

ОЦІНКА ЕФЕКТИВНОСТІ ЗАСТОСУВАННЯ ПІДВОДНИХ АПАРАТІВ-РОБОТІВ ДЛЯ ПОШУКУ ЗАТОНУЛИХ ОБ'ЄКТІВ

О. В. Блінцов, канд. техн. наук;
Ж. Ю. Буруніна, канд. техн. наук;
П. Г. Клименко, канд. техн. наук

Національний університет кораблебудування, м. Миколаїв

Анотація. Виконано оціночні розрахунки ефективності виявлення донних та заякорених затонулих об'єктів за допомогою прив'язного самохідного підводного апарата-робота, оснащеного відео- і гідроакустичною пошуковою апаратурою для трьох способів його спільного використання із судном-носієм.

Ключові слова: підводний пошук, підводний апарат-робот, затонувший об'єкт, гідроакустична система, відеосистема, імовірність.

Аннотация. Выполнены оценочные расчеты эффективности выявления донных и заякоренных затонувших объектов с помощью привязного самоходного подводного аппарата-робота, оснащенного видео- и гидроакустической поисковой аппаратурой для трех способов его совместного использования с судном-носителем.

Ключевые слова: подводный поиск, подводный аппарат-робот, затонувший объект, гидроакустическая система, видеосистема, вероятность.

Abstract. The estimation calculations of exposure efficiency of bottom and anchored sunk objects by means of tethered self-propelled underwater robot equipped with video- and hydroacoustic searching devices for three ways of its joined usage with vessel-carrier have been performed.

Keywords: searching, underwater robot, sunk object, hydroacoustic system, videosystem, probability.

ПОСТАНОВКА ПРОБЛЕМИ

Пошук затонулих об'єктів належить до найбільш розповсюджених складових сучасних морських технологій [5, 6, 9]. Продуктивність виконання таких робіт суттєво залежить від рівня технічного та приладового оснащення, яке застосовується при здійсненні пошукових робіт [2, 13]. Відомо, що до найбільш ефективних технічних засобів підводного пошуку належать гідроакустичні прилади і системи (ГАС), оскільки вони забезпечують сканування значних площ донної поверхні та високу роздільну здатність. Проте такі системи здебільшого використовують з борту надводних суден і кораблів, що обмежує робочий радіус підводного пошуку, а в окремих випадках (наприклад, при неможливості зближення судна із затонувшим об'єктом (ЗО) з міркувань безпеки) не дозволяє виконати пошукову операцію [12]. Крім того, застосування тільки гідроакустичної інформації не дає змоги ідентифікувати малорозмірні та замасковані ЗО, що обумовлює необхідність додаткового використання підводної відеотехніки.

Оснащення прив'язних самохідних підводних апаратів-роботів (ПАР) портативними гідроакустичними та відеоприладами і системами знімає проблему безпеки екіпажів надводних суден при здійсненні пошукових підводних робіт, тому оцінка ефективності їх виконання за допомогою ПАР є актуальним прикладним науковим завданням, розв'язання якого створює основу для планування широкого спектра підводних робіт.

АНАЛІЗ ОСТАННІХ ДОСЛІДЖЕНЬ І ПУБЛІКАЦІЙ

За призначенням, місцем розташування на носії та типом виконуваних робіт усі гідроакустичні прилади умовно поділяються на наступні групи [1]:

- гідролокатори кругового і секторного огляду;
- гідролокатори бічного огляду;
- ехолоти;
- профілографи.

Аналіз досвіду підводних пошукових операцій провідних морських держав свідчить, що найбільш ефективним у режимі руху судна є використання гідролокаторів секторного огляду, оскільки вони забезпечують найвищу продуктивність [7, 11]. При цьому базовою схемою виконання пошуку затонулого об'єкта є рух ПАР попереду судна-носія (СН). Технологія їх застосування при синхронному русі ПАР і СН включає в себе наступні складові [4]:

- пошук ЗО гідроакустичними засобами;
- автоматична класифікація виявлених ЗО шляхом порівняння зі спеціальною базою даних;
- генерація тривожної інформації у разі класифікації виявлених ЗО як небезпечних цілей;

- формування даних для цифрової карти акваторії.

Для оперативного та ефективного пошуку і класифікації ЗО сучасні підводні апарати мають такі основні експлуатаційні властивості [10]:

- потужне пошукове гідроакустичне та відео-обладнання з високими характеристиками для надійного виявлення й ідентифікації ЗО;

високий рівень автоматизації режимів роботи для ефективного керування його стабілізованим рухом та динамічними режимами в умовах невизначеності параметрів зовнішніх збурень;

розвинене спеціальне програмне забезпечення — цифрові карти і бази даних ЗО — для оперативного формування й оновлення інформації про підводну обстановку та автоматичної ідентифікації ЗО.

Вивчення науково-технічної літератури у напрямку підводної робототехніки свідчить, що поряд з досить ґрунтовним і всебічним висвітленням теоретичних питань створення підводних апаратів-роботів у ній відсутні відомості про методи оцінки ефективності їх застосування у задачах пошуку ЗО.

МЕТА РОБОТИ — розробка основ методики кількісної оцінки ефективності виявлення донних та закорених затонулих об'єктів за допомогою прив'язного самохідного підводного апарата-робота, оснащеного відео- і гідроакустичною пошуковою апаратурою.

ВИКЛАД ОСНОВНОГО МАТЕРІАЛУ

Базова схема пошуку ЗО передбачає, що ПАР рухається попереду за курсом судна-носія. При цьому, оцінюючи перспективи розвитку таких ПАР, відзначимо, що їхнє вдосконалювання йде як у напрямку підвищення ефективності виявлення ЗО, так і шляхом збільшення типів можливих носіїв. Це обумовлює необхідність розглядати питання оцінки ефективності пошукових операцій комплексно: як за допомогою гідроакустичного обладнання власне ПАР, так і за допомогою бортових ГАС та інших систем пошуку СН.

На рис. 1 наведені три способи спільного використання СН та ПАР:

спосіб №1 — судно-носіє виконує пошук ЗО власною ГАС, після чого наводить ПАР на виявлений ЗО для його відеоідентифікації;

спосіб №2 — судно-носіє із ГАС і ПАР для пошуку ЗО;

спосіб №3 — судно-носіє і ПАР пошуку ЗО.

Розглянемо дані способи більш детально, вважаючи, що пошук джерел ЗО виконується за допомогою прив'язного ПАР.

Перший спосіб (див. рис. 1, *a*) передбачає наведення пошукового ПАР на ЗО, виявлений ГАС СН, наступну його ідентифікацію (розпізнавання й класифікацію) та документування.

Ефективність такого способу залежить від пошукової продуктивності, що встановлює взаємозв'язок між швидкістю ходу СН, шириною пошукової смуги (дальністю дії ГАС) і ймовірністю виявлення джерела підводної загрози. Пошукова продуктивність оцінюється за відомими методиками, наведеними в [3, 6, 8]. При цьому виявлений ЗО ідентифікується спеціалізованим ПАР, що наводиться на ціль за даними ГАС СН із деяким середнім відхилом (похибкою) $E_{СН}$. Ймовірність, з якою СН виявить ЗО (як випадкова величина, яка підлягає нормальному закону розподілу), при першому способі пошуку розраховується за формулою

$$P_{СН} = \frac{1}{2} \left[\hat{\Phi} \left(\frac{-0,5M_{СН}}{E_{СН}} \right) - \hat{\Phi} \left(\frac{0,5M_{СН}}{E_{СН}} \right) \right], \quad (1)$$

де $\hat{\Phi}$ — функція Лапласа (ймовірність того, що випадкова величина набуде значення, що належить

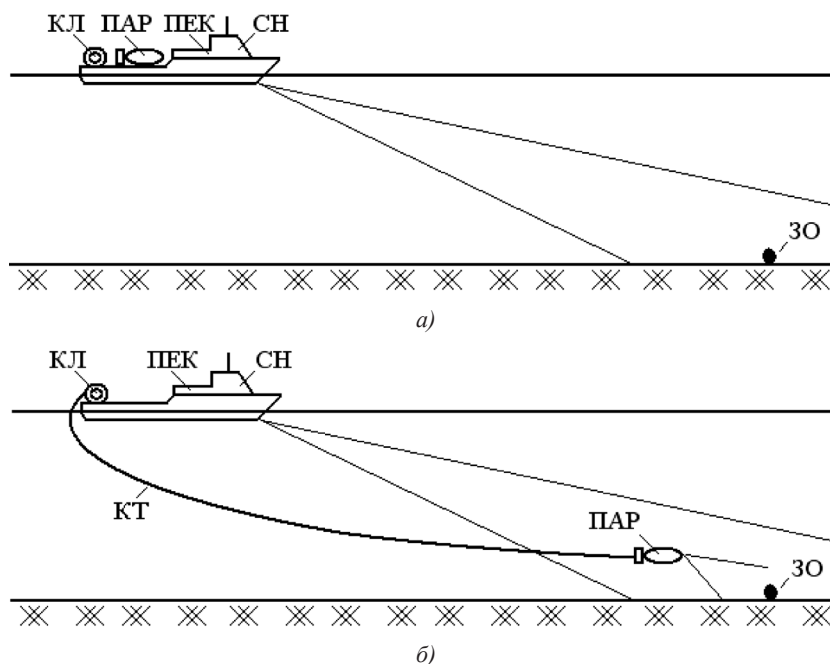


Рис. 1. Спосіб №1: *a*) — судно-носіє виявило ЗО своєю ГАС; *б*) — ПАР наводиться на ЗО у промені ГАС судна-носія для відеоідентифікації; КЛ — кабельна лебідка; КТ — кабель-трос; ПЕК — пост енергетики і керування

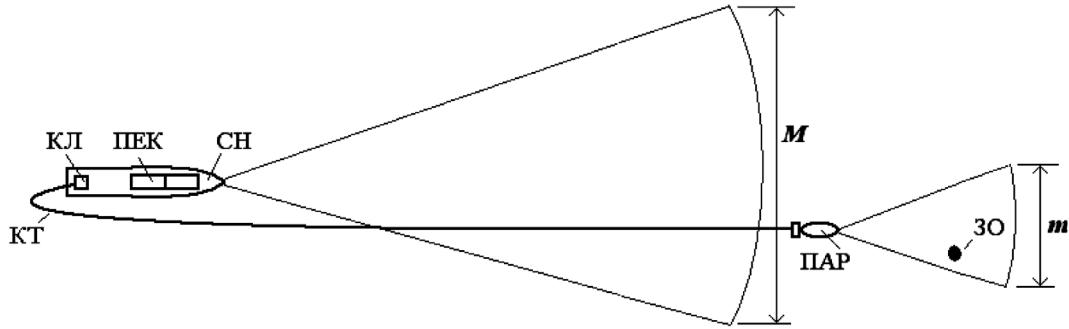


Рис. 2. Спосіб №2. Спеціалізований ПАР рухається попереду за курсом судна-носія (працюють ГАС СН і ПАР)

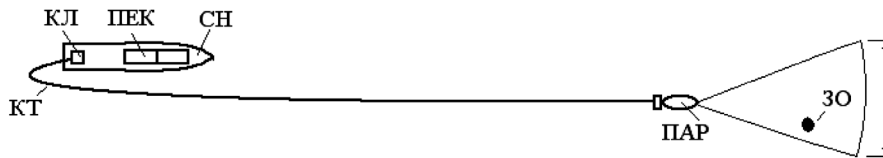


Рис. 3. Спосіб №3. Спеціалізований ПАР рухається попереду СН однаковим з ним курсом (працює тільки система пошуку ПАР)

заданому інтервалу); $M_{СН}$ — ширина смуги, в якій ГАС СН обстежує морське дно.

Імовірність, з якою ПАР буде наведений на 3О власними пошуково-технічними засобами (також взято за випадкову величину, що підлягає нормальному закону розподілу), розраховується за формулою

$$P_{\text{ПАР}} = \frac{1}{2} \left[\hat{\Phi} \left(\frac{-0,5m_{\text{ПАР}}}{E_{\text{ПАР}}} \right) - \hat{\Phi} \left(\frac{0,5m_{\text{ПАР}}}{E_{\text{ПАР}}} \right) \right], \quad (2)$$

де $m_{\text{ПАР}}$ — ширина смуги, в якій пошуковий комплекс ПАР (ГАС, відео тощо) спостерігає морське дно; $E_{\text{ПАР}}$ — похибка наведення ПАР на 3О (серединний відхил).

Якщо виявлений 3О має значні вертикальні розміри або знаходиться у товщі води (заякорені 3О), то серединні відхили наведення ПАР за допомогою власних пошукових засобів підрозділяють на горизонтальні E_r та вертикальні E_b , а ширина смуги пошуку 3О відповідно на горизонтальну m_r і вертикальну m_b складові. Тоді формула (2) буде мати вигляд

$$P_{\text{ПАР}} = \frac{1}{2} \left[\hat{\Phi} \left(\frac{-0,5m_r}{E_r} \right) - \hat{\Phi} \left(\frac{0,5m_r}{E_r} \right) \right] \times \frac{1}{2} \left[\hat{\Phi} \left(\frac{-0,5m_b}{E_b} \right) - \hat{\Phi} \left(\frac{0,5m_b}{E_b} \right) \right]. \quad (3)$$

Оскільки за першим способом пошуку 3О наведення ПАР виконується одночасно засобами СН і ПАР, то загальну ймовірність його успішного наведення на 3О можна обчислити за залежністю

$$P_2 = 1 - (1 - P_{\text{СН}}) \left(1 - \frac{m_{\text{ПАР}}}{M_{\text{СН}}} P_{\text{ПАР}} \right). \quad (4)$$

При другому способі пошуку 3О спеціалізований ПАР рухається попереду за курсом СН і разом з його ГАС бере участь у пошуку 3О (рис. 2).

Якщо ширина m пошукової смуги ПАР менша від ширини M пошукової смуги ГАС СН ($m < M$) і не виходить за її межі (див. рис. 2), то ймовірність виявлення 3О в результаті таких пошукових дій може бути розрахована за формулою (4).

Якщо ширина пошукової смуги ПАР дорівнює ширині пошукової смуги ГАС СН ($m = M$) при синхронному русі ПАР і СН заданим коридором пошуку, формула (4) буде мати вигляд

$$P_{2a} = 1 - (1 - P_{\text{СН}})(1 - P_{\text{ПАР}}). \quad (5)$$

У випадку, коли ширина пошукової смуги ГАС СН менша, ніж ширина пошукової смуги ПАР ($M < m$), використання ГАС СН є малоефективним.

При третьому способі пошуку 3О спеціалізований ПАР рухається попереду за курсом СН і виконує пошук із застосуванням тільки власних технічних засобів (ГАС, відеосистеми тощо) — рис. 3. Наведення ПАР на 3О та підхід до нього з метою ідентифікації також виконуються на основі власних систем підводної навігації ПАР.

Наведення ПАР на виявлений 3О при співвідношенні $M > m$ може розраховуватися за формулами (2) і (3).

Залежності (1)–(5) утворюють аналітичну основну методику кількісної оцінки ефективності виявлення донних та заякорених 3О за допомогою ПАР, оснащених відео- і гідроакустичною пошуковою апаратурою, що застосовується автономно або з борту СН.

Перевірка працездатності запропонованих підходів до оцінки ефективності ПАР у задачах пошуку 3О була виконана виходячи з літературних джерел та практичного досвіду НУК у застосуванні ГАС

та відеосистем ПАР. При цьому були взяті наступні значення варійованих параметрів у метрах:

1) практична ширина огляду водної товщі бортовими засобами ПАР виходячи з технічних характеристик сучасних малогабаритних ГАС (сонарів) зі співвідношенням сторін сонограми — 1:2 та відеопошукових систем TV зі співвідношенням сторін відеокадру — 3:4:

$$m_{ГАС Г} = \{25; 50; 75; 100; 200\};$$

$$m_{ГАС В} = \{12,5; 25; 37,5; 50; 100\};$$

$$m_{TV Г} = \{1; 5; 10; 20\};$$

$$m_{TV В} = \{0,75; 3,75; 7,5; 15\};$$

2) серединний відхил (похибка) ГАС СН, з якою ПАР наводиться на донну ціль, виходячи з технічних характеристик сучасних суднових ГАС:

$$E_{СН} = \{10; 25; 50\}.$$

Результати розрахунків ефективності застосування ПАР наведено в табл. 1–4.

Таблиця 1. Розрахунок імовірності $P_{ПАР}$ наведення ПАР на донний ЗО за допомогою власної пошукової ГАС

$m_{ГАС Г}$, М \ E , м	10	25	50
25	0,9876	0,6827	0,3829
50	1,0000	0,9545	0,6827
75	1,0000	0,9973	0,8664
100	1,0000	1,0000	0,9545
200	1,0000	1,0000	1,0000

Таблиця 2. Розрахунок імовірності $P_{ПАР}$ наведення ПАР на донний ЗО за допомогою власного пошукового відеокomплексу

m_{TV} , М \ E , м	10	25	50
1	0,0797	0,0319	0,0159
5	0,3829	0,1585	0,0797
10	0,6827	0,3108	0,1585
20	0,9545	0,9545	0,3108

Таблиця 3. Розрахунок імовірності $P_{ПАР}$ наведення ПАР на заякорений ЗО за допомогою власної пошукової ГАС

$m_{ГАС В} / m_{ГАС Г}$, М \ E , м	10	25	50
25/12,5	0,7789	0,2614	0,0755
50/25,0	0,9876	0,6516	0,2614
75/37,5	0,9998	0,8640	0,4736
100/50,0	1,0000	0,9545	0,6516
200/100,0	1,0000	1,0000	1,0000

Таблиця 4. Розрахунок імовірності $P_{ПАР}$ наведення ПАР на ЗО у водній товщі за допомогою ГАС СН та пошукового відеокomплексу ПАР

m_{TV} , М \ E , м	10	25	50
1/0,75	0,0049	0,0008	0,0002
5/3,75	0,1106	0,019	0,0048
10/7,5	0,3732	0,0733	0,0190
20/15	0,8270	0,4310	0,0733

ВИСНОВКИ

Виконані оціночні розрахунки ефективності застосування ПАР для пошуку ЗО за описаними вище способами показали наступне:

при використанні бортових ГАС ПАР з низькими пошуковими характеристиками успішне його виведення на ЗО суттєво залежить від точності роботи ГАС СН;

при застосуванні пошукового відеокomплексу ПАР успіх операції виведення ПАР на ЗО суттєво залежить від ширини смуги відеопошуку, а ймовірність виведення ПАР на ЗО значно нижча, ніж при використанні бортової ГАС ПАР;

вихід ПАР на ЗО, який знаходиться у водній товщі, є значно складнішою технічною задачею, ніж вихід на донну ціль (успішне вирішення цієї задачі

можливе шляхом застосування ГАС СН та ГАС ПАР підвищеної точності й роздільної здатності); при використанні пошукового відеокomплексу як головного інструменту для виведення ПАР на ЗО,

який знаходиться у водній товщі, наведення ПАР за допомогою традиційних ГАС СН є практично неможливим, оскільки головним фактором у цьому випадку є прозорість морської води.

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

- [1] **Абчук, В. А.** Поиск объектов [Текст] / В. А. Абчук, В. Г. Суздаль. — М. : Советское радио, 1977. — 336 с.
- [2] Автономные подводные роботы. Системы и технологии [Текст] / под общ. ред. акад. М. Д. Агеева. — М. : Наука, 2005. — 398 с.
- [3] **Блинцов, В. С.** Привязные подводные системы [Текст] / В. С. Блинцов. — К. : Наукова думка, 1998. — 232 с.
- [4] **Владимиров, В. С.** Уравнения математической физики [Текст] : учеб. для вузов / В. С. Владимиров, В. В. Жаринов. — М. : Физматлит, 2004. — 400 с.
- [5] Гидроакустические системы [Текст] / Ю. А. Корякин [и др.] // Наука Санкт-Петербурга и морская мощь России. — С.Пб. : Наука, 2002. — С. 388–416.
- [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] **Дулепов, В. И.** Современные технические средства в подводных экологических исследованиях [Текст] / В. И. Дулепов, А. Ф. Щербатюк. — Владивосток : Дальнаука, 2008. — 164 с.
- [8] **Илларионов, Г. Ю.** Подводные роботы в минной войне [Текст] : монография / Г. Ю. Илларионов, К. С. Сиденко, В. В. Сидоренков. — Калининград : ОАО «Янтарный сказ», 2008. — 116 с.
- [9] **Корякин, Ю. А.** Корабельная гидроакустическая техника: состояние и актуальные проблемы [Текст] / Ю. А. Корякин, С. А. Смирнов, Г. В. Яковлев. — С.Пб. : Наука, 2005. — 410 с.
- [10] **Мосалев, В.** Дистанционно управляемые и автономные подводные аппараты ВМС зарубежных стран [Текст] / В. Мосалев // Зарубежное военное обозрение. — 2006. — № 6. — С. 56–66.
- [11] Необитаемые подводные аппараты военного назначения [Текст] ; под ред. акад. М. Д. Агеева. — Владивосток : Дальнаука, 2005. — 164 с.
- [12] Океанология. Средства и методы океанологических исследований [Текст] / Г. В. Смирнов, В. Н. Еремеев, М. Д. Агеев, Г. К. Коротаев, В. С. Ястребов, С. В. Мотыжев. — М. : Наука, 2005. — 795 с.
- [13] **Сычев, В. А.** Перспективные направления разработки и применения гидроакустических средств для поиска, идентификации, обследования и мониторинга ППОО [Текст] / В. А. Сычев, Н. А. Римский-Корсаков // Проблемы прогнозирования чрезвычайных ситуаций. — М. : ИО РАН, 2010. — С. 188–202.

© О. В. Блинцов, Ж. Ю. Буруніна, П. Г. Клименко

Надійшла до редколегії 09.01.2012

Статтю рекомендує до друку член редколегії Вісника НУК
д-р техн. наук, проф. *О. О. Мочалов*

Статтю розміщено у Віснику НУК № 1, 2012