

<http://dx.doi.org/10.15589/evn20140107>
 УДК 681.5:629.58
 Н 17

CONTROL OF ROVS IN THE MODE OF COMBINED APPLICATION

КЕРУВАННЯ САМОХІДНИМИ ПРИВ'ЯЗНИМИ ПІДВОДНИМИ СИСТЕМАМИ У РЕЖИМІ КОМБІНОВАНОГО ЗАСТОСУВАННЯ

Viktor A. Nadtochii
nva_74@mail
 ORCID: 0000-0003-3869-3546

В. А. Надточій,
 асп.

Admiral Makarov National University of Shipbuilding, Mykolaiv

Національний університет кораблебудування імені адмірала Макарова, м. Миколаїв

Abstract. The task of the automatic control of the marine mobile system of the «carrier vessel – ROV» type in the combined application mode of the ROV group is formulated. Its urgency is caused by the need to inspect the large harbour areas in the shortest time possible and document underwater entities with high reliability. The group mode of the ROVs application can become a basis of the development of the new technology for carrying out marine search-and-rescue operations. It is determined that the marine mobile system of the «carrier vessel – ROV» type in the mode of combined application is new entity of the automatic operation and requires developing special control structures and algorithms. The generalised structure of the system of the automatic operation of the group of marine mobile vehicles of «carrier vessel – ROV» the type is suggested and four basic stages of its work are formulated.

Keywords: ROV; automatic control; operation mode; control algorithm.

Аннотация. Сформулирована задача автоматического управления морской подвижной системой типа «судно-носитель – поисковая самоходная привязная подводная система» в режиме комбинированного применения. Разработана обобщенная структура автоматического управления исследуемой системы с учетом четырех основных этапов ее работы.

Ключевые слова: самоходная привязная подводная система; автоматическое управление; режимы работы; алгоритмы управления.

Анотация. Сформульовано задачу автоматичного керування морською рухомою системою типу «судно-носій – пошукова самохідна прив'язна підводна система» у режимі комбінованого застосування. Розроблено узагальнену структуру автоматичного керування досліджуваної системи з урахуванням чотирьох основних етапів її роботи.

Ключові слова: самохідна прив'язна підводна система; автоматичне керування; режими роботи; алгоритми керування.

REFERENCES

- [1] Vyalyshev A.I. et al. Aspekty tekhnologii i strategii obsledovaniya PPOO v Baltijskom more [Aspects of technology and strategy of the inspection of the PCOR in the Baltic Sea]. *Podvodnye tekhnologii i mir okeana – Underwater Technologies and World of Ocean*, 2006, no. 5–6, pp. 50–56.
- [2] Blintsov V.S., Magula V.E. *Proektirovanie samokhodnykh privyaznykh podvodnykh sistem* [ROVs design]. Kyiv, Naukova dumka Publ., 1997. 140 p.
- [3] Blintsov V.S. *Privyaznye podvodnye sistemy* [Tethered underwater systems]. Kyiv, Naukova dumka Publ., 1998. 232 p.
- [4] Blintsov S.V., Doan Fuk Tkhy. Osoblyvosti hrupovoho keruvannya avtonomnykh pidvodnykh aparatamy pry vykonanni poshukovykh robit [Special features of the group control of autonomous underwater vehicles when performing search operations]. *Vostochno-Yevropeyskiy zhurnal peredovykh tekhnologiy* [Eastern-European Journal of Enterprise Technologies], 2013, no. 6/9, issue 66, pp. 56–60.
- [5] Gorodetskiy V.I. Kollektivnoe povedenie avtonomnykh agentov (s prilozheniem k komandnoy rabote avtonomnykh podvodnykh robotov) (Collective behavior of autonomous agents (with application to the group work of autonomous underwater robots)). *SPIIRAN – SPIIA of RAS*, 2010. Available at: <http://space.ias.spb.su>.

- [6] Dikarev V.I., Zarenkov V.A., Zarenkov D.V. *Metody i sredstva ob-naruzheniya obektov v ukryvayushchikh sredakh* [Methods and means of the detection of objects in the concealment environment]. Saint Petersburg, Nauka i tekhnika Publ., 2004. 280 p.
- [7] Kostenko D.V. *Vplyv konstruktyvnykh parametriv pryv'язnykh pidvodnykh system na yikhni ekspluatatsiini kharakterystyky*. Cand. Diss. [Influence of the design parameters of tethered underwater systems on their performance characteristics. Cand. Diss.]. Mykolaiv, 2003.
- [8] Kostenko D.V. Modelirovanie kombinirovannoy privyaznoy podvodnoy sistemy [Modeling of the combined tethered underwater system]. *Zbirnyk naukovykh prats UDMTU* [Collection of Scientific Publications of USMTU], 2001, no. 1, issue 373, pp. 47–53.
- [9] Pichugin S. Sostoyanie i perspektivy razvitiya sistem gidroakusticheskogo nablyudeniya VMS SShA [Current state and development prospects of the sound surveillance systems of the US Navy]. *Zarubezhnoe voennoe obozrenie – Foreign Military Review*, 2010, no. 6, pp. 61–70.
- [10] *Podvodnye tekhnologii i sredstva osvoeniya Mirovogo okeana* [Underwater technologies and means of the development of the World Ocean]. Moscow, Oruzhie i tekhnologii Publ., 2011. 780 p.
- [11] Kiselev L.V., Inzartsev A.V., Bychkov I.V., Maksimkin N.N., Khmel'nov A.Ye., Kenzin M.Yu. Situatsionnoe upravlenie gruppirovkoy avtonomnykh podvodnykh robotov na osnove geneticheskikh algoritmov [Situational control of the group of autonomous underwater robots on the basis of genetic algorithms]. *Podvodnye issledovaniya i robototekhnika – Underwater investigations and robotics*, 2009, no. 2, issue 8, pp. 34–43.
- [12] Tufanov I.Ye., Shcherbatyuk A.F. Razrabotka algoritmov gruppovogo povedeniya ANPA v zadache obsledovaniya lokalnykh neodnorodnostey morskoy sredy [Development of algorithms of the AUV group behavior in the problem of inspecting local inhomogeneities of the marine environment]. *Upravlenie bolshimi sistemami – Large-scale Systems Control*, 2011, issue 36, pp. 262–284.
- [13] Phillips Ch., Kharbor R. *Sistemy upravleniya s obratnoy svyazyu* [Control systems with feedback]. Moscow, Laboratoriya Bazovykh Znaniy Publ., 2001. 616 p.
- [14] Glushkov V.M., Amosov N.M., Artemenko I.A. *Entsiklopediya kibernetiki. Tom 2* [Encyclopedia of Cybernetics. Vol. 2]. Kyiv, 1974.

ПОСТАНОВКА ПРОБЛЕМИ

Типова самохідна прив'язна підводна система (СППС) складається з самохідного телекерованого підводного апарата (ПА), кабель-троса (КТ) з кабельною лебідкою (КЛ) та поста енергетики і керування (ПЕК) і належить до найбільш ефективних засобів морської техніки, оскільки реалізує безлюдну підводну технологію і дає змогу у реальному часі виконувати пошук та обстеження підводних об'єктів за допомогою розмішеного на борту ПА корисного вантажу (КВ) – фото-, відео- гідроакустичної та маніпуляційної апаратури [2]. Традиційним для морської практики є одиночне застосування СППС у трьох основних режимах: якірної стоянки, дрейфу судна-носія (СН) та синхронного руху СН і ПА [3].

Технології групового застосування СППС використовують при:

виконанні пошуково-рятувальних операцій (пошук космічних апаратів після їх приводнення, пошук затонулої авіаційної техніки, суден та підводних човнів) [10];

виконанні протимінних та протидиверсійних морських операцій (пошук та картографування морських донних і якірних мін та несанкціоновано встановленого обладнання на дні захищених акваторій) [9].

Однак постійне підвищення вимог до продуктивності підводних робіт стимулює пошук нових

технологій застосування СППС. Перспективним напрямком на цьому шляху є комбіноване застосування такої системи, коли для підвищення продуктивності пошукових робіт ПА буксирується на заданій глибині чи висоті над ґрунтом h за допомогою системи «кабель-буксир КБ – привантажувач П – буксирний трос БТ», а при виявленні підводного об'єкта він переходить у самохідний режим руху для обстеження цього об'єкта за рахунок вільної довжини кабель-тросу КТ [10] (рис. 1).

Автор вважає такий режим застосування СППС основою для розробки нової підводної пошуково-обстежувальної технології – групової роботи декількох СППС під час проведення масштабної пошуково-рятувальної морської операції. Її актуальність обумовлена необхідністю у максимально короткий час обстежувати великі акваторії та з високою достовірністю документувати підводні об'єкти [5, 6].

Сутність запропонованої технології полягає у високопродуктивному пошуку підводних об'єктів за допомогою групи СППС у комбінованому режимі. При цьому для пошуку всі СППС буксируються одним або декількома суднами-буксирувальниками, а при виявленні підводного об'єкта одною з СППС її ПА переводиться у короткотерміновий самохідний режим для обстеження, документування цього об'єкта та виконання підводних маніпуляційних робіт.

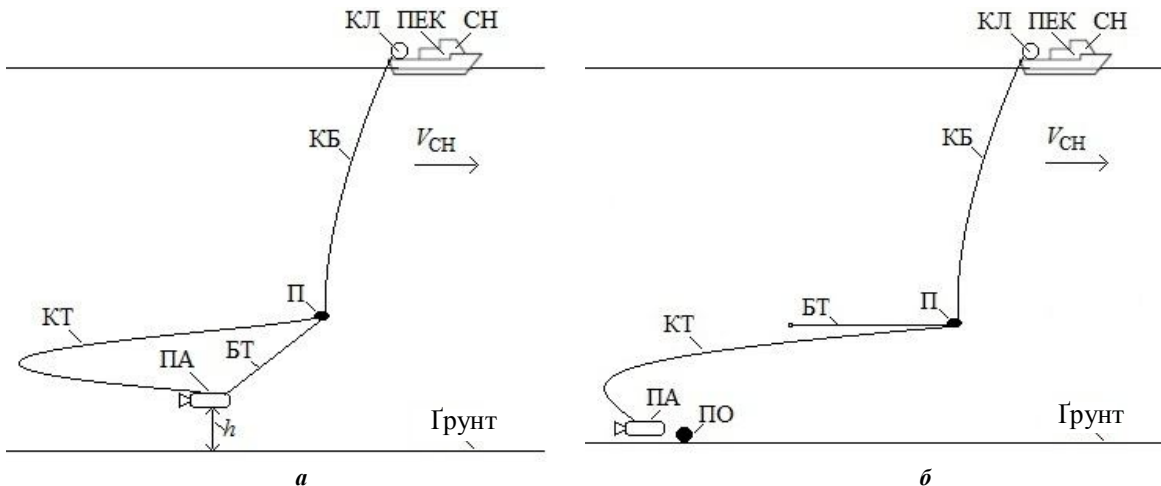


Рис. 1. Схема комбінованого застосування СППС

У даній роботі також розглядається задача організації групового керування СППС у режимі їх комбінованого застосування.

АНАЛІЗ ОСТАННІХ ДОСЛІДЖЕНЬ ТА ПУБЛІКАЦІЙ

Дослідженню режиму комбінованого застосування СППС у вітчизняній науково-технічній літературі присвячене обмежене число публікацій [8, 10]. Проте у зазначених працях, де розкрито принципи функціонування СППС, питання керування не розглянуті. У наявних публікаціях [9–11] значно більше уваги приділено груповому керуванню мобільних роботів. Однак об'єктами дослідження у цих працях є автономні підводні апарати, які не зв'язані з суднами забезпечення гнучкими зв'язками – кабель-буксирами. Тому дослідження питань групового керування для прив'язаних підводних систем є актуальною прикладною науково-технічною задачею.

МЕТА РОБОТИ – аналіз групи самохідних прив'язаних підводних систем як об'єктів керування та розробка узагальненої структури системи автоматичного керування групою СППС при виконанні пошуково-обстежувальних підводних задач.

ВИКЛАД ОСНОВНОГО МАТЕРІАЛУ

Групове застосування декількох СППС має місце при необхідності різкого скорочення витрат часу на проведення морської (зокрема, пошукової) операції і належить до найбільш складних, оскільки вимагає точного просторового позиціонування декількох груп гнучких (КТ, який у такому режимі має виконувати функцію кабель-буксиру, далі – КБ) і твердих (ПА як буксироване тіло у потоці води) тіл під час їх узгодженого руху в усталених і перехідних режимах. Під усталеним рухом групи СППС тут будемо розуміти режими, коли всі СППС та їхні КТ (у нашому випадку – КБ) розгорнуті

у розрахункову просторову схему і рухаються без прискорень.

До головних технологій групового застосування СППС, які вимагають узгодженого керування їхнім просторовим рухом, належать:

- пошукові роботи на великих площах та/або в умовах обмежень на час пошуку (пошук ведеться двома і більше СППС та з борту одного чи декількох СН, рис. 2); головна мета режиму – пошук підводних об'єктів (ПО) з високою продуктивністю; при застосуванні декількох СППС з борту одного СН головна задача керування – узгоджене розгортання просторової конфігурації з декількох СППС, її підтримка при виконанні власне пошуку та перегрупування у випадках виявлення ПО чи групи ПО;

- обстежувальні та інспекційні (вимірювальні) підводні роботи в умовах обмежень на тривалість морської операції, коли головний ПА веде фото- та відеозйомку, а допоміжний ПА забезпечує освітлення ПО та/чи навігаційне забезпечення руху (задача обстежувальних робіт – надати інформацію для ідентифікації та класифікації ПО, попередньо встановити просторовий стан і ступінь замуленості ПО, висвітлити підводну обстановку у районі знаходження ПО);

- маніпуляційні роботи, коли без зміни швидкості ходу СН один ПА позиціонується над обраною точкою донної поверхні, а другий ПА на короткий час опускається на ґрунт; при цьому перший ПА забезпечує загальне освітлення робочої зони на морському дні, а другий ПА виконує маніпуляційні роботи, наприклад, відбирає проби ґрунту тощо.

Остання підводна технологія є найбільш складною, оскільки вимагає високоточного керованого випускання-підбирання КБ кожної з СППС.

Зазвичай, головні технологічні схеми групового застосування СППС будуються як симетричні відносно діаметральної площини групи СППС (ДП ГСППС).

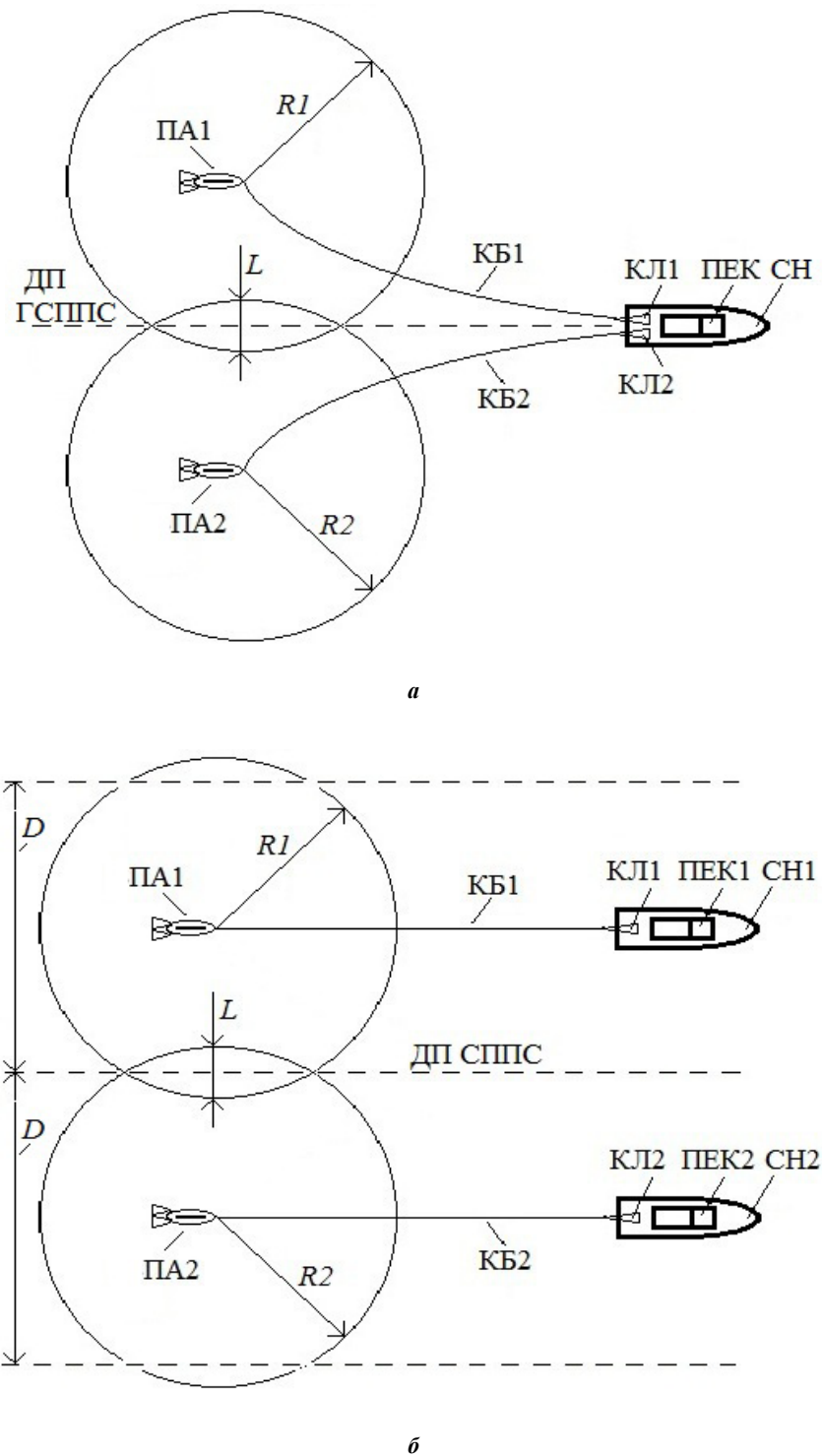


Рис. 2. Головні схеми групового застосування СППС: *a* – пошук двома СППС з борту одного СН; *б* – пошук двома СППС з борту двох СН

Головною особливістю групового застосування СППС є вимога високоточного керування узгодженим просторовим рухом окремих СППС для забезпечення максимальної продуктивності підводних робіт та безаварійності їх виконання.

При цьому максимальна продуктивність забезпечується точним траєкторним рухом окремих ПА, що гарантує обстеження морського дна без пропусків та з заданим перекриттям L їхніх робочих зон радіусом R в усталених режимах руху, а безаварійність досягається

точним керуванням декількома системами «КБ–ПА» у динаміці, яке виключає заплутування кабель-буксирів різних ПА.

Усталений рух є головним режимом роботи групи СППС. Задачею системи автоматичного керування (САК) таким режимом є підтримання заданої просторової конфігурації ПА-учасників морської пошукової операції в умовах дії зовнішніх збурень (у першу чергу, дії морського хвилювання та епюри течії). При цьому зовнішні збурення прикладаються як на корпуси ПА, так і на їх КТ на СН. Тому керування усталеним рухом групи СППС будемо розглядати як задачу стабілізації просторової конфігурації групи ПА при малих відхиленнях від заданого значення.

Динаміку такої стабілізації, у припущенні, що перехідні процеси протікають повільно і не викликають значних доданків приєднаних мас води у рівняннях просторового руху КБ і ПА, можна представити у квазістаціонарній постановці [13].

Оскільки приєднані маси води найбільші значення мають на елементах КТ, можна з великою достовірністю вважати, що динаміка групи СППС визначається динамі-

кою кабель-тросів (у нашому випадку – кабель-буксирів) ПА. А якщо при усталеному русі СППС прискорення КТ незначні (приєднані маси води КТ невеликі і ними можна знехтувати), то рух групи СППС можна вважати квазістаціонарним.

Виходячи з такого уявлення про групу СППС як об'єкт керування, на рис. 3 наведено узагальнену структуру САК керування усталеним (квазістаціонарним) рухом групи у складі N систем «СБ–СППС» пошукового типу.

Керування морською операцією за такою структурою САК передбачає формування переліку завдань морської пошуково-обстежувальної операції (МО) $Z_{MO} = \{Z_1, \dots, Z_i, \dots, Z_N\}$ для кожної з N СППС групи, у яких містяться узагальнені алгоритми керування СН та розташованими на них СППС – характеристики просторової конфігурації елементів СППС, швидкість буксирування, режими роботи корисного вантажу тощо. У свою чергу, завдання керування Z_i кожною i -ою СППС містить алгоритми узгодженого керування елементами окремої СППС – власне ПА як носіями корисного вантажу, кабельною лебідкою та корисним вантажем.

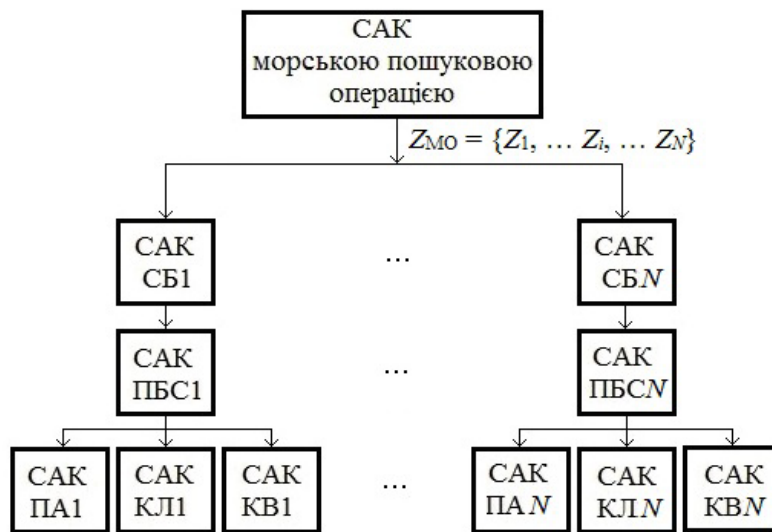


Рис. 3. Узагальнена структура САК керування усталеним рухом групи у складі N буксированих СППС пошукового типу

Розглянемо завдання обстеження акваторії на основі використання групи з N суден-носіїв, на кожному з яких розміщено по одній СППС пошуково-обстежувального виду. Метою роботи групи є виявлення на дні заданої акваторії підводних об'єктів чи виявлення забруднень донної поверхні. За основу приймемо підхід, застосований у [12]. Припустимо, що задана деяка прямокутна область O , яку необхідно оглянути за допомогою групи з N підводних апаратів.

Узагальнений алгоритм A автоматичного керування груповим обстеженням включає чотири етапи:

$$A = \{A_S; A_P; A_C; A_T\},$$

де A_S – етап керування пошуком ПО на заданій акваторії групою СН з СППС; A_P – етап оперативного призначення СППС-виконавців обстеження виявленого ПО; A_C – етап оперативного коригування алгоритмів керування призначеними для обстеження СППС; A_T – етап термінального керування процесом обстеження ПО підводним апаратом призначеної СППС (або двома підводними апаратами сусідніх за схемою обстеження СППС).

Розглянемо зазначені етапи більш детально.

Етап A_S – область виділеної акваторії O розбивається на t паралельних ділянок шириною D

відповідно до числа наявних АНПА (див. рис. 1,б). Сформовані прямокутні області розподіляються між підводними апаратами й організовується груповий рух N систем «СБ–СППС» з покриттям області O горизонтальним меандром з перекриттям шириною L ;

етап A_p – на основі отриманої інформації про виявлені ПО (чи забруднення) на рівні САК МО створюється карта донної поверхні (чи водної товщі) та призначаються СППС для обстеження (доцільно до складу цих СППС включати ту систему, яка виявила ПО, та одну–дві сусідні СППС);

етап A_c – на рівні САК МО коригуються алгоритми керування роботою виділених для обстеження СППС з урахуванням їх взаємного розташування, технічних можливостей виконання групового обстеження ПО та виключення заплутування кабель-тросів при спільному русі у районі ПО;

етап A_r – організовується детальне обстеження ПО виділеною підгрупою СППС за принципами термінального керування [14] з метою уточнення їх розмірів і місця розташування. Для формування

траєкторій руху окремих ПА доцільно використовувати кускову апроксимацію границі розташування ПО (чи зони забруднення).

Зазначимо, що продуктивність термінального обстеження, окрім швидкості самостійного підводного руху ПА біля ПО, пропорційна довжині КТ СППС та швидкості усталеного руху V_{CH} , оскільки від них залежить тривалість огляду ПО.

ВИСНОВКИ

1. Встановлено, що морська рухома система типу «судно-носій – пошукова самохідна прив'язна підводна система» у режимі комбінованого застосування є новим об'єктом автоматичного керування і вимагає розробки спеціальних керуючих структур та алгоритмів.

2. Розроблено узагальнену структуру системи автоматичного керування усталеним рухом групи морських рухомих об'єктів типу «судно-носій – пошукова самохідна прив'язна підводна система» та сформульовано чотири основні етапи її роботи.

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

- [1] Аспекты технологии и стратегии обследования ППО в Балтийском море [Текст] / А. И. Вяльшев [и др.] // Подводные технологии и мир океана. – 2006. – № 5–6. – С. 50–56.
- [2] **Блинцов, В. С.** Привязные подводные системы [Текст] / В. С. Блинцов. – К. : Наукова думка, 1998. – 232 с.
- [3] **Блинцов, В. С.** Проектирование самоходных привязных подводных систем [Текст] / В. С. Блинцов, В. Э. Магула – К. : Наукова думка, 1997. – 140 с.
- [4] **Блінцов, С. В.** Особливості групового керування автономними підводними апаратами при виконанні пошукових робіт [Текст] / С. В. Блінцов, Доан Фук Тхи // Восточно-Европейский журнал передовых технологий. – 2013. – № 6/9 (66). – С. 56–60.
- [5] **Городецкий, В. И.** Коллективное поведение автономных агентов (с приложением к командной работе автономных подводных роботов) [Электронный ресурс] / В. И. Городецкий. – Режим доступа: <http://space.iias.spb.su>.
- [6] **Дикарев, В. И.** Методы и средства обнаружения объектов в укрывающих средах [Текст] / В. И. Дикарев, В. А. Заренков, Д. В. Заренков ; под ред. В. А. Заренкова. – С.Пб. : Наука и техника, 2004. – 280 с.
- [7] **Костенко, Д. В.** Вплив конструктивних параметрів прив'язних підводних систем на їхні експлуатаційні характеристики [Текст] : дис. ... канд. техн. наук : 05.08.03 : механіка та конструювання суден / Костенко Дмитро Валерійович. – Миколаїв, 2003.
- [8] **Костенко, Д. В.** Моделирование комбинированной привязной подводной системы [Текст] / Д. В. Костенко // 36. наук. праць УДМТУ. – Миколаїв : УДМТУ, 2001. – № 1 (373). – С. 47–53.
- [9] **Пичугин, С.** Состояние и перспективы развития систем гидроакустического наблюдения ВМС США [Текст] / С. Пичугин // Зарубежное военное обозрение. – 2010. – № 6. – С. 61–70.
- [10] Подводные технологии и средства освоения Мирового океана [Текст]. – М. : Изд. дом «Оружие и технологии», 2011. – 780 с.
- [11] Ситуационное управление группировкой автономных подводных роботов на основе генетических алгоритмов [Текст] / Л. В. Киселев, А. В. Инзарцев, И. В. Бычков, Н. Н. Максимкин, А. Е. Хмельнов, М. Ю. Кензин // Подводные исследования и робототехника – 2009. – № 2 (8). – С. 34–43.
- [12] **Туфанов, И. Е.** Разработка алгоритмов группового поведения АНПА в задаче обследования локальных неоднородностей морской среды [Текст] / И. Е. Туфанов, А. Ф. Щербатюк // Управление большими системами. – М. : ИПУ РАН. – 2012. – Вып. 36. – С. 262–284.

- [13] **Филлипс, Ч.** Системы управления с обратной связью [Текст] / Ч. Филлипс, Р. Харбор. – М. : Лаборатория базовых знаний, 2001. – 616 с.
- [14] Энциклопедия кибернетики [Текст] / В. М. Глушков, Н. М. Амосов, И. А. Артеменко. – К., 1974. – Т. 2.

© В. А. Надточій

Надійшла до редколегії 06.12.13
Статтю рекомендує до друку член редколегії Вісника НУК
д-р техн. наук, проф. *В. С. Блінцов*
Статтю розміщено у Віснику НУК № 1, 2014