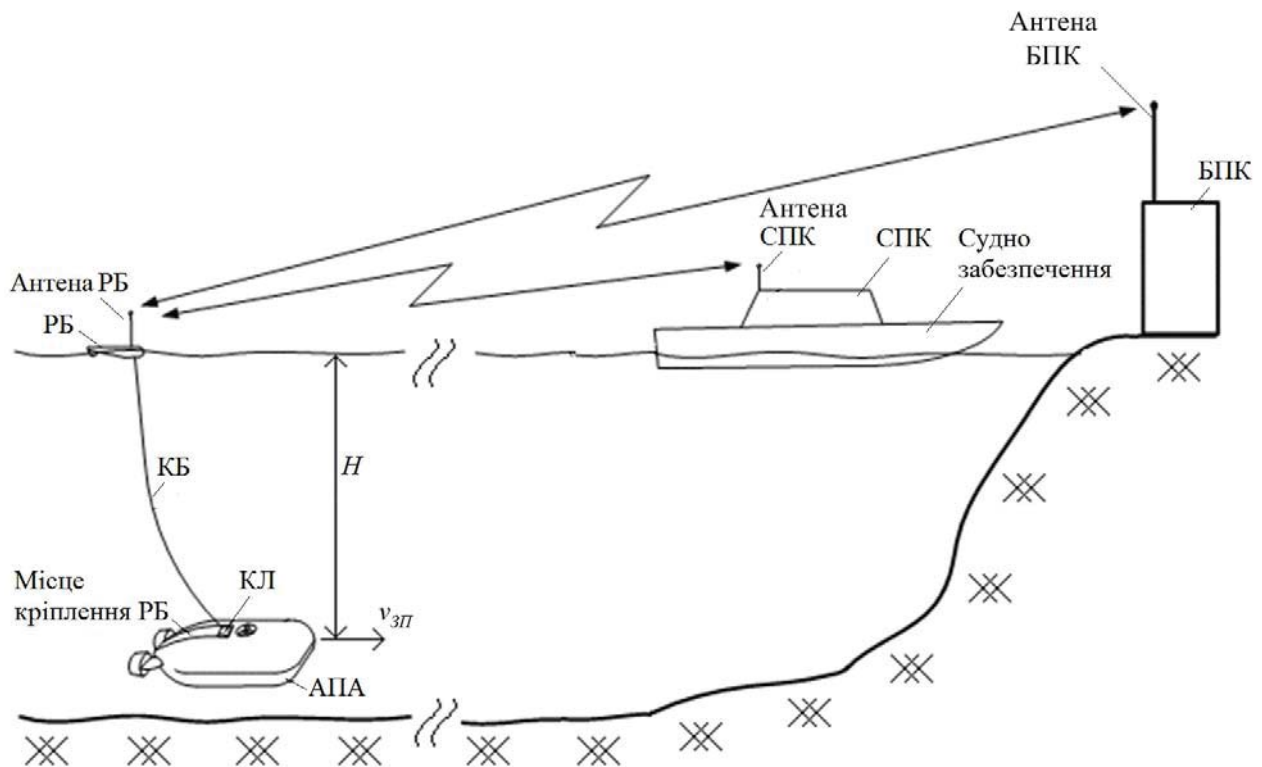


Рис. 1. Структура і склад обладнання АПА-РБ

випусканням РБ шляхом його відстикування від АПА й випускання КБ з лінійною швидкістю $v_{кз}$ за допомогою лебідки РБ;

– режими лінійного $R_{ГЛ}$ чи траєкторного $R_{ГТ}$ руху АПА на заданій глибині із заданою швидкістю підводного руху $v_{зп}$ і заданим курсом $\varphi_{зп}$ з буксируванням РБ;

– режими лінійного $R_{ВЛ}$ чи траєкторного $R_{ВТ}$ руху АПА на заданій висоті над ґрунтом, із заданою швидкістю підводного руху $v_{зп}$ і заданим курсом $\varphi_{зп}$ з буксируванням РБ;

– режим $R_{Сл}$ стеження АПА за рухомою ціллю, при цьому швидкість $v_{Сл}$ і курс $\varphi_{Сл}$ АПА визначаються й утримуються за допомогою САК АПА;

– режим $R_{С}$ спливання АПА із заданою швидкістю $v_{С}$ і курсом $\varphi_{С}$ з одночасним вибиранням КБ з лінійною швидкістю $v_{кз}$ за допомогою лебідки РБ з подальшим закріпленням РБ на АПА.

Одним з визначальних чинників для всіх робочих режимів АПА-РБ є стабілізація швидкості його лінійного $v_{л}$ чи траєкторного $v_{т}$ руху.

Таким чином, множина основних робочих режимів АПА-РБ має вигляд:

$$R = \{R_{ПЛ}; R_{ПТ}; R_3; R_{ГЛ}; R_{ГТ}; R_{ВЛ}; R_{ВТ}; R_{СЛ}; R_С\}_{v_{л}, v_{т}}$$

Функціонування АПА-РБ у вищезазначених режимах зазвичай відбувається за активної дії зовнішніх вітро-хвильових збурень на РБ, які через КБ передаються на АПА і можуть суттєво погіршити якість його роботи. Так, механічні впливи КБ на АПА впливають на якість сонограм, які є основним видом підводної інформації під час пошукових робіт. Також зазначені збурення можуть унеможливити застосування контрольно-вимірювальних приладів при інспекції підводних об'єктів.

Тому однією з головних вимог до САК АПА-РБ є можливість фільтрувати вказані силові збурення на КБ з боку РБ шляхом динамічного випускання-вибирання КБ за допомогою кабельної лебідки РБ.

Вимогою до САК АПА-РБ у режимі його усталеного руху є встановлення оптимальної довжини випущеної частини КБ, що визначає витрати електроенергії та, як наслідок, автономність АПА-РБ.

Розглянемо більш детально особливості побудови САК для кожного із цих режимів роботи.

Під час роботи АПА-РБ першим режимом роботи є вихід у точку початку місії, останнім — повернення до судна забезпечення. У свою чергу, даний рух може являти собою як пряму лінію $R_{ПЛ}$ на відкритих акваторіях, так і певну криволінійну траєкторію $R_{ПТ}$ за наявності перешкод руху (судна, гідротехнічні споруди тощо).

Основним завданням керування таким режимом є точність виходу АПА-РБ у точку початку місії. На

цей час найбільш ефективним і доступним для реалізації засобом визначення координат на морі є використання супутникових навігаційних систем, зокрема приладів *GPS*-навігації. Застосування такого приладу на борту АПА-РБ дасть змогу визначати координати АПА та вектор швидкості його руху з достатньою для підводної місії точністю. Для ефективного керування надводним рухом АПА-РБ передбачається також використання датчиків кутового положення АПА для синтезу коректних сигналів керування рушійно-кермовим комплексом підводного апарата.

Отже, завданням САК у даному режимі роботи є керування рухом АПА-РБ зі стабілізацією заданої маршової швидкості $v_{зп}$ і заданого курсу $\varphi_{зп}$ для заданого траєкторного або лінійного руху при виході в точку початку місії (точку занурення). Оскільки АПА знаходиться на поверхні, його радіобуй не випущено, тому контроль витравленої частини КБ не проводиться.

Для цього режиму характерними є залежності:

$$R_{ПЛ} = f_{ПЛ}(v_{зп}, \varphi_{зп}); R_{ПТ} = f_{ПТ}(v_{зп}, \varphi_{зп})$$

Після виходу в точку початку місії апарат повинен перейти до виконання режиму занурення R_3 на задану глибину H з підтриманням курсу $\varphi_{зз}$ і швидкості $v_{зз}$. Оскільки радіобуй має залишатися на поверхні води, САК відстикує радіобуй і випускає КБ з лінійною швидкістю $v_{кз}$. При цьому деяке додаткове вимірювальне обладнання в даному режимі може бути ввімкненим (відеокамери, ехолоти, сонар тощо). Координати апарата $\bar{P}_{ПА}$ у даному режимі також визначаються за допомогою *GPS*, а вертикальна складова — за допомогою датчика тиску та інерційного модуля. Відстань до дна вимірюється ехолотом або візуально за допомогою відеокамери.

Виходячи із цього, САК у даному режимі роботи залежить від таких параметрів:

$$R_3 = f_3(v_{зз}, \varphi_{зз}, v_{кз})$$

Одним з основних режимів роботи для даного АПА-РБ є лінійний чи траєкторний рух на заданій глибині для пошуку об'єкта або сканування дна. У даному режимі рух підводного апарата підпорядкований вимірювальному обладнанню, тому САК повинна забезпечити стабілізацію курсу $\varphi_{зп}$, швидкості $v_{зп}$ та глибини H .

Крім того, апарат має гарантувати відсутність ривків АПА, які надходять до апарата через КБ. САК слід підтримувати оптимальну довжину випущеної частини КБ, що дасть змогу мінімізувати зміну сили натягу. Для визначення оптимальної довжини КБ САК повинна використовувати вертикальне прискорення руху РБ $a_{уРБ}$ (за даними акселерометра РБ). Таким чином, режими $R_{ВЛ}$ та $R_{ВТ}$ будуть описуватися наступними залежностями:

$$R_{ГЛ} = f_{ГЛ}(v_{зп}, \varphi_{зп}, H, a_{yРБ}); R_{ГТ} = f_{ГТ}(v_{зп}, \varphi_{зп}, H, a_{yРБ}).$$

Найбільш складним режимом руху АПА є режим лінійного та траєкторного рухів на заданій висоті над ґрунтом H_r . Основною відмінністю від попереднього режиму є рух апарата не в одній площині, а в просторі. Тому виникає необхідність оперативного визначення оптимальної довжини КБ у режимі реального часу, для цього САК повинна оперувати додатково вертикальною швидкістю апарата $v_{зпг}$. Отже, залежності даного режиму будуть мати вигляд:

$$B_{ВЛ} = f_{ВЛ}(v_{зп}, v_{зпг}, \varphi_{зп}, H, a_{yРБ});$$

$$B_{ВТ} = f_{ВТ}(v_{зп}, v_{зпг}, \varphi_{зп}, H, a_{yРБ}).$$

Під час роботи групи апаратів або при завданнях інспекції рухомого об'єкта виникає необхідність у спеціалізованому режимі руху АПА-РБ, такому як режим переслідування цілі або стеження за нею. Основними відмінностями завдання САК від завдань траєкторного та лінійного рухів є постійно змінні координати цілі, тому швидкість руху АПА повинна бути максимальною при наближенні АПА на задану дистанцію до цілі, а потім дорівнювати її швидкості. Зазначимо, що в даному режимі також необхідно підтримувати оптимальну довжину КБ у режимі реального часу. Для стеження за ціллю слід дотримуватися курсу на цілі $\varphi_{СЛ}$ і правильно обирати маршову швидкість $v_{СЛ}$ залежно від відстані до цілі. Таким чином, режим роботи матиме вигляд:

$$R_{СЛ} = f_{СЛ}(v_{СЛ}, \varphi_{СЛ}, H, a_{yРБ}).$$

Режим спливання із заданим курсом φ_c і швидкістю v_c є аналогічний режиму занурення, але має протилежну спрямованість. Якщо маневр закінчується

на поверхні води, то РБ пристиковується до АПА у відведеному для цього місці. Даний режим можна записати так:

$$R_3 = f_3(v_c, \varphi_c, v_{кз}).$$

Для уніфікації автоматичного керування для різних режимів роботи розіб'ємо всю САК на окремі модулі залежно від призначення. Нижче розглянемо загальну структуру САК для автоматичного керування АПА-РБ, яка повинна забезпечити необхідну якість керування у зазначених динамічних та усталених режимах роботи.

Хоча наведений апарат є автономним, він може керуватися в режимі реального часу оператором, який перебуває на березі або судні забезпечення. Загальна структура САК може бути подана у вигляді трирівневої ієрархічної структури (рис. 2) [6, 11].

До стратегічного рівня належать інтерфейс користувача (ІК) та контрольно-аварійна система (КАС). На даному рівні розглядаються основні завдання, які ставляться перед АПА-РБ.

Основним елементом стратегічного рівня є ІК, тому що в ньому вміщено параметри всіх режимів роботи підводного апарата, контроль виконання місії, обробка даних вимірювального обладнання, розстановка контрольних точок, демонстрація стану місії та апарата оператору тощо.

ІК зв'язаний із системою керування траєкторією (СКТ) і передає швидкість і курс до контрольної точки (за траєкторного руху) або цілі місії залежно від режиму роботи.

Згідно з місією начинне обладнання повинно працювати в різних режимах. Задані режими роботи $\bar{R}_{но}$ відповідно до поточного завдання передаються від ІК до блока контролю начинного обладнання (БКНО). Наприклад, під час виходу в точку роботи або повернення необхідно вимкнути все вимірювальне

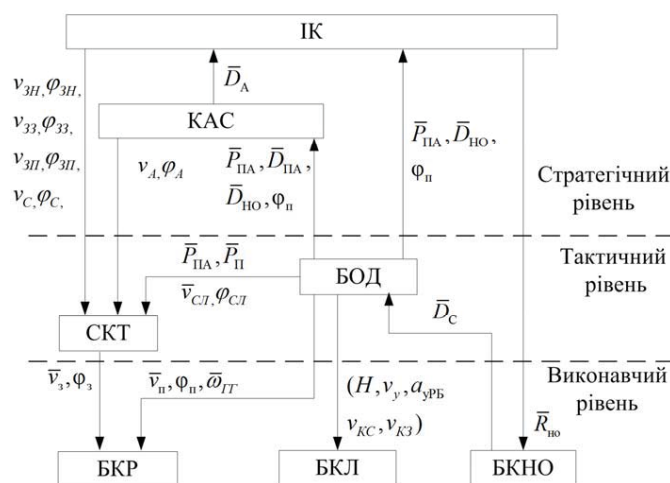


Рис. 2. Узагальнена структура системи керування

обладнання, крім навігаційного, для економії запасу енергії апарата.

Від блока обробки даних (БОД) на ІК передається інформація про координати АПА $\bar{P}_{ПА}$, його поточний курс φ_n в обробленому стані (з використанням фільтрів) та дані від начіпного вимірювального обладнання $\bar{D}_{НО}$ без змін. Також він надає до СКТ дані про знаходження перешкод $\bar{P}_{П}$, АПА $\bar{P}_{ПА}$, швидкість $v_{СЛ}$ і курс $\varphi_{СЛ}$ у режимі стеження за ціллю.

КАС призначена для захисту обладнання від помилкових дій оператора й керування АПА-РБ в аварійних режимах. До аварійних режимів роботи належать:

- відмова одного або декількох виконавчих механізмів;
- втрата сигналу від ІК;
- невеликий запас заряду акумулятора;
- небезпека зіткнення із зовнішніми об'єктами.

Сигналами від БОД для КАС є інформація про стан механізмів апарата $\bar{D}_{ПА}$, навігаційні дані $\bar{P}_{ПА}$ та φ_n . За умови втрати з'єднання з ІК КАС отримує дані від сенсорів $\bar{D}_{НО}$ для архівування. Також за тривалої втрати сигналів керування від ІК КАС бере на себе керування рухом АПА-РБ (v_A , φ_A). У разі виникнення аварійної ситуації КАС передає сигнал аварії \bar{D}_A до ІК.

Тактичний рівень слугує для обробки завдань від стратегічного рівня й формування команд для виконавчого рівня, а також для забезпечення зворотного зв'язку зі стратегічним рівнем.

На тактичному рівні за рух апарата відповідає СКТ. У даному блоці формується траєкторія руху апарата залежно від поточного завдання з урахуванням обходження перешкод. Інформацію про розташування перешкод $\bar{P}_{П}$ СКТ отримує від БОД разом з поточними координатами апарата $\bar{P}_{ПА}$ та його курсом φ_n . Як сигнал для блока керування рухом (БКР) використовуються вектор швидкості руху \vec{v}_3 і курс φ_3 АПА, який необхідно забезпечити.

Блок обробки даних формує данні навігаційні, про навколишнє середовище, стан апарата за допомогою \bar{D}_C , які отримуються від БКНО. Корекція досягається порівнянням показань декількох однотипних сенсорів і за допомогою фільтрації.

До виконавчого рівня відносять блок керування лебідкою, БКР та БКНО.

Блок керування лебідкою контролює довжину випущеної частини КБ залежно від глибини H і швидкості v_y занурення апарата. Для компенсації збурень від РБ необхідно також вимірювати його вертикальне прискорення $a_{yРБ}$, що знімається з акселерометра, який розташований на РБ.

Блок керування рухом відповідає за забезпечення параметрів руху підводного апарата, що надходять від СКТ. Для ефективної роботи даного блока як зворотний зв'язок БКНО передає поточні дані швидкості v_n , курсу φ_n АПА та швидкості обертання його гребних гвинтів $\bar{\omega}_{ГГ}$.

Завданням БКНО є переключення режимів роботи начіпного обладнання й перетворення сигналів від сенсорів у зручний для САК вигляд.

Виходами з виконавчого рівня є безпосередньо сигнали для пристроїв керування механізмами АПА. Формат сигналів керування залежить від обраного обладнання апарата.

ВИСНОВКИ. Як ефективний засіб пошуку і ідентифікації підводних об'єктів запропоновано використання АПА-РБ, оскільки вони мають низку переваг порівнянно з «класичними» АПА і ППА.

У результаті виконаного аналізу АПА-РБ як об'єкта керування визначено основні режими його роботи в процесі виконання пошукової підводної місії.

Запропоновано узагальнену структуру САК АПА-РБ у складі трьох ієрархічних рівнів як теоретичну основу для синтезу законів автоматичного керування його просторовим рухом.

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

- [1] **Wadoo S.** Autonomous Underwater Vehicles. Modeling, Control Design, and Simulation [Text] / S. Wadoo, P. Kachroo. — New York : CRC Press, 2011. — 157 p.
- [2] **Seto M. L.** Marine Robot Autonomy [Text] / M. L. Seto. — New York : Springer Science+Business Media, 2013. — 389 p.
- [3] **Блінцов О. В.** Концепція роботизованого моніторингу підводного середовища на основі застосування прив'язаних підводних апаратів [Текст] / О. В. Блінцов, А. С. Сірівчук // Восточно-Европейский журнал передовых технологий. — Харків, 2014. — № 6/3 (72). — С. 16–21.
- [4] **Блінцов О. В.** Телекеровані підводні апарати на службі морегосподарської діяльності Миколаївщини [Текст] / О. В. Блінцов, М. Г. Грицаєнко // Суднобудування і морська інфраструктура. — Миколаїв : НУК, 2014. — № 1. — С. 28–33.
- [5] **Блінцов В. С.** Підводна роботизована технологія установки корисного вантажу на морське дно [Текст] / В. С. Блінцов, А. М. Войтасик // Підводні технології. Міжнародний науково-виробничий журнал. — К. : КНУБА, 2016. — № 4. — С. 50–59.
- [6] **Агеев М. Д.** Автономные подводные роботы. Системы и технологии [Текст] / М. Д. Агеев. — М. : Наука, 2005. — 398 с.

- [7] Створення універсальних транспортних суден і засобів океанотехніки [Текст] / С. С. Рижков, В. С. Блінцов, Г. В. Єгоров, Ю. Д. Жуков, В. Ф. Квасницький, К. В. Кошкін, І. В. Кривцун, В. О. Некрасов, В. В. Севрюков, Ю. В. Солоніченко; за ред. С. С. Рижкова. — Миколаїв : Видавництво НУК, 2011. — 340 с.
- [8] The Navy Unmanned Surface Vehicle (USV). Master Plan [Text]. — U.S. Department of the Navy, 2007. — 122 p.
- [9] Radio Buoy [Електронний ресурс]. — Режим доступу: <http://www.idrobotica.com/radio-buoy.php>.
- [10] **Button R. W.** Survey of Missions for Unmanned Undersea Vehicles [Text] / R. W. Button, J. Kamp, T. B. Curtin, J. Dryden. — RAND Corporation, 2009. — 223 p.
- [11] **Блінцов С. В.** Теоретичні основи автоматичного керування автономними підводними апаратами [Текст] / С. В. Блінцов. — Миколаїв : Видавництво НУК, 2014. — 242 с.
- [12] **Christ R. D.** The Rov Manual: A User Guide for Remotely Operated Vehicles [Text] / R. D. Christ, R. L. Wernli. — Butterworth-Heinemann, 2007. — 308 p.
- [13] **Блінцов О. В.** Автоматизація керування одноланковими самохідними прив'язними підводними системами [Текст] : навчальний посібник / О. В. Блінцов, В. А. Надточій. — Миколаїв : НУК, 2014. — 102 с.
- [14] **Костенко В. В.** Расширение функциональных возможностей АНПА при работе на мелководье [Текст] / В. В. Костенко, О. Ю. Львов, И. Г. Мокеева // 5-я Всероссийская научно-техническая конференция «Технические проблемы освоения Мирового океана». — 2013. — С. 49–55. — Режим доступу: <http://www.imtp.febras.ru/images/stories/konf/trpomo-5-30-sentjabrja-4-oktjabrja-2013/pdf/sekcija1.pdf>.

© В. С. Блінцов, А. С. Сірівчук

Надійшла до редколегії 09.06.17

Статтю рекомендує до друку член редколегії ЗНП НУК
д-р техн. наук, проф. *Г. В. Павлов*